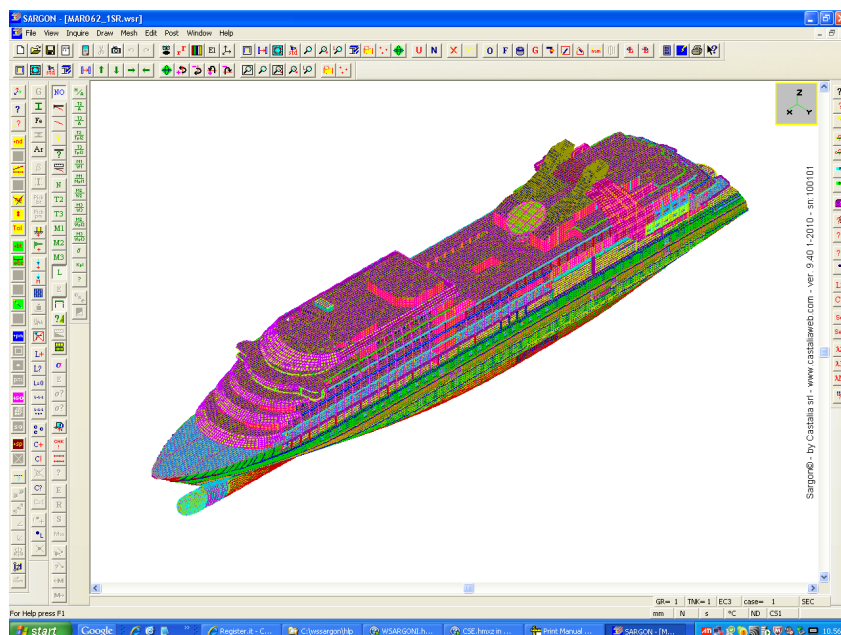




Sargon - Guide

Version 11.65



<http://www.castaliaweb.com>
Via Pinturicchio, 24
20133 Milano
staff@castaliaweb.com
Copyright 1991-2014 - Castalia srl

Revision 19 December, 1 2014

Foreword

Sargon is a wide and ambitious software program aimed at structural analysis, mainly for steel structures. Together with CSE (Connection Study Environment) is an advanced software package for steel structures specialists.

The project began in the early 90s and still lasts: many thousands of working, studying and researching hours have been spent for it.

More information is available browsing the website www.steelchecks.com.

We kindly ask to inform of possible defects, or parts needing further improvement, writing to staff@castaliaweb.com.

Thank you

Paolo Rugarli

SARGON Guide

Sargon - 1991-2014 - Copyright Castalia srl - Milan - Italy - www.castaliaweb.com

All rights reserved. No parts of this work may be reproduced in any form or by any means - graphic, electronic, or mechanical, including photocopying, recording, taping, or information storage and retrieval systems - without the written permission of the publisher.

Registered user can freely copy this document for internal use only.

Products that are referred to in this document may be either trademarks and/or registered trademarks of the respective owners. The publisher and the author make no claim to these trademarks.

While every precaution has been taken in the preparation of this document, the publisher and the author assume no responsibility for errors or omissions, or for damages resulting from the use of information contained in this document or from the use of programs and source code that may accompany it. In no event shall the publisher and the author be liable for any loss of profit or any other commercial damage caused or alleged to have been caused directly or indirectly by this document.

Created: 10/03/2015 in Milan

Producer:

Castalia srl

Author of Sargon:

Ing. Paolo Rugarli

Guide edited by:

Ing. Paolo Rugarli

Ing. Marco Croci

Web:

www.steelchecks.com

Assistance:

staff@castaliaweb.com

Table of contents

Foreword	23
Parte I Introduction	26
1 Sargon: what does it do, whom is it for	26
2 Structure of the program	27
3 Typical work flow	28
4 Graphic interface	29
5 Commands working modes	32
Modal and modeless commands	32
Input a box	33
Input a closed polyline	34
Parte II How to...	36
1 Get Help	36
2 Exit from Sargon	36
3 Create a mesh	37
What is a mesh	37
The basic entities: nodes and elements	39
Node	39
Beam	40
Truss	42
Plate	43
Membrane	44
Spring	45
Superelement	46
Solid	46
Create or modify the mesh in Sargon	47
Import a Mesh or a Model prepared outside Sargon	49
Import .srg	50
Import .dxf	50
Import .esd	52
Import .anf	55
Import .sdb	56
Import .std	66
Import .dat	84
Import .mct	91
Import .r3d	103
Export cross-sections (Export .arf)	109
Strucad bidirectional interface	109
Use automatic meshing commands	111
4 Change the units	117
5 Change the view	118
6 Select	120
Generality	120
Selection tools	122

Selection filters	123
Selection modes	123
Selection operation	123
Examples	124
Selection tanks	125
7 Modify display modes.....	126
8 Manage constraints and end releases.....	127
Set fixed constraints	127
Set end releases	128
Apply springs	128
Apply settles	129
9 Manage loads.....	129
Load cases (Dialog)	130
Load combinations (Dialog)	130
Loads (Dialog)	133
10 Manage archives.....	139
11 Assign material, cross-sections and properties.....	140
12 Get information about the model.....	141
13 Manage object names.....	142
14 Manage groups.....	144
15 Prepare and execute solving.....	146
Static analysis with external solvers	146
Static analysis with CLEVER	147
Modal analysis with LEDA	148
Response Spectrum Analysis with SPECTRUM	155
Buckling analysis with BUCKL	169
Nonlinear analysis with CURAN solver	172
Frequency response analysis with FREQUENCY	204
Shear areas	208
Tension stiffening	209
Memory	209
Renumbering	211
Pseudolability	212
Choice of the finite elements	214
Check the analysis effectivity	218
16 Prepare and execute solving.....	224
Slenderness coefficient	225
Area reduction due to holes	227
Superelements	227
Choice of the standards	230
Checks execution	231
17 Examine and manage results.....	232
Deformed	232
Diagrams	233
Constraint Reactions	234
Stresses in plates, membranes and solids	234
Checks	245
Output listing	247
Print	247
Image transfer	248

Stresses in beams and trusses	248
18 Using Autocad with Sargon.....	250
19 Generate combinations.....	259
20 Generate drawings.....	261
21 Manage elastic-soil elements.....	267
22 Manage eccentricities (offset).....	273
23 Execute the checks with the "general method".....	280
24 Reset registry deleting keys.....	290
25 Use validation commands.....	291
Legenda dell'informativa	306
26 Manage capacity design.....	318
Short background	318
The limits of the rules of the standards	321
Sargon implementation	329
27 Manage ePUB format report.....	340

Parte III Menu Commands 344

1 File	344
New	344
Open	344
Save	344
Save As	344
Settings	345
General settings at start (Dialog).....	345
Save Configuration	345
Print	346
Print preview	346
Printer setup	346
Title	347
Printing title (Dialog).....	347
Comment	347
Comments to the model (Dialog).....	347
Analyze	348
Analyze (Dialog).....	348
Nonlinear static analysis (Dialog).....	351
Nonlinear analysis settings (Dialog).....	351
Modal analysis (Dialog).....	355
Response Spectrum Analysis (Property sheet).....	356
Possible earthquakes spectra definition (dialog).....	356
Spectrum X, Y, Z (Property pages).....	357
Mode combinations and error factors (Property page).....	357
Buckling analysis (Dialog).....	362
Frequency response (Dialog).....	363
Type of finite element (Dialog).....	364
Renumbering (Dialog).....	364
Memory (Dialog).....	365
Create Input	366
Writing of Input file (Dialog).....	367
Import results	367

Loading of solve results (Dialog).....	370
Create listing	370
Listing creation (Property sheet).....	371
Language (Property page).....	371
Geometry and properties (Property page).....	371
Load cases and combinations (Property page).....	372
Structural response (Property page).....	372
Checks (Property page).....	372
Create ePUB report	372
Report ePUB settings (Dialog).....	373
Export	373
File creation (Dialog).....	374
Import	376
Create file avi... ..	377
Creation of an AVI file.....	379
Merge	380
Update	381
Commands	383
Calculator	396
Exit	396
2 View.....	396
Customize interface	396
Status bar	399
Application look	400
Win 2000.....	400
Office XP	400
Windows XP	400
Office 2003	400
Visual Studio 2005	401
Visual Studio 2008	401
Office 2007.....	401
Blu style	401
Black style.....	401
Silver style.....	401
Aqua style.....	402
Windows 7.....	402
Reference axes	402
Reference axes size and position (Dialog).....	402
Objects	403
Objects (Property sheet).....	403
Objects (Property page).....	404
Numberings (Property page).....	405
Labels (Property page).....	405
Names (Property page).....	405
Numerical data (Property page).....	406
Sizes	406
Object sizes (Dialog).....	407
Colors	408
Object colors (Dialog).....	408
Elements	409
Element display (Dialog).....	409
Font	409
Font (Property sheet).....	410
Numberings/Names (Property page).....	410

Material (Property page).....	411
Section (Property page).....	411
Orientation	411
Local axes display (Dialog).....	412
Assign color	412
Solids	413
Thicknesses	413
3 Inquire.....	414
General	414
General Inquire (Dialog).....	414
Geometry	415
Nodes	415
Nodes inquire (Property sheet).....	416
Geometry (Property page).....	416
Constraints (Property page).....	416
Masses (Property page).....	417
Others (Property page).....	417
Beams	417
Inquire beams (Property sheet).....	418
Connectivity (Property page).....	418
Extremity 1 (Property page).....	418
Extremity 2 (Property page).....	419
Kappas (Property page).....	419
Slenderness (Property page).....	419
Properties (Property page).....	419
Springs (Property page).....	419
Eccentricities (Property page).....	420
Orientation (Property page).....	420
Others (Property page).....	420
Soil (Property page).....	421
Kred (Property page).....	421
Trusses	421
Trusses (Property sheet).....	422
Connectivity, gap and friction (Property page).....	422
Kappas (Property page).....	422
Slenderness (Property page).....	423
Properties (Property page).....	423
Orientation (Property page).....	423
Others (Property page).....	423
Plates	424
Plates (Property sheet).....	424
Connectivity (Property page).....	424
Properties (Property page).....	425
Other (Property page).....	425
Membrane	425
Membrane (Property sheet).....	426
Connectivity (Property page).....	426
Properties (Property page).....	427
Other (Property page).....	427
Solids	427
Solids (Property sheet).....	428
Connectivity (Property page).....	428
Properties (Property page).....	428
Other (Property page).....	428

Spring	428
Spring (Property sheet).....	429
Connectivity and direction (Property page).....	429
Properties (Property page).....	429
Other (Property page).....	430
Superelements	430
Superelements (Property sheet).....	431
Connectivity (Property page).....	431
Kappas (Property page).....	431
Other (Property page).....	432
Loads	432
Load(s) applied (Dialog).....	433
Seismic actions resultant	433
Mass	434
Total mass on selected nodes (Dialog).....	435
Cases	435
Load cases (Dialog).....	436
Load case (Dialog).....	436
Combinations	437
Combinations (Dialog).....	438
Combinations (Dialog).....	438
Selected objects	438
General.....	438
Selected objects (Dialog).....	439
Loads.....	439
Load cases (Dialog).....	440
Loads on selected objects (Property sheet).....	440
Display slenderness	440
A Slend 2.....	440
B Slend 3.....	441
C Slend Max.....	441
Find	441
Find (Dialog).....	442
4 Draw	442
Redraw	442
Enclose	442
Pan	443
Pan up	443
Pan down	443
Pan right	444
Pan left	444
Zoom In	444
Zoom In Click	445
Zoom Out	445
Zoom Out Click	445
Last Zoom	446
Standard View	446
Standard views (Dialog).....	446
Remap	447
Worldmap (Dialog).....	447
Change view (Dialog).....	448
Turn anticlockwise	448
Turn clockwise	448
Turn up	448

Turn down	449
Three points	449
Extract	450
Define view	450
User's view definition (Dialog).....	451
User view	451
User's view recall (Dialog).....	451
Generate members!	452
Alignments... ..	452
Alignments management (Dialog).....	453
Addition of a fixed alignment (Dialog).....	455
Drawings... ..	455
Drawings creation (Dialog).....	455
5 Mesh.....	457
Nodes	457
Add.....	457
Adding of a Node (Dialog).....	458
Move.....	458
Shift of Selected Nodes (Dialog).....	458
Move 2.....	459
Move 2 (Dialog).....	459
Move over surface.....	460
Shift of the Nodes Belonging to a Surface (Dialog).....	460
Move from Displacements	461
Rotate.....	462
Rotation (Dialog).....	463
Rotation (Dialog).....	463
Reposition.....	463
Node Position (Dialog).....	463
Clean	464
Display Double.....	464
Tolerance.....	464
Node Tolerance (Dialog).....	465
Numbering.....	465
Sort	465
Node Sorting (Dialog).....	465
Beams and Trusses	466
Add.....	466
Addition of beams and trusses (Dialog).....	468
Addition of a node in relative coordinates (Dialog).....	468
Cut.....	469
Divide.....	469
Divide Beams and Trusses (Dialog).....	469
Divide BT taper.....	470
Split.....	470
Splitting of beams and trusses (Dialog).....	471
Splitting of beams and trusses (Dialog).....	471
Splitting of beams and trusses (Dialog).....	472
Split and/or load.....	472
Split and/or load (Dialog).....	473
Third Node.....	473
Change Third Node (Dialog).....	474
Third node (Dialog).....	474
Orientation.....	474

Orientation (Dialog).....	475
Winkler.....	476
Acquisizione parametri fondazione - trave su suolo elastico (Dialog).....	476
Initial N.....	477
Initial Axial force (Dialog).....	478
Load Case (Dialog).....	478
Cross Section Reduction Factors.....	478
Cross-section properties reduction or amplification factors.....	479
Offsets.....	480
Offsets (Dialog).....	481
Snap over locus.....	482
Snap over locus (Dialog).....	485
Reset Offsets!.....	486
Plates and Membranes.....	488
Add.....	488
Addition of Plates and Membranes (Dialog).....	490
Extrusion Mode (Dialog).....	491
Plane Mesh.....	492
Settings (Dialog).....	492
Cut.....	495
Divide.....	495
Plates and Membranes Division (Dialog).....	495
Split.....	496
Splitting of Plates and Membranes (Dialog).....	496
Rotate.....	497
Planarity and other checks.....	498
Element check (Dialog).....	498
Normal.....	500
Kind.....	501
Winkler.....	501
Winkler's Constant Definition (Dialog).....	502
Springs.....	502
Add.....	502
Spring Addition (Dialog).....	502
Cut.....	504
Winkler.....	504
Winkler Spring Addition (Dialog).....	506
Solids.....	508
Add.....	508
Solids Addition (Dialog).....	508
Remove SO.....	510
Divide SO.....	510
Solid Elements Division (Dialog).....	511
Pentahedrizze.....	511
Tetrahedrizze.....	512
Superelements.....	513
Search.....	513
Remove.....	514
Use and Display.....	514
Double Elements.....	514
Double Elements (Dialog).....	515
Double Nodes.....	515
Auto Align.....	516
Search Intersection.....	516

Adaptive Refinement	518
Adaptive Refinement (Dialog).....	519
Nodes over side	520
Copy.....	522
Choice of input mode (Dialog).....	523
Copy: translation vector (Dialog).....	524
Recopy	524
Rotate.....	524
Rotation (Dialog).....	526
Rotation (Dialog).....	526
Rerotate	526
Mirror.....	527
Mirroring (Dialog).....	528
Metamorphosis.....	529
Metamorphosis (Dialog).....	529
Gap and friction.....	529
Gap and Friction Input.....	530
Names	533
Modify.....	533
Name (Dialog).....	535
6 Edit.....	536
Undo	536
Redo	537
Copy	537
Cut [inactive]	537
Select	538
All	538
None.....	538
Click	538
Box.....	539
Poly.....	539
Name.....	540
Search by name (Dialog).....	540
Alignments.....	541
Loci selection (Dialog).....	541
Objects	541
Tank.....	542
Selection Tank (Dialog).....	542
Filter.....	542
Filter (Property sheet).....	543
Filter (Property page).....	543
Element Filter (Property page).....	544
Operation (Property page).....	544
Standards.....	544
Standard (Dialog).....	545
Eurocode 3 - Settings (Property sheet).....	545
Eurocode Parameters (Property page).....	546
Methods (Property page).....	546
Mcrit (Lateral Buckling) (Property page).....	548
Tracing (Property page).....	549
Wood Checks Settings (Dialog).....	549
Units.....	549
Measurement Units (Property sheet).....	550
Length (Property page).....	550

Force (Property page).....	550
Time (Property page).....	550
Temperature (Property page).....	551
Properties	551
Cross Section.....	551
Shape Archive Access (Dialog).....	553
Data Filters (Dialog).....	557
Choice of Design Criteria (Dialog).....	558
Tipologie sezionali.....	561
I or H cross-sections (welded or not) (Dialog).....	561
I or H cross-sections (Details).....	562
C or U cross-sections (welded or not) (Dialog).....	563
C or U cross-sections (Details).....	563
T cross-sections (welded or not) (Dialog).....	564
T cross-sections (Details).....	565
L cross-sections (welded or not) (Dialog).....	566
L cross-sections (Details).....	567
Rectangular cross-sections - Plates (Dialog).....	568
Rectangular cross-sections - Plates (Details).....	569
Box cross-sections (Dialog).....	570
Box cross-sections (Details).....	571
Rectangular Hollow cross-sections (rolled) (Dialog).....	572
Rolled Rectangular Hollow cross-sections (RHS) (Details).....	573
Circular cross-sections (round or CHS) (Dialog).....	574
Rounds - Tubes, pipes (Details).....	575
I or H rolled cross-sections (Dialog).....	576
I or H rolled cross-sections (Dialog).....	577
T rolled cross-sections (got by cut of I or H rolled cross-sections) (Dialog)	578
T rolled cross-sections (got by cut of I or H rolled cross-sections) (Details)	580
IPN cross-sections (tapered flanges I) (Dialog).....	581
I rolled cross sections(IPN, tapered flanges) (Details).....	582
T rolled cross-sections (Dialog).....	583
T rolled cross-sections (Details).....	584
L rolled cross-sections (Dialog).....	585
L rolled cross-sections (angles) (Details).....	586
C or U rolled cross-sections (channels) (Dialog).....	587
C or U rolled cross-sections (Details).....	588
C cross-sections (cold formed) (Dialog).....	589
C (cold formed) (Details).....	591
L cross-sections (cold formed) (Dialog).....	592
L (cold formed) (Details).....	594
Z cross-sections (cold formed) (Dialog).....	596
Z (cold formed) (Details).....	598
Omega (hat) cross-sections (cold formed) (Dialog).....	599
Omega (hat) (cold formed) (Details).....	601
Cold Formed Cross-sections (Dialog).....	603
.....	605
Adding of a straight side (Dialog).....	606
Adding of a straight side (Dialog).....	607
Adding of a straight side (Dialog).....	607
Adding of a circular side (Dialog).....	608
.....	609
Initial Point Coordinates (Dialog).....	609

Internal curvature radius (Dialog).....	610
EN1993-1-3 - Effective Data Computation (Dialog).....	610
The effective data computation output listing.....	615
Composed cross-sections made by angles (Dialog).....	628
Cross-sections made by angles (Details).....	629
2 Angles at _ _.....	629
2 Angles at cross +.....	630
4 Angles at cross +.....	631
Cross-sections made by channels (Dialog).....	631
Cross-sections made by channels (Details).....	633
2 Channels at [].....	633
2 Channels at [].....	633
Generic Composed Cross-sections and mixed materials	
Cross-sections (Dialog).....	634
Generic Composed Cross-sections (Details).....	646
Cross-sections made by irregular polygons (polylines) (Dialog).....	647
Closed polyline input (Dialog).....	649
Input of a regular polygon (Dialog).....	652
Polygonal cross-sections (Details).....	652
Generic cross-sections (Dialog).....	654
Generic cross-sections (Details).....	655
Shape Archive (Dialog).....	656
Modify Section.....	656
Shape Archive (Dialog).....	657
Material.....	658
Material archive access (Dialog).....	659
Material Archive (Dialog).....	660
Material Data (Dialog).....	661
Material Data (Property page).....	662
Uniaxial Law (Property page).....	663
Plasticity (Property page).....	669
Modify material.....	670
Thickness.....	670
Plates and Membranes Properties (Dialog).....	670
Property Archive (Dialog).....	671
Add Semirigid Property.....	671
Spring.....	671
Modify semirigid property.....	672
Archives.....	673
Group.....	673
Groups (Dialog).....	673
Group Definition (Dialog).....	674
Kappa.....	674
Slenderness Coefficients (effective length) (Dialog).....	675
Ared.....	675
Area Reduction Factor (Dialog).....	675
Pick bt.....	675
Pick pm.....	676
Soil.....	676
Layered Boussinesq Soil (Dialog).....	676
Constraints.....	677
Nodal Constraints.....	677
Constraint Assign (Dialog).....	678
Constraint Mask.....	679
End Releases.....	680

End Releases Assign (Dialog).....	680
Semirigid Properties (Dialog).....	682
Loads	682
Add.....	682
Load Addition (Dialog).....	683
Nodal Forces Addition (Dialog).....	684
Uniform Load Addition (Dialog).....	685
Concentrated Load Addition (Dialog).....	685
Linear Load Addition (Dialog).....	686
General Linear Loads Addition (Dialog).....	686
Thermal Loads Addition (Dialog).....	686
Settlements Addition (Dialog).....	687
Load per Unit Surface (Dialog).....	687
Modify.....	688
Load(s) Applied (Dialog).....	688
Delete.....	688
Canc Sel.....	689
Region.....	689
Region Loads (Dialog).....	689
Standard or Projection Region Loads (Dialog).....	691
Normal Direction (Dialog).....	692
Intensity (Dialog).....	692
Gravity.....	692
Gravity Multipliers (Dialog).....	693
Floor.....	693
Equivalent Static Earthquake.....	694
Equivalent Static Analysis (Dialog).....	696
Wind bt.....	697
Wind on Shapes (Dialog).....	697
Earthquakes	698
From Spectrum.....	698
Add forces from Response Spectrum (Dialog).....	699
From Reactions.....	700
Cases	702
Add.....	702
Load Case (Dialog).....	702
Modify.....	703
Zero.....	703
Sum.....	703
Sum of a Load Case (Dialog).....	704
Sum XYZ.....	704
Sum of a Load Case (XYZ) (Dialog).....	704
Combine.....	705
Next.....	706
Previous	706
Combinations	707
Modify Sets.....	707
Selection and Change of a Combination Set (Dialog).....	707
Add.....	708
Combination (Dialog).....	708
Generate.....	712
Combinations Generation (Dialog).....	713
Print.....	717
Import.....	718

Modify.....	719
Combinations.....	719
Combination (Dialog).....	720
Zero.....	720
Remove All.....	721
Remove Some.....	721
Combinations Removal (Dialog).....	722
Next.....	723
Previous.....	723
Masses.....	723
Add.....	723
Mass Addition (Dialog).....	724
Case.....	725
Adding of the Masses of a Load Case (Dialog).....	725
Canc Sel.....	725
Canc SelX.....	726
Canc SelY.....	726
Canc SelZ.....	726
Move.....	727
Multistorey.....	728
Multistorey (Dialog).....	729
Groups.....	729
Groups (Dialog).....	730
Group Definition (Dialog).....	730
7 Post.....	731
Deformed.....	731
With Undeformed.....	731
Deformed.....	731
Map.....	731
Choice of a Component (Dialog).....	731
Inquire.....	732
Nodal Displacement (Dialog).....	732
Internal.....	732
Internal Displacement (Dialog).....	732
Extremes.....	733
Envelope Extremes.....	733
Envelope Extremes (relative).....	733
Scale.....	734
Displacement Multiplier (Dialog).....	734
Stresses BT.....	734
Axial Force.....	734
Shear 2.....	735
Shear 3.....	736
Torque.....	737
Bending 2.....	737
Bending 3.....	738
Local.....	739
Inquire Internal Actions.....	740
Beams or Trusses? (Dialog).....	740
Internal Actions (Dialog).....	740
Internal Actions Envelope (Dialog).....	740
Scale.....	741
Diagram Scale (Dialog).....	741
Selected.....	741

N/A.....	741
T2/A.....	742
T3/A.....	742
T2/Tpl2.....	743
T3/Tpl3.....	743
M1/W1.....	744
M1/Mpl1.....	744
M2/W2.....	745
M3/W3.....	745
M2/Wpl2.....	745
M3/Wpl3.....	746
N/A + M2/W2 + M3/W3	746
N/Npl + M2/Mpl2 + M3/Mpl3	746
Inquire Stresses.....	747
Envelope.....	747
Envelope of Envelope.....	747
Number of Sections.....	748
Number of Sections for the Diagrams (Dialog).....	748
Stresses PM SO	748
Stresses.....	748
Choice of Stress Components, Invariants, and Display Settings (Dialog).....	749
Envelope.....	750
Inquire PM.....	750
Stresses plates / membranes (Dialog).....	751
Envelope Stresses (plates/membranes) (Dialog).....	751
Inquire SO.....	752
Stresses: solids (Dialog).....	752
Envelope Stresses: solids (Dialog).....	753
Stresses Springs	753
Envelope.....	753
Envelope of Envelope.....	753
Checks	754
Check.....	754
CSE!.....	754
RCSTUDIO!.....	754
Number of Sections.....	755
Number of Sections for the Checks (Dialog).....	755
Inquire.....	755
Envelope Utilisation Ratios (Dialog).....	756
Utilisation Ratios (Dialog).....	756
Statistics.....	756
Statistics (Dialog).....	757
Envelope.....	758
Resistance.....	758
Stability.....	758
Maximum.....	758
User's Checks.....	759
User's Checks Cross-Sections Archive Management (Dialog).....	759
Classification (Property page).....	761
Plastic Values 1 (Property page).....	763
Plastic Values 2 (Property page).....	763
Elastic Values (Property page).....	764
Effective Values (Property page).....	766
Buckling (Property page).....	767

Other (Property page).....	769
Class	770
Reactions	771
Display.....	771
Inquire.....	771
Constraint reactions (Dialog).....	772
Envelope of Envelope.....	772
Sum.....	772
Modal	773
Display.....	773
Modal Deformed Shape (Dialog).....	773
Map.....	773
Choice of a Component (Dialog).....	774
Inquire.....	774
Modal Analysis Information (Dialog).....	774
Mode Next!.....	775
Mode Previous!.....	775
Buckling	775
Display.....	775
Critical Mode Deformed (Dialog).....	776
Map.....	776
Choice of a Component (Dialog).....	776
Inquire.....	776
Information about Buckling Analysis (Dialog)_2.....	777
General Method.....	777
General Method: Alpha,R Multipliers Computation (Dialog).....	778
Mode next!.....	779
Mode previous!.....	780
Response Spectrum	780
Set Periods.....	780
Response Spectrum: results (Dialog).....	781
Fiber	782
Next Section.....	782
Previous Section.....	782
Display Section Stresses.....	782
Display Section Strains.....	784
Idrift	785
Curve	786
Curve Display (Dialog).....	786
Curve Mixing Operations (Dialog).....	790
No post	794
Legend	794
Legend (Dialog).....	795
Import	795
8 Structure	796
Typical	796
Complete.....	796
Typical structures (1).....	797
Typical structures (2).....	798
Properties and material assign (Dialog).....	800
Mesh only.....	801
Texts	801
Description	801
Static.....	801

Modal.....	801
Buckling.....	802
Checks.....	802
Images	0
Capacity	802
Add DZone.....	802
Remove!.....	803
Set.....	803
Capacity Design Settings (Dialog).....	803
Check!.....	805
Display Results.....	805
Open file!.....	806
9 Validation.....	806
Normalize	806
Normalization (Dialog).....	807
Change coordinate-system	808
Pan.....	808
Rotate on Z axis.....	809
Create signature... ..	809
Number of significant digits (Dialog).....	810
Create signature of selected... ..	811
Create info... ..	811
Create info selected... ..	812
Compare with (WSR)... ..	812
Compare selected with (WSR)... ..	813
Compare TXT signatures... ..	813
10 Window.....	814
New window	814
Cascade	815
Tile	815
Arrange icons.....	815
Window manager	815
11 Help.....	816
Index	816
Use of help	816
About Sargon	816
About Sargon (Dialog).....	816

Parte IV Technical guide to checks 818

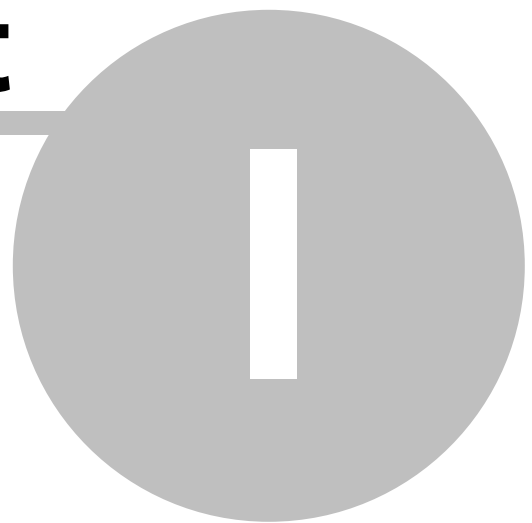
1 Eurocode 3 - EN 1993.....	818
2 BS-5950.....	867
3 AISC-ASD.....	882
4 AISC-LRFD.....	885
5 Eurocode 5 - EN 1995.....	919

Parte V Papers (Italian) 976

1 La classificazione via EC3 di profili ad I sottoposti a sollecitazioni miste.....	976
2 Software orientati alla comunicabilità ed al controllo dei dati.....	990

3	Brevissima storia dei programmi di calcolo.....	997
4	Introduzione al metodo degli elementi finiti (in progress): Capitolo 1	998
5	Guida pratica alla analisi modale(in progress).....	1021
6	Combinazioni di verifica agli stati limite.....	1038
7	Spettro di risposta con fattore di errore.....	1066
8	Proprietà flessionali elastiche e plastiche - Calcolo automatico di sezioni generiche.....	1089
	Index	1105

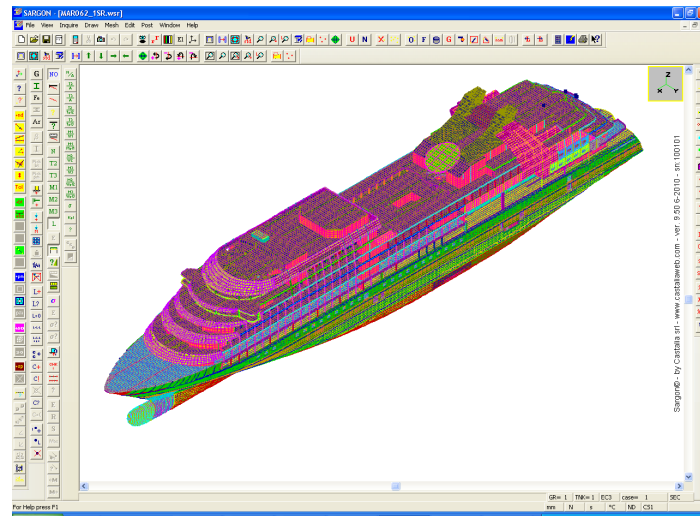
Part



1 Introduction

1.1 Sargon: what does it do, whom is it for

SARGON: WHAT DOES IT DO, WHOM IS IT FOR



Sargon model of the cruise ship Odyssey, owned by Seabourn

Sargon is a calculation program mainly for frame structures. In this field Sargon is a point of reference for those who have to design or check structures. Sargon does not wish to encroach on *general purpose* programs: it is a more specialized tool created specifically for frame structures and steel frame structures in particular. Within the sphere of traditional post processing (deformations, diagrams, envelopes), Sargon has more agile and powerful tools than general purpose programs, and is therefore preferred by those who need to study frame structures.

Sargon directly addresses primarily design engineers, engineering firms and constructors.

Sargon provides information on structural behavior,: displacement, diagrams, reactions, slendernesses, weights etc.

The graphic interface is a specific feature of this program and makes it simple to use

and extremely efficacious. There are no geometric limitations, no need for fixed wires or other reference grids.

Special attention has been paid to steel structures: there are six automatic checkers, for three different sets of norms: CNR 10011, AISC-ASD, EC3, AISC-LRFD, BS-5950, EC5.

For this reason Sargon is the best steel structure program in Italy. The Sargon verifiers have been used for a wide range of structures, from naval ones to those used in power plants, pylons and multi-storey buildings, civil and industrial structures, in Italy and abroad.

Sargon permits static, modal and response spectrum analyses. The section given over to this type of calculation is particularly innovative for the extreme friendliness in the presentation of the main data, which permits monitoring of the participating masses and periods.

Innovative work has been conducted for the response spectrum analysis and a state of balanced stress can now be obtained where normally balanced it is not.

The Sargon solvers are outstanding for their accuracy and speed, having been programmed with state-of-the-art aids: dynamic memory allocation, object programming, etc. The solution strategy is also optimized.

1.2 Structure of the program

STRUTTURA DEL PROGRAMMA

Sargon ha una struttura stellare: esiste un modulo centrale ed una serie di moduli affiancati, aventi lo scopo di svolgere certi compiti in particolare. Questi compiti svolti esternamente sono i seguenti:

- * scrittura dei file di input (moduli SINCLEV.EXE, SINLEDA.EXE, SINSSAP.EXE, SINSAP80.EXE, SINSAP90.EXE, SINUNUV.EXE, WINSTRUDL.EXE);
- * lettura dei file di output dei solutori e creazione dei database con sforzi e deformazioni (SDBSSAP.EXE, SDBSAP80.EXE, SDBSAP90.EXE, SDBUNIV.EXE, WDBSTRUDL.EXE, SDBSAP2K.EXE);

- * analisi statiche (WCLEVER.EXE);
- * analisi modali (WLEDA.EXE);
- * analisi a spettro di risposta (WSPECTRM.EXE);
- * analisi di buckling (WBUCKL.EXE);
- * analisi statiche nonlineari per nonlinearietà geometrica (SOCLEVER.EXE)
- * analisi di risposta in frequenza (FREQUENCY.EXE)
- * analisi statiche nonlineari per nonlinearietà di materiale e geometrica (CURAN.EXE)
- * stampa del tabulato (WPRINT.EXE);
- * verifiche con le norme CNR 10011 TA(WCNR.EXE, WPRINTC.EXE);
- * verifiche con le norme CNR 10011 SL(WCNRSLU.EXE, WPRINTCSLU.EXE);
- * verifiche con le norme CNR 10011-10022 TA(WCNR1122.EXE, WPRINTC.EXE);
- * verifiche con le norme AISC (WAISC.EXE, WPRINTA.EXE);
- * verifiche con le norme EC3 (WEURO.EXE, WPRINTE.EXE).
- * verifiche con le norme BS (BS.DLL, WPRINTB.EXE)
- * verifiche con le norme AISC-LRFD (BS.DLL, WPRINTA2.EXE)
- * manutenzione degli archivi di sezioni e materiali (SAMBA.EXE)
- * verifica bontà della soluzione (CHECKSOLVERS.EXE)

Con tutti questi moduli dialoga il modulo principale, WSARGON.EXE.

I moduli relativi al solving sono opzionali (eseguire le analisi statiche con ben quattro solutori diversi oltre a quelli interni), così come sono opzionali i moduli relativi alle verifiche.

La possibilità di usare quattro solutori diversi, di importare mesh fatte con tre formati diversi, di eseguire le verifiche secondo tre normative diverse, rende Sargon un programma aperto, capace di dialogare con altri programmi.

In futuro questa caratteristica sarà mantenuta ed ampliata.

1.3 Typical work flow

TYPICAL WORKING PATH

How do we work with Sargon? What must we do? The following steps are needed:

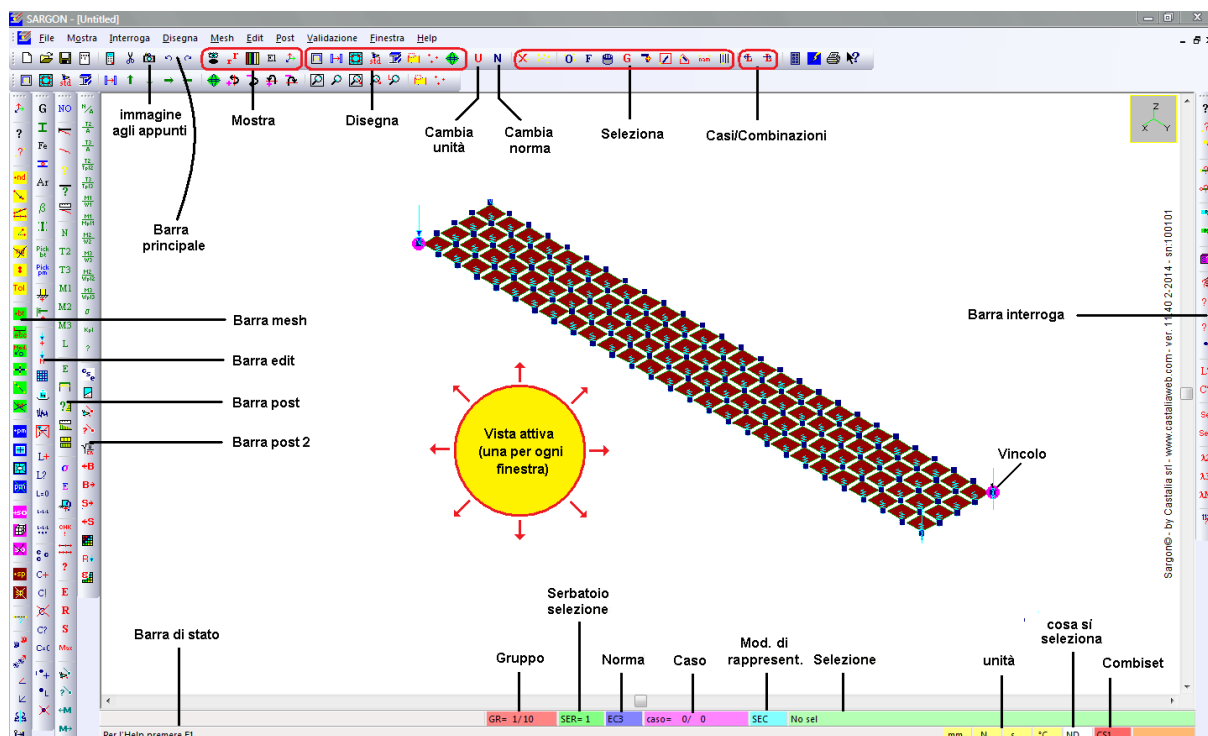
- 1 - [Create the mesh of the structure](#)^[37]
- 2 - [Assign constraints and end-releases](#)^[127]
- 3 - [Assign materials and properties](#)^[140]
- 4 - [Add the load cases and the pertinent actions](#)^[129]
- 5 - [Add the combinations](#)^[129]
- 6 - [Execute solving](#)^[146]
- 7 - [Post process results looking at the deformed, the internal forces diagrams, the Von Mises stress map, the constraint reactions, and so on](#)^[232]
- 8 - [Execute the checks \(beam & truss\) and carefully look at results](#)^[224]
- 9 - [Output results, images, report and listings](#)^[232]

If a seismic analysis is to be done you will:

- 10 - [Add the masses](#)^[129]
- 11 - [Set and execute a modal analysis](#)^[148]
- 12 - [Set and execute a response spectrum analysis](#)^[155]

1.4 Graphic interface

L'INTERFACCIA GRAFICA



L'interfaccia grafica di Sargon è parecchio evoluta, ed una sua dettagliata descrizione complessa.

L'ambiente di lavoro prevede una cornice principale che contiene: una o più viste di modelli, un menù di comandi, una barra di stato, varie barre di comandi.

Ogni vista di un modello contiene, a sua volta, una barra di stato e due barre di scorrimento, oltre alla barra con il titolo.

E' possibile aprire tante viste quante si desidera. Il command eseguito farà riferimento, se necessario, alla active view al momento della sua esecuzione.

Moltissime caratteristiche di Sargon per Windows sono comuni a tutti i programmi per Windows (il funzionamento delle finestre, delle barre di scorrimento, delle finestre di dialog eccetera eccetera).

Altre sono proprie di Sargon. In Sargon, per esempio, il tasto destro del mouse ha la funzione di interrompere un command, ed è pertanto assimilabile al tasto ESC. Il tasto sinistro è assimilabile al tasto "INVIO" della tastiera.

Nella barra di stato della finestra principale sono indicate le unità di misura attive in quel momento. Vengono altresì riportati suggerimenti sul significato e l'uso dei comandi.

Le barre dei comandi possono essere visibili oppure nascoste.

La barra posta sotto il menù è orizzontale e contiene i comandi principali.

Le altre barre sono:

- la barra “disegna”
- la barra “mesh”
- la barra “interroga”
- la barra “edit”
- la barra “post”

ognuna delle quali raggruppa comandi presi dal corrispondente menù.

La barra di stato della vista contiene informazioni relative al modo con il quale si sta vedendo la struttura, al caso di carico o alla combinazione attiva, alla norma attiva, al serbatoio di selezione attivo ed al numero di gruppo attivo. Il numero di gruppo attivo indica il numero di gruppo che gli oggetti aggiunti avranno. Tutti questi dati (e altri ancora, come la direzione di vista, lo zoom, ecc.) possono essere diversi da vista a vista, ed è quindi possibile vedere due o più modelli contemporaneamente o, dello stesso modello, più cose contemporaneamente.

Ogni vista rappresenta in modo convenzionale il modello. Gli elementi monodimensionali ed i superelementi vengono mostrati come segmenti congiungenti i nodi. Gli elementi bidimensionali con una poligonale riempita opportunamente. Le molle sono rappresentate da una linea seghettata. I nodi si vedono solo se sono selezionati. In tal caso si vede un quadratino giallo (o del colore scelto dall'utente).

Le aste selezionate si vedono di colore blu (o del colore scelto dall'utente).

Le azioni sono rappresentate con delle frecce colorate in modo dipendente dal tipo di carico. I carichi termici con dei circoletti colorati.

I vincoli con un cerchio colorato, contenente sei pixel accesi o spenti. Lo stesso gli svincoli.

Tutti i colori sono lasciati alla decisione dell'utente, che può in questo modo personalizzare il programma, facendolo funzionare secondo i propri gusti.

Parecchi comandi fanno vedere un cerchio colorato in rosso che si muove col movimento del mouse. Talvolta questo circoletto compare due volte anzichè una, a causa della comparsa di dialoghi o per la particolare sequenza di comandi dati: è sufficiente rinfrescare lo schermo per tornare a vedere un solo pallino (command [Ridisegna](#)^[442]).

A partire dalla versione 9.90 è possibile personalizzare l'aspetto della interfaccia in vari modi, ed è anche possibile creare nuove barre di bottoni. I comandi relativi a queste

personalizzazioni si trovano nel menu View. Dalla versione 11.20 è possibile attivare o disattivare il [priming](#)^[292] nell'interfaccia del Programma.

1.5 Commands working modes

COMMAND WORKING MODE

[Modal and modeless commands](#)^[32]

[Input a box](#)^[33]

[Input a polyline](#)^[34]

1.5.1 Modal and modeless commands

COMANDI MODALI E NON MODALI

In Sargon i comandi si dividono in due grandi categorie: i comandi modali ed i comandi modelessi.

I comandi modali sono comandi nel corso dei quali non possono essere eseguiti altri comandi. I comandi modelessi possono invece essere temporaneamente abbandonati. Alla prima categoria appartengono i comandi che non necessitano di dati di input (ad esempio [Pulisci](#)^[464]), oppure comandi che sfociano in una finestra di dialog di tipo modal (che si conclude cioè con “Ok” o “Cancel” e che non consente all'utente di andarsene senza chiudere il dialog).

Alla seconda categoria appartengono comandi che attendono la decisione dell'utente (tutte le interrogazioni, le selezioni, ecc.). Una importante decisione riguarda la fine del command stesso. Alcuni comandi si aspettano certe informazioni e terminano quando le ricevono (ad esempio in [Copia](#)^[522] il command aspetta che l'utente scelga due nodi), altri terminano solo quando l'utente decide di smettere (tutte le interrogazioni sui nodi, le travi, bielle, ecc).

I comandi modelessi durano il tempo che l'utente vuole. Se un command modeless attende di sapere dall'utente quali sono i nodi che determinano un vettore, finchè non riceve tutti

e due i nodi esso rimarrà attivo.

Un command modeless può sempre essere abortito cliccando il tasto destro del mouse o il tasto ESC.

In generale, nel corso dell'esecuzione di un command modeless è possibile eseguire un altro command, anche modeless, al termine del quale ci si ritroverà dove si era prima di lasciare il command.

I comandi modelessi possono essere accatastati tra loro e con comandi modali.

Per sapere qual'è il command attivo in un certo istante è possibile guardare la barra di stato: se si è in un command modeless essa ricorda quale command si sta eseguendo.

L'utente deve usare con accortezza questa possibilità, evitando di eseguire comandi contraddittori (se ad esempio sono nel mezzo di un command [Inquire-Travi](#)^[417], non devo cancellarle tutte!).

Nel caso di un command modeless è possibile usare sia il mouse che la tastiera. Il movimento del mouse è emulato dalle freccette, il tasto sinistro dal tasto "INVIO", il tasto destro dal tasto "ESC".

1.5.2 Input a box

INPUT A BOX

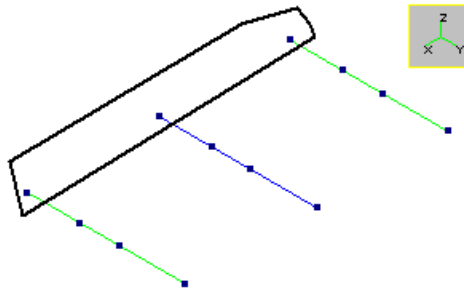
It is often needed to input a box, when using modeless commands. Using the mouse, the box is defined by clicking twice with left button. The first click defines a corner, and the second click sets the box displayed onto screen. Clicking the right button of the mouse between first and second click aborts the command.

By using keyboard, you must press twice "enter". A first time to set the first point. A second time to set the box. The arrows (right, left, up, down) can be used to change box dimensions. ESC key is used to abort.

You can also use the two methods at the same time, i.e. for instance choose the first point with a mouse click and the second with an "enter" key.

1.5.3 Input a closed polyline

INPUT A CLOSED POLYLINE



It is often needed to input a closed polyline, during modeless commands. By using the mouse the polyline is input clicking n times with the left mouse button, and, to close the polyline, by double clicking, also with left mouse button.

Each click is mapped to a polyline vertex. If the right mouse button is clicked, this implies the end of the command (cancel, or abort the polyline input).

If the keyboard is used, then it must be pressed n times the "Enter" key. Each enter key pressure is a point of the polyline. The polyline is closed by pressing the space bar. The arrows (up, down, right, left) are used to move the cursor.

The "ESC" key aborts the command. It is also possible to use the two methods in the same command instance, and for example to choose the first point with a mouse click, while the second by ENTER key.

Part



2 How to...


2.1 Get Help

COME AVERE AIUTO

In Sargon l'aiuto è disponibile con il command [Indice](#)^[816] del menù Help. Tuttavia sono disponibili varie altre forme di aiuto:

1) Tooltip: muovendo il mouse in prossimità di un button di una qualsiasi delle barre degli strumenti compare una finestrella che dice qual'è quel command.

2) Barra di stato: andando su un command (sia del menù che delle barre) compare una spiegazione per esteso nella barra di stato della finestra principale.

3) Aiuto sensibile al contesto: (a) premendo il tasto F1 quando è aperto un dialog si hanno informazioni sul contenuto ed il significato di quel dialog (tale tipo di aiuto è raccomandato per avere informazioni di dettaglio); (b) selezionando un command di menù e premendo F1 si hanno informazioni su quel command; (c) cliccando su  eppoi su un button o un command del menù si hanno informazioni su quel command.

4) Comandi modelessi: nel corso della esecuzione di un command modeless ([Comandi modali e modelessi](#)^[32]) nella barra di stato della active view del command compare una scritta che ricorda quale command sia attivo. Se il command viene abbandonato eppoi ripreso, al primo movimento del mouse il command ricompare.

2.2 Exit from Sargon

HOW EXIT FROM SARGON

To exit from Sargon, you must execute the command Exit from menu file. You can also close the main program window. If the open models have been modified, you will be asked whether to save them or not.

2.3 Create a mesh

COME CREARE LA MESH

[Cosa è una mesh](#)^[37]

[I mattoni fondamentali](#)^[39]

[Creazione o modifica della mesh in Sargon](#)^[47]

[Importazione della mesh o del modello fatto altrove](#)^[49]

[Export dei dati sezionali \(Esportare .arf\)](#)^[109]

[Collegamento bidirezionale con Strucad](#)^[109]

[Uso dei comandi di riempimento automatico](#)^[111]

2.3.1 What is a mesh

COSA È UNA MESH

Una mesh non è un disegno. Chiamiamo mesh l'insieme di tutti i nodi e di tutti gli elementi di un modello agli elementi finiti, con le loro connessioni ed i loro vincoli. Nell'ambito di questa guida il concetto di *mesh* non include i vincoli, che verranno trattati a parte ([Gestire vincoli e svincoli](#)^[127]).

Un node è un punto dello spazio dotato di sei distinte possibilità di movimento. Ad ogni node viene associato un numero che lo individua e lo contraddistingue.

Un elemento è un entità matematica definita da un tipo, da una tabella delle incidenze, da una tabella delle proprietà. In generale un elemento connette uno o più nodi tra di loro o con

il sistema di riferimento. Ad ogni tipo di elemento corrisponde un certo numero di nodi (ordinati tra loro in sequenza), una formulazione matematica, ed un insieme di parametri.

L'elemento finito simula in modo semplificato il comportamento di una parte della struttura reale. **Una mesh è pertanto una astrazione, un modello, che non ha per obiettivo quello di simulare l'aspetto esteriore di una struttura, bensì quello di simulare la risposta della struttura alla applicazione di certe azioni, nell'ambito di una certa teoria.** Poichè il metodo degli elementi finiti è ad oggi l'unico modo efficiente di fare calcoli su strutture generiche, occorre tenere presente che nella modellazione agli elementi finiti ciò che conta sono i risultati numerici, non l'aspetto della mesh o il suo assomigliare alla struttura reale. Pertanto è del tutto lecito aggiungere elementi monodimensionali là dove nella struttura v'è un blocco solido o un complicato marchingegno, se, ai fini della risposta del sistema allo studio, il marchingegno può essere assimilato ad un elemento monodimensionale. Viceversa, tentare di modellare il marchingegno con elementi solidi (brick) può essere il segno di una mancata comprensione del metodo, o di uno stato paranoide. Dipende.

A meno che non siano voluti (ad esempio per modellare giunti di costruzione) è generalmente bene evitare che vi siano più nodi nella stessa posizione geometrica (nodi doppi). Anche la presenza di elementi sovrapposti (elementi doppi) è in generale da evitare, benchè vi siano, anche in questo caso, circostanze in cui è necessario usarli.

Un altro caso tipico di problema in una mesh è la presenza di sconnessioni, ovvero la situazione per la quale due elementi che dovrebbero essere connessi non lo sono. Le sconnessioni possono essere dovute alla presenza di nodi doppi, oppure ad una errata disposizione degli elementi. Possono anche essere dovuti al collegamento di due elementi di tipo diverso.

Una mesh che non presenti labilità, in un certo senso, è sempre corretta e sempre scorretta.

Si può dire che è sempre corretta perchè un solutore è in grado di arrivare alla fine dei conti e di presentare dei risultati, corretti nel senso di coerenti con i dati introdotti. Non è detto però che tali risultati simulino il comportamento della struttura. Può capitare che la struttura sia

tutt'altro.

Si può dire che è sempre scorretta perchè anche se ben fatta tende a risultati giusti solo nell'ambito di una teoria in particolare (elasticità, plasticità, ecc.), mai a risultati eguali alla realtà. Eppoi, anche se la teoria fosse la realtà, la teoria è simulata in modo numerico: una mesh deve essere sufficientemente raffinata per dare risultati attendibili, tende asintoticamente alla teoria.

All'interno di Sargon vengono trattati problemi di elasticità lineare in piccoli spostamenti.

2.3.2 The basic entities: nodes and elements

THE FUNDAMENTAL ENTITIES

[Node](#)^[39]

[Beam](#)^[40]

[Truss](#)^[42]

[Plate](#)^[43]

[Membrane](#)^[44]

[Spring](#)^[45]

[Superelement](#)^[46]

[Solid](#)^[46]

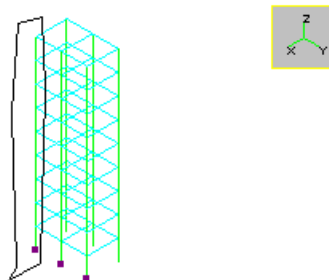
2.3.2.1 Node

NODO

Per **node** si intende un punto dello spazio a cui vengono attribuite sei componenti di vincolo ed un numero progressivo atto a individuare il node stesso ed a distinguerlo da tutti gli altri nodi. Le sei componenti di vincolo si riferiscono alle tre traslazioni ed alle tre rotazioni secondo gli assi del sistema di riferimento globale.

In Sargon esistono sempre almeno sei nodi (Nodi predefiniti) che sono completamente vincolati ed hanno la funzione di orientare le terne locali degli elementi beam ([Trave](#)^[40]) e truss ([Biella](#)^[42]).

In Sargon i nodi non si vedono a meno che non siano selezionati. È possibile mostrare il numero associato a ciascun node (numerazione nodale: [Oggetti](#)^[403]).



I tre nodi alla base si vedono perchè selezionati

2.3.2.2 Beam

TRAVE

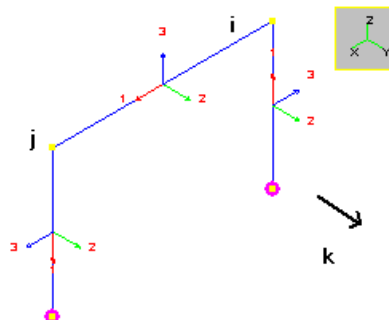
Per **beam** si intende un elemento monodimensionale atto a sposare la teoria della beam di Eulero Bernoulli. L'elemento usa funzioni di forma cubiche per lo spostamento trasversale e lineari per quello assiale. Può ricevere carichi distribuiti di vario genere, e può essere svincolato agli estremi. Si possono anche definire nodi semirigidi. Un elemento beam ha in generale sia la rigidezza assiale che quella flessionale e torsionale.

L'elemento è definito dandone i nodi, il materiale, la sezione, e gli eventuali svincoli e nodi semirigidi.

Terna locale

L'elemento ha tre nodi: il node **I**, il node **J** ed il node **K**. I suoi estremi I e J coincidono con i

nodi solo se non ci sono eccentricità.



I nodi i j e k del beamrso, la sua terna locale e quella delle colonne.

Il node k è posto all'infinito in direzione Y (node predefinito numero 1)

L'asse della beam va dall'estremo I (che è il primo node se non ci sono eccentricità) all'estremo J (che è il secondo node se non ci sono eccentricità). L'asse della beam è anche l'asse 1 del sistema di riferimento locale. Il node K (che è il terzo node) definisce un piano con gli estremi I e J: infatti gli estremi I, J, e il node K non devono mai essere allineati. L'asse 2 della terna locale giace in questo piano, va verso il node K ed è perpendicolare all'asse 1. Infine, l'asse 3 della terna locale è perpendicolare ai primi due e forma, con essi, una terna destra.

La terna locale è importante poichè è rispetto ad essa che vengono forniti i valori della sollecitazione. Il momento M2, ad esempio, è il momento che ha un vettore parallelo all'asse 2 (ed inflette la beam nel piano 1-3). Il momento M1 è il momento torcente. Il taglio T3 è il taglio che ha il vettore parallelo all'asse 3.

Per orientare la terna locale è possibile fornire il numero del terzo node, che per definizione determina il piano 1-2, o specificare un vettore e quale sia il piano locale da esso individuato con l'asse 1: il piano 1-3 o il piano 1-2. Infatti due nodi non bastano ad orientare la terna. Generalmente si usa il terzo node con i Nodi predefiniti, senza la necessità di aggiungere altri nodi.

Nella attribuzione dei profili l'asse indicato sul disegno della sezione coincide con l'asse 2 della terna locale. Per le sezioni ad I l'asse 2 è l'asse perpendicolare all'anima. Lo stesso per quelle a C ed a T. L'asse 2 è sempre uno degli assi principali della sezione.

2.3.2.3 Truss

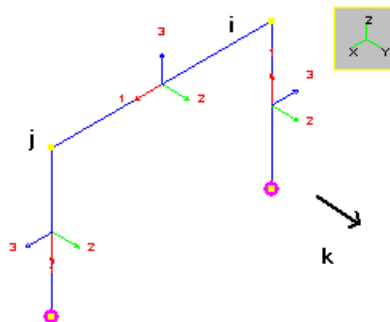
BIELLA

Per **truss** si intende un elemento monodimensionale dotato solo di rigidezza assiale. L'elemento usa funzioni di forma lineari per lo spostamento assiale. Non può ricevere carichi distribuiti, e non può essere svincolato agli estremi essendo svincolato per definizione.

L'elemento è definito dandone i nodi, la sezione ed il materiale.

Terna locale

L'elemento ha tre nodi: il node **I**, il node **J** ed il node **K**.



I nodi i j e k del beamrso, la sua terna locale e quella delle colonne.

Il node k è posto all'infinito in direzione Y (node predefinito numero 1)

L'asse della truss va dal node I (che è il primo node) al node J (che è il secondo node). L'asse della truss è anche l'asse 1 del sistema di riferimento locale. Il node K (che è il terzo node) definisce un piano con i nodi I e J: infatti i nodi I, J, K non devono mai essere allineati. L'asse 2 della terna locale giace in questo piano, va verso il node K ed è perpendicolare all'asse 1. Infine, l'asse 3 della terna locale è perpendicolare ai primi due e forma, con essi, una terna destra.

L'orientazione della terna locale, per le bielle non serve per il calcolo, ma solo per compatibilità con i programmi che fanno il disegno della carpenteria.

Per orientare la terna locale è necessario fornire il numero del terzo node. Infatti due

nodi non bastano ad orientare la terna. Generalmente si usano i Nodi predefiniti , senza la necessità di aggiungere altri nodi.

2.3.2.4 Plate

PIASTRA

Per **piastra** si intende un elemento bidimensionale dotato di rigidezza membranale e flessionale.

SARGON gestisce piastre a tre o a quattro nodi. La matrice di rigidezza è decisa e calcolata dal solutore che viene impiegato: possono quindi attendersi risultati diversi usando solutori diversi, e tanto più quanto più è rada la mesh.

All'interno di SARGON un elemento bidimensionale è definito dandone i tre o quattro nodi di incidenza, il materiale, gli spessori.

L'attribuzione del materiale segue esattamente la procedura prevista per gli elementi monodimensionali.

L'attribuzione dello spessore è l'equivalente dell'attribuzione della sezione per gli elementi monodimensionali. A tal riguardo va chiarito che SARGON gestisce al più due parametri: lo spessore membranale e il momento di inerzia flessionale per unità di lunghezza.

Per gli elementi piastra lo spessore membranale è usato per modellare il comportamento membranale, il momento di inerzia per modellare il comportamento flessionale.

Per gli elementi piastra, mentre la parte membranale è modellata tramite i corrispettivi modelli membranali, la parte flessionale è modellata con elementi DKT [**A study of three-node triangular plate-bending elements**, J.L. Batoz, K.J. Bathe, L.W. Ho, *Int. Jou. Num. Math. Eng.* 15, 1771-1812 (1980)] per gli elementi a tre nodi, e con quattro elementi DKT sovrapposti per gli elementi a quattro nodi.

A partire dalla versione 7.0 Sargon dispone anche dell'elemento finito di piastra spessa. Tale elemento (a tre o a quattro nodi) è stato implementato secondo la formulazione di Hughes ("Finite Elements Based Upon Mindlin Plate Theory with Particular Reference to the

Four-Node Bilinear Isoparametric Element”, T.J.R. Hughes, T.E. Tezduyar, *Journal of Applied Mechanics*, September 1981). Se non viene specificato alcunchè gli elementi di tipo piastra seguono la formulazione delle piastre sottili. Se si vuole che l’elemento di piastra sia del tipo “piastra spessa” occorre eseguire il command [Mesh-PM-Type](#)^[501], che assegna il tipo scelto alle piastre selezionate.

A differenza dell’elemento di piastra sottile, l’elemento di piastra spessa consente il calcolo diretto dei tagli q sull’elemento, e quindi delle tensioni tangenziali sul piano medio (le tensioni agli estremi dello spessore sono nulle, l’andamento nello spessore è parabolico ed il valore massimo è pari ad 1,5 volte il valore medio).

2.3.2.5 Membrane

MEMBRANA

Per **membrana** si intende un elemento bidimensionale dotato soltanto di rigidità membranale.

SARGON gestisce membrane a tre o a quattro nodi. La matrice di rigidità di ciascun elemento è decisa e calcolata dal solutore che viene impiegato: possono quindi attendersi risultati diversi usando solutori diversi, e tanto più quanto più è rada la mesh.

All'interno di SARGON un elemento bidimensionale è definito dandone i tre o quattro nodi di incidenza, il materiale, gli spessori.

L'attribuzione dello spessore è l'equivalente dell'attribuzione della sezione per gli elementi monodimensionali. A tal riguardo va chiarito che SARGON gestisce al più due parametri: lo spessore membranale e il momento di inerzia flessionale per unità di lunghezza. Per gli elementi membrana è usato il solo spessore membranale.

La matrice di rigidità che SARGON CLEVER, LEDA e SOCLEVER costruiscono per elementi membrana triangolari è quella degli elementi CST (costant strain triangle: spostamenti lineari). Per gli elementi membrana a quattro nodi la matrice è quella degli elementi isoparametrici lineari (spostamenti bilineari).

A partire dalla versione 6.50 Sargon dispone anche di due nuovi elementi finiti a 4 nodi atti a modellare il comportamento membranale (anche nell’ambito dell’elemento plate-shell).

Questi elementi finiti si comportano meglio dell'elemento bilineare in condizioni di flessione, in quanto non comportano un *locking* troppo accentuato. Essi sono usati a richiesta (vedi il [dialog](#)^[348] opportuno) da tutti i solutori interni di Sargon.

Il primo dei due elementi finiti è ottenuto dal normale elemento bilineare mediante una integrazione selettiva: la parte flessionale della matrice di rigidezza è integrata con 2x2 punti di Gauss, la parte connessa all'energia di deformazione tagliante è invece integrata con un solo punto di Gauss (1x1). L'elemento perde le caratteristiche di convergenza monotona del bilineare, ma si comporta meglio e non presenta modi di deformazione spuri.

Il secondo dei due elementi finiti (Wilson-Ibrahimbegovic, 1990) è un elemento non compatibile modificato in modo da passare il patch test. Ancorchè non compatibile questo elemento presenta un eccellente comportamento già con mesh abbastanza (non troppo) rade. In pratica all'elemento bilineare vengono aggiunti 4 (*nodeless*, privi di nodi) nuovi parametri che poi vengono condensati in modo da riportare l'ordine della matrice ad 8. La correzione della matrice **B** deformazioni-spostamenti consente di passare il patch test anche in presenza di elementi distorti.

La presenza di diversi tipi di elementi finiti, aventi differenti caratteristiche, consente di eseguire esperimenti numerici atti a meglio determinare lo stato di sforzo e deformazione grazie alla possibilità di cross check tra varie formulazioni.

2.3.2.6 Spring

SPRING

The **spring** element can be of two types: translational and rotational. The translational spring element exerts a translational stiffness comparable to that of a truss. The rotational spring element attaches to a node a rotational stiffness. The stiffness is related to rotations defined by the vector of the spring direction.

To define a spring in Sargon, a vector must be input, a stiffness, and a connectivity node.

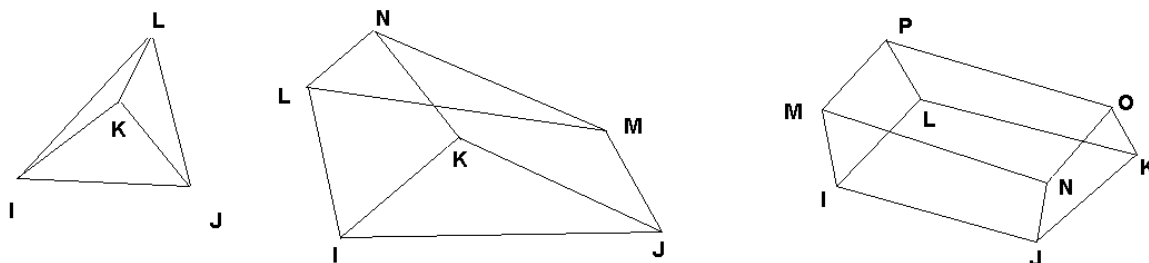
2.3.2.7 Superelement

SUPERELEMENT

A superelement is not a true finite element, but a set of aligned elements of type beam. The need of adding superelements is related to the need of executing stability checks of members which are modelled via more than one finite element. Think about an inter storey column modelled via 4 finite elements: the stability checks of the single element is meaningless. The superelement made up by the four finite elements, must be checked instead.

2.3.2.8 Solid

SOLIDO



Per **solido** si intende un elemento tridimensionale.

SARGON gestisce solidi a quattro sei o a otto nodi (tetraedri, pentaedri, esaedri). La matrice di rigidezza di ciascun elemento è decisa e calcolata dal solutore che viene impiegato: possono quindi attendersi risultati diversi usando solutori diversi, e tanto più quanto più è rada la mesh.

All'interno di SARGON un elemento solido è definito dandone i nodi di incidenza e il materiale.

La matrice di rigidezza che SARGON CLEVER, LEDA e SOCLEVER costruiscono per elementi solidi tetraedrici è quella degli elementi a deformazione costante (spostamenti lineari): $u=a+bx+cy+dz$.

Per gli elementi solidi a sei nodi (pentaedri) la formulazione è quella che usa polinomi interpolanti incompleti del tipo $u=a+bx+cy+dz+exz+fyz$. L'asse z è l'asse secondo il quale trasla il triangolo per definire il prisma nel sistema di coordinate mappate adimensionali. Tale elemento non è isotropo (manca il termine xy) e quindi tende ad avere un comportamento abbastanza scarso.

Per gli elementi solidi a otto nodi la matrice è quella degli elementi isoparametrici lineari (spostamenti trilineari: $u=a+bx+cy+dz+exy+fxz+gyz+hxyz$). L'integrazione di questi elementi (come degli altri) è completa: $2 \times 2 \times 2$ punti di Gauss vengono impiegati dai solutori per calcolare la matrice di rigidezza di questi elementi.

A partire dalla versione 8.1 sono stati aggiunti anche gli elementi a 8 nodi con correzione di Wilson Ibrahimbegovic (analoghi ai corrispondenti elementi piani) e gli elementi a 8 nodi con integrazione selettiva, vale a dire $2 \times 2 \times 2$ punti di Gauss sulla parte flessionale e $1 \times 1 \times 1$ punto di Gauss per la parte tagliante della matrice di rigidezza.

2.3.3 Create or modify the mesh in Sargon

CREAZIONE O MODIFICA DELLA MESH IN SARGON

Sargon dà un ampio insieme di comandi atti a generare o modificare una mesh. Tutti i comandi dedicati a questo scopo si trovano in corrispondenza del menu Mesh.

I comandi di meshing di Sargon sono stati pensati per funzionare non solo come semplici aggiunte o cancellazioni, ma anche per eseguire in modo automatico una serie di controlli atti a fare correttamente la mesh. I controlli riguardano la presenza di [Elementi doppi](#) ^[514] e di [Nodi doppi](#) ^[515]. Inoltre per default Sargon riallinea gli elementi in modo che siano tutti equiversi, cosa che rende poi più semplice la gestione della mesh.

La creazione della mesh viene fatta generalmente aggiungendo un certo numero di elementi tramite i comandi di aggiunta. Qui per mesh intendiamo l'insieme dei nodi e degli elementi con le loro connessioni. L'aggiunta di un elemento comporta l'aggiunta automatica dei nodi che lo definiscono. Non è pertanto necessario aggiungere dapprima i nodi eppoi connetterli. Sargon consente di aggiungere nodi singoli ([Aggiungi](#) ^[457]), ma non è necessario aggiungerli preventivamente rispetto agli elementi.

I **nodi** possono essere aggiunti ([Aggiungi](#)^[457]), traslati ([Trasla](#)^[458]), ruotati ([Ruota](#)^[462]) o riposizionati ([Riposiziona](#)^[463]). File di nodi allineati possono essere riallineate diversamente ([Trasla_2](#)^[459]). I nodi non referenziati, cioè non attaccati ad elementi, possono essere -e in generale devono essere- eliminati ([Elimina](#)^[464]).

I **nodi doppi** costituiscono un problema, generalmente, capace di invalidare una mesh e le analisi fatte su di essa. Per node doppio si intende un node che disti da un altro node meno di una determinata **tolleranza**. La tolleranza viene stabilita dall'utente ([Tolleranza](#)^[464]), e perciò può essere cambiata in ogni istante. Sargon consente di controllare automaticamente se nella mesh sono presenti nodi doppi ([View doppi](#)^[464]).

Sargon gestisce i seguenti **elementi finiti**: beam ([Trave](#)^[40]), truss ([Biella](#)^[42]), piastra ([Piastra](#)^[43]), membrana ([Membrana](#)^[44]), molla ([Molla](#)^[45]).

Le **travi e le bielle** possono essere aggiunte secondo due modalità diverse senza prima dover aggiungere i nodi ([Aggiungi](#)^[466]), divise in parti eguali ([Dividi](#)^[469]), oppure spezzate in due parti diseguali ([Splitta](#)^[470]). Il loro terzo node può essere ridefinito ([Terzo Nodo](#)^[473]) in qualsiasi momento. Le travi e le bielle selezionate possono essere eliminate ([Cancella](#)^[469]). Le travi possono avere svincoli ed eventualmente nodi semirigidi ([Svincoli sulle travi](#)^[680]). Se si vogliono cercare le intersezioni tra elementi monodimensionali, ridefinendo contestualmente le incidenze, è possibile usare il command [Cerca Intersezioni](#)^[516].

Le **piastre e le membrane** possono essere aggiunte ([Aggiungi](#)^[488]) secondo tre modalità diverse, suddivise in modo da dividere i lati in parti eguali ([Dividi](#)^[495]), oppure possono essere spezzate in due ([Splitta](#)^[496]). Le piastre e le membrane selezionate possono essere cancellate ([Cancella](#)^[495]). Se è necessario ruotare la terna locale ([Piastra](#)^[43]) delle piastre o delle membrane è possibile usare un command atto a questo scopo ([Ruota](#)^[497]).

Gli elementi piastra e membrana a quattro nodi devono essere piani. Per controllare se nel modello sono presenti elementi non planari si usa il command [Planarità](#)^[498]. In caso affermativo gli elementi vengono selezionati: è poi possibile dividerli in due triangoli con il

command [Splitta](#)^[496]. Per riallineare le normali degli elementi selezionati si può usare il command [Normale](#)^[500].

A partire dalla versione 7.30 gli elementi bidimensionali possono essere aggiunti mediante riempimento di superfici piane ([Mesh piana](#)^[492]).

Le **molle** possono essere aggiunte ai nodi selezionati ([Aggiungi](#)^[502]) o cancellate ([Cancella](#)^[504]). Un modo particolare di aggiungerle ([Winkler](#)^[504]) è quello di definire un dominio ed una rigidezza per unità di dominio, in modo da poter facilmente modellare il ritegno offerto da suoli alla **Winkler**. Se il dominio è una linea (travi rovesce) la rigidezza da fornire sarà per unità di lunghezza. Se il dominio è una superficie (platee di fondazione) la rigidezza da fornire sarà per unità di superficie.

Tutti gli elementi possono essere selezionati e copiati. Ci sono tre modi per farlo: la copia propriamente detta ([Copia](#)^[522]), la rotazione ([Ruota](#)^[524]), la specchiatura ([Specchia](#)^[527]).

Gli elementi possono anche subire una **metamorfosi**. Per metamorfosi si intende il passaggio, a parità di nodi, da un tipo di elemento ad un altro tipo di elemento. Le travi possono essere trasformate in bielle, le bielle in travi. Le piastre in membrane, le membrane in piastre. Il command è [Metamorfosi](#)^[529].

La composizione di tutti questi comandi, unita alla possibilità di importare mesh preparate in ambienti più specificamente dedicati al disegno, rendono facile la creazione e la gestione di qualunque modello.

2.3.4 Import a Mesh or a Model prepared outside Sargon

IMPORTAZIONE DELLA MESH FATTA ALTROVE

Per importare una mesh fatta altrove è innanzi tutto necessario creare un nuovo modello (Nuovo). Dopodichè occorre eseguire il command [Importa](#)^[376], specificando il formato del file che si intende leggere. I formati possibili sono i seguenti.

Importare .srg ^[50]	Sargon DOS
Importare .dxf ^[50]	Autocad™
Importare .esd ^[52]	Algor SDIII™
Importare .anf ^[55]	Strucad™
Importare .sdb ^[56]	Sap 2000™
Importare geomX.dat ^[84]	STRAP™
Importare .std ^[66]	STAAD PRO™
Importare .mct ^[91]	MIDAS™
Importare .r3d ^[103]	RISA3D™

2.3.4.1 Import .srg

IMPORT .SRG

The compatibility with Sargon versions before 4.0, that is with Sargon for DOS operating system, is assured by the ability to automatically read the .srg format. Reading a file written in such format implies importing not only the mesh, but also load cases, loads, combinations, constraints, end releases, cross-sections, materials, and so on.

To import a model created by the previous Sargon versions you need to:

- 1) Open a new file (New).
- 2) Execute the command [Import](#)^[376] specifying the file that you wish to read

2.3.4.2 Import .dxf

IMPORTARE .DXF

Sargon dà la possibilità di importare mesh preparate in ambiente Autocad e salvate

sotto forma di file in formato .dxf (con primitive tridimensionali). La lettura di un file in tale formato comporta l'importazione della sola mesh.

Per importare una mesh in formato .dxf occorre:

- 1) Aprire un nuovo file (Nuovo).
- 2) Eseguire il command [Importa](#)^[376] specificando il file che si intende leggere

La lettura di un disegno richiede anche una decodifica, in quanto SARGON non gestisce le linee, ma solo gli elementi finiti. Alle linee occorre quindi far corrispondere degli elementi, secondo alcune regole che verranno tra breve chiarite. *Non è possibile decodificare linee in modo da trasformarle in elementi bidimensionali: tali elementi vanno sempre e comunque aggiunti all'interno di SARGON.*

COSTRUZIONE DELLA MESH IN FORMATO .DXF

Tutte le primitive grafiche "linea" contenute nel file .dxf vengono convertite in elementi beam. Una volta all'interno di Sargon è poi possibile convertire le travi in bielle con il command [Metamorfosi](#)^[529]. L'orientazione viene definita sulla base del numero di colore della linea; *se esso è maggiore di 6 deve esistere una primitiva "punto" con lo stesso numero di colore nel file .dxf*. Le coordinate di tale punto sono quelle del relativo terzo node.

Ad ogni layer differente corrisponde un numero differente di gruppo. Il file di Sargon conterrà tutti i layer del file .dxf sotto forma di gruppi, il nome dei quali sarà eguale al nome del layer corrispondente. Il numero di gruppi è sempre almeno pari a 10, pertanto se il numero di layer definiti nel file .dxf è inferiore a 10 vi saranno dei gruppi con nome eguale a quello di default.

In fase di impostazione del modello tramite CAD esterno (sia esso di tipo .esd o di tipo .dxf) è consigliato definire le unità in cui vengono espresse le dimensioni della struttura. È sufficiente inserire in un qualunque punto del disegno una stringa alfanumerica che indichi l'unità usata @mm, @cm, @m, @in, @ft, @yd. Se SARGON non individua nel disegno un'entità con tali caratteristiche, assume che l'unità di lunghezza sia quella corrente al momento del caricamento della struttura.

USO DEI NODI PREDEFINITI NEI FILE DXF

Si ricorda che il terzo node può essere definito anche dentro SARGON, mediante il command [Terzo Nodo](#)^[473]. Ciò detto vale quanto segue.

Ai numeri di colore da 1 a 6, sono associati i primi 6 nodi, quelli predefiniti (Nodi predefiniti). Tali terzi nodi sono invisibili a schermo e sempre vincolati. Essi corrispondono ai numeri di colore per i CAD .dxf.

Si ripete perciò che: **dare ad una beam un numero di colore pari a 3 al di fuori di SARGON, equivale a dare come terzo node a quella beam in node numero 3, all'interno di SARGON ([Terzo Nodo](#)^[473])**. Tale corrispondenza dei numeri di colore col numero del terzo node vale per tutti e i nodi da 1 a 6.

2.3.4.3 Import .esd

IMPORTARE .ESD

Sargon dà la possibilità di importare mesh preparate in ambiente Algor Superdraw III e salvate sotto forma di file in formato .esd. La lettura di un file in tale formato comporta l'importazione della sola mesh.

Per importare una mesh in formato .esd occorre:

- 1) Aprire un nuovo file (Nuovo).
- 2) Eseguire il command [Importa](#)^[376] specificando il file che si intende leggere

La lettura di un disegno richiede anche una decodifica, in quanto SARGON non gestisce le linee, ma solo gli elementi finiti. Alle linee occorre quindi far corrispondere degli elementi, secondo alcune regole che verranno tra breve chiarite. *Non è possibile decodificare linee in modo da trasformarle in elementi bidimensionali: tali elementi vanno sempre e comunque aggiunti all'interno di SARGON.*

COSTRUZIONE DELLA MESH IN FORMATO .ESD

Per facilitare il lavoro successivo, durante la creazione dell'unifilare della struttura è possibile differenziare alcune caratteristiche delle aste: in particolare è possibile suddividere le aste per sezione e materiale. Questa classificazione si ottiene attribuendo gli attributi rispettivamente di colore e di layer.

Nel momento in cui vengono assegnate le caratteristiche geometriche e meccaniche degli elementi la suddivisione non deve essere obbligatoriamente rispettata: costituisce infatti soltanto un comodo strumento per selezionare, o per suddividere gli elementi, secondo le loro caratteristiche.

Valgono le seguenti corrispondenze:

COLORE N (attribuito nel file .esd) SARGON associa il numero di SEZIONE N.

LAYER N (attribuito nel file .esd) SARGON lo usa per distinguere tra travi e bielle. Le bielle devono avere layer 1. Qualunque altro layer fa sì che la linea sia decodificata come beam.

GRUPPO N (attribuito nel .esd) SARGON associa il terzo node N alle travi aventi gruppo N.

Si ricorda che nei file .esd il layer è un numero, non una stringa alfanumerica.

Sulla base dell'attributo di GRUPPO definito nel file .esd è possibile assegnare implicitamente agli elementi il node K e quindi definire la terna di riferimento intrinseca.

BIELLE sono caratterizzate dal numero di layer = 1.

TRAVI sono caratterizzate dal numero di layer diverso da 1.

Se il terzo node di un elemento è allineato con l'asse X1, ciò rende impossibile definire una terna di riferimento locale. SARGON automaticamente associa all'asta un terzo node corrispondente al numero di gruppo precedente (se il numero originario è 1, viene interpretato

come 6).

Es: se un elemento è posizionato lungo la direzione dell'asse Z ed ha numero di gruppo 5, SARGON si comporta come se all'asta fosse assegnato il numero di gruppo 4.

Nel caso in cui si sia creato l'unifilare tramite SUPERDRAW III[©] e le 6 posizioni predefinite non risultino sufficienti a rendere ragione dell'orientazione di tutte le aste, è possibile associare agli elementi altri nodi. L'operazione viene eseguita semplicemente posizionando una primitiva grafica "punto" con le coordinate desiderate ed assegnandole un numero di gruppo, da 7 a 255, uguale a quello dell'asta o delle aste a cui essa è associata.

Automaticamente SARGON associa all'asta la terna definita dal node K considerato nella posizione stabilita.

In fase di impostazione del modello tramite CAD esterno (sia esso di tipo .esd o di tipo .dxf) è **consigliato definire le unità in cui vengono espresse le dimensioni della struttura**. È sufficiente inserire in un qualunque punto del disegno una stringa alfanumerica che indichi l'unità usata @mm, @cm, @m, @in, @ft, @yd. Se SARGON non individua nel disegno un'entità con tali caratteristiche, assume che l'unità di lunghezza sia quella corrente al momento del caricamento della struttura.

È **necessario** distinguere gli elementi in BIELLE e TRAVI; e assegnare ad ogni asta un terzo node in modo da definirne univocamente la terna di riferimento intrinseca. La terna può essere definita anche in SARGON: non è necessario occuparsi del problema in SUPERDRAW III[©]. Anche le bielle ricevono un terzo node, ma solo per compatibilità con i programmi che si occupano del disegno. L'orientazione della truss non viene usata nel calcolo per la definizione stessa di truss.

USO DEI NODI PREDEFINITI NEI FILE ESD

Si ricorda che il terzo node può essere definito anche dentro SARGON, mediante il command [Terzo Nodo](#)^[473]. Ciò detto vale quanto segue.

Ai numeri di gruppo da 1 a 6, sono associati i primi 6 nodi, quelli predefiniti (Nodi predefiniti). Tali terzi nodi sono invisibili a schermo e sempre vincolati. Essi corrispondono ai

numeri di gruppo per i CAD .dxf.

Si ripete perciò che: **dare ad una beam un numero di gruppo pari a 3 al di fuori di SARGON, equivale a dare come terzo node a quella beam in node numero 3, all'interno di SARGON ([Terzo Nodo](#)^[473])**. Tale corrispondenza dei numeri di gruppo col numero del terzo node vale per tutti e i nodi da 1 a 6.

2.3.4.4 Import .anf

IMPORTARE .ANF

Sargon dà la possibilità di importare mesh preparate in ambiente Acecad Strucad e salvate sotto forma di file in formato .anf. La lettura di un file in tale formato comporta l'importazione della mesh e delle forme sezionali.

Per importare una mesh in formato .anf occorre:

- 1) Aprire un nuovo file (Nuovo).
- 2) Eseguire il command [Importa](#)^[376] specificando il file che si intende leggere

Valgono le seguenti regole ed assunzioni:

- Gli elementi verranno interpretati come beam a meno che diversamente specificato nel blocco Element_User_Attribute_18 del file .anf. In quella sede il codice 0 indica truss, il codice 1 indica beam.
- Le eccentricità degli elementi interpretati come truss vengono scartate.
- Le informazioni sezionali vengono interpretate sulla base del file SHPCVT.TXT, contenuto nella directory di installazione di Sargon, che dà la corrispondenza tra i nomi in Strucad e quelli in Sargon. Una sezione non riconosciuta non viene interpretata e l'elemento non avrà attribuzione sezionale.
- I materiali non vengono interpretati, data la semplicità con cui è possibile assegnarli.

Particolare cura deve essere usata nella trattazione degli elementi accoppiati. Se Sargon trova più elementi sovrapposti, ne decodifica uno solo. Le eccentricità vengono scartate (dato il fatto che tali eccentricità si riferiscono nel .anf al singolo pezzo). L'elemento rimanente avrà la sezione che gli compete sulla base del file SHPCVT.TXT. Se si vuole che in Sargon l'elemento superstite abbia le caratteristiche degli elementi accoppiati, è sufficiente assegnare ai singoli pezzi che lo compongono una sezione che abbia un nome specializzato, a cui vien fatto corrispondere il nome della sezione composta in Sargon. Si abbiano ad esempio due angolari L100x10 accoppiati a T. Se in Strucad il nome sezionale è L100x100x10, allora l'elemento superstite in Sargon sarà un semplice angolare L 100 x 10, con una perdita di informazione. Se invece in Strucad il nome di ogni singolo pezzo è L100x100x10L2T, del tutto eguale al L100x100x10, e nel file SHPCVT.TXT al nome L100x100x10L2T corrisponde il nome Sargon L2T100x10, allora l'elemento superstite in Sargon avrà un profilo composto, senza alcuna perdita di informazione. Il file SHPCVT.TXT contiene già un buon numero di tali corrispondenze, per gli elementi più usati.

Nota bene: il command crea anche un file **modello.scd**, che è un file ASCII necessario a ricostruire la corrispondenza elemento <-> membratura, oltre a conservare le informazioni sui tipi e sulle sezioni. Tale file non va editato nè modificato.

2.3.4.5 Import .sdb

IMPORTARE .SDB (modelli Sap2000)

versioni da gennaio 2010

Sargon dà la possibilità di importare modelli preparati in Sap2000. Oltre ad importare il modello Sargon è anche in grado di importare, convertendoli, i risultati della analisi fatta in Sap2000. L'interfacciamento tra Sargon e CSE e Sap2000 è stato fatto con la collaborazione di CSI Italia.

Generalità

L'interfacciamento tra Sargon e CSE e Sap2000 può avvenire facendo leggere a Sargon o CSE un modello .SDB disponibile in una certa cartella.

Il modello Sap2000 ha estensione .SDB e ciò pone già un qualche problema poichè Sargon utilizza la stessa estensione per i file binari di output contenenti gli sforzi (Stress DataBase). Sarà dunque necessario ed opportuno evitare la sovrapposizione dei nomi tra il modello Sargon (.WSR e .SDB in output) ed il modello Sap2000 (.SDB). Al fine di evitare possibili sovrascritture di file importanti, quando Sargon importa un modello Sap 2000 denominato ad esempio "MODELLO.SDB", proporrà di salvarlo con il nome "MODELLO___.WSR", in modo che in seguito, in fase di solving, venga creato il file "MODELLO___.SDB" non quindi sovrapposto al file "MODELLO.SDB" originario. Analoga procedura avviene in CSE, quando viene direttamente letto e importato un file .SDB (Sap2000). In questo caso il modello CSE si chiamerà "MODELLO___.CSE" e quindi anche in questo caso la eventuale creazione dei file binari di output delle azioni interne (SDB) non creerà alcuna sovrapposizione.

L'importazione di un file SDB (Sap2000) da parte di Sargon o di CSE richiede che sul computer sia presente una installazione funzionante di Sap2000, con la relativa chiave di protezione. In effetti, l'importazione di un file di Sap2000 comporta l'esecuzione in background di Sap2000 stesso e il link tra la dll di Sargon/CSE "sarkern.dll" con il medesimo Sap2000.exe.

Appena eseguito il command, il programma Sargon o CSE chiede se si vuole eseguire il solving del modello usando Sap2000. La richiesta serve ad eseguire l'analisi in Sap2000, al fine di disporre, se necessario, dei risultati della analisi, così come calcolati da Sap 2000. Se si risponde di sì, Sap2000 eseguirà immediatamente dopo il solving e quindi i risultati saranno resi disponibili per le successive elaborazioni. Se si risponde di no si danno due casi. Se il solving non è mai stato eseguito allora i risultati di Sap2000 non saranno disponibili, e quindi non potranno essere importati. Se il solving è già stato eseguito in precedenza allora i risultati sono disponibili.

Dopo questa domanda la routine di conversione fa un'altra domanda: viene chiesto se si vogliono importare in Sargon (o in CSE) i risultati del solving di Sap2000. Se si risponde di no i risultati della elaborazione (spostamenti, azioni interne) non verranno importati. In Sargon ciò comporta il fatto che il modello importato non avrà disponibile il post-processing: l'analisi si

dovrà fare usando i solutori di Sargon stesso. In CSE ciò comporta la perdita della possibilità di usare i calcoli fem come base per il calcolo delle connessioni, e quindi si potranno usare solo i limiti elastici o plastici opportunamente fattorizzati.

Se si decide di importare i risultati di Sap2000 all'interno di Sargon o di CSE, la routine di conversione si occupa di fare le seguenti cose:

1. Creare un file binario .DDB contenente gli spostamenti di tutti i nodi in tutti i casi di carico;
2. Creare un file binario .SDB contenente le azioni interne e gli sforzi di tutti gli elementi in tutti i casi di carico;
3. Creare un file binario .RDB contenente le reazioni vincolari di tutti i nodi in tutte le condizioni di carico;
4. Marcare il modello come "risolto" al fine di consentire l'accesso ai dati contenuti nei file binari medesimi.

Nel seguito saranno dati chiarimenti su specifici punti relativi alle principali problematiche incontrate nel corso della scrittura della procedura di conversione.

Conversione di Forme sezionali

Prima ancora di aprire e leggere il modello da importare la routine di conversione legge ed importa le forme sezionali in modo da stabilire una opportuna corrispondenza tra le forme sezionali in Sargon/CSE e le forme sezionali in Sap2000.

- Il file di corrispondenza tra le forme sezionali di Sargon e quelle di Sap2000 di chiama "WSR_S2K_SHPCVT.TXT" e risiede nella cartella di installazione di Sargon. Tale file verrà usato nel caso in cui si importi un modello Sap2000 all'interno di Sargon.
- Il file di corrispondenza tra le forme sezionali di CSE e quelle di Sap2000 di chiama "WSR_S2K_SHPCVT.TXT" e risiede nella cartella di installazione di CSE. Tale file verrà usato nel caso in cui si importi un modello Sap2000 all'interno di CSE.

Il file, che di solito è il medesimo per Sargon e CSE, è organizzato in questo modo e prende il nome di "file di corrispondenza".

\$	
\$	
\$	
IPE 100	IPE100
IPE 120	IPE120
IPE 140	IPE140
IPE R 140	IPE140R
IPE 160	IPE160

Nella prima colonna compaiono i nomi dei profili nell'ambiente Sargon/CSE. Nella seconda colonna, ordinatamente riga per riga, compaiono i corrispondenti nomi dei profili in Sap2000. Il riconoscimento di un profilo viene eseguito per mezzo del nome. Se al nome "beta" in Sap 2000 corrisponde il nome "alfa" in Sargon/CSE, allora la forma sezionale "alfa" sarà fatta corrispondere a quella "beta". Per poter conoscere le caratteristiche della forma sezionale "alfa" il programma deve aprire un archivio di forme sezionali di tipo .SMA (un file .SMA) e precisamente:

- se si sta usando Sargon il file "sargon.sma" contenuto nella cartella del programma Sargon;
- se si sta usando CSE il file "cse.sma" contenuto nella cartella del programma CSE.

Se in prima riga del file di corrispondenza compare un "\$" o "\\" allora la riga è un commento.

I nomi vengono comparati per i loro primi 18 caratteri. Affinché due nomi vengano riconosciuti deve esservi perfetta corrispondenza in tutti i 18 caratteri.

Le regole seguite dalla routine di conversione sono precisamente le seguenti:

1. Vengono lette le forme sezionali del file .SMA pertinente al programma che si sta usando (Sargon o CSE).
2. Viene letto e tenuto in memoria l'intero file di conversione con le due colonne di nomi.
3. Vengono letti i profili all'interno del modello Sap2000 e questi vengono trasformati in profili di tipo Sargon/CSE con queste regole.
 - a. Se il profilo è del tipo ad I e non è stato originariamente letto da un archivio viene convertito in un profilo ad I saldato avente le stesse quote del profilo in Sap2000 (si noti che i profili ad I non hanno, in Sap2000, il raggio di raccordo definito, e quindi non si saprebbe come convertirli in profili del tipo H laminato in Sargon/CSE). In questo caso non si usa il file di conversione precedentemente nominato. Se invece il

profilo è ad I ed è stato letto originariamente da un archivio, allora il suo nome d'archivio viene cercato nella seconda colonna del file di conversione. Se non viene trovato allora, per evitare di scartarlo, il profilo viene convertito usando le quote come profilo saldato. Se invece viene trovato, allora il nome del profilo corrispondente, nella prima colonna, viene cercato nell'archivio .SMA. Se viene trovato questo nome nel file .SMA allora il profilo Sap2000 viene convertito con quello trovato nel file .SMA. Se non viene trovato nel file .SMA allora viene fornito un messaggio di errore (a cui si potrà ovviare semplicemente aggiungendo all'archivio .SMA un profilo con il nome corrispondente), e la conversione viene comunque fatta come profilo saldato usando le dimensioni disponibili (H, B, tw, tf). Si noti che ai fini delle verifiche è diverso usare profili laminati o saldati. Si consiglia quindi di convertire i profili usando sempre il file di conversione.

- b. Analoga procedura viene seguita per i profili a C, T, L, box.
- c. I profili pipe, rettangolari e circolari pieni vengono comunque importati dato che le loro quote sono note (senza cercarli nel file di conversione, non è infatti necessario).
- d. I profili "SECTION_GENERAL" vengono cercati nel file di conversione. Se sono trovati vengono convertiti se no vengono trasformati in sezioni "generiche" delle quali si danno il nome e le proprietà di calcolo (area, momenti di inerzia).
- e. I profili "angolari doppi" e "a C doppi" vengono cercati nel file di conversione e se non sono trovati viene dato un messaggio di errore.
- f. I profili "a C formati a freddo" e "a Z formati a freddo", "a omega formati a freddo" vengono convertiti usando le quote.
- g. I profili "a doppio C formato a freddo", "a L formato a freddo" e a "doppio L formato a freddo" non vengono convertiti in quanto non ci sono le routine API per farlo.
- h. I profili "SD" (Section Designer) vengono cercati nel file di conversione.
- i. I profili "SECTION_VARIABLE", "SECTION_JOIST", "SECTION_BRIDGE" non sono importati.
- j. Altri profili non sono supportati e non vengono importati. La loro presenza genera un messaggio di errore.

Il file di conversione può essere gestito facilmente dall'utente e possono essere aggiunte le righe che si vuole, liberamente.

Al Gennaio 2010 il file di conversione contiene circa 4000 profili. Sono contenuti profili HEA, HEB, HEM, IPE, ILS, HLS, H, L, UPN, L accoppiati, UPN accoppiati, RHS, tubi, eccetera eccetera.

E' bene osservare che qualsiasi utente può sempre stabilire la corretta conversione tra una forma sezionale in Sap2000 ed una forma sezionale in Sargon CSE semplicemente sincerandosi che la forma desiderata sia presente nell'archivio .SMA e che la corrispondenza tra i nomi dei due profili Sargon/CSE-Sap2000 sia presente nel file di corrispondenza. Il lavoro fatto una volta varrà naturalmente ogni volta che quei profili, magari di tipo speciale, verranno usati in qualsivoglia modello.

Nel corso della installazione degli aggiornamenti, al fine di evitare la sovrascrittura dei propri file di corrispondenza, e dei propri archivi SMA, si raccomanda di eseguire una copia di salvataggio sia del file di corrispondenza, sia del file SMA.

Conversione di materiali

Vengono letti e importati i materiali isotropi ed i materiali "uniaxial". Non vengono importati i materiali ortotropici ed anisotropici.

Conversione di casi di carico e di combinazioni

In Sap2000 ci sono Load Case e Load Patterns. I LoadCases di Sap2000 vengono fatti corrispondere ai Load Cases (Casi di Carico) in Sargon / CSE. Generalmente il numero dei Load Cases in Sap2000 coincide con il numero dei Load Cases in Sargon (a meno che non vengano scartati i Load Cases di Sap 2000 che non trovano corrispondenza analoga in Sargon come le analisi modali, che Sargon non gestisce come Load Case). Poichè in Sap 2000, in generale, i Load Cases possono essere costituiti da sovrapposizioni di Load Patterns, analoga sovrapposizione si avrà nel Load Cases di Sargon/CSE, con la differenza che dei Load Patterns non rimarrà traccia in Sargon /CSE.

Il tipo dei Load Cases in Sargon sarà eguale al tipo dell'ultimo Load Pattern riversato nel Load Case. Di solito ai Load Patterns corrispondono identici Load Cases (1 Load Pattern per 1 Load Case), ma se questo non fosse, vale la regola che il tipo del Load Case in Sargon è il tipo dell'ultimo Load Pattern ivi definito. A sua volta il tipo del Load Pattern in Sap 2000

corrisponde al tipo del Load Case in Sargon /CSE secondo la seguente tabella:

Load Patterns (Sap 2000)	Load Case (Sargon)
DEAD	DEAD
SUPER DEAD	DEAD
LIVE	LIVE
REDUCE LIVE	LIVE
QUAKE	EARTHQUAKE
WIND	WIND
SNOW	SNOW
OTHER	LIVE
MOVE	LIVE
TEMPERATURE	THERMAL
ROOF LIVE	LIVE
NOTIONAL	DEAD
PATTERN LIVE	LIVE
WAVE	LIVE
BRAKING	LIVE
CENTRIFUGAL	LIVE
FRICTIONAL	LIVE
ICE	SNOW
altri	LIVE

Il tipo del Load Case in Sap 2000 è riferito al tipo di analisi: statica, nonlineare, modal, spettro di risposta, ecc.. Vengono importati:

1. I load case statici lineari

2. I load case statici non lineari
3. I load case di tipo risposta allo spettro

In Sargon i load case di tipo "analisi modal" non vengono importati perchè hanno un differente tipo di codifica, le modali vengono gestite a parte.

Vengono importati all'interno di Sargon/ CSE i seguenti possibili carichi:

- Forze nodali
- Coppie nodali
- Carichi distribuiti (forze o coppie) su elementi frame, sistema di riferimento globale o locale (nota: in Sap2000, anche in presenza di eccentricità su un elemento, il carico distribuito viene comunque applicato sulla lunghezza da node a node, senza tenere in conto dell'eccentricità).
- Carichi concentrati (forze o coppie) su elementi frame, sistema globale o locale
- Carichi gravitazionali su elementi frame
- Carichi di peso proprio definiti moltiplicatori del peso proprio all'interno dei load patterns
- Carichi termici su elementi frame

Non sono al momento gestiti i carichi gravitazionali sugli elementi plate-shell e sui solidi, né i carichi termici sugli stessi.

In Sap 2000 ci sono vari tipi di combinazioni, che possono essere combinazioni di casi di carico e/o di altre combinazioni. Vengono importate in Sargon / CSE:

- Le combinazioni di tipo "linear additive";
- Le combinazioni di tipo "envelope";
- Le combinazioni di tipo "absolute additive";
- Le combinazioni di tipo "SRSS";
- Le combinazioni di tipo "range additive".

Le combinazioni vengono aggiunte al Combi Set attivo in Sargon / CSE.

Conversione di elementi

Non tutti gli elementi definiti in Sap 2000 possono essere importati in Sargon / CSE e viceversa.

Di seguito si dà conto di quali elementi vengano importati e quali no.

1. Elementi frame in Sap 2000

- a. vengono importati sempre come elementi beam (beam) in sargon. Sono importati gli svincoli, l'orientazione della terna locale, gli offset rigidi, le rigidezze in caso di "fissità parziale" nel caso di molle associate ai momenti flettenti (mentre vengono scartate le molle relative ad eventuali fissità parziali in senso assiale, torsionale e tagliante).
- b. vi è una diversa convenzione sugli assi locali tra Sap2000 e Sargon / CSE. In particolare vale la seguente tabella di conversione:

Asse	Di Sargon diventa	Di Sap 2000 diventa
1	1	1
2	-3	3
3	2	-2

- c. Se sono curvi, gli elementi frame non vengono importati in Sargon / CSE
2. Elementi plate in Sap 2000. Sono elementi privi di rigidezza membranale. Come tali non esistono in Sargon. Vengono quindi convertiti in elementi plate-shell di Sargon con rigidezza membranale data dallo spessore definito nella proprietà di area.
3. Elementi shell (plate+membrana) in Sap 2000. Sono importati tutti i tipi di shell (sottile, spesso) ad eccezione dello shell multistrato (layered, type=6).
4. Elementi membrana in Sap 2000. Vengono convertiti in elementi membrana di Sargon / CSE.
5. Elementi solidi in Sap 2000. Vengono convertiti in elementi solidi in Sargon / CSE.
6. Elementi ASOLID in Sap 2000. Non vengono convertiti.
7. Elementi CABLE in Sap 2000. Non vengono convertiti.

8. Elementi LINK / SUPPORT in Sap 2000. Non vengono convertiti.
9. Oggetti TENDON in Sap 2000. Non vengono convertiti.
10. Oggetti PLANE in Sap 2000 (plane strain, plane stress). Non vengono convertiti.

Conversione dei segni di connessione

All'interno di Sargon si fa uso del segno di connessione per indicare membrature che, pur essendo staticamente in continuità sul node, devono essere considerate costruttivamente interrotte. Elementi frame che posseggano un qualche tipo di end-release sono considerati automaticamente interrotti, e quindi non è necessario apporre alcun segno di connessione. Il problema invece si pone per quegli elementi che, pur non avendo alcun end-release, devono essere considerati interrotti al fine di ricercare i jnodi eguali ed i renodi in CSE.

Dato che le informazioni "normali" gestite da Sap 2000 non consentivano di passare esplicitamente questa informazione, si è provveduto a predisporre una opportuna codifica, che, utilizzando il concetto di "gruppo" presente in Sap 2000, fosse utile a far passare le informazioni desiderate.

Un elemento frame può avere un segno di connessione ad un estremo, all'altro o a tutti e due. Come già detto, se ad un estremo è presente un end release allora non è necessario aggiungere un segno di connessione perchè è implicito.

In Sap 2000 si potranno aggiungere i seguenti gruppi:

"BI"

"BJ"

"BIBJ"

Tutti gli elementi frame che appartengono al gruppo "BI" hanno l'estremo "I" con segno di connessione;

Tutti gli elementi frame che appartengono al gruppo "BJ" hanno l'estremo "J" con segno di connessione;

Tutti gli elementi frame che appartengono al gruppo "BIBJ" hanno entrambi gli estremi con segno di connessione.

Conversione dei risultati (post processing)

Come detto nel caso in cui siano disponibili i risultati della analisi di Sap 2000, la routine di importazione è in grado di creare i file binari con i risultati nel formato di Sargon / CSE. Vengono importati:

1. Tutti gli spostamenti di tutti i nodi in tutti i casi di carico;
2. Tutte le reazioni vincolari di tutti i nodi in tutti i casi di carico;
3. Tutte le azioni interne degli elementi frame (convertiti in beam) in tutti i casi di carico.

Al momento gli sforzi degli elementi bidimensionali e solidi non sono importati e quindi risulteranno nulli.

2.3.4.6 Import .std

IMPORTING .STD (STAAD PRO® models)

versioni da Dicembre 2012 (> 10.01)

This topic is in English only.

Using Sargon or CSE you can import a model prepared in STAAD PRO, and the results got by using that program. However, as the documentation referring to Open Staad is quite lacking of several important info, several information cannot be transferred or it is not clearly explained how to do that. In the following a clear description of what is imported into Sargon/ CSE will be given. All most important and needed information, however, is transferred.

Introduction

Importing a model into Sargon or CSE is a two steps procedure. First you create a text file by using STAAD. Then you import that text file using Sargon or CSE.

Let's have a model named "MODEL.STD" in a given folder. The first step is to create a text file named "MODEL.STD.TXT", in the same folder. This is done by executing a proper macro from within STAAD PRO. The macro itself is in the file "STD2STX.VBS", placed in the

installation folder of Sargon (if you are using Sargon) or CSE (if you are using CSE). To execute a macro in STAAD PRO, open the model at hand, say "MODEL.STD", and run the analysis. Save results, so that they will be available for the macro. Then from the File Toolbar choose the "Run VB Macro" command, and select the file "STD2STX.VBS" located in Sargon or CSE installation folder. Then run the macro.

During the macro execution, if the results are not available you are prompted to decide if continue the execution or not. If you are not interested in post processing data, you can continue. If, on the other hand, you are interested in results (i.e. displacements, reactions, and member forces) then exit the macro ("Continue?" Answer: "No") and run the analysis.

Once the macro is executed successfully, a message will appear with the full path of the new file .STD.TXT just created. This file will be named "MODEL.STD.TXT" and is a text file with a wide subset of the information referring to you model.

Next step will be to open Sargon (or CSE) with a new blank file, and choose the command **File-Import** (in Sargon) or **File-Import FEM Model** (in CSE). Among the file types available you will find "STD.TXT (STAAD PRO)": choose that particular file format, browse your hard disk and select the file which you previously created in the model folder. This will run a command that will read the file and convert it into the Sargon (or CSE) file format.

If the user does decide to import the STAAD PRO results into Sargon or CSE, the conversion routine will:

1. Create a binary .DDB file containing the displacements of all nodes in all load cases;
2. Create a binary .SDB file containing the internal forces and stresses in all elements in all load cases;
3. Create a binary .RDB file containing the constraint reactions of all nodes in all load cases;
4. Mark the model as "solved" to make the data contained in the actual binary files accessible.

Some specific aspects of the main issues encountered when writing the conversion procedure are discussed in more detail below.

Units of measurement

File MODEL.STD.TXT is created or using [kN, meter] or using [kips, inch] units. This depends on the units used in STAAD PRO, if metric or imperial. Stresses are then given in kN/m^2 , and moments in kNm , or in ksi and kipin.

Z axis Up vs Y axis Up

Both Sargon and CSE use a "Z axis up" convention, so when reading a STAAD PRO file it's much better to have it created using the "Z axis up" convention as well. If Z axis up is used, then there is a perfect match between global axis (X, Y, Z) in STAAD and those in Sargon or CSE. If on the other hand the Yup flag is used in STAAD, then the conversion between global axes in STAAD and global axes in Sargon / CSE is as follows :

STAAD GLOBAL AXES	SARGON CSE GLOBAL AXES
X	Y
Y	Z
Z	X

Converting cross-section local axes

STAAD uses (x, y, z) local axes, while Sargon /CSE uses (1, 2, 3) local axes. However, generally these axes are placed differently over cross-sections, depending on the cross-section kind, and depending on the Z axis up, o Y axis up STAAD user's choice.

Generally speaking the following conversions apply for the most part of the cross sections (i.e. those doubly symmetric or with symmetry about weak axis):

STAAD MEMBER LOCAL AXES	SARGON CSE MEMBER LOCAL AXES
Y axis up	AXES
x	1, or x
y	3, or z
z	-2, or -y
STAAD MEMBER LOCAL AXES	SARGON CSE MEMBER LOCAL AXES
Z axis up	AXES

x	1, or x
y	2, or y
z	3, or z

Conversions adopted for the most part of the cross sections

However, some sections require a different mapping, according to the following table.

STAAD MEMBER LOCAL AXES	SARGON CSE MEMBER LOCAL AXES
Y axis up. C cross-sections (x, y, z)	(1, -3, 2)
Y axis up. L cross-sections (x, y, z)	(-1, -2, 3)
Y axis up. L-RA (reversed axes) cross-sections (x, y, z)	(-1, -3, -2)
Z axis up. C cross-sections (x, y, z)	(1, -2, -3)
Z axis up. L cross-sections (x, y, z)	(-1, -3, -2)
Z axis up. L-RA (reversed axes) cross-sections (x, y, z)	(-1, 2, -3)

Generally speaking a right tern (x, y, z) must be transformed into another right tern (1, 2, 3), and this can be done just in 8 different ways, preserving axis 1 direction. Each of the 8 possible ways to transform STAAD tern (x, y, z) to Sargon / CSE (1, 2, 3) is mapped to a "local tern mapping code", from 1 to 8.

STAAD MEMBER LOCAL AXES	Sargon / CSE local axes	LOCAL TERN MAPPING CODE
(x, y, z)	(1, 2, 3)	1
(x, y, z)	(1, -3, 2)	2
(x, y, z)	(1, -2, -3)	3

(x, y, z)	(1, 3, -2)	4
(x, y, z)	(-1, 3, 2)	5
(x, y, z)	(-1, -2, 3)	6
(x, y, z)	(-1, -3, -2)	7
(x, y, z)	(-1, 2, -3)	8

The following table lists the conversion from Sargon / CSE to STAAD:

Sargon / CSE local axes	STAAD MEMBER LOCAL AXES	LOCAL TERN MAPPING CODE
(1, 2, 3)	(x, y, z)	1
(1, 2, 3)	(x, z, -y)	2
(1, 2, 3)	(x, -y, -z)	3
(1, 2, 3)	(x, -z, y)	4
(1, 2, 3)	(-x, y, z)	5
(1, 2, 3)	(-x, -y, z)	6
(1, 2, 3)	(-x, -z, -y)	7
(1, 2, 3)	(-x, y, -z)	8

Given this choice, we can say that the normal coding adopted by the conversion routine is the following:

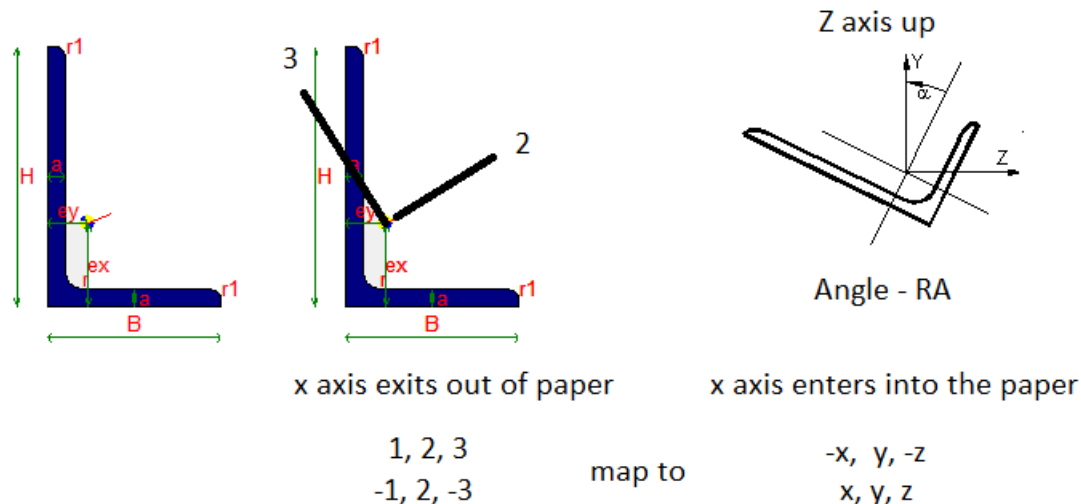
STAAD MEMBER LOCAL AXES LOCAL TERN MAPPING CODE

Y axis up. Generic cross-sections (x, y, z)	4
Y axis up. C cross-sections (x, y, z)	2
Y axis up. L cross-sections (x, y, z)	6
Y axis up. L-RA cross-sections (x, y, z)	7

Z axis up. Generic cross-sections (x, y, z)	1
Z axis up. C cross-sections (x, y, z)	3
Z axis up. L cross-sections (x, y, z)	7
Z axis up. L-RA cross-sections (x, y, z)	8

Generally speaking the conversion file "MODEL.STD.TXT" is written in such a way that the preceding rules are automatically applied by the conversion routine. This is got by assigning a "local tern mapping code" "0" to the cross-section in the file "MODEL.STD.TXT" (for an example of how this code is written in the file MODEL.STD.TXT, see next section).

If on the other hand this local tern mapping code in file "MODEL.STD.TXT" is overwritten by the user and set to a different value (from 1 to 8), then the program will use the coding related to the local tern mapping code specified by the user *no matter the other possible rules*.



An example of conversion between Sargon / CSE and STAAD working environment

(in Sargon / CSE only axis 2 is displayed, being always axis 1 getting out of paper to the viewer, and axis 3 forming a right tern)

This may be needed if special cross sections are used, so that a correct remapping of the STAAD local tern (x, y, z) to the Sargon / CSE tern (1, 2, 3) must be specified. Imagine for instance that you have used a special, not symmetric cross section in STAAD which has axes (x, y, z) according to STAAD

choices (also depending on the Yup/Zup flag).

By editing the "MODEL.STD.TXT" file, at the row referring to that cross section, you will replace the code "0" with the code you need to set up a correct mapping (x, y, z)-> (1, 2, 3).

Obviously there are a number of consequences:

- changing STAAD axis "x" to -1 means reverting the direction of the arrow related to member axial axis. This need a change in load position definition, in load axial component when defined using local axes, and in the member forces as resulting on the analysis; of course member nodes (n1, n2) will be exchanged to (n2, n1).
- changing axis (y, z) to (3, 2) means changing end releases and member forces position. Also load components, if defined in local axes must be exchanged.
- generally speaking changing a sign of an axis means changing the sign of the member loads applied using local reference system, and changing member forces got by analysis;

This procedure, however, **must not be done for standard cross-sections**. The conversion for such cross sections is fully automatic

Converting Sectional forms

Before opening and reading the model which is to be imported, the conversion routine reads and imports the all the possible sectional forms in order to establish a suitable correspondence between the sectional forms in Sargon/CSE and those in STAADPRO.

The mapping file between the SARGON/CSE and STAAD PRO sectional forms is called "WSR_STD_SHPCVT.TXT" and can be found in the Sargon or CSE installation folder depending on the program you are using. This file will be used when a STAAD model is imported into Sargon or CSE. This file, known as the "mapping file", is usually the same for Sargon and CSE, and is structured as shown below.

\$	
\$	
\$	
IPE 100	IPE100
IPE 120	IPE120
IPE 140	IPE140
IPE R 140	IPE140R
IPE 160	IPE160
...	

The first column indicates the names of the sections in the Sargon/CSE environment. The second column shows the corresponding section names in STAAD PRO. A section is identified by its name. If the name "beta" in STAAD corresponds to the name "alpha" in Sargon/CSE, then the sectional form "alpha" will be mapped to "beta" and assigned to members. To find out the properties of the sectional form "alpha", the program must open an archive of sectional forms of type .SMA (an .SMA file); in particular:

- if Sargon is in use, this will be the file "sargon.sma" in the Sargon program folder;
- if CSE is being used, the file is "cse.sma" in the CSE program folder.

If the first line of the mapping file contains a "\$" or "\\" symbol that means it is a comment line.

The first 18 characters of the names are used for matching purposes. For two names to be matched, each of these 18 characters must be identical. STAAD names begins at column 41 in mapping file.

The conversion routine operates according to the following detailed rules:

1. The sectional forms in the .SMA file relevant to the program in use (Sargon or CSE) are read.
2. The entire conversion file is read into memory with its two columns of names.
3. To each cross section in the conversion file .STD.TXT is given a name and a type. The name is a string, the type is a number. Here is a typical block of information about cross sections in a .STD.STX file:

SECTION PROPERTY

9	
1 "UC356X368X129"	3 610 0 3.68600E-01 3.55600E-01 1.64000E-02 3.69824E-03 8.60067E-03 1.52612E-06 1.46000E-04 4.02000E-04 1.75000E-02 1.04000E-02
2 "UC254X254X73"	3 610 0 2.54600E-01 2.54100E-01 9.31000E-03 2.18526E-03 4.82043E-03 5.76246E-07 3.91000E-05 1.14000E-04 1.42000E-02 8.60000E-03
3 "UB533X210X82"	3 610 0 2.08800E-01 5.28300E-01 1.05000E-02 5.07168E-03 3.67488E-03 5.15182E-07 2.01000E-05 4.75000E-04 1.32000E-02 9.60000E-03
4 "UB457X152X52"	3 610 0 1.52400E-01 4.49800E-01 6.66000E-03 3.41848E-03 2.21488E-03 2.13741E-07 6.45000E-06 2.14000E-04 1.09000E-02 7.60000E-03
5 "UA100X100X8"	3 641 0 1.00000E-01 1.00000E-01 1.55000E-03 5.33333E-04

```

5.33333E-04 3.34507E-08 6.11001E-07 2.35265E-06 8.00000E-03 8.00000E-03
6 "UC203X203X46" 3 610 0 2.03600E-01 2.03200E-01 5.87000E-03 1.46304E-
03 2.98613E-03 2.21539E-07 1.55000E-05 4.57000E-05 1.10000E-02 7.20000E-03
7 "UB406X178X67" 3 610 0 1.78800E-01 4.09400E-01 8.55000E-03 3.60272E-
03 3.40912E-03 4.61117E-07 1.36000E-05 2.43000E-04 1.43000E-02 8.80000E-03
8 "UB406X140X39" 3 610 0 1.41800E-01 3.98000E-01 4.97000E-03 2.54720E-
03 1.62597E-03 1.07021E-07 4.10000E-06 1.25000E-04 8.60000E-03 6.40000E-03
9 "UA60x60x5" 3 641 0 6.00000E-02 6.00000E-02 5.82000E-04 2.00000E-04
2.00000E-04 4.89583E-09 8.07088E-08 3.17448E-07 5.00000E-03 5.00000E-03

```

The first field is the cross section number. Then there is the cross section name. Next the cross section country. The bold numbers in the 4th field are the **cross section types** (in STAAD PRO). The next field is local tern mapping code (see previous section) and is always written as "0" by VBA macro (meaning automatic remapping), albeit it can be edited and modified *after* the file MODEL.STD.TXT has been created by the macro, and *before* reading the file MODEL.STD.TXT into Sargon or CSE, in order to set a different mapping. After that field there is the "width", the "depth", Ax, Ay, Az, Ix, Iy, Iz, and finally Tw and Tf, the thicknesses. Before reading the file MODEL.STD.TXT, it is also possible to change names, type numbers and local tern mapping code according to the needs. This is normally NOT required, but may be helpful if needed to change from one cross section kind to another, or to improve conversion.

4. The sections in the STAAD PRO model are read from file "MODEL.STD.TXT" (as seen previously) and then transformed into Sargon/CSE-type sections following the procedure below.
 - a. If the name of the cross section is found in mapping file (second data column), and the cross section has types 631 or 632 ([] cross section), then the user is asked to set the clear distance between the two profiles using mm as length measurement unit; the cross section found in mapping file must be a channel.
 - b. If the name of the cross section is found in mapping file, and the cross section has types 633 ([] cross section), then the user is asked to set the clear distance between the two profiles using mm as length measurement unit; the cross section found in mapping file must be a channel.

- c. If the name of the cross section is found in mapping file, and the cross section has type 642 (|| long side in contact cross section), then the user is asked to set the clear distance between the two profiles using mm as length measurement unit; the cross section found in mapping file must be an angle.
- d. If the name of the cross section is found in mapping file, and the cross section has type 643 (|| short side in contact cross section), then the user is asked to set the clear distance between the two profiles using mm as length measurement unit; the cross section found in mapping file must be an angle.
- e. If the name of the cross section is found in mapping file, and the cross section has type 616 (II cross section), then the cross section will be added assuming a clear distance equal to 10mm between cross-sections; the cross-section found in mapping file must be an I rolled or H rolled cross section.
- f. No matter if the name of the cross section has been found or not in mapping file, cross sections of types 667 672 and 677 (rectangular cross sections) are rebuild by using data written in .STD.TXT file.
- g. No matter if the name of the cross section has been found or not in mapping file, cross sections of types 673 (Tee welded, i.e. sharp corners cross sections) are rebuild by using data written in .STD.TXT file.
- h. No matter if the name of the cross section has been found or not in mapping file, cross sections of types 650 and 651 (box-like or rectangular-tube cross sections, sharp corners) are rebuild by using data written in .STD.TXT file. These have constant thickness.
- i. No matter if the name of the cross section has been found or not in mapping file, cross sections of types 668 and 671 (round cross sections) are rebuild by using data written in .STD.TXT file.
- j. No matter if the name of the cross section has been found or not in mapping file, cross sections of types 660 and 661 (circular hollow cross sections) are rebuild by using data written in .STD.TXT file.
- k. If the name of the cross section is found in mapping file, the cross section is added as found in conversion file with no modification. So if the cross section is named AAA in STAAD and in conversion file this section is related to cross section BBB in Sargon / CSE archive, then cross section BBB will be applied.

1. If the name of the cross-section has NOT been found in mapping file, and no previous case is applicable then the program asks to the user to fill the necessary dimensions of the cross section (using mm as units), whose type has however been recognized as compatible with Sargon / CSE as it is written in file .STD.STX. The following table applies:

Type coded in .STD.TXT file	Cross section kind
610	I or H rolled cross section
611	T cut from I or H rolled cross section
616	I I composed by 2 rolled I or H
620	T cut from I or H rolled cross section
630	Rolled channel, parallel flange
631 or 632] [double channel
633	[] double channel
634 or 635	Cold formed channel (without or with lip)
640 or 641	Rolled angle
642	_ _ double angle long side
643	_ _ double angle short side
644 or 645	Cold formed angle without or with lip
654	Rectangular hollow tube, round corners (RHS)
655	Circular hollow sections
662 or 663	Zee cold formed without or with lips
664	Cold formed hat section
674	Trapezoid: converted into a rectangular
676	Generic cross section defined by area and area moments
690	User Provided Table. I or H rolled cross

	section
691	UPT. Parallel flange channel (rolled)
692	UPT. Rolled angle
693	
694	UPT. Tee cut from I or H rolled.
695	UPT. Circular hollow section.
696	UPT. Rectangular hollow section. Sharp corners.
697	UPT. Generic cross section defined by area and second area moment.
698	UPT. I or H rolled cross section.
700 or 701	UPT. _ _ double angle, long or short side in contact.
702	UPT.] double channel.
703	UPT. [] double channel
771	plate property: unused

- m. If, finally, the name of the cross section has not been recognized in the mapping file, and the cross-section type is not one of those listed in the preceding table, then a dummy cross-section rectangular, and with the same name of the original cross section is applied.

The mapping file is easy to manage and the user can add any lines they require, maybe before importing the model.

As at November 2012, the conversion file contained about 4,000 sections. This include HEA, HEB, HEM, IPE, ILS, HLS, H, L, UPN, double L , double UPN and RHS sections, tubes, etc. etc.

It should be noted that the user can always ensure that a sectional form in STAAD PRO, say

BBB, is converted correctly to a sectional form in Sargon/ CSE, simply by assuring that the desired form is in the .SMA archive with, say, name AAA, and that the Sargon/CSE-STAAD PRO mapping row between the names of the two sections is there in the mapping file (AAA BBB). Once carried out, the work will of course apply every time those sections, special or otherwise, are used in any model in the future.

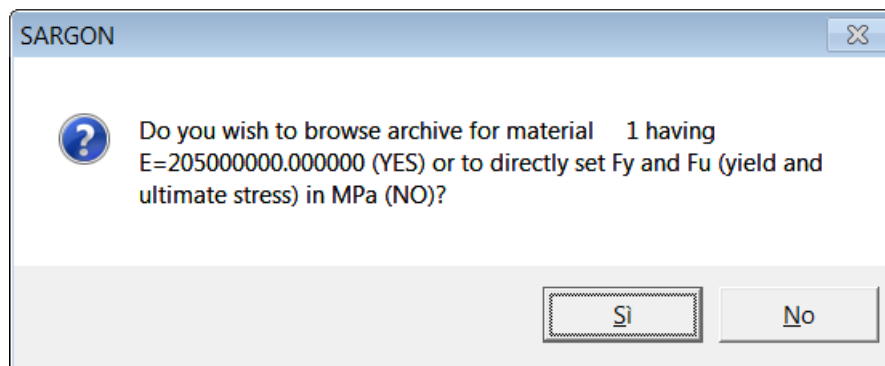
When installing upgrades, in order to avoid overwriting your own mapping files and SMA archives, it is advisable to take a backup copy of both the mapping file and the SMA file.

Converting materials

Presently, only Isotropic materials are read and converted. No conversion is done for Orthotropic 2D or 3D materials.

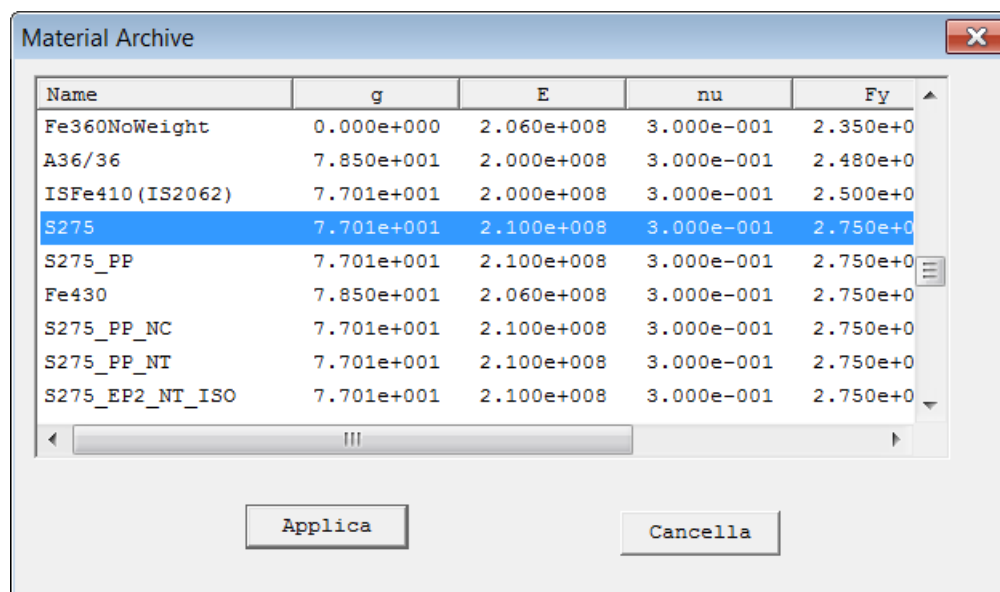
During conversion, as material data extracted to .STD.TXT file by macro lacks info about yield and ultimate stresses, the user is asked to fill the missing data by choosing:

1. Or to assign f_y and f_u by browsing the Sargon / CSE material archive, to choose one material. That material will just be used to set f_y and f_u .
2. Or keep all data defined in the conversion file, and just add the yield stress value (f_y) and the ultimate stress value (f_u) by directly input those values.



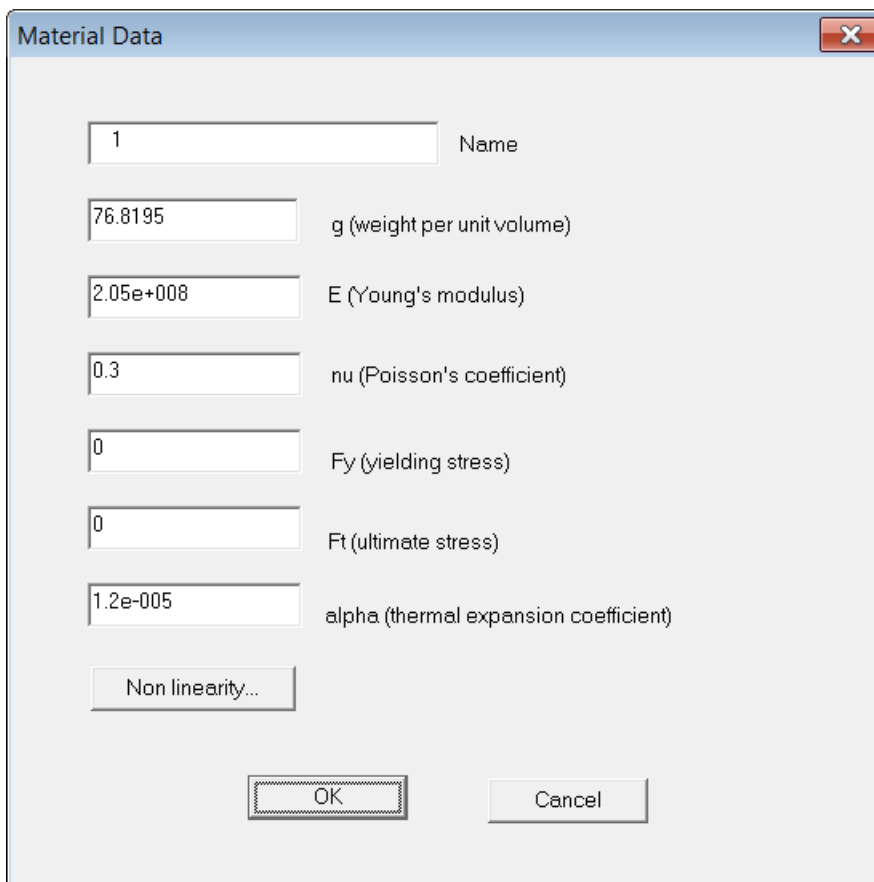
This question (see previous figure) is repeated for all materials defined in the model. The material is identified by its number and by its elastic modulus.

If the answer is Yes, then the following dialogue appears:



The user will browse through the archive and choose the material wished. The units of measurement used are those defined in the conversion file: [kN, meter] if metric units are used in the STAAD file, or [kips, inch] if imperial units are used in the STAAD file. However here no data must be input: you just have to choose a row and press Apply (Applica).

If the answer is "No" then the user must just fill the edit boxes referring to yield stress and ultimate stress, in the next dialog. **This must be done using the units of measurement defined in the conversion file:** [kN, meter] if metric units are used in the STAAD file, or [kips, inch] if imperial units are used in the STAAD file.

A screenshot of a 'Material Data' dialog box. The dialog has a title bar with a close button (X). Inside, there are several input fields and labels. The first field contains '1' and is labeled 'Name'. The second field contains '76.8195' and is labeled 'g (weight per unit volume)'. The third field contains '2.05e+008' and is labeled 'E (Young's modulus)'. The fourth field contains '0.3' and is labeled 'nu (Poisson's coefficient)'. The fifth field contains '0' and is labeled 'Fy (yielding stress)'. The sixth field contains '0' and is labeled 'Ft (ultimate stress)'. The seventh field contains '1.2e-005' and is labeled 'alpha (thermal expansion coefficient)'. Below these fields is a button labeled 'Non linearity...'. At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Field	Value	Label
Name	1	Name
g (weight per unit volume)	76.8195	g (weight per unit volume)
E (Young's modulus)	2.05e+008	E (Young's modulus)
nu (Poisson's coefficient)	0.3	nu (Poisson's coefficient)
Fy (yielding stress)	0	Fy (yielding stress)
Ft (ultimate stress)	0	Ft (ultimate stress)
alpha (thermal expansion coefficient)	1.2e-005	alpha (thermal expansion coefficient)

It is of course of the utmost importance that these data are filled correctly.

Converting supports

No skewed support is presently imported. Elastic supports are converted into translational or rotational springs in the Sargon / CSE environment.

Converting members

Members are mapped to beam elements in the Sargon CSE working environment. Offsets and end releases (0 or 1) are converted and assigned to elements according to those defined in the STAAD PRO working environment. No elastic release or partial release is presently imported. However, release elastic constants are written in the .STD.TXT file for future use.

As member end forces are directly read from results this will not affect stress state in using STAAD imported model in CSE.

If, on the other hand, the model has been imported into Sargon, these elastic releases will have to be re-

assigned in view of a perfect match between the original and imported model.

Converting plates.

A constant thickness is assumed for plate elements. This constant thickness is got by a simple average of the 3 or 4 node-thicknesses of the element as defined in STAAD PRO. No orthotropic material assigned to plate elements is imported or assigned.

Converting solids

Due to the lack of documentation about solid elements in Open Staad reference manual, no material is assigned to solid elements, however their connectivity is read and assigned to solid elements in the Sargon / CSE working environment.

Converting members with the Truss, or NoTension, or NoCompression, or Cable flag

These elements are converted as beam members with properly auto assigned end releases. The following end releases are assigned automatically:

First Extreme:	RxRyRz	(R1R2R3)	all rotations
Second Extreme:	RyRz	(R2R3)	all rotations but torsional

In fact, in STAAD PRO elements with the flag Truss can still have shears inside. So they are mapped to beams properly released. The joist flag is not managed presently.

Converting primary load cases

Primary load cases are converted and added to Sargon / CSE model. The name of the primary load case is retained. The primary load case kind is converted according to the following rules.

Code	STAAD	Sargon / CSE
0	Dead	Dead
1	Live	Live
2	Roof live	Live
3	Wind	Wind
4	Seismic	Seismic modal
5	Snow	Snow
6	Fluids	Live

7	Soil	Live
8	Rain	Live
9	Ponding	Live
10	Dust	Live
11	Traffic	Live
12	Temp	Temperature
13	Imperfection	Live
14	Accidental	Live
15	Flood	Live
16	Ice	Live
17	Wind ice	Live
18	Crane hook	Live
19	Mass	Live
20	Gravity	Gravity
21	Push	Live
22	None	Live

Converting load case combinations

What is named "load case combination" in the STAAD working environment, is simply named "combination" in the Sargon or CSE working environment.

In STAAD combinations do not have name, so they are named in Sargon / CSE according to their progressive number. Load factors are read from file .STD.TXT and assigned to combinations in Sargon / CSE model.

Results in combinations are got by Sargon / CSE at runtime, by linearly combining effects of load cases.

In Sargon / CSE combinations may be selected or not. Once imported in the new model, all combinations are selected by definition.

Converting single actions

The following single actions are converted and assigned in the new Sargon / CSE model:

1. Nodal forces and nodal moments.
2. Uniformly distributed forces over member elements (including d1 and d2 data, but not d3 which is assumed null).
3. Uniformly distributed moments over member elements (including d1 and d2 data, but not d3 which is assumed null).

4. Concentrated forces applied to member elements (including d1, but not d2 which is assumed null).
5. Concentrated moments applied to member elements (including d1, but not d2 which is assumed null).
6. Trapezoidal loads (forces per unit length) applied to member elements.
7. Linear varying loads (forces per unit length) applied to member elements

OpenSTAAD.Load functions "GetXXX" referenced in technical guide are unfortunately not enough to extract all data referring to loads applied.

So self weight is not converted due to a lack in Open Staad documentation.

Temperature loads are not converted nor assigned.

Element pressures are not converted and assigned.

The only loads which can be imported are those clearly referenced in the Open Staad documentation, for OpenSTAAD.Load object. While AddXXX functions are many, GetXXX functions are quite fewer.

Converting connection codes

Connection codes are not supported by STAAD, and it was not possible to use special rules to make Sargon/CSE able to assign needed connection codes (as done for SAP2000, for example, where conventional groups define connection codes on beam elements extremes). For this reason, user possibly needs to define connection codes in Sargon or CSE after the model has been imported from STAAD and before JNODES are searched for. If end releases are left unchanged and only connection codes are added, this operation does not imply a loss of results as no true modification is applied to analytical model. So imported results will be **still available** after connection codes definition. We recall here briefly that connection codes are useful when more elements meet in a node without any end release: connection codes will mark the elements which will be interrupted and connected, while element with no connection code will remain unmodified and will therefore be the "master" of the connection.

Converting the results (post-processing)

As already mentioned if results of the STAAD analysis are available, the import routine can create the binary files with the results in the Sargon/ CSE format. The following are imported:

1. All displacements of all nodes in all load cases and combinations (file MODEL.DDB).
2. All constraint reactions of all nodes in all load cases and combinations (file

MODEL.RDB).

3. All internal forces at beams extremes in all load cases and combinations (file MODEL.SDB).
4. Currently, the stresses for two-dimensional and solid elements are not imported and are therefore null.

2.3.4.7 Import .dat

IMPORTING STRAP MODELS

Sargon/ CSE offers the ability to import models prepared in STRAP. As well as importing the model, Sargon/ CSE can also import and convert the results of the analysis carried out in STRAP.

General introduction

In order to start the conversion from STRAP file format to CSE or SARGON file format, the user must choose a .dat file which identify the model. In the subfolder where the model files are written, there may be several other STRAP models, so choosing the .DAT of the model we are interested in, simply works to define the model number we are interested in.

The file importing feature works by the following logical path:

- 1) Ask to STRAP to create a report file for the model at hand, with a suitable file format.
- 2) Read the report file created by STRAP and convert it into a CSE or SARGON file.

As phase 1 requires STRAP STBATCH.EXE, an installed and working copy of STRAP must be available in the computer, including the relevant protection key. Sargon/CSE automatically creates the *run file* and the *report file format* required by STBATCH.exe to print the report, and automatically runs STBATCH itself. In order to run STBATCH, the STRAP folder must be known to the program CSE/SARGON which performs conversion. It is initially assumed that STRAP is in "C:\STRAP1" folder. If this is true (a copy of STRAP is found in that folder) the program moves on, without asking further information. If there is not an available copy of STRAP in "C:\STRAP1" folder, the program looks for the environment variable named

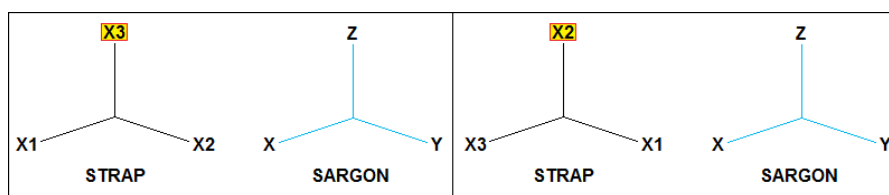
"STRAPFOLDER". This environment variable may be set once for all by the user in order to teach CSE/SARGON where to find STRAP. In order to set an environment variable just go to Control Panel, choose Security and System, System, Advanced Settings, and choose "Environment variables". A dialog will appear, choose "New". Set as the name of the variable "STRAPFOLDER" and as "value" the folder where actually STRAP is, e.g. "C:\STRAPNEW". If the environment variable is found, the program will run STBATCH in the folder specified by the environment variable. If the environment variable does not exist, then the program will ask the user to input the folder where STRAP is placed, issuing a warning that such input may be avoided by properly setting the environment variable STRAPFOLDER.

Report file will be named CSE*.DAT (if using CSE, or WSR*.DAT if using Sargon). Its format has been prepared to be read by Sargon/CSE. So, when GEOM001.DAT is imported in CSE, STBATCH.EXE will print CSE001.DAT, in the same folder of STRAP model. Then CSE will automatically import CSE001.DAT, creating a CSE001.CSE model and its related results files (CSE001.DDB, CSE001.SDB and CSE001.RDB, for displacements, stresses/forces and constraint reactions). User can choose a different name for CSE (or Sargon) model.

Some specific aspects of the main issues encountered when writing the conversion procedure are discussed in more detail below.

Converting global axes

Before reading STRAP's report file, CSE asks the user if vertical global axis in STRAP model is X2 or X3. According to user's choice, one of the following correspondences will be assumed (STRAP's vertical axis is highlighted).



Converting materials

Since some information about materials is missing in STRAP (steel yield stress, for example) when the model is imported user can choose to apply one of the materials from CSE/Sargon.sma archive or define missing properties (yield stress and ultimate stress) one by one. After the importing, user can change or modify materials for desired elements, if needed.

Converting cross-sections

Before opening and reading the model which is to be imported, the conversion routine reads and imports the cross-sections needed in order to establish a suitable match between the sectional forms in Sargon/CSE and those in STRAP.

The mapping file between CSE and STRAP cross-sections is called "WSR_STRAP_SHPCVT.TXT" and can be found in the CSE installation folder. This file will be used when a STRAP model is imported into Sargon/CSE. This file, known as the "mapping file", is usually the same for Sargon and CSE, and is structured as shown below.

\$	
\$	
IPE 100	IPE&100
IPE 120	IPE&120
IPE 140	IPE&140
IPE 160	IPE&160
...	

The first column lists the names of the sections in the Sargon/CSE environment.

The second column lists the corresponding section names in STRAP. This is build by adding three strings: 1) the string referred to the kind of the cross-section; 2) the letter "&"; 3) the cross-section name in STRAP (which has no kind attached).

A section is identified by its name. If the name "beta" in STRAP corresponds to the name "alpha" in Sargon/CSE, then the sectional form "alpha" will be mapped to "beta". To find out the properties of the sectional form "alpha", the program must open an archive of sectional forms of type .SMA (an .SMA file); in particular:

- if CSE is being used, the file is "cse.sma" in the CSE program folder.
- if Sargon is in use, this will be the file "sargon.sma" in the Sargon program folder;

If the first line of the mapping file contains a "\$" or "\\" symbol that means it is a comment line.

The first 18 characters of the names are used for matching purposes. For two names to be matched, each of these 18 characters must be identical.

The conversion file is easy to manage and the user can add any lines they require. The user may actually wish to edit the file "WSR_STRAP_SHPCVT.TXT" in order to add more conversion lines. So, if a cross-section used in a STRAP model has not been automatically detected by conversion program, the User may wish to add the section in CSE.SMA archive by using SAMBA program, and then edit the conversion file, establishing a match between the STRAP cross section and the new cross-section just added into the CSE.SMA archive by using SAMBA. Conversion file includes sections from European, British, American and Indian archives. As at October 2012, the conversion file contained around 2,000 sections (Europe, UK, US, India).

The conversion routine operates according to the following detailed rules:

1. The cross-sections in the .SMA file relevant to the program in use (Sargon or CSE) are read.
2. The entire conversion file is read into memory with its two columns of names.
3. The sections in the STRAP model are read and then transformed into Sargon/CSE-type sections following the procedure below.
 - A. The following sections are read by using their dimensions (no conversion file used): rectangular (property type, PT, =1); pipe (PT=2); tube (PT=3); L (PT=4); I (PT=5); [(PT=6); T (PT=7), circle (PT=8).
 - B. If property type is equal to -1, the cross section is read from table, and conversion file will be used. If the cross-section is of the types "><", "2L", "[]", "[]", the program decodes the name of the simple cross-section, and searches this cross-section in the conversion table. The complex cross section will be rebuilt using simple cross-section and the distance between the two cross sections. The simple cross section name is found by performing the following tasks. If the string "><" is followed by "L130x90x12", in STRAP report file, the program should rebuild the proper cross section name in the second column of conversion file. To do that, "L130x90x12" must be replaced by "L&130x90x12". The keyword kind "L" must then be searched for and separated by size. So for angles the program searches for

the following possible keywords: "L"; "E.ANGLES"; "U.ANGLES". For channels the program searches the following possible keywords: "UNP"; "UAP"; "CHANNELS".

- C. Some sections are not supported and are not imported: if detected, they are replaced with a rectangular fictitious shape in order to complete the importing. User can then assign the desired shape defining it directly in CSE, without loss of results. Otherwise, user can add the needed sections to Sargon/Cse.sma archive and adding the related conversion lines in WSR_STRAP_SHPCVT.TXT.

It is as well to note that any user can always ensure that a sectional form in STRAP is converted correctly to a sectional form in Sargon/ CSE, simply by satisfying themselves that the desired form is present in the .SMA archive and that the Sargon/CSE-STRAP mapping between the names of the two sections is available in the mapping file. Once carried out, the work will of course apply every time those sections are used in any model in the future.

When installing upgrades, in order to avoid overwriting your mapping files and SMA archives, *it is advisable to take a backup copy of both the mapping file and the SMA file.*

When two non standard cross sections are matched (CSE/SARGON archive versus STRAP) it is important to check that the principal axes of the cross-sections are the same.

Converting load cases and combinations

STRAP prints results in the report for combinations only. For this reason, in addition to "true" combinations, user **must** define n "fictitious" combinations, one for each load case. A combination is automatically recognized as "fictitious" by CSE if it contains a multiplication factor equal to 1.0 for one load case only, and 0.0 for all the other load cases (for example, combination = $1.0 * \text{case1} + 0.0 * \text{case2} + 0.0 * \text{case3} + 0.0 * \text{etc.}$). See the example in the following table (*fictitious combinations can be also at the end of the list, their position is not relevant*); n is the number of load cases (and of fictitious combinations), m is the number of true combinations.

	load case 1	load case 2	...	load case n
combi 1 (fictitious)	1	0	...	0
combi 2 (fictitious)	0	1	...	0
...
combi n (fictitious)	0	0	0	1
combi n+1 (true)	desired factors for each load case			
combi n+2 (true)				
...				
combi n+m (true)				

Combinations are added to the active Combi Set in Sargon/ CSE. Fictitious combinations will not be selected and so they will not be used in CSE checks.

Note that STRAP does not print applied loads in the report; only results are available (see below).

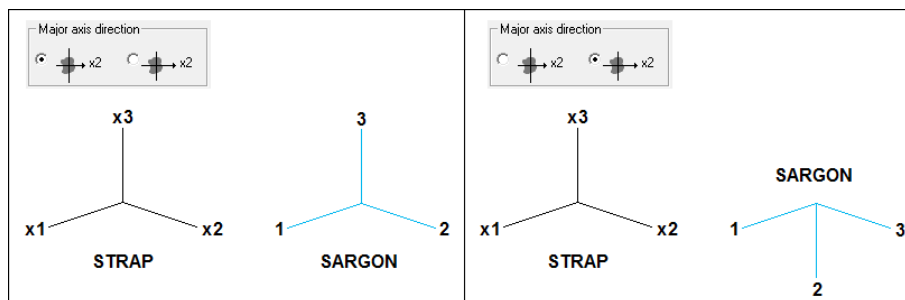
Converting elements

Not all the elements defined in STRAP can be imported into Sargon/ CSE.

A discussion of which elements are imported and which are not follows below.

1. Beam elements in STRAP

- Orientaton, end releases and rigid offsets are read by conversion program.
- Local orientation conversion from STRAP to Sargon/CSE depends on user's choice about major axis definition in STRAP. See the following conversion cases:



c) Tapered beam elements are not supported in Sargon/ CSE.

2. Plate elements in STRAP.

- Elements with 3 or 4 nodes are read by conversion routine.
- All elements are assumed to be thin plates with constant thickness.
- No release of edge is currently supported (nor would be useful in CSE).

3. Solid elements in STRAP.

- Elements with 4 6 or 8 nodes are read by conversion routine.

4. Spring elements in STRAP.

- Spring elements are read by conversion routine.
- Spring direction must be specified in global reference system, i.e. node system in spring definition must be 0.
- For each stiffness not null, a spring (rotational or translational) is added in CSE/ Sargon.

Converting connection codes

Connection codes are not supported by STRAP, and it was not possible to use conventions to make Sargon/CSE able to assign needed connection codes (as done for SAP2000, for example, where conventional groups define connection codes on beam elements extremes). For this reason, user possibly needs to define connection codes in CSE after the model has been imported from STRAP and before JNODES are searched for. If end releases are left unchanged and only connection codes are added, this operation does not imply a loss of results, so imported results will be **still available** after connection codes definition. We recall here briefly that connection codes are useful when more elements meet in a node without any end release: connection codes will mark the elements which will be interrupted and connected, while element with no connection code will remain unmodified and will therefore be the "master" of the connection.

Converting the results (post-processing)

As already mentioned if results of the STRAP analysis are available, the import routine can create the binary files with the results in the Sargon/ CSE format. The following are imported:

1. All displacements of all nodes in all load cases and combinations
2. All constraint reactions of all nodes in all load cases and combinations
3. All internal forces at beams extremes in all load cases and combinations (at the extremes only, since internal forces along beam axis are not printed in STRAP report.
4. Currently, the stresses for two-dimensional and solid elements are not imported and are therefore null.

After the import

Since some information about the model are missing in STRAP's output report, user may need to modify the model before jnodes search: connection codes may be added to some elements to avoid cuspidal or tangential jnodes, different materials may be assigned to different elements, etc. All these operations can be done without losing the results. Note also that cross-sections can be changed (for example if a section is not in the conversion file, so replaced with a dummy one).

2.3.4.8 Import .mct

IMPORTARE .MCT (modelli MIDAS)

versioni da Luglio 2013 (> 10.50)

Sargon/ CSE dà la possibilità di importare modelli preparati in MIDAS®. Così come può importare il modello, Sargon/ CSE può anche importare e convertire i risultati dell'analisi eseguita in MIDAS®. L'interfaccia tra Sargon, CSE e MIDAS® è stata sviluppata in accordo con Simulsoft, il distributore spagnolo di MIDAS.

Introduzione generale

L'interfaccia tra Sargon, CSE e MIDAS può essere realizzata chiedendo a Sargon /CSE di leggere un file .MCT disponibile in una certa cartella.

Dato che i modelli gestiti da MIDAS contengono molte più informazioni di quelle necessarie a Sargon /CSE, molte schede del file MCT non vengono lette. L'interfaccia sarà migliorata in modo da poter leggere più schede nelle future versioni.

Attualmente vengono lette e convertite le seguenti schede del file MCT:

- *UNIT
- *ENDDATA
- *NODE
- *ELEMENT
- *MATERIAL
- *PLASTIC-MATL
- *SECTION (DBUSER)
- *THICKNESS
- *CONSTRAINT
- *SPRING
- *FRAME-RLS
- *OFFSET
- *STLDCASE
- *GROUP
- *USE-STLD
- *CONLOAD
- *BEAMLOAD
- *ELTEMPER
- *LOADCOMB

Se l'utente decide di importare i risultati di MIDAS all'interno di Sargon / CSE, la routine di conversione:

1. Creerà un file binario .DDB contenente gli spostamenti di tutti i nodi in tutti i casi di

- carico;
2. Creerà un file binario .SDB contenente le azioni interne nelle travi e nelle bielle in tutti i casi di carico;
 3. Creerà un file binario .RDB contenente le reazioni vincolari di tutti i nodi in tutti i casi di carico (0 se il node non è vincolato);
 4. Marcherà il modello come "risolto" per fare in modo che i risultati siano accessibili nelle fasi del lavoro successive alla importazione.

Alcuni specifici aspetti dei principali temi affrontati quando si è scritta la procedura di conversione sono discussi in maggior dettaglio qui di seguito.

Conversione delle forme sezionali

Prima di aprire e leggere il modello che deve essere importato, la routine di conversione legge ed importa le forme sezionali al fine di stabilire una opportuna corrispondenza tra le forme sezionali in Sargon/CSE e quelle in MIDAS.

Il file di corrispondenza tra le sezioni in Sargon /CSE e quelle in MIDAS si chiama "WSR_MCT_SHPCVT.TXT" e può essere trovato nella cartella di installazione del programma (CSE o Sargon, a seconda di cosa si stia usando). Questo file sarà usato quando un modello MIDAS è importato dentro Sargon o CSE. Questo file, noto come "file di conversione" è normalmente lo stesso per Sargon e CSE, ed è strutturato come mostrato qui sotto.

\$	
\$	
IPE 100	IPE100
IPE 120	IPE120
IPE 140	IPE140
IPE R 140	IPE140R
IPE 160	IPE160
. . .	

La prima colonna lista i nomi delle sezioni nell'ambiente Sargon / CSE. La seconda colonna lista le corrispondenti sezioni in MIDAS. Una sezione è identificata dal suo nome. Se il nome "beta" in MIDAS corrisponde al nome "alfa" in Sargon/CSE, allora la forma sezionale

"alfa" sarà fatta corrispondere a "beta". Per trovare le proprietà della sezione "alfa" il programma deve aprire un archivio di sezioni del tipo .SMA (un file .SMA); in particolare:

- se si usa Sargon, tale file sarà il file "sargon.sma" nella cartella di installazione del programma Sargon;
- se si usa CSE, il file è il file "CSE.SMA" contenuto nella cartella di installazione di CSE.

Se il primo carattere di una generica linea del file di conversione è un "\$" o un "\" ciò vuol dire che quella riga è un commento.

Per stabilire la corrispondenza tra i nomi vengono usati i primi 18 caratteri. Perché due nomi vengano considerati identici tutti e 18 i caratteri devono essere eguali.

La routine di conversione funziona in accordo a queste regole di dettaglio:

1. Le forme sezionali nel file .SMA pertinente al programma in uso (Sargon o CSE) vengono lette..
2. L'intero file di corrispondenza è letto in memoria con le sue due colonne di nomi.
3. Le forme sezionali nel modello MIDAS sono lette e trasformate in forme sezionali dell'ambiente Sargon / CSE in accordo alle regole seguenti.
 - a. sezioni DBUSER.
 - i. Se il primo campo di [DATA] è 1, allora il campo SNAME è usato per cercare la sezione nel file di corrispondenza. Se la sezione è trovata, allora sarà usata la pertinente sezione corrispondente. Se la sezione non è trovata, il simbolo SHAPE è utilizzato al fine di chiedere all'utente le dimensioni pertinenti della sezione del tipo appropriato, in accordo alle seguenti corrispondenze: "H", sezioni laminate a I o H; "B", sezioni RHS; "P", tubi circolari; "L" angolari; "C" C a lati paralleli; "T" T con spigoli vivi; "2L" doppi angolari; "2C" doppi C]; "SB" rettangolari; "SR" circolari pienebar; "CC" C formate a freddo; altri simboli: non riconosciuta. Se la sezione non è riconosciuta viene impiegata una sezione rettangolare fittizia.
 - ii. Se il primo campo di [DATA] è 2, allora le dimensioni della sezione sono lette direttamente dalla scheda, per le forme sezionali "H", "B", "P", "L", "C", "T", "2L", "2C", "SB", "SR", "CC". Non viene chiesto alcun dato all'utente, le sezioni sono lette direttamente e convertite. Possibili problemi nel definire una forma sezionale daranno luogo alla aggiunta di una sezione fittizia denominata

"DUMMY".

Il file di conversione è facile da modificare e gli utenti possono aggiungere le linee di cui hanno bisogno.

E' bene notare che ogni utente può sempre assicurarsi che una forma sezionale in MIDAS sia convertita correttamente in una forma sezionale nell'ambiente Sargon/ CSE, semplicemente verificando che la sezione desiderata sia nel file .SMA e che la corrispondenza tra la sezione in Sargon / CSE e in MIDAS sia disponibile all'interno del file di conversione. Una volta condotto a termine, il lavoro sarà ovviamente disponibile tutte le volte che quelle sezioni verranno impiegate in qualche modello, indipendentemente dal loro tipo .

Quando si installano gli aggiornamenti, al fine di evitare la sovrascrittura del proprio file di conversione e dei propri archivi .SMA, è consigliabile eseguire un back up sia del file di conversione sia del file .SMA con gli archivi delle sezioni.

Conversione degli spessori

L'unico tipo di spessore gestito dall'interfaccia è il tipo "VALUE". Gli spessori "STIFFENED" ("irrigiditi") non vengono letti. Se viene trovato uno spessore "STIFFENED" l'esecuzione si arresta.

Conversione dei materiali

Se è definita una parte non lineare di un materiale, allora essa dovrà essere ridefinita impiegando il dialog standard di Sargon / CSE usato per [aggiungere materiali non lineari](#)^[663]. La routine di conversione si accorge dell'impiego di un materiale non lineare e chiede all'utente di ridefinire tale parte non lineare usando il dialog di Sargon / CSE.

Se un materiale ha il tipo "1", ovvero è un materiale standard, l'utente viene richiesto di scegliere se cercare tale materiale standard nell'archivio dei materiali disponibili in Sargon / CSE o se introdurne le caratteristiche usando il dialog standard di [aggiunta dei materiali](#)^[661].

Se un materiale è di tipo "2", il materiale è isotropo e i suoi dati saranno letti direttamente dal file MCT.

Se un materiale è di tipo "3" è un materiale ortotropo e viene mostrato un messaggio di avviso. L'utente verrà richiesto di introdurre i pertinenti dati del materiale impiegando un modello isotropo.

Conversione di casi di carico e combinazioni

Ogni caso di carico definito in MIDAS implicherà un caso di carico in Sargon /CSE, e sarà usata la seguente tabella di conversione dei tipi.

Caso di Carico (MIDAS)	Caso di Carico (Sargon / CSE)
USER	LIVE
D	DEAD
L	LIVE
LR	LIVE
W	WIND
E	EARTHQUAKE
S	SNOW
R	LIVE
IP	LIVE
EP	LIVE
WP	LIVE
FP	LIVE
SF	LIVE
B	LIVE
CR	LIVE
SH	LIVE
T	THERMAL
PS	DEAD
CS	LIVE
ER	LIVE
IL	LIVE
BK	LIVE
WL	WIND
CF	LIVE
CO	LIVE
TPG	LIVE

MIDAS ha vari tipi di combinazioni (che possono essere combinazioni di casi di carico o di

altre combinazioni). Sono importate all'interno di CSE le seguenti combinazioni:

- combinazioni del tipo “lineare additivo”
- combinazioni "SRSS" (+ e -);

Le combinazioni sono aggiunte al Combi Set attivo in Sargon / CSE. Sono lette e decodificate sia le combinazioni che impiegano i casi di carico standard ("ST") sia le combinazioni che impiegano altre combinazioni ("CB").

Conversione di carichi

Sono importati i seguenti possibili carichi:

- Forze nodali
- Momenti nodali
- Carichi distribuiti (forze o coppie) su elementi beam, nel sistema di riferimento globale o locale
- Carichi concentrati (forze o coppie) su elementi beam, nel sistema globale o locale
- Carichi gravitazionali
- Carichi termici

Conversione di elementi

Non tutti gli elementi definiti in MIDAS possono essere importati in Sargon/ CSE e vice-versa.

Qui di seguito viene spiegato quali elementi siano importati e quali no.

1. Elementi beam e truss in MIDAS

- a. Sono sempre importati in Sargon / CSE come elementi beam quando il TYPE è BEAM, e come elementi truss quando il tipo è TRUSS, TENSTR o COMPTR.
- b. Non viene letto alcun dato aggiuntivo specificamente relativo a elementi TENSTR o COMPTR.
- c. Viene letto e convertito sia il metodo che usa un angolo, sia il metodo che usa un punto

di riferimento, per decidere l'orientazione dell'elemento.

- d. Rigidezze parziali alle estremità vengono definite solo per la modalità di input VALUE (quindi non come rigidezza relativa) e solo per M_y e M_z .
2. Elementi piani in MIDAS.
 - a. Questi elementi sono aggiunti come piastre in Sargon / CSE quando TYPE è PLATE, e come elementi membrana quando TYPE è PLSTRS.
 - b. Essi non sono considerati se hanno TYPE PLSTRN o AXISYM.
 - c. Sono tenute in conto sia le piastre sottili che quelle spesse.
3. Elementi solidi in MIDAS. Questi sono convertiti in elementi solidi in Sargon/ CSE (tetra, wedge, brick).
4. Gli elementi SPRING in MIDAS sono letti e convertiti in molle in Sargon / CSE quando viene usata la scheda SPRING.
5. Elementi GSPRING in MIDAS. Questi elementi non sono al momento convertiti.
6. Elementi ELASTICLINK in MIDAS. Questi elementi non sono al momento convertiti.
7. Elementi GL-LINK in MIDAS. Questi elementi non sono al momento convertiti.
8. Elementi RIGIDLINK in MIDAS. Questi elementi non sono al momento convertiti.

Conversione di segni di connessione

All'interno di Sargon si fa uso del segno di connessione per indicare membrature che, pur essendo staticamente in continuità sul node, devono essere considerate costruttivamente interrotte. Elementi beam che posseggano un qualche tipo di end-release sono considerati automaticamente interrotti, e quindi non è necessario apporre alcun segno di connessione. Il problema invece si pone per quegli elementi che, pur non avendo alcun end-release, devono essere considerati interrotti al fine di ricercare i jnodi eguali ed i renodi in CSE.

Dato che le informazioni "normali" gestite da MIDAS non consentivano di passare esplicitamente questa informazione, si è provveduto a predisporre una opportuna codifica, che, utilizzando il concetto di "gruppo" presente in MIDAS, fosse utile a far passare le informazioni desiderate.

Un elemento frame può avere un segno di connessione ad un estremo, all'altro o a tutti e due.

Come già detto, se ad un estremo è presente un end release allora non è necessario aggiungere un segno di connessione perchè è implicito.

In MIDAS si potranno aggiungere i seguenti gruppi:

"BI"

"BJ"

"BIBJ"

Tutti gli elementi beam che appartengono al gruppo "BI" hanno l'estremo "I" con segno di connessione;

Tutti gli elementi beam che appartengono al gruppo "BJ" hanno l'estremo "J" con segno di connessione;

Tutti gli elementi beam che appartengono al gruppo "BIBJ" hanno entrambi gli estremi con segno di connessione.

Gli elementi truss hanno per definizione una interruzione ad entrambi gli estremi e non necessitano di segni di connessione.

Convesione dei risultati (post-processing)

Come già detto, se i risultati dell'analisi condotta con MIDAS sono disponibili, la routine di importazione può creare file binari con i risultati nel formato Sargon/ CSE. Vengono importati i seguenti risultati:

1. Tutti gli spostamenti di tutti i nodi in tutti i casi di carico;
2. Tutte le reazioni vincolari di tutti i nodi vincolati in tutti i casi di carico (riferimento globale);
3. Tutte le azioni interne negli elementi beam e truss, in tutti i casi di carico.
4. Tutte le azioni interne negli elementi molla in tutti i casi di carico.

Al momento, gli sforzi interni agli elementi piani e solidi non vengono importati, e quindi sono considerati nulli.

Alla fine della lettura del modello, il programma chiederà se leggere o no i risultati. Se i risultati non saranno letti, non sarà creato alcun file binario con i risultati, e nessun risultato

sarà in seguito disponibile ai fini delle verifiche. Se invece l'utente risponde "sì", allora egli / ella sarà riceverà prima di tutto la richiesta di fornire le unità di misura con cui interpretare i file con i risultati, mediante un opportuno [property sheet](#)^[550].

Fatto questo l'utente dovrà specificare un certo insieme di file CSV, uno per ognuno dei seguenti insiemi di dati:

- spostamenti nodali;
- reazioni vincolari nodali;
- azioni interne negli elementi beam;
- azioni interne negli elementi truss.

Se anziché scegliere un file viene premuto il tasto CANCEL, in qualsivoglia dei dialoghi che chiedono il nome del file che via via si presentano, i corrispondenti risultati verranno tutti posti eguali a zero, e sarà proposta la richiesta del file successivo.

Per poter leggere correttamente i file CSV l'utente deve aver convertito i file XLS, XSLX ottenuti da MIDAS, in file CSV, mediante l'impiego del command "Salva In" di EXCEL™, e selezionando il formato di file opportuno, che è "CSV (MS DOS)".

I file CSV **non devono usare la virgola come separatore decimale** ma il punto ".". Quindi se EXCEL crea il file di conversione da XLS a CSV impiegando la virgola come separatore decimale, bisogna applicare un Trova e Sostituisci (per esempio editando il file CSV con NOTEPAD, BLOCCO NOTE) a tutto il file sostituendo alle virgole i punti. Il file CSV generato dal command Salva In usa il punto e virgola ";" come separatore dei campi di una data riga.

Qui di seguito viene fornito un breve esempio di file ottenuto per gli spostamenti, le reazioni, le azioni interne delle travi e le azioni interne delle bielle, usando il command Salva In di EXCEL. Nelle prime linee create viene trovato anche qualche carattere "NEWLINE" extra (ASCII CODE 10): questi caratteri extra sono correttamente tenuti in conto dal convertitore.

DISPLACEMENTS

```
;Displacements;.....  
;;Node;Load;Stage;Step;Step Order;"DX
```



```

(m);"DY
(m);"DZ
(m);"RX
([rad]);"RY
([rad]);"RZ
([rad]);Load Order
;;1;01_pp estructura;;;0;-0.000235;0.000563;-0.001542;0.000732;0.0002;-0.000042;300001
;;2;01_pp          estructura;;;0;-0.000131;0.000522;-0.000205;0.000403;0.001152;-
0.000019;300001
;;3;01_pp estructura;;;0;0;0;0;0;0;0;300001
;;4;01_pp          estructura;;;0;-0.000099;0.000516;-0.000031;0.000114;-0.000026;-
0.00005;300001
;;5;01_pp          estructura;;;0;-0.000013;0.000526;-0.000353;-0.000314;0.001301;-
0.000031;300001
;;6;01_pp estructura;;;0;0.00014;0.000539;-0.000776;0.000033;0.001104;-0.000023;300001
;;7;01_pp          estructura;;;0;0.000167;0.000531;-
0.000547;0.000278;0.001146;0.000036;300001

```

REACTIONS

```

;Reaction(Global);,,,,,,,,,
;;Node;Load;Stage;Step;Step Order;"FX
(kN);"FY
(kN);"FZ
(kN);"MX
(kN*m);"MY
(kN*m);"MZ
(kN*m);Load Order
;;3;01_pp estructura;;;0;0.033122;-0.1563;7.051901;0.234921;0.068793;0.000143;300001
;;9;01_pp          estructura;;;0;-0.035992;-0.111674;5.523255;0.181268;-
0.165302;0.00031;300001
;;14;01_pp         estructura;;;0;-0.047094;0.102017;8.226277;-0.149291;-0.251207;-

```

```

0.000388;300001
;;53;01_pp estructura;;;0;0;-2.209851;0;0;0;0;300001
;;55;01_pp estructura;;;0;0.51302;3.717744;92.398884;-
4.483324;2.742602;0.004236;300001
;;65;01_pp estructura;;;0;-2.951695;-3.803535;103.941943;20.945472;-
6.583367;0.003907;300001
;;70;01_pp estructura;;;0;-0.000001;-1.435116;0;0;0;0;300001
;;120;01_pp estructura;;;0;-0.000001;-2.139589;0;0;0;0;300001

```

BEAM FORCES

```

;Beam Force;
;;Elem;Load;Stage;Step;Step Order;Part;Part Order;Component;"Axial
(kN)";"Shear-y
(kN)";"Shear-z
(kN)";"Torsion
(kN*m)";"Moment-y
(kN*m)";"Moment-z
(kN*m)";Load Order;Compo Order;Stress
;;50;01_pp estructura;;;0;I[1];0;;-0.04;0;-0.97;0.01;-0.07;0;300001;0;
;;50;01_pp estructura;;;0;J[2];4;;-0.02;0;-1.66;0.01;2.68;0;300001;0;
;;51;01_pp estructura;;;0;I[2];0;;0;0.02;-3;-0.03;2.68;0;300001;0;
;;51;01_pp estructura;;;0;J[4];4;;0;0.02;-3.2;-0.03;4.56;-0.01;300001;0;
;;52;01_pp estructura;;;0;I[3];0;;-7.05;0.16;0.03;0;0.07;0.23;300001;0;

```

TRUSS FORCES

```

;Truss Force;
;;Elem;Load;Stage;Step;Step Order;"Force-I
(kN)";"Force-J

```

```
(kN)";Load Order
;;1;01_pp estructura;;;0;5.245034;5.140802;300001
;;2;01_pp estructura;;;0;9.540789;9.313239;300001
;;3;01_pp estructura;;;0;11.555538;11.199402;300001
;;4;01_pp estructura;;;0;7.710519;7.873809;300001
;;5;01_pp estructura;;;0;16.289015;16.036842;300001
;;6;01_pp estructura;;;0;12.001037;11.826999;300001
;;7;01_pp estructura;;;0;23.159878;22.632203;300001
;;8;01_pp estructura;;;0;9.300742;9.073364;300001
```

Dato che in Sargon /CSE non può essere applicato alcun carico interno agli elementi truss e diretto come l'asse della truss stessa, le forze alle estremità degli elementi truss in Sargon / CSE sono identiche in modulo ed opposte in segno. Quando vengono lette le azioni interne delle bielle dal file CSV (dove si possono trovare, in rari casi, azioni diverse ai due estremi), verranno considerate come forze della truss quelle del secondo estremo.

2.3.4.9 Import .r3d

IMPORTING .R3D (RISA3D® models)

versioni da Luglio 2013 (> 10.50)

This topic is in English only.

Sargon/ CSE offers the ability to import models prepared in RISA3D®. However, as RISA3D uses "physical elements" which are not standard finite elements, Sargon/ CSE cannot also import and convert the results of the analysis carried out in RISA3D®. Physical elements in RISA3D, if detected, are automatically splint into proper finite elements.

General introduction

The interface between Sargon, CSE and RISA3D can be implemented by asking Sargon

or CSE to read a .R3D model provided in a given folder.

The RISA3D model has file extension .R3D.

The following cards are read into Sargon/CSE:

[UNITS]

[.SOLUTION_PARAMETERS] "g" used to decide whether X, Y or Z axis is up. In Sargon/CSE Z is always up.

[MATERIAL_PROPERTIES]

 [.GENERAL_MATERIAL]

 [.HR_STEEL_MATERIAL]

 [.CF_STEEL_MATERIAL]

 [.WOOD_MATERIAL]

 [.CONCRETE_MATERIAL]

 [.ALUMINUM_MATERIAL]

[SECTION_SETS]

 [.HR_STEEL_SECTION_SETS]

 [.CF_STEEL_SECTION_SETS]

 [.WOOD_SECTION_SETS]

 [.CONCRETE_SECTION_SETS]

 [.ALUMINUM_SECTION_SETS]

 [.GENERAL_SECTION_SETS]

[NODES]

[BOUNDARY_CONDITIONS]

[SHAPES_LIST]

[MEMBERS]

 [.MEMBERS_MAIN_DATA]

[PLATES]

[SOLIDS]

[BASIC_LOAD_CASES]

[NODE_LOADS]

[POINT_LOADS]

[SURFACE_LOADS]

[DIRECT_DISTRIBUTED_LOADS]

The model read from the R3D file will probably need addition of further information which it has not been possible to directly convert into Sargon/CSE environment. Models created by importing R3D files should be carefully reviewed in order to check that the conversion has worked successfully.

Some specific aspects of the main issues encountered when writing the conversion procedure are discussed in more detail below.

Converting cross-sections

Before opening and reading the model which is to be imported, the conversion routine reads and imports the cross-sections in order to establish a suitable correspondence between the cross-sections in Sargon/CSE and those in RISA3D.

The mapping file between the CSE and RISA3D cross-sections is called "WSR_R3D_SHPCVT.TXT" and can be found in the CSE installation folder. This file should also be edited by the user in order to add new entries, when needed. This file will be used when a RISA3D model is imported into CSE. This file, known as the "mapping file", is usually the same for Sargon and CSE, and is structured as shown below.

\$	
\$	
IPE 100	IPE100
IPE 120	IPE120
IPE 140	IPE140
IPE R 140	IPE140R
IPE 160	IPE160
...	

The first column lists the names of the sections in the Sargon/CSE environment. The second column lists the corresponding section names in Sap2000. A section is identified by its name. If the name "beta" in Sap 2000 corresponds to the name "alpha" in Sargon/CSE, then the cross-section "alpha" will be mapped to "beta". To find out the properties of the cross-section "alpha", the program must open an archive of cross-sections of type .SMA (an .SMA file); in particular:

- if Sargon is in use, this will be the file "sargon.sma" in the Sargon program folder;
- if CSE is being used, the file is "cse.sma" in the CSE program folder.

If the first line of the mapping file contains a "\$" or "\\" symbol that means it is a comment line.

The first 18 characters of the names are used for matching purposes. For two names to be matched, each of these 18 characters must be identical.

The conversion routine works according to the following detailed rules:

- 1-The cross-sections in the .SMA file relevant to the program in use (Sargon or CSE) are read.
- 2-The entire conversion file is read into memory with its two columns of names.
- 3-The cross-sections in the RISA3D model are read and then transformed into Sargon/CSE-type sections following the procedure below.
 - a- If a conversion is found between the name of the cross-section used in RISA3D model, and one entry of the second column of the mapping file, then the Sargon/CSE cross section in the first column of the proper row of the mapping file will be used.
 - b- **If a conversion is not found and the cross section is of the types** ("b" shape type in [SHAPES-LIST]): 1 (rolled I or H); 2 (rectangular hollow section, or tube); 3 (pipe); 4 (parallel flange channel); 5 (Tee rolled cross-section); 6 (double L cross section); 7 (angle); 8 (rectangular cross section); 9 (solid round); 200 (cold formed C); 201 (lipped cold formed C); 202 or 203 (Z cold formed); 251 (pipe); 252 (L cold formed); **then** the user will be prompted with a specific dialog in order to enter the dimensions of the cross section.
 - c- If a conversion is not found and the cross section does not belong to any of the previously listed cross-section types, then a dummy rectangular cross section is considered. The user may avoid such unwanted behavior by: i) adding the needed cross section to the Sargon/CSE database by using Samba, if this cross section is not available; ii) adding a new row to the mapping file with the Sargon/CSE archive cross-section name in the first column, and the RISA3D cross-section name in the second column. Otherwise, to save time, cross-section assignment may be re-done in the Sargon/CSE environment.

The conversion file is easy to manage and the user can add any lines they require.

It is as well to note that any user can always ensure that a cross-section in RISA3D is converted correctly to a cross-section in Sargon/ CSE, simply checking that the desired cross-section is in the .SMA archive and that the Sargon/CSE-RISA3D mapping between the names of the two sections is available in the mapping file. Once carried out, the work will of course apply every time those sections, special or otherwise, are used in any model in the future.

When installing upgrades, in order to avoid overwriting your mapping files and SMA archives,

it is advisable to take a backup copy of both the mapping file and the SMA file.

Converting materials

Wood material is read with dummy values: it may later be modified according to real needs in Sargon/CSE environment. As not all the needed information is printed in R3D file (for instance yield stress and ultimate stress is not written for all materials), material data should be carefully revised once the file has been imported.

Converting loads, load cases and combinations

The following possible loads are imported into Sargon/ CSE:

- Nodal forces
- Member point loads (member only), both forces and couples, both local and global reference.
- Distributed loads (temperature, forces or couples) on members, in the global or local reference system, also projected.
- Surface loads, which are converted into nodal loads

Basic load cases are read into Sargon/CSE as they are defined in RISA3D. If a load case has gravity multipliers these will be correctly read and the relevant individual loads will be applied to elements in Sargon/CSE. The following mapping between load types has been set up:

RISA3D (load category "h" in [BASIC_LOAD_CASES])	Sargon/CSE
0	LIVE
1	DEAD
2	LIVE
3	EARTHQUAKE
4	WIND
5	SNOW

6	LIVE
7	LIVE
other	LIVE

As results are not read from RISA3D no combination information is presently converted.

Converting elements

Not all the elements defined in RISA3D can be imported into Sargon/ CSE. The following element data are not imported:

- footings
- walls
- diaphragms

It is assumed that relevant walls are modeled via plate elements, while footings will later be modeled in CSE by using constraint blocks.

MEMBERS are read with end releases and axial offsets. No member design parameter, or member supplemental data is read, as it is not used as such in Sargon/CSE programs.

PLATE elements are read but not the wall parts.

Converting connection codes

Within Sargon/CSE, the connection code is used to indicate members which, although statically continuous with the node, must be considered as interrupted from a constructional point of view. Frame elements possessing any kind of end-release are automatically considered interrupted, hence there is no need for any connection code. There is, however, the problem of those elements which, despite having no end-release, must still be considered interrupted for the purposes of finding the equal jnodes and renodes in CSE. As there is no coding for this information in RISA3D, connection codes will have to be applied in Sargon/CSE environment before the jnode search is asked for.

Converting the results (post-processing)

The results of the analysis carried out in RISA3D are currently not available in CSE/Sargon, as:

1. Physical elements in RISA3D cannot be mapped into finite elements in Sargon / CSE. No proper nodal connection between physical elements and secondary elements is available in RISA3D.
2. No output file with known format is available with the internal forces computed by RISA3D. However, such internal forces, may easily be got by pasting tables from EXCEL into CSE, when needed, or by using special tools to define load levels acting to detach slave members from the master, in CSE.

2.3.5 Export cross-sections (Export .arf)

CROSS SECTION DATA EXPORT (EXPORTING .ARF)

Sargon can export cross-section information, informing Strucad of the changes occurred. The command is [Export](#)^[373].

This feature is useful when using Sargon and Strucad together. By this command a file named **model.arf** is created, and this file embeds all the information needed to inform Strucad that some cross-sections are changed with respect to what was written in the anf file. In order to work properly, the command needs the previous file **model.scd** automatically created by Sargon by the command reading file ANF. Besides, all the cross-sections assigned in Sargon must find a twin with those of Strucad as defined in file SHPCVT.TXT (see installation folder).

2.3.6 Strucad bidirectional interface

COLLEGAMENTO CON STRUCAD

Il collegamento tra Sargon e Strucad è una delle caratteristiche più interessanti di Sargon in quanto realizza la piena comunicazione con un programma di disegno (peraltro molto

evoluto) in modo *bidirezionale*: così come è possibile leggere da Sargon informazioni create da Strucad è possibile da Strucad leggere informazioni create da Sargon.

Supponiamo di aver descritto la struttura in Strucad e di voler importare la mesh della struttura in Sargon: ciò si fa con il command [Importa](#)^[376]. Una volta ottenuta la struttura in Sargon si aggiungono casi e combinazioni, si attribuiscono i materiali e si esegue il solving e poi le verifiche. Se qualcuno dei profili richiede una modifica la modifica del profilo viene eseguita in Sargon, fino all'ottenimento della convergenza. A questo punto è possibile informare Strucad che alcuni profili sono cambiati creando il file di collegamento .arf (ciò si fa con il command [Esporta](#)^[373]).

Aspetti salienti del collegamento sin qui descritto sono i seguenti:

Sargon non consente di modificare il profilo di una parte di una membratura, in quanto conserva il ricordo della pezzatura prevista in Strucad (non vi è infatti corrispondenza biunivoca tra membrature ed elementi finiti).

Sargon interpreta automaticamente i profili accoppiati come elementi finiti singoli, mentre in Strucad vi sono due elementi;

Sargon interpreta gli elementi come travi o bielle sulla base di quanto previsto in Strucad

Sargon legge ed assegna tutte le eccentricità descritte in Strucad

Supponiamo ora che si renda necessaria l'aggiunta di qualche elemento o la modifica di qualche zona della struttura. Modificato il modello Strucad ci si trova di fronte al rischio di perdere tutto il lavoro fatto in Sargon, e di dover riassegnare carichi, casi, combinazioni, eccetera. In realtà con il command [Aggiorna](#)^[381] è possibile aggiornare il modello Sargon sulla base del nuovo .anf, **salvando tutte le informazioni che non sono cambiate**. Questo ultimo command è estremamente potente, poichè usa le informazioni geometriche per identificare le parti in comune tra il modello Sargon attivo ed il nuovo file .anf.

2.3.7 Use automatic meshing commands

USO DEI COMANDI DI MESHING AUTOMATICO

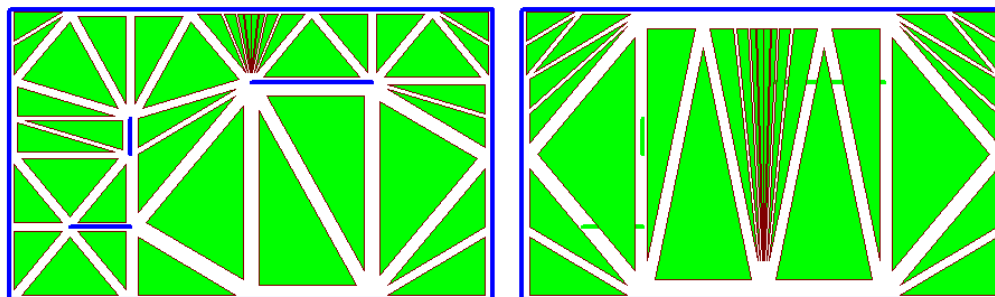
A partire dalla versione 7.30 Sargon è in grado di generare reticoli di elementi andando a riempire automaticamente regioni assegnate.

Questa funzionalità consente di generare rapidamente mesh in regioni definite, rispettando nodi esistenti e con dati requisiti di regolarità.

Triangolarizzazione di Delaunay

Dato un insieme di punti (nodi selezionati) chiamiamo *triangolarizzazione di Delaunay* una triangolarizzazione che abbia la seguente proprietà: tutti i triangoli sono tali per cui non esiste alcun punto di quelli iniziali all'interno della circonferenza passante per i tre nodi di ciascun triangolo.

I comandi di meshing di Sargon cominciano sempre con una triangolarizzazione di Delaunay. Si può dimostrare che una triangolarizzazione di Delaunay è sempre possibile ed è unica.



Triangolarizzazione vincolata

Triangolarizzazione non vincolata

Chiamiamo triangolarizzazione vincolata una triangolarizzazione che debba salvaguardare un certo numero di lati assegnati, vale a dire una triangolarizzazione che faccia sì che nessun lato di nessun triangolo intersechi un certo insieme di lati predefiniti. In Sargon ciò è ottenibile selezionando i lati (definiti a mezzo di travi e bielle) che devono essere salvaguardati.

Dopo una triangolarizzazione di Delaunay la mesh si presenta di solito non molto

soddisfacente, a causa della presenza di elementi eccessivamente distorti.

Sono pertanto stati proposti alcuni possibili metodi per migliorare una triangolarizzazione di Delaunay (o brevemente una DT) o una triangolarizzazione di Delaunay vincolata (o brevemente CDT, constrained Delaunay Triangularization).

Questi metodi richiedono l'aggiunta di nodi ulteriori e sono governati essenzialmente da due parametri: l'angolo minimo dei triangoli e/o la dimensione massima dei lati.

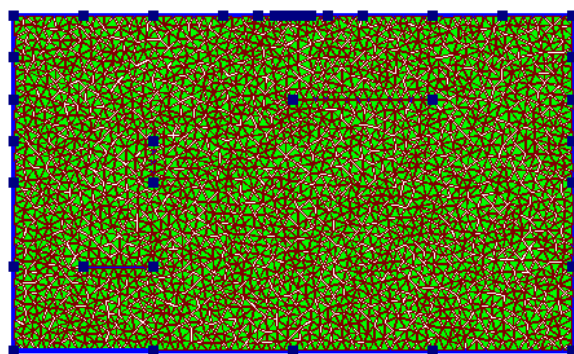
Entrambi i parametri sono estremamente delicati e una piccola variazione può portare a grandi tempi di calcolo ed a numeri di nodi assai differenti.

Di questi metodi Sargon presentemente (versione 7.30) ne implementa due.

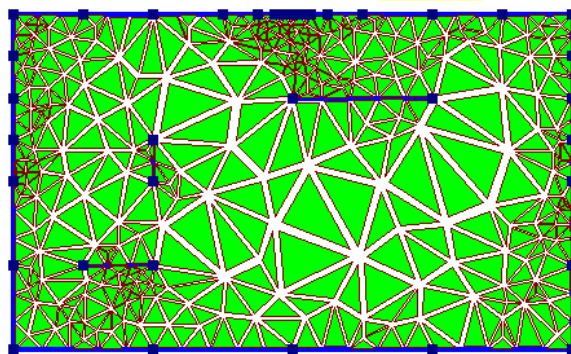
Un primo metodo consiste nell'ottenere una mesh con elementi aventi tutti più o meno la stessa dimensione e lo stesso angolo minimo (si parla in tal caso di mesh omogenee).

Un secondo metodo consiste nell'ottenere mesh con dimensione (fortemente) variabile, in modo da lasciare con mesh rozzamente definite le zone che non interessano e meshare invece più finemente le zone ove ci si attende una forte variazione degli sforzi.

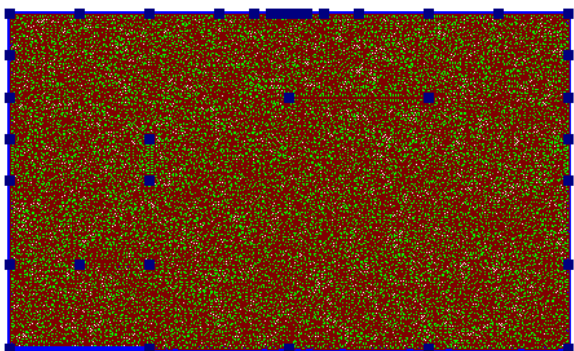
Ottimizzazione omogenea (algoritmo di)



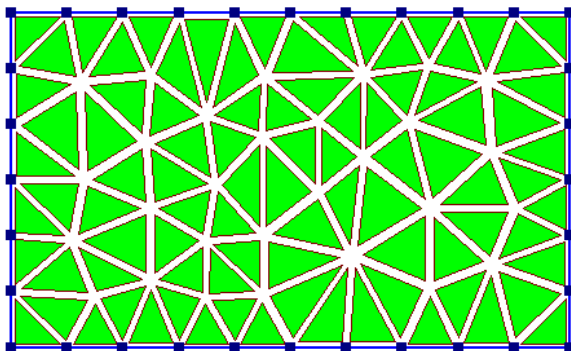
Ottimizzazione omogenea d=100



Ottimizzazione omogenea d=300



Ottimizzazione omogenea d=50



Ottimizzazione omogenea d=500

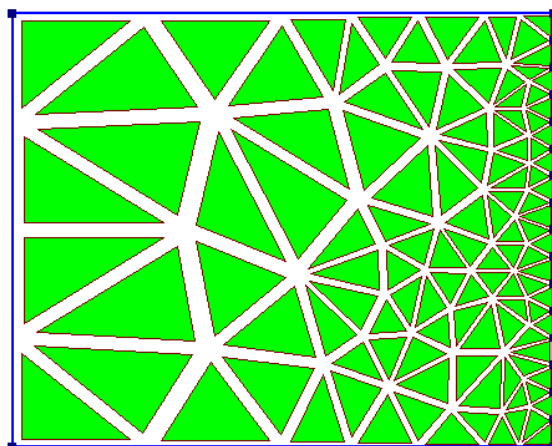
(si noti la diversità dei lati iniziali rispetto agli altri esempi)

L'algoritmo divide i triangoli quando i lati superano la lunghezza di mesh massima stabilita. Quando la lunghezza massima è pari a zero i lati non vengono suddivisi in base alla loro lunghezza.

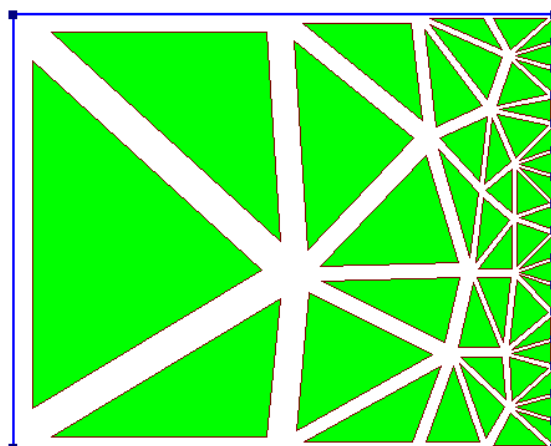
L'algoritmo tende a dare angoli minimi intorno a 30° e mesh omogenea purchè venga impostata una lunghezza massima prossima o inferiore al minimo segmento presente inizialmente (in figura il minimo segmento è lungo 78). Sulla base del limite di lunghezza introdotto i lati iniziali vengono suddivisi, in modo che nessuno di loro possieda lunghezza superiore al limite. L'algoritmo non è sensibile a variazioni di angolo.

Questo genere di algoritmo si applica bene a segmenti iniziali aventi tutti più o meno la medesima lunghezza (o resi tali specificando opportunamente il limite). Quando l'algoritmo viene impiegato con limiti superiori ai minimi presenti nei segmenti iniziali esso può convergere con modesti valori di angolo minimo e quindi con mesh di scarsa qualità.

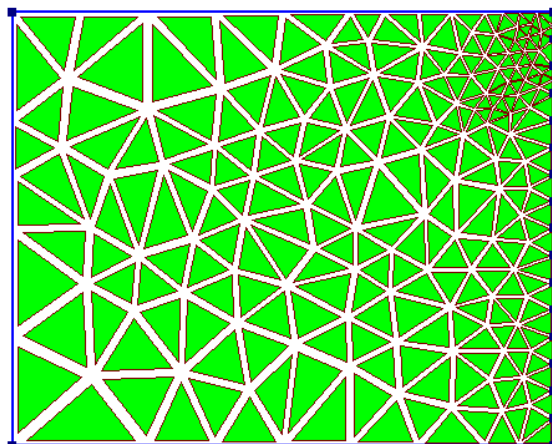
Ottimizzazione eterogenea (algoritmo di Ruppert)



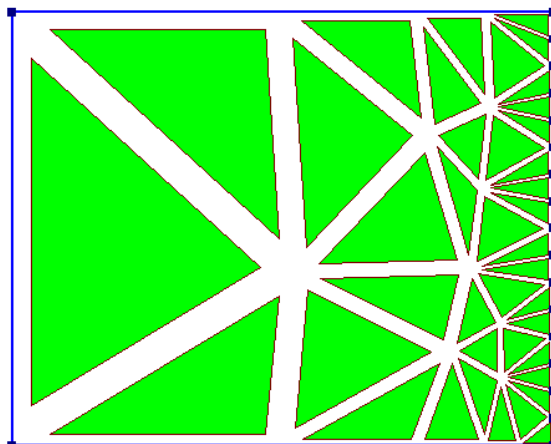
Angolo 30°



Angolo 20°



Angolo 33°



Angolo 15°

Mesh ottenute con l'algoritmo di Ruppert (mesh eterogenee) senza limitazioni ai lati: si noti la forte influenza del valore dell'angolo sulle mesh ottenute.

Questo algoritmo è invece stato espressamente inventato al fine di consentire la mesh con elevati standard di qualità pur se in presenza di lati di dimensione assai diversa tra loro.

L'algoritmo originario divide i triangoli di una triangolarizzazione non vincolata sulla base dell'angolo minimo al loro interno. Questo algoritmo, tenendo in conto solo gli angoli e non la lunghezza dei lati, genera mesh con dimensioni dei lati disomogenee, ed è quindi adatto a coprire regioni con ben differente passo di mesh.

L'algoritmo di Ruppert, comunque, non garantisce che i lati originari restino invariati e ciò talvolta pone un problema in quanto capita che sia richiesto che la mesh non interferisca con altre regioni già meshate. In questi casi, se è necessario non suddividere ulteriormente i lati già

esistenti, si dovrebbe usare l'algoritmo precedente. Naturalmente i vincoli corrispondenti al fatto di non suddividere lati esistenti possono essere incompatibili con le richieste in termini di massima dimensione del lato e/o minimo valore dell'angolo, pertanto l'utente deve fornire questi valori in modo coerente con la lunghezza dei lati esistenti (e da non toccare) oppure, in alternativa, accettare che i lati inizialmente esistenti siano modificati.

L'algoritmo di Ruppert è stato modificato per aggiungere (facoltativamente) anche il criterio del massimo lato. In questo caso, oltre a soddisfare il requisito sull'angolo, i triangoli dovranno soddisfare anche il requisito sulla lunghezza massima dei lati.

Quadrangolarizzazione

La quadrangolarizzazione è il procedimento che, partendo da mesh triangolari, cerca di trasformarle in mesh quadrangolari. La quadrangolarizzazione può essere completa o parziale. Alla versione 8.00 di Sargon esiste un unico modo per quadrangolarizzare la mesh generata coi triangoli, ed è un modo semplificato. In pratica all'interno della regione triangolarizzata si cercano le migliori coppie di triangoli adiacenti atte a fornire quadrangoli aventi tutti una certa qualità minima.

La misura della qualità è fatta mediante un indice ottenuto da un numero reale, tanto maggiore quanto maggiore è la qualità del quadrangolo e compreso tra 0 e 1. Dato il valor medio della qualità di una mesh costituita da quadrangoli, secondo Lee e Lo tale mesh può essere categorizzata come segue:

- | | |
|--|---------------|
| • Qualità media < 0.36 | Inaccettabile |
| • $0.36 < \text{qualità media} < 0.54$ | Accettabile |
| • $0.54 < \text{qualità media} < 0.72$ | Buona |
| • $0.72 < \text{qualità media}$ | Eccellente |

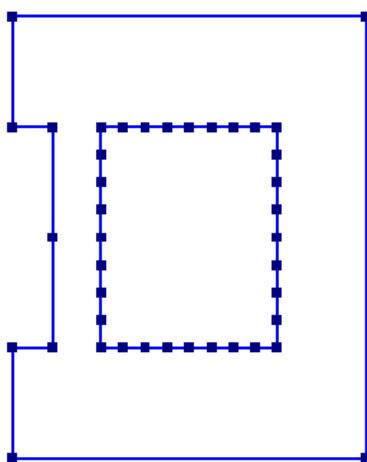
Il programma prende in input una qualità minima al di sotto della quale i quadrangoli vengono scartati perché inaccettabili. Il valore di default proposto è 0.36.

Mancanza di convessità del dominio, fori

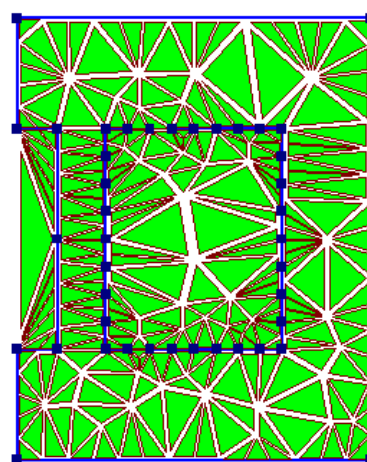
Gli algoritmi descritti non distinguono tra domini concavi o convessi. Per poter

meshare su domini concavi è necessario attivare una specifica opzione che rimuove i triangoli posti al di fuori del dominio originario. La stessa opzione consente di svuotare eventuali fori presenti nella regione da meshare.

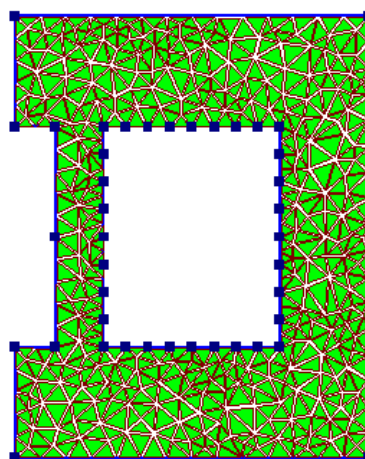
Per far capire al programma quali sono i fori, occorre che il perimetro di questi sia interamente descritto da una serie di lati contigui che siano tutti selezionati al momento della esecuzione del command. Il numero di fori è arbitrario. Non sono ovviamente ammessi fori nei fori. La forma dei fori è determinata dalla successione dei lati rettilinei e può quindi essere qualsiasi.



La situazione iniziale con i lati selezionati. Il dominio è concavo ed ha un foro



La mesh ottenuta senza specificare di tener conto di pieni e vuoti



La mesh ottenuta chiedendo di tener conto dei pieni e dei vuoti

Nella figura si vede ciò che succede se si mesha una regione concava senza specificare di tener conto dei pieni e dei vuoti.

Come agire operativamente

Per usare questo potente command occorre includere la regione da meshare (che deve essere piana) all'interno di un ciclo chiuso di elementi monodimensionali selezionati (travi o bielle) che indicano i lati iniziali. Opzionalmente è possibile aggiungere anche lati interni alla regione da meshare, anche disgiunti: se questi sono selezionati al momento della esecuzione del command, la mesh finale li rispetterà, nel senso che il lato (eventualmente suddiviso) sarà incluso all'interno dei lati della mesh. Se si desidera che i lati iniziali non vengano suddivisi è necessario specificare la richiesta esplicitamente nel dialog opportuno.

Ove siano presenti fori o la regione da meshare non sia convessa, è necessario attivare una specifica opzione per la ricerca e cancellazione automatica delle regioni esterne all'area di mesh (dominio concavo) o interne ai fori.

Una volta fatte le proprie scelte si può eseguire il command. Se la mesh non è di proprio gradimento basterà eseguire il command Annulla per tornare all'inizio, così da sperimentare nuove scelte dei parametri.

Estratto della Bibliografia consultata

- J.R. Shewchuk, *Lecture notes on Delaunay Mesh Generation*, September 20, 1999, Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of California at Berkeley
- J. Ruppert, *A Delaunay Refinement Algorithm for Quality 2-Dimensional Mesh Generation*, NASA Ames Research Center, February, 2, 1994, Submission to the Journal of Algorithms.
- Kyu-Yeul Lee, In-Il Kim, Doo-Yeoun Cho, Tae-wan Kim, *An algorithm for automatic 2D quadrilateral mesh generation with line constraints*, Computer Aided Design, 35 (2003), 1055-1068

2.4 Change the units

CHANGE UNITS

The command to be used is the command [Units...](#)^[549] of the Edit-Select menu.

To change units of measurement is often strongly suggested: in fact, we use different

units for different kind of input. For instance, millimeters are fine to input the sizes of a steel cross-section, but are not comfortable if a load per unit length must be input.

You can change the active units at any time: automatically the program updates the values. From that moment onward, all the values output by the program will use those units, and all the values input to the program will have to use those units.

It is also true that the listings, ASCII files created by the program, will be coherent with the units active when the file is created.

The choice of the units is common to all the views of the active document, and will be saved onto disk with the document itself.

2.5 Change the view

COME CAMBIARE LA VISTA

Per cambiamento di vista si intende qui il fatto che dell'oggetto modellato si possono vedere parti diverse, da punti di vista diversi.

I comandi qui descritti si trovano tutti nel menù Draw.

Cambiamento del punto di vista

Il modello può innanzi tutto essere guardato da punti di vista differenti. Alcuni di questi punti di vista sono standard, mentre altri sono del tutto particolari. In Sargon i punti di vista standard sono ottenibili con il command [Vista_Standard](#)^[446]. Sono standard le sei proiezioni ortogonali più la assonometria isometrica.

Sotto un aspetto matematico ogni vista è identificata da un versore, che dà la direzione della congiungente il punto di vista con l'origine. Il command [Rimappa](#)^[447] Dà un modo molto semplice per scegliere un punto di vista diverso: basta un unico click del mouse. Se il vettore della vista è perpendicolare ad un piano che passa per tre punti, è possibile usare il command [Tre_Punti](#)^[448]. Questo command viene utile per guardare bene la falda di un tetto a un piano comunque inclinato.

Ingrandimento e rimpicciolimento

Finita una vista si può scegliere di vedere l'intero modello, oppure una parte di esso. Non appena la vista viene cambiata con uno dei comandi precedenti, il modello viene visto nella sua interezza, sfruttando al meglio la finestra a disposizione. Per vedere un dettaglio della struttura, e quindi per ingrandire, si può usare il command [Zoom In](#)^[444], mentre per rimpicciolire si può usare il command [Zoom Out](#)^[445]. Per tornare a vedere tutta la struttura in modo ottimizzato si può usare [Includi](#)^[442].

Un command utile è [Ultimo Zoom](#)^[446], che riporta all'ultimo zoom eseguito.

Traslazione

Il riquadro di vista può essere spostato mediante un vettore tramite il command [Pan](#)^[443].

Viste Utente

Può essere utile, talvolta, memorizzare e richiamare delle viste particolarmente significative. Sargon consente di memorizzare sino a 4. Il command per memorizzare una vista è [Definisci vista](#)^[450], mentre quello per richiamare una vista precedentemente memorizzata è [Vista utente](#)^[451].

Traslazione

Per traslazione di una vista si intende il fatto che il riquadro della vista venga spostato nel suo piano. In Sargon ciò si fa con le barre di scorrimento, orizzontalmente e verticale. La traslazione della vista è utile per vedere dettagli limitrofi alla zona di interesse.

Estrazione

Per estrazione si intende la possibilità di guardare solo una parte del modello. Questa possibilità è utile allorchè si debba lavorare su modelli complessi.

In Sargon l'estrazione avviene selezionando gli elementi che si desidera guardare sul

serbatoio estrai, eppoi dando il command [Estrai](#)^[450]. Esistono due stati possibili: estrai e non estrai, segnalati da un opportuno segno di spunta. Se estrai è inattivo si vedranno tutti gli elementi. Se estrai è attivo si vedranno solo gli elementi selezionati nel serbatoio estrai. Per la selezione nel serbatoio estrai si vede il command [Serbatoio...](#)^[542].

2.6 Select

SELEZIONARE

[Generalità](#)^[120]

[Strumenti di Selezione](#)^[122]

[Filtri di Selezione](#)^[123]

[Modalità di Selezione](#)^[123]

[Operazione di Selezione](#)^[123]

[Esempi](#)^[124]

[Serbatoi di Selezione](#)^[125]

2.6.1 Generality

GENERALITÀ

La selezione è una delle operazioni più frequenti nell'uso di Sargon poichè in generale vale la regola che una operazione si applica alle sole entità selezionate.

Sargon è dotato di un ampio insieme di comandi dedicati alla selezione, e ciò con lo scopo di rendere agevole la selezione degli oggetti desiderati anche in presenza di strutture complesse, aventi migliaia di entità.

Da un punto di vista grafico è sempre immediatamente comprensibile quali siano gli oggetti selezionati: i nodi sono illuminati da un quadrato giallo, le aste assumono un colore blu scuro, i superelementi verde scuro, gli elementi bidimensionali, anch'essi, un colore blu scuro.

Spesso avviene di dover deselezionare gli oggetti precedentemente selezionati; in

questo caso l'avvenuta deselezione viene rappresentata, nel caso dei nodi, mostrando di colore magenta il quadratino che prima era giallo; nel caso di aste disegnando color oro le aste che prima erano blu; nel caso di piastre e membrane con una retinatina particolare.

Tutti i colori menzionati sino ad ora sono colori di default, l'utente può modificarli a suo piacimento. Questi colori sono ottimizzati con un background nero (per la modifica dei colori si veda il command [Colori](#)^[408]).

In Sargon la selezione è una caratteristica del document, non della vista. Pertanto se sono aperte più finestre, la selezione di un oggetto usando una delle finestre comporterà la notifica immediata alle altre finestre.

Sargon mette a disposizione dell'utente vari comandi per selezionare. Essi sono raggruppati nel menu Edit-Selezione.

In sintesi si può dire che Sargon seleziona gli oggetti in questo modo (fa eccezione la selezione per nome):

- 1- L'utente sceglie se vuole selezionare nodi, oppure travi o bielle, oppure piastre o membrane, oppure molle, oppure superelementi ([Oggetti](#)^[541])
- 2- L'utente indica degli oggetti con uno degli [strumenti di selezione](#)^[122]
- 3- Gli oggetti indicati (*catturati*) che soddisfano il [filtro di selezione](#)^[123] sono *candidati* alla selezione. L'insieme di tutti gli oggetti è così suddiviso in oggetti *candidati* (ovvero catturati soddisfacenti il filtro) e *non candidati* (tutti gli altri).
- 4- A seconda del [modo di selezione](#)^[123] scelto, l'[operazione di selezione](#)^[123] verrà applicata ai candidati (modalità autoriferimento) o ai non candidati (modalità complemento)

Per selezionare gli oggetti sulla base del loro nome, indipendentemente da altri filtri, è inoltre disponibile il command [Nome](#)^[540].

Benchè complesso, il funzionamento di Sargon relativamente alle selezioni è in molto logico. In pratica esso generalizza le tipiche operazioni di selezione dei CAD ai quali siamo abituati, che diventano così un sottoinsieme delle possibili modalità di funzionamento di Sargon.

Il default su cui Sargon è programmato:

Operazione: cambia

Modalità: autoreferenziale

sposa per l'appunto il funzionamento più comune. Con queste scelte, se si clicca su un node esso viene selezionato, se si riclicca sullo stesso node esso viene deselezionato (ovvero il suo stato viene cambiato).

L'utente di Sargon deve leggere attentamente e impratichirsi dei comandi di selezione, se vuole usare il programma efficacemente.

Supponiamo di aver selezionato un certo gruppo di oggetti e di aver temporaneamente bisogno di selezionare qualcosa d'altro.

Se selezioniamo qualcosa d'altro perdiamo la selezione attuale. Per evitare di perdere la selezione possiamo usare i [serbatoi di selezione](#)^[125]. Possiamo cioè selezionare oggetti in serbatoi diversi (3 diversi serbatoi) e passare da un serbatoio all'altro.

2.6.2 Selection tools

STRUMENTI DI SELEZIONE

Gli strumenti di selezione sono: il [Click](#)^[538], il [Box](#)^[539] la [Poligonale](#)^[539].

Click cattura un'entità per volta ma può essere ripetuta a volontà sinchè non si esce dal command.

Box cattura le entità la cui immagine è contenuta in un rettangolo descritto dall'utente.

Poligonale cattura le entità la cui immagine è contenuta in una poligonale descritta dall'utente.

Oltre a questi strumenti sono disponibili i comandi [Tutti](#)^[538], che seleziona tutti gli oggetti della struttura soddisfacenti il filtro, e [Nessuno](#)^[538] che deseleziona tutti gli oggetti: Questi ultimi due comandi non dipendono dalla modalità o dalla operazione di selezione attive.

Il command [Nome](#)^[540] consente di selezionare tutti gli oggetti che hanno un nome che sposa la stringa di ricerca specificata dall'utente. In questo caso i filtri di selezione non vengono impiegati.

2.6.3 Selection filters

SELECTION FILTERS

Selection filters are important as they permit passage from captured objects to candidate ones (see [Generality](#)^[120])

The filters are set by the command [Filter...](#)^[542].

The filters refer to the number of material or property, the type, the selection tank (candidates only the entities already selected in the tank chosen by the filter), the properties attribution and the length.

2.6.4 Selection modes

MODALITÀ DI SELEZIONE

Le modalità di selezione vengono decise con il command [Filtro](#)^[542].

Le modalità sono tre:

- * autoreferenziale
- * complemento
- * forza

Nella **modalità autoreferenziale** l'[operazione](#)^[123] si applica ai soli oggetti candidati, cioè agli oggetti catturati che soddisfano il filtro.

Nella **modalità complemento** l'operazione si applica solo a tutti gli oggetti non candidati (ovvero agli oggetti non catturati o catturati non soddisfacenti il filtro).

Nella **modalità forza** si applica l'operazione ai candidati e l'operazione contraria ai non candidati.

2.6.5 Selection operation

OPERAZIONI DI SELEZIONE

Le operazioni di selezione possibili sono tre: seleziona, deselecta, cambia.

- * **Seleziona**: attiva la selezione
- * **Deselecta**: disattiva la selezione
- * **Cambia**: seleziona se trova deselectato, deselecta se trova selezionato.

Queste operazioni hanno delle operazioni contrarie, definite dalla seguente tabella:

OPERAZIONE	OPERAZIONE CONTRARIA
Seleziona	Deselecta
Deselecta	Seleziona
Cambia	Invariato

La tabella delle operazioni contrarie serve quando si usa la [modalità forza](#)^[123].

2.6.6 Examples

ESEMPI SULLA SELEZIONE

Nei seguenti primi esempi si suppone che il filtro non sia attivato.

- a) Selezione di tutte le aste dopo aver scelto *travi e bielle*: [Tutti](#)^[538]
- b) Selezione di tutti i nodi dopo aver scelto *nod*: [Tutti](#)^[538]
- c) Selezione di un'asta [Click](#)^[538] dopo aver scelto *travi e bielle*.

In questo esempio si è supposto che l'[operazione](#)^[123] fosse accendi e il [modo](#)^[123] fosse autoreferenziale.

- c1) Se il modo fosse complemento e l'[operazione](#)^[123] accendi, nell'esempio c si selezionano tutte le aste tranne quella catturata con [Click](#)^[538].

c2) Se il modo fosse complemento e l'[operazione](#)^[123] fosse spegni, nell'esempio c si deselectano tutte le aste tranne quella catturata con [Click](#)^[538] (che resta invariata).

c3) Se il modo fosse complemento e l'[operazione](#)^[123] cambia, nell'esempio c l'asta catturata resterebbe con lo stato invariato, mentre tutte le altre passerebbero da accese a spente o da spente ad accese, a seconda della situazione corrente.

c4) Se il modo fosse forza e l'[operazione](#)^[123] accendi, nell'esempio c l'asta catturata sarebbe accesa e tutte le altre sarebbero spente.

c5) Se il modo fosse forza e l'[operazione](#)^[123] spegni, nell'esempio c l'asta catturata sarebbe spenta e tutte le altre sarebbero accese.

c6) Se il modo fosse forza e l'[operazione](#)^[123] cambia, nell'esempio c l'asta catturata verrebbe accesa se era spenta, spenta se era accesa e tutte le altre resterebbero invariate.

d) Esempio di applicazione dei filtri

Si supponga di aver un po' di aste selezionate e un po' deselectate. Si voglia con una sola operazione selezionare i controventi (bielle) d'una parete, perchè, per esempio, si vuole loro applicare un profilo, deselectando al tempo stesso tutto il resto.

Occorre fare le seguenti cose:

Scegliere come oggetti di selezione le travi e le bielle

Attivare un filtro sul tipo *bielle*

Attivare il la modalità di selezione *forza*

Attivare l'operazione di selezione *accendi*.

Poi con un box di una vista dall'alto si seleziona la parete in questione. Verranno selezionate le sole bielle della parete deselectando tutto il resto.

2.6.7 Selection tanks

SELECTION TANKS

Three selection tanks are provided (1, 2, 3), within which a set of selected elements or nodes may be stored, and later recalled at any time. Setting one tank as active is done with the [Tank...](#)^[542] command.

If the extraction mode is active, the three tanks are named 11, 12, and 13.

Once the desired tank is enabled, each subsequent selection operation will take place in that tank, leaving the content of other tanks unchanged.

2.7 Modify display modes

COME INFLUIRE SUL MODO DI RAPPRESENTARE

In un programma grafico come Sargon, i colori e i simboli grafici hanno un ruolo fondamentale perchè passano informazioni. Inoltre, ogni utente ha in generale preferenze diverse sul modo di rappresentare gli oggetti.

I comandi che influiscono sul modo di rappresentare sono nel menù View.

I primi due comandi si riferiscono alle barre degli strumenti e alla barra di stato. Con questi comandi si decide se vedere o meno tali barre.

Il command [Assi di riferimento](#)^[402] influisce sul modo di rappresentare gli assi di riferimento.

Il command [Oggetti](#)^[403] consente di decidere quali oggetti verranno mostrati a schermo (ivi incluse le numerazioni, le etichette, i nomi, i dati numerici).

Il command [Dimensioni](#)^[406] consente di variare la dimensione con cui vengono rappresentati gli oggetti.

Il command [Colori](#)^[408] consente di variare il colore degli oggetti.

Il command [Elementi](#)^[409] consente di stabilire il significato da associare alla colorazione degli elementi (il colore può rappresentare il tipo, la sezione, il materiale, ecc.). Esso consente inoltre di stabilire il modo di disegnare gli elementi bidimensionali (se riempirli o no) e se i superelementi debbano essere visibili.

Il command [Font](#)^[409] varia la dimensione il colore e il tipo dei font usati per varie cose (numerazioni, etichette, ecc.).

Il command [Orientazione](#)^[411] pilota la rappresentazione della orientazione della terna locale degli elementi. E' anche possibile rappresentare il disegno della sezione.

Il command [Associa Colore](#)^[412] associa un colore agli elementi selezionati.

2.8 Manage constraints and end releases

COME GESTIRE VINCOLI SVINCOLI E CEDIMENTI

[Come attribuire vincoli fissi](#)^[127]

[Come attribuire svincoli e nodi semirigidi](#)^[128]

[Come applicare molle](#)^[128]

[Come applicare cedimenti](#)^[129]

Per **vincoli fissi** si intendono i vincoli dei nodi che comportano la nullità del corrispondente grado di libertà (i cosiddetti “vincoli a terra”).

Per **svincoli** si intendono le totali o parziali sconnessioni degli estremi degli elementi beam rispetto ai loro nodi.

Per **molle** si intendono elementi che, al pari delle bielle, sono dotati solo di una rigidità assiale.

Per **cedimenti** si intendono gli spostamenti assegnati a certi nodi in certi casi di carico.

2.8.1 Set fixed constraints

HOW TO SET FIXED CONSTRAINTS

To apply constraints, first select the nodes that you wish to constraint, then use the command [Nodal Constraint...](#)^[677] of the menu Edit-Constraint.

If the command is executed more than one time on the same node, the constraints will change accordingly. To completely remove a constraint, you must apply a null constraint.

2.8.2 Set end releases

HOW ASSIGN END RELEASES

The assignment of the end releases is done by the command [End Releases](#)^[680] of the menu Edit-Constraints.

An end release can be both partial or complete.

If the end release is complete, there is no connection between the element extremity and its reference node. If the end release is partial, there is a partial connection. If no semirigid spring is assigned to the degree of freedom, this is free, i.e. there is a zero stiffness spring. End releases can be applied only to beam elements.

2.8.3 Apply springs

COME APPLICARE MOLLE

Le molle possono essere applicate con il command [Aggiungi](#)^[502] del menù Mesh-Molle, oppure con il command [Winkler](#)^[504] dello stesso menù.

La cancellazione delle molle selezionate avviene con il command [Cancella](#)^[504].

Il command [Winkler](#)^[504] serve ad aggiungere molle la cui costante di rigidità viene valutata a partire dalla costante di Winkler.

Scelta una fila di nodi il programma applica su ciascun node una molla avente una rigidità proporzionale al dominio di influenza di ciascun node ed alla costante di Winkler specificata.

Le molle alla Winkler possono anche essere applicate su nodi aventi una certa superficie di influenza. In tal caso occorrerà specificare due file di nodi, che definiscono una superficie.

Le molle alla Winkler su linee di influenza si applicano per le travi rovesce di fondazione; quelle su una superficie tipicamente per platee di fondazione.

2.8.4 Apply settles

HOW TO APPLY SETTLES

Settles are assigned to some nodes in some load case. To each settle it is related a very stiff spring, that works in every load case. In the load case where the settle must be applied, it is also added automatically by the program, during the solving phase, a notional force computed as $F = k u$, where k is the very high stiffness and u is the settle. Care must be used in choosing the spring stiffness: it must not be too low, or the computed settle will not be exactly equal to the input one, nor it must be too high, or numerical problems may arise. The value usually applied is 10^4 - 10^6 times the stiffness of the node in the direction of the settle, considering the other elements attached to the node. If the node is the bottom node of a column, a typical choice is 10^4 - 10^6 times EA/L , being E the Young's modulus, A the gross area and L the length of the column.

The command to be used to assign settles is [Add](#)^[682] of the menu Edit-Actions.

The settles are applied to the selected nodes.

2.9 Manage loads

COME GESTIRE LE AZIONI

[Casi di carico](#)^[130]

[Combinazioni di carico](#)^[130]

[Azioni](#)^[133]

La gestione delle azioni applicate sulla struttura si fa aggiungendo i casi di carico e le combinazioni di carico. Le combinazioni di carico esprimono situazioni di carico ottenute combinando linearmente i casi di carico. In campo elastico lineare la risposta strutturale è parimenti una combinazione lineare delle risposte ai casi di carico base.

Ogni caso di carico base raggruppa un certo numero di azioni che in generale si suppongono agire contemporaneamente sulla struttura. Il significato fisico di queste azioni è

coerente: il caso di carico rappresenta il vento, il sisma o i carichi permanenti.

Le azioni vengono aggiunte a un certo caso di carico base. Pertanto in generale prima si aggiunge un caso, poi le sue azioni. Una volta definiti tutti i casi di carico si aggiungono le combinazioni.

2.9.1 Load cases (Dialog)

CASI DI CARICO

Il gruppo di comandi che gestisce i casi di carico si trova sul menù Edit-Casi. L'aggiunta di casi di carico si fa con il command [Aggiungi](#)^[702], la modifica delle etichette e dei nomi dei casi di carico si fa con il command [Modifica](#)^[703]. E' possibile azzerare il contenuto di un caso di carico senza eliminarlo: il command è [Azzerà](#)^[703].

Ad un certo caso di carico è possibile sommare un altro caso di carico moltiplicato per un fattore scelto dall'utente. Ciò si fa con il command [Somma](#)^[703].

Se le azioni di un caso di carico sono tutte parallele (ad esempio tutte verticali) è possibile moltiplicarle per un certo fattore e contemporaneamente mutare loro di direzione; ciò si fa con il command [Somma_XYZ](#)^[704]. Questo command è utile per generale le forze statiche equivalenti in un'analisi sismica.

Per posizionarsi in un nuovo caso di carico è sufficiente selezionarlo nella lista presentata con il command [Modifica](#)^[703] o con il command [Casi](#)^[435] del menù Inquire. E' altresì possibile spostarsi da un caso di carico al precedente o al successivo con i comandi [Successivo](#)^[706] e [Precedente](#)^[706].

Per cancellare un caso di carico si usa il command [Modifica](#)^[703].

Ad ogni caso di carico è associato un nome ed un'etichetta.

L'etichetta serve per le verifiche, in quanto casi di carico aventi una natura diversa vengono trattati in modo diverso.

2.9.2 Load combinations (Dialog)

COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico servono ai fini delle verifiche, per le quali sono anzi indispensabili. Ogni combinazione di carico è definita da un nome e da una serie di moltiplicatori, tanti quanti sono i casi di carico. Come per i casi di carico, le combinazioni si possono aggiungere, cancellare o modificare. I comandi sono nel menu Edit-Combinazioni.

Il posizionamento su una combinazione di carico avviene selezionando la combinazione d'interesse nella lista presentata dai comandi [Modifica](#)^[719] e [Combinazioni](#)^[437] del menù Inquire.

COME GESTIRE GLI INSIEMI DI COMBINAZIONI (COMBISET)

La necessità di disporre di diversi insiemi di combinazioni da utilizzare per scopi differenti, come ad esempio le verifiche agli stati limite ultimi GEO anziché STR, o le verifiche agli stati limite di esercizio, costringeva ad impiegare diverse copie dello stesso modello o a cancellare le combinazioni precedentemente definite per definirne di nuove. Per ovviare a questo inconveniente, a partire dalla versione 9.35 Sargon dispone di sei insiemi diversi di combinazioni, che possono essere attivate all'occorrenza.

In pratica tutti i comandi di aggiunta delle combinazioni, interrogazione delle combinazioni, cancellazione delle combinazioni, o rappresentazione degli involuipi, si riferiscono all'insieme di combinazioni attivo. Un insieme di combinazioni (o brevemente *combiset*) si rende attivo mediante il command [Edit-Combinazioni-Modifica_Insiemi](#)^[707]. Tale command consente:

- di selezionare l'insieme di combinazioni che sarà attivo d'ora in avanti;
- di attribuire una sigla identificativa di al massimo sette lettere a ciascun combiset.

La sigla identificativa non deve essere duplicata, ovvero ciascun combiset deve avere una sua sigla. Essa è importante perché distingue un combiset dall'altro, non solo nell'interfaccia, ma anche, come vedremo tra poco, nei file di output creati dal programma. Esempi tipici di nomi di combiset potrebbero essere i seguenti:

- SLU-STR

- SLU-GEO
- SLE-SLO
- SLE-SLD
- SLU-SLV
- SLU-SLC
- C1
- C2
-

All'interno dell'interfaccia del programma il combiset attivo è riportato nella barra di stato della finestra principale.

Tutti i normali comandi che implicino l'uso delle combinazioni si riferiscono al combiset attivo.

Nei riguardi delle verifiche e dei tabulati, nonché dell'interfacciamento verso programmi esterni (come CSE o RCSTUDIO), vale la regola che il set di combinazioni esportato sarà quello attivo al momento della esecuzione del command.

E' dunque possibile eseguire le verifiche con uno stesso verificatore ma con combiset differenti. Per evitare che ad ogni successiva esecuzione i file vengano sovrascritti, a partire dalla versione 9.35 le regole che presiedono alla creazione dei file di output sono cambiate, per l'aggiunta in coda al nome, e prima della estensione, della stringa ".XXX" dove "XXX" è la sigla identificativa del combiset.

Pertanto al termine della esecuzione ad esempio delle verifiche secondo l'EC3, non si troverà il file binario "modello.eur", bensì il file binario "modello.XXX.eur". Sarà dunque possibile vedere i risultati delle verifiche con un combiset e poi con un altro (alternando l'uno all'altro mediante click del mouse sul riquadro dedicato della barra di stato). Non è possibile vedere *contemporaneamente* sullo stesso modello verifiche fatte con due combiset differenti, in quanto il combiset corrente è una proprietà del *document* e non della sua *vista* corrente (ciò appunto per la compatibilità con i programmi esterni).

Alla creazione del tabulato, non verrà creato, ed esempio in italiano, il file

"modello.EIT", bensì il file "modello.XXX.EIT", ciò vuol dire che sarà possibile avere tabulati differenti riferentisi a combiset differenti. Oltre che nel nome del file, l'uso di un certo combiset è riepilogato anche all'interno del file stesso mediante la scritta ad esempio seguente ("XXX" = "TUT2"):

Modello ---> D:\ANALISI\935\C 03
Insieme di combinazioni: TUT2
Data: 22/10/2009 - Ora: 10:13:22

Tutte le informazioni che dipendono dalle combinazioni, all'interno del tabulato, incluse naturalmente le verifiche, sono associate al combiset attivo.

L'utente che non faccia nulla in merito ai combiset, o che importi un modello già fatto con le versioni precedenti, si ritroverà per default attivo il primo combiset, al quale sarà dato il nome "CS1".

Si sottolinea nuovamente che tutti i comandi di gestione delle combinazioni si riferiscono al combiset attivo. Sarà quindi in particolare possibile eseguire più volte il command di generazione automatica delle combinazioni, *su combiset differenti*, avendo quindi diversi insiemi di combinazioni con cui lavorare.

2.9.3 Loads (Dialog)

AZIONI

Le azioni vengono associate al caso di carico correntemente attivo. Vale la regola che le azioni vengono applicate ai nodi ed agli elementi selezionati nel momento in cui viene eseguito il command [Aggiungi](#)^[682]. Con questo command è possibile aggiungere direttamente, sulle entità selezionate, forze o coppie nodali, forze o coppie uniformemente distribuite, concentrate o linearmente distribuite, carichi termici e, infine, cedimenti.

Il command [Canc Sel](#)^[689] cancella le azioni applicate sulle entità selezionate al momento della esecuzione del command.

Il command [Gravità](#)^[692] aggiunge le azioni corrispondenti alla forza di gravità degli elementi selezionati al caso di carico corrente.

Il command [Regione](#)^[689] consente di aggiungere carichi a regione. Essi vengono applicati ai nodi della struttura che definiscono una regione, sia essa una linea o una superficie.

Per regione si intende una parte di una linea o una parte di una superficie. La linea o la superficie devono essere ricostruite sulla base delle coordinate dei nodi che su di essa giacciono. Per fare questo è necessario ipotizzare che la linea o la superficie posseggano certi requisiti di regolarità.

Nel caso della linea, l'utente dà una poligonale all'interno della quale si trovano tutti e soli i nodi appartenenti alla linea stessa. Il programma sceglie i due nodi più distanti, poi ordina i nodi in modo da enumerare tutti i nodi scelti a partire dal primo node per finire all'ultimo. Una volta ordinati i nodi è possibile assegnare a ciascuno una lunghezza di pertinenza prendendo ciascuno dei due segmenti uscenti dal node (al limite uno) e dividendoli per due.

Si abbia ad esempio una linea definita da una successione di nodi, e si desideri applicare - su ciascun node - un carico proporzionale al tratto della linea di competenza di ciascun node. Per fare questo si definisce l'intensità del carico per unità di lunghezza e si racchiudono i nodi d'interesse all'interno di una poligonale. Il programma calcola automaticamente la parte di linea competente a ciascun node e aggiunge una forza su ognuno dei nodi scelti. Se p , p , p è il vettore delle tre intensità e I, J, K sono tre nodi consecutivi, sul node J verrà applicata la forza $0.5(IJ + JK)(p_x, p_y, p_z)$

Nel caso della superficie è possibile usare due modalità.

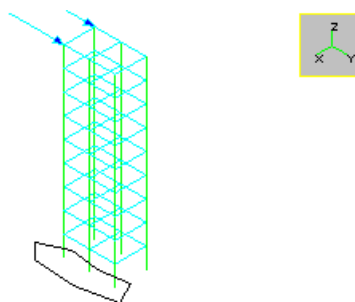
Nella prima modalità la superficie è individuata da due file di nodi che fungono da “riga” e “colonna” di una scacchiera ideale. La linea non deve necessariamente essere retta. Le due linee identificate dai nodi, identificati dalle due poligonali specificate dall'utente, devono avere un node in comune. I nodi mancanti vengono ricostruiti impiegando le due linee di nodi fornite (vedi l'esempio più avanti). Il programma cerca i nodi nelle posizioni attese e, se li trova, assegna loro il carico pertinente. Se invece non trova il node che si aspetta di trovare,

segnala “c’è un buco nella mesh” e procede oltre. Sia O il node in comune tra le file di nodi, I il contatore sulla prima linea e J il contatore sulla seconda linea. Sian inoltre PI il punto P sulla prima linea corrispondente al contatore I e PJ il node sulla seconda linea corrispondente al contatore J. Il generico punto PIJ è trovato come

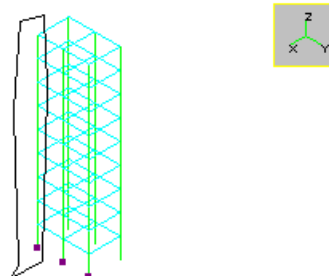
$$PIJ = (PI-O) + (PJ-O)$$

I nodi della superficie sono generati dal movimento di una curva sull'altra.

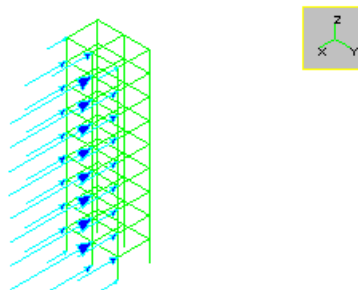
Esempio 1:



Selezione dei nodi della prima curva

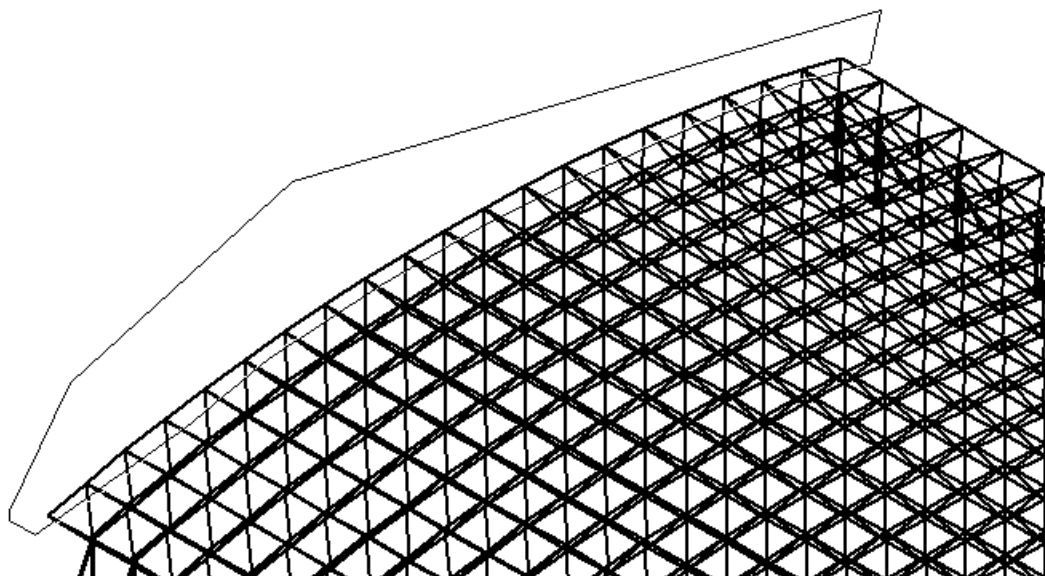


Selezione dei nodi della seconda curva

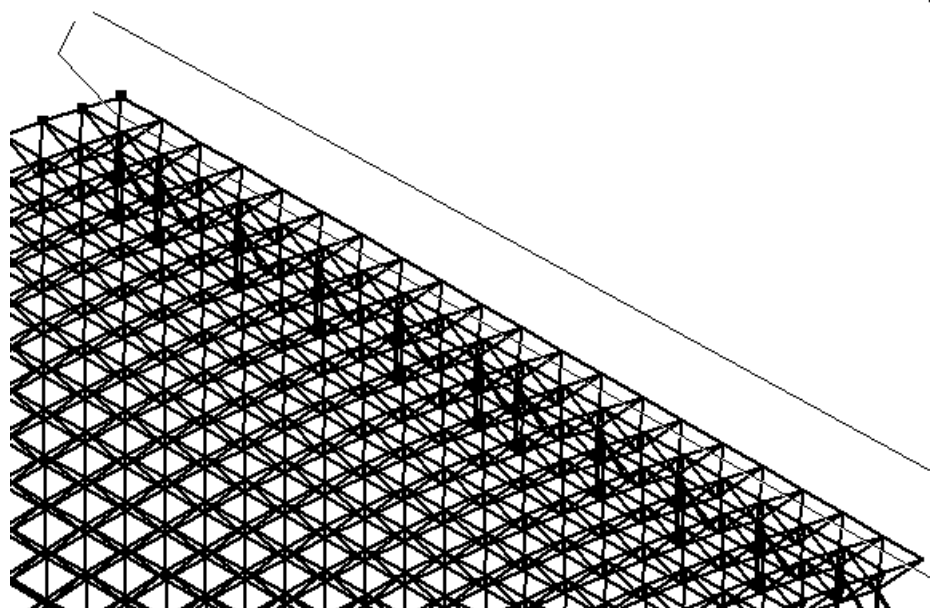


Effetto risultante

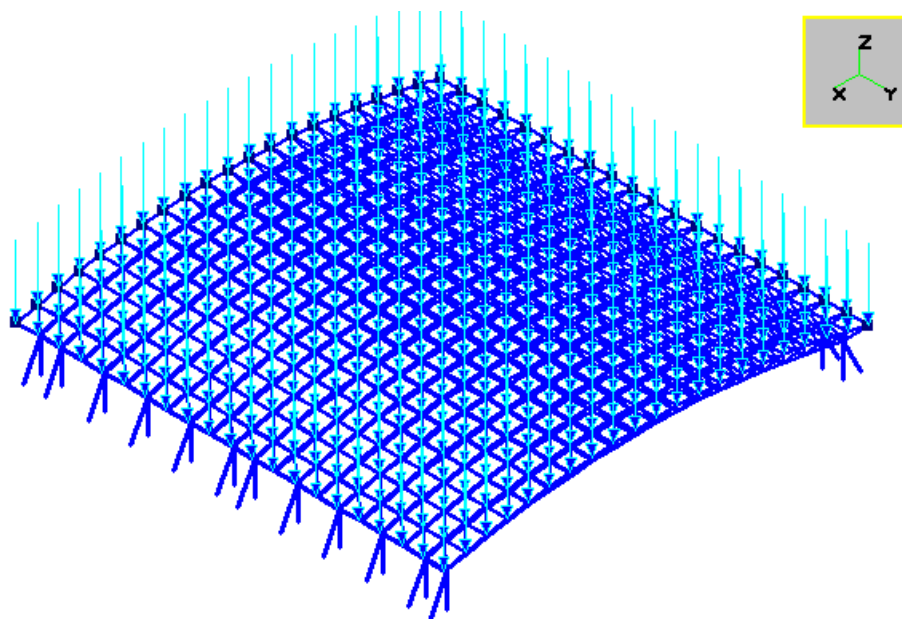
Esempio 2:



Selezione dei nodi della prima curva



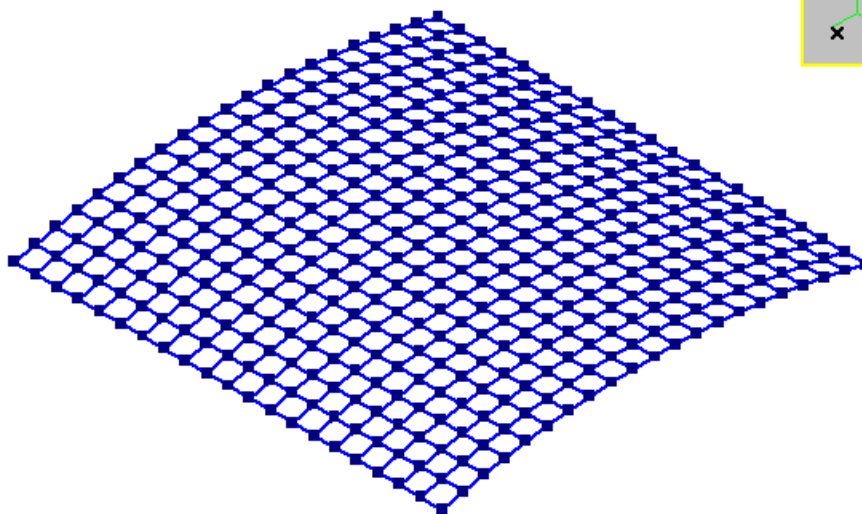
Selezione dei nodi della seconda curva



Effetto risultante

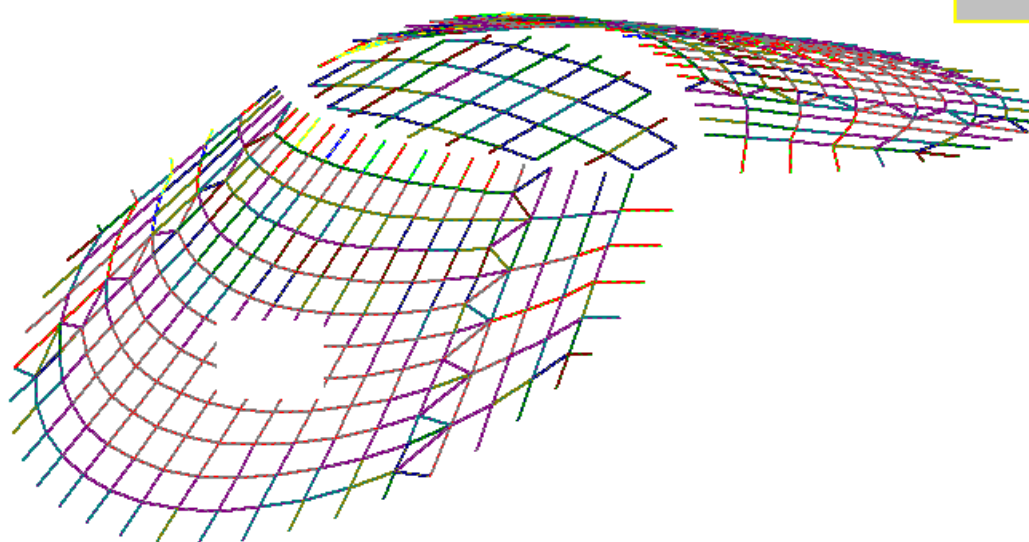
Nella seconda modalità la superficie di pertinenza di ciascun node viene ricostruita sulla base degli elementi beam e/o truss selezionati e collegati a quel node. La selezione è necessaria per poter scegliere quali elementi impiegare per ricostruire il luogo localmente. Tipicamente su un node selezionato si avranno quattro elementi uscenti, uno in una direzione, uno in una direzione grosso modo ortogonale. I quattro elementi definiscono quattro “facce” che consentono di ricostruire l’andamento della superficie desiderata intorno al node. Questa modalità evita di dover definire spline o superfici complesse. Le forze vengono applicate solo sui nodi selezionati. Per ogni node selezionato vengono cercati gli elementi beam e truss selezionati e connessi a quel node. L’insieme di tutti gli elementi uscenti dal node viene ordinato e così si ricostruisce una superficie uscente dal node. Da tale superficie si ricava la misura dell’area e la direzione della normale, necessarie per applicare questo o quel carico.

Esempio 3:



I nodi selezionati e le aste uscenti, selezionate anch'esse. Da ogni node escono 4 o 2 elementi, sufficienti a ricostruire l'andamento della superficie intorno a ogni node (solo il livello superiore dell'ordito è visibile).

Esempio 4:



Esempio di superficie a doppia curvatura alla quale applicare il command. Occorrerà selezionare tutti i nodi e gli elementi (solo il livello superiore dell'ordito è visibile). Qui non è possibile ragionare su

scacchiere.

Il command [Solaio](#)^[693] viene impiegato per dare rapidamente carichi uniformemente distribuiti ad un insieme di travi (il command è tipicamente usato per i solai).

Il command [Sisma](#)^[694] è usato per generare automaticamente le forze sismiche statiche equivalenti, secondo quanto previsto da diverse normative.

Il command [Vento su bt](#)^[697] viene usato per generare dei carichi uniformemente distribuiti (per le travi) o forze nodali (per le bielle) equivalenti al carico agente sull'elemento a causa di una pressione dovuta al vento avente una certa direzione. Questo command consente di valutare rapidamente l'effetto del vento su una struttura (si pensi ai tralicci).

Il command [Da reazioni](#)^[700] è utile per prendere le reazioni vincolari o le reazioni delle molle di un altro modello, e applicarle con il segno cambiato come forze nodali al modello esistente. Tale funzionalità è specialmente utile se si vuole studiare un complesso insieme strutturale mediante due distinti modelli, in modo che le reazioni vincolari del primo, col segno cambiato, diventino le azioni applicate sul secondo.

2.10 Manage archives

COME GESTIRE GLI ARCHIVI

In Sargon sono presenti due archivi: l'archivio delle sezioni (circa 15000 profili disponibili online) e l'archivio dei materiali.

Questi archivi possono essere mantenuti dall'utente con il command [Archivi](#)^[673] del menù Edit-Proprietà.

In pratica la gestione degli archivi viene demandata ad un modulo esterno a Sargon, denominato **SAMBA**, il quale consente sia di aggiungere che di cancellare materiali e sezioni. Si rimanda all'help di SAMBA per tutti i chiarimenti del caso.

L'uso degli archivi consente di usare qualsiasi tipo di materiale o di sezione sul modello ad elementi finiti.

AGGIUNTA E CANCELLAZIONE DI PROFILI E MATERIALI

A questa parte del programma si accede tramite il command [Archivi](#)^[679]. Con tale command si accede a SAMBA, il programma preposto al compito di modificare, aggiornandolo, l'archivio delle sezioni e dei materiali. Si rimanda all'help di SAMBA per ogni chiarimento sul suo funzionamento.

Si rimarca il fatto che possono essere aggiunti materiali qualunque, anche non metallici. Tale scelta avrà delle ricadute sulle verifiche (non saranno applicabili quelle eseguite con le norme per i materiali metallici) ma consentirà la creazione di modelli misti.

2.11 Assign material, cross-sections and properties

COME ASSEGNARE MATERIALI SEZIONI E PROPRIETÀ

L'attribuzione di sezioni agli elementi beam e truss, spessori agli elementi piastra e membrana, materiali agli elementi beam, truss, piastra e membrana, è un passaggio necessario ed indispensabile.

In Sargon le proprietà suddette vengono attribuite scegliendole da un archivio nel quale sono contenute. Ciò rende la procedura di assegnazione assai più sicura.

Ogni modello contiene un archivio con le sezioni, le proprietà ed i materiali attribuiti. Inizialmente questi archivi sono vuoti.

Su disco rigido, al momento della installazione, vengono creati due archivi: l'archivio delle sezioni e l'archivio dei materiali, entrambi ampliabili dall'utente ([Gestire gli archivi](#)^[139]).

Al momento della attribuzione l'utente può decidere se scorrere gli archivi su disco rigido o quelli del modello. L'attribuzione si fa selezionando preventivamente gli elementi dei quali si desidera cambiare le proprietà. Se si vogliono attribuire sezioni si usa il command [Sezioni](#)^[551]. Se si vogliono attribuire le caratteristiche di piastre o membrane si usa il command [Spessori](#)^[670]. Se si vuole attribuire il materiale si usa il command [Materiale](#)^[658].

E' anche possibile modificare le quote di una sezione già assegnata (solo la sezione presente nel modello, non quella dell'archivio di cui questa è copia) senza passare dall'archivio: il command si trova nel menu Edit-Proprietà ed è [Modifica Sezione](#)^[656].

Tutti questi comandi ad eccezione dell'ultimo si applicano agli elementi preventivamente selezionati.

Un modo alternativo per applicare le proprietà di sezione e materiale agli elementi beam e truss è il command [Pick bt](#)^[675]. Per le piastre e le membrane si può usare l'analogo [Pick pm](#)^[676].

I comandi di attribuzione vengono anche usati per scorrere gli archivi o per avere informazioni sui valori numerici corrispondenti alle caratteristiche applicate.

2.12 Get information about the model

COME AVERE INFORMAZIONI SUL MODELLO

In Sargon si possono avere informazioni sui contenuti del modello in vari modi: molte informazioni vengono date mediante simboli grafici appositamente preparati (molle, vincoli, svincoli, tipo delle azioni, ecc), tuttavia non è evidentemente possibile trasferire tutte le informazioni in questo modo.

Se si vogliono informazioni su singoli nodi, elementi finiti o superelementi ci sono dei comandi appositamente studiati. Essi si trovano nel menù Inquire :

[Nodi](#)^[415]

[Travi](#)^[417]

[Bielle](#)^[421]

[Piastre](#)^[424]

[Membrane](#)^[425]

[Molle](#)^[428]

[Superelementi](#)^[430]

Ciascuno dei comandi precedenti dà tutte le informazioni contenute nella corrispondente struttura di dati.

Se si vogliono avere informazioni generali sul modello, come il numero dei vari oggetti, occorre usare il command [Dati Generali](#)^[414].

Per conoscere la distanza tra due o più nodi è necessario usare il command [Geometria](#)^[415].

Relativamente ai casi ed alle combinazioni ci sono i due comandi [Casi](#)^[435], e [Combinazioni](#)^[437]. Il command [Azioni](#)^[432] serve invece per conoscere le azioni presenti su uno o più oggetti scelti dall'utente. Per conoscere le masse su un node si usa il command [Nodi](#)^[415], mentre per conoscere la risultante delle masse su un gruppo di nodi selezionati si usa il command [Masse](#)^[434].

I comandi sotto il menu Inquire-View Snellezze consentono di avere una mappa a colori tracciata sulla base delle snellezze delle aste (travi, bielle e superelementi).

Se si conosce il numero di un node o di un elemento, e si vuole sapere dov'è si usa il command [Trova](#)^[441].

Un importante insieme di comandi si trova sotto il menu Inquire-Oggetti Selezionati. Questi comandi sono importanti perchè si riferiscono all'insieme degli oggetti selezionati al momento della esecuzione del command, e quindi a gruppi di oggetti logicamente interconnessi.

In particolare è importante il command [Azioni](#)^[439] perchè consente di avere la risultante delle azioni applicate sugli oggetti selezionati (nodi ed elementi): con questo command si possono tenere sotto controllo le azioni applicate controllandone la correttezza.

2.13 Manage object names

COME GESTIRE I NOMI DEGLI OGGETTI

Ciascun node o elemento (comprese le molle ed i superelementi) può ricevere un nome che lo identifica. La opportunità di introdurre i nomi per gli oggetti deriva da queste considerazioni.

Quando si creano delle macro istruzioni gli elementi possono essere individuati grazie al loro nome, che avrà un'attinenza con la loro posizione;

Quando si modifica una mesh della quale sono già stati fatti dei plottaggi non si modifica l'identificatore degli elementi, ma solo il loro numero. E' così possibile riferire l'output al nome anzichè al numero, e quindi facilitare le fasi successive del lavoro (non dover rifare tutti i plottaggi).

In fase di selezione impiegando i nomi ed il carattere "*" è possibile selezionare con facilità insiemi di oggetti affini.

In nessun modo la gestione dei nomi è necessaria. Essa può invece costituire un aiuto in numerose occasioni.

Generalmente conviene assegnare i nomi agli elementi solo dopo aver completato il grosso della mesh: non è necessario assegnare i nomi *mentre* si aggiungono gli elementi. Una volta aggiunti gli elementi si vorrà dare un nome per esempio ai controventi, e allora si chiameranno i controventi "CONTR1", "CONTR2", eccetera, le colonne "COL1", "COL2", eccetera, e così via.

Il nome è un identificatore di 20 caratteri costituito da un prefisso alfanumerico ed un suffisso numerico. Il prefisso non deve finire con un numero.

Il command da impiegare per assegnare il nome agli oggetti selezionati è [Modifica Nomi](#)^[533]. Questo command serve sia ad assegnare un nuovo nome, sia a modificare il nome esistente, sia, al limite, a cancellare il nome. In fase di attribuzione del nome agli oggetti sarà cura dell'utente evitare di attribuire dei nomi già precedentemente assegnati. Per fare questo è sufficiente diversificare i prefissi alfanumerici nel corso delle successive operazioni di assegnazione. Per esempio le colonne del primo piano potranno essere "COLPP*", quelle del secondo piano "COLSP*" e così via. Sta all'utente decidere il giusto compromesso tra la esigenza di diversificare i nomi e la esigenza di semplificare.

Una volta assegnati i nomi con una ragionevole suddivisione degli elementi è poi possibile sia selezionare in base al nome ([Nome](#)^[540]), sia far vedere stampati i nomi degli oggetti ([Oggetti](#)^[403]). Tutti i comandi di interrogazione sui singoli oggetti danno anche il nome.

Nel tabulato ([Crea Listato](#)^[370]) è possibile introdurre una tabella di corrispondenza *Nome-Numero* e *Numero-Nome*, in grado di consentire il riconoscimento di ogni oggetto anche nel tabulato.

2.14 Manage groups

COME GESTIRE I GRUPPI

Oltre al nome i nodi e gli elementi possono ricevere un numero di gruppo. Ogni modello nasce con 10 gruppi, ma il numero dei gruppi può essere aumentato in modo arbitrario. Ciascun gruppo si distingue dagli altri oltre che per il suo numero progressivo, anche per il colore che ad esso è associato e per una descrizione. Sia il colore che la descrizione possono essere fissati arbitrariamente dall'utente. Sia le operazioni di aggiunta di nuovi gruppi che quelle di modifica delle caratteristiche dei gruppi esistenti sono gestite dal command [Gruppi](#)^[729], nel menu Edit. La modifica del colore o della descrizione di un gruppo può essere fatta anche con il command [Gruppo](#)^[673], nel menu Edit-Proprietà, normalmente impiegato per assegnare gli oggetti selezionati ad un gruppo.

In Sargon il concetto di "gruppo" è molto generale. Possono far parte dello stesso gruppo sia elementi differenti per tipo che nodi ed elementi assieme. Gruppo è la riunione di un numero arbitrario di oggetti accomunati da una qualche caratteristica utile per l'utente. Per assegnare gli oggetti selezionati ad un gruppo esistente si usa il command [Gruppo](#)^[673], del menu Edit-Proprietà.

Nel caso dei nodi il numero di gruppo prelude alla trattazione sistematica dei collegamenti, ed in futuro nodi dello stesso gruppo saranno nodi aventi eguali caratteristiche di calcolo.

Nel caso degli elementi il numero di gruppo può essere adoperato per distinguere parti diverse del modello, in modo tale, ad esempio, da rendere più immediatamente comprensibili le operazioni di meshing. Se si vogliono vedere gli elementi colorati in base al loro numero di

gruppo è possibile utilizzare il command [Elementi](#)^[409], del menu View.

Il gruppo può anche essere adoperato per selezionare rapidamente le parti del modello che si intendono vedere e quelle che si intendono nascondere, grazie al command [Estrai](#)^[450].

In nessun modo l'utente è obbligato a decidere il gruppo *mentre* sta facendo la mesh. L'attribuzione degli elementi ai gruppi e la decisione di quanti e quali gruppi adottare può essere presa anche a mesh completata. Viceversa, se l'utente ha le idee chiare su come suddividere gli elementi in gruppi può farlo mentre prepara la mesh.

Per selezionare rapidamente oggetti appartenenti ad un gruppo è possibile adoperare il filtro di selezione basato sul gruppo ([Filtro](#)^[542]).

Se un modello viene fuso in un altro i suoi gruppi verranno accodati a quelli del modello padre ([Fondi](#)^[380]).

Sulla barra di stato della finestra attiva compare il gruppo corrente ("GR="). Nelle operazioni che comportano l'aggiunta di elementi (copia, rotazione, mirroring ed aggiunta diretta) i nuovi elementi appariranno al gruppo attivo nel momento in cui si è eseguito il command. Si noti che è possibile modificare il gruppo corrente *mentre* si stanno aggiungendo gli elementi (anche semplicemente cliccando a sinistra per incrementare, a destra per decrementare, sopra "GR="). Tutte le operazioni di divisione, splitting ed intersezione di elementi fanno invece sì che i nuovi elementi ereditino il gruppo degli elementi originari.

I gruppi sono un aiuto, non un vincolo per chi fa il modello. Se nella trattazione dei gruppi si incontra difficoltà, ed il modello può essere gestito agevolmente con gli ordinari strumenti di selezione, la definizione dei gruppi può essere omessa. Su modelli vasti e complessi la corretta gestione dei gruppi può rendere tutto molto più facile. In questi casi l'uso dei gruppi ancorchè non necessario è vivamente consigliato.

2.15 Prepare and execute solving

COME PREPARARE ED ESEGUIRE IL SOLVING

[Analisi statica con solutori esterni](#)^[146]

[Analisi statica con CLEVER](#)^[147]

[Analisi modal con LEDA](#)^[148]

[Analisi a spettro di risposta con SPECTRUM](#)^[155]

[Analisi di buckling con BUCKL](#)^[169]

[Aree di taglio](#)^[208]

[Tension stiffening](#)^[209]

[Memoria](#)^[209]

[Rinumerazione](#)^[211]

[Pseudolabilità](#)^[212]

[Scelta degli elementi finiti](#)^[214]

[Analisi di frequency response con FREQUENCY](#)^[204]

[Analisi non lineari con il solutore CURAN](#)^[172]

[Controllo della bontà del calcolo](#)^[218]

2.15.1 Static analysis with external solvers

STATIC ANALYSIS BY EXTERNAL SOLVERS

If you wish to execute solving by one of the programs interfaced with Sargon, you usually first need the input file for the chosen solver ([Create Input](#)^[366]). External solvers are used to run static analyses. Once the input file has been written, you must run the external solver. After that, you can load results of the analysis ([Import Results](#)^[367]). Then it will be possible to postprocess results, and run the checks.

It must be noted that for several reasons (linked to the load cases a, b, c, d, limitation of

sapV and derived programs) the input file of some external solvers (ALGOR, Sap 80, Sap 90, GT-STRDL, but NOT Sap 2000 or STAAD or MIDAS or FEMAP) *the distributed loads are transformed into equivalent nodal forces, and that threrefore the stress state computed by the external solvers is not complete*, being necessary to re-add the local effects of the distributed loads. This re-addition is completed when the results are read into Sargon.

2.15.2 Static analysis with CLEVER

ANALISI STATICA CON CLEVER

Per eseguire l'analisi statica con CLEVER è necessario usare il command [Analizza](#)^[348] e attivare l'opzione relativa alla analisi statica. Il programma viene eseguito e, al suo termine, si viene riportati all'interno di Sargon: da quel momento è possibile fare postprocessing.

Segnaliamo la rigidità estrema con la quale CLEVER verifica che non vi siano ipostaticità o labilità: tutti i gradi di libertà devono essere vincolati o attaccati a qualche rigidezza. In caso contrario il solutore si ferma e segnala il problema. In questa eventualità viene creato un campo di spostamenti fittizio nel quale lo spostamento (traslazione o rotazione) associato al grado di libertà sul quale è avvenuto il blocco è convenzionalmente posto eguale ad 1.

In questa eventualità ulteriori informazioni sono reperibili nel file *.inf*.

Per ulteriori informazioni sul solutore CLEVER si rimanda al suo manuale.

Cholesky sparse solver

A partire dalla versione 8.10 di Sargon è disponibile un nuovo tipo di solutore accanto al solutore skyline che è il primo messo a punto intorno alla metà degli anni '90. Si tratta di un solutore che usa sempre il metodo di Cholesky, ma sfruttando la sparsità della matrice di rigidezza.

Il solutore in questione consente in molti casi di ottenere soluzioni nettamente più rapide

di quelle ottenibili con il solutore skyline, e con minore occupazione di memoria, esso comunque non implementa alcuna divisione in blocchi della matrice con accesso al disco rigido, e dunque vi sono casi in cui, a causa della particolare struttura delle matrici, le richieste in termini di spazio di memoria per conservare la matrice triangolarizzata **L** (dove $\mathbf{K}=\mathbf{LLT}$) superano le risorse disponibili. In questo caso il solutore si arresta con un messaggio di errore.

Benchè in un solutore sparse matrix alla Cholesky l'esigenza di rinumerare per diminuire la banda non ci sia, perché la matrice di rigidezza viene immagazzinata con i suoi soli termini non nulli, che non dipendono dalla banda, pure in effetti si ha che lo schema di sparsità della matrice triangolarizzata **L** non è identico a quello della matrice **K**, e quindi ci sono casi in cui il numero dei termini non nulli di **L** è nettamente maggiore del numero dei termini non nulli di **K**. In questi casi è possibile che benchè la fase di assemblaggio sia stata superata, non così risulti la fase di triangolarizzazione, durante la quale è necessario oltre allo spazio di **K** anche lo spazio per **L**.

Allo stato attuale il solutore sparse matrix non risulta ancora ottimizzato per quanto attiene alla rapidità nell'assemblaggio. Sono inoltre allo studio soluzioni che implementino il metodo del Gradiente Biconiugato Precondizionato e/o che migliorino le prestazioni del solutore per quanto attiene alla dimensione dello spazio richiesto per **L**.

2.15.3 Modal analysis with LEDA

ANALISI MODALE CON LEDA

Da un punto vista operativo l'analisi modal viene lanciata, esattamente come l'analisi statica, con il command [Analizza](#)^[348]. A differenza della analisi statica, l'analisi modal è un'analisi di tipo iterativo, pertanto andrebbe correttamente impostata prima di essere eseguita.

In particolare è di estrema importanza controllare i risultati della analisi sia in termini di deformata modal ([View](#)^[773]) sia in termini di massa partecipante ([Inquire](#)^[774]).

COME AGGIUNGERE MASSE AL MODELLO

Dalla versione 3.20 è possibile eseguire l'analisi modal ed a spettro di risposta con i moduli integrati LEDA e SPECTRUM. Per fare un'analisi modal è necessario applicare delle masse sul modello, le quali simulano la presenza dei carichi durante il terremoto. In campo dinamico, tanta più massa è applicata sul modello tanto più elevate saranno le sollecitazioni ([Guida pratica alla analisi modal](#)^[102]).

Pertanto l'aggiunta delle masse deve essere fatta in modo attento, onde evitare sovrastime o sottostime delle azioni.

Le masse possono essere aggiunte direttamente con il command [Aggiungi](#)^[723]. Il command somma i valori specificati alle masse già esistenti sui nodi selezionati al momento dell'esecuzione del command stesso. Nello specificare i numeri occorre tenere presente che:

- 1) Generalmente le tre masse sono eguali nelle tre direzioni. E' possibile specificare masse diverse nelle varie direzioni per modellare comportamenti peculiari.
- 2) I valori specificati vengono interpretati sulla base delle unità di misura attive. Per le masse traslazionali conta l'unità di forza. La massa introdotta è quella che ha il peso introdotto nell'unità di forza attiva. Ad esempio, se è attivo kN e viene introdotta il numero 10, la massa è quella che dà un peso di 10kN (come accelerazione di gravità il programma assume 9.81 m/sec²).

Nel caso in cui vengano aggiunti momenti di inerzia (o masse rotazionali) oltre all'unità di forza conta l'unità di lunghezza attiva. Si ricorda che la massa rotazionale ha come unità di misura la massa traslazionale per una lunghezza al quadrato. Se viene ad esempio introdotto il numero 100 ed è attiva l'unità “t” e l'unità “mm”, il numero viene interpretato dal programma come 100 t mm². Se fosse stato attivo “kN” e “cm” il programma avrebbe interpretato lo stesso numero come 100 kN cm² = 100.000 x 100 / 9810. t mm².

Per cancellare le masse (tutte e sei, le tre traslazionali più le tre rotazionali) dai nodi si fa così. Si selezionano i nodi su cui si vogliono cancellare le masse e poi si dà il command [Canc sel](#)^[725].

Esistono poi dei comandi che consentono di cancellare solo le masse traslazionali in

una certa direzione, ovvero solo le masse traslazionali X ([Canc_selX](#)^[726]), traslazionali Y([Canc_selY](#)^[726]) e traslazionali Z([Canc_selZ](#)^[726]).

Oltre ad aggiungere masse secondo valori specificati numericamente, è possibile aggiungere masse secondo i carichi già applicati con il command [Caso](#)^[725].

Questo command è estremamente potente, perchè consente di generare automaticamente le masse associate a certi casi di carico, moltiplicandole per un opportuno fattore.

Per quello che riguarda la gravità, questa è applicata automaticamente dal programma come densità di massa degli elementi, e non è pertanto necessario introdurla come massa ai nodi. Se, invece, si vuole avere elementi con densità di massa nulla è necessario spegnere il flag del dialog [Analisi Modale](#)^[355]. Se si fa così la massa degli elementi nel file di input per l'analisi modal (.din) viene posta eguale a 0.

Il command [Sposta](#)^[727] consente di perturbare le masse correggendole in modo tale da generare una certa desiderata eccentricità.

Da “Analisi modal ragionata”, di Paolo Rugarli, EPC libri, ROMA, 2005.

Partendo da una certa distribuzione di masse, una pertinente correzione variabile linearmente con la ascissa può essere ottenuta in forma chiusa applicando le seguenti formule.

Sia \underline{x} la posizione del centro delle masse prima delle correzione ed $(\underline{x}+e)$ la posizione del centro delle masse che si vuole ottenere dopo la correzione, dove “e” è l’eccentricità accidentale desiderata. Sia inoltre “i” un indice che varia da node a node e che tiene in conto solo i nodi selezionati e con massa non nulla per un totale di “n” nodi. Immaginiamo che la massa m_i di ciascun node subisca una correzione Δm_i e che la correzione Δm_i sia funzione lineare di x, secondo la legge

$$\Delta m_i = ax_i + b$$

dove “a” e “b” sono due costanti. In tal caso, imponendo che la massa totale M non cambi e che

la posizione del nuovo centro delle masse sia in $(\underline{x}+e)$, otteniamo le due equazioni seguenti:

$$\begin{cases} \sum_i (m_i + \Delta m_i) = M \\ \sum_i x_i (m_i + \Delta m_i) = M(\bar{x} + e) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sum_i \Delta m_i = \sum_i (ax_i + b) = 0 \\ \sum_i x_i \Delta m_i = \sum_i x_i (ax_i + b) \end{cases}$$

$$b = \frac{-a \sum_i x_i}{n}$$

Queste formule entrano però in crisi quando la correzione è negativa e superiore alla massa originaria, quando cioè

$$m_i + \Delta m_i < 0$$

condizione che si raggiunge se la eccentricità “e” supera un certo valore di soglia, dipendente dal problema in esame.

COME IMPOSTARE UN'ANALISI MODALE

Per eseguire una analisi modal è innanzi tutto necessario aggiungere le masse sul modello.

Ciò fatto occorre specificare:

- 1) Il numero dei modi che si chiede di trovare (default = 6);
- 2) L'ordine del sottospazio (default = 3 x numero dei modi richiesti);
- 3) La tolleranza (default = 1.e-8);

- 4) Il massimo numero di iterazioni (default = 20)
- 5) Se dare o non dare densità di massa agli elementi per l'analisi modal.
- 6) L'eventuale shift

Per tutti i valori numerici il programma fornisce un ragionevole default. L'utente può dover cambiare tali default quando la sua analisi richiede un numero di modi diverso, non riesce a convergere o converge lentamente. A tal fine si osservi che ([Guida pratica alla analisi modal](#)):

- più è elevato il numero dei modi più tempo e spazio occorre per risolvere l'analisi. In genere si chiedono fino a poche decine di modi, non di più (fanno eccezione casi particolari). Nella grande maggioranza dei casi 6-10 modi sono sufficienti. Il numero dei modi richiesto non può essere superiore al numero di masse applicate ai vari gradi di libertà. Il numero dei modi non può essere superiore all'ordine del sottospazio.
- più elevato è l'ordine del sottospazio più elevata è la convergenza, che dipende dal rapporto tra la prima e l'ultima frequenza del sottospazio. Se vi sono molti modi con pulsazione identica o simile può essere necessario aumentare l'ordine del sottospazio. Aumentare l'ordine del sottospazio comporta anche un aumento dello spazio richiesto in RAM. L'ordine del sottospazio non può essere inferiore al numero dei modi richiesto.
- la tolleranza consigliata è 1.e-8 per avere buoni risultati sugli autovettori di ordine superiore. Tolleranze minori possono portare a risultati meno precisi sulle componenti meno significative degli autovettori superiori. Al crescere della tolleranza il tempo di calcolo diminuisce. La tolleranza è definita come il massimo valore, al variare dei modi richiesti, del seguente numero, essendo i l'indice di iterazione:

$$TOL = (\Omega_{i+1} - \Omega_i) / \Omega_i$$

- il massimo numero di iterazioni al termine delle quali il programma accetta per buono il

risultato ottenuto è per default 20. Spesso si può convergere più semplicemente aumentando l'ordine del sottospazio piuttosto che aumentando il numero di iterazioni. Un elevato numero di iterazioni per convergere è indice di cattiva convergenza: meglio aumentare l'ordine del sottospazio.


- dare o non dare la massa agli elementi dipende esclusivamente da considerazioni di modellazione. Essenziale è comunque darla, se c'è, e non darla due volte. Se il flag GRAVITA' è acceso la massa degli elementi sarà aggiunta alle masse applicate ai nodi in sede di soluzione. Se il flag è spento si terrà conto solo delle masse applicate ai nodi.
- L'applicazione di uno shift è necessaria per risolvere situazioni nelle quali la struttura gode di uno o più moti rigidi, tipicamente le oscillazioni proprie di un corpo libero. In questi casi specificando uno shift (che ha le dimensioni fisiche di una pulsazione al quadrato), la matrice di rigidezza perde la singolarità ed il problema può venire risolto. Lo shift può essere positivo o negativo. Se è negativo si ha la certezza di non generare termini diagonali negativi sulla matrice di rigidezza. Se lo shift è troppo piccolo esso non è in grado di eliminare la singolarità, e la matrice non sarà invertita. Conviene fare qualche test per determinare il valore di shift ottimo per il problema in esame.

COME ESAMINARE I RISULTATI DI UN'ANALISI MODALE

I risultati di un'analisi modal si esaminano in due modi: si guardano le forme modali, i periodi e le masse partecipanti da dentro Sargon, si guarda il file di output MODELLO.DOU da fuori Sargon.

Il file .DOU contiene le forme modali, i periodi, le frequenze, le rispettive tolleranze, le percentuali di massa partecipante, i fattori di partecipazione.

Nel file .DOG è contenuta una statistica su quanto avvenuto nel corso dell'analisi modal.

A schermo è possibile vedere la deformata modal di un certo modo usando il command [View](#)  che chiede di specificare a quale modo si è interessati. Il riepilogo dei periodi, della massa partecipante complessiva e della massa partecipante di ogni modo è ottenuto con il command

[Inquire](#)^[774].

Scelto un certo modo, che deve essere coerente con il numero dei modi disponibili, il programma fa vedere la deformata modal. I valori di percentuale di massa partecipante sono estremamente significativi, perchè dicono quanto un modo sia importante per la struttura in esame. Al crescere della massa partecipante cresce l'importanza del modo in questione ([Guida pratica alla analisi modal](#)^[1021]).

ANALISI MODALE CON SOLUTORE SPARSE MATRIX

A partire dalla versione 9.80 (rilasciata nel Novembre 2011), anche l'analisi modal può essere fatta utilizzando tecniche di *sparse matrix*. L'effetto è quello di una drastica riduzione dei tempi di calcolo e del numero di operazioni in virgola mobile, ed un notevole incremento della massima dimensione dei modelli praticamente trattabili.

Operativamente è sufficiente apporre un segno di spunta nella casella "sparse matrix" del [dialog](#)^[348] che si apre con il command [Analizza](#)^[348].

Il solutore per l'analisi modal con matrici sparse (che è sempre WLEDA.EXE, LEDA), usa la subspace iteration sfruttando la decomposizione $\mathbf{K}=\mathbf{LDL}^T$ operata con il metodo di Cholesky ma su matrici sparse. Tale tecnica è ereditata dal solutore CLEVER, che anche usa, a scelta, tecniche di sparse matrix. Anche il calcolo della matrice $\mathbf{K}^*=\mathbf{T}^T\mathbf{K}\mathbf{T}$, tipico della analisi modal con *subspace iteration* viene eseguito tenendo conto della sparsità di K dopo la fattorizzazione.

Al momento il solutore assume (verificando la circostanza preliminarmente mediante calcolo) che sia disponibile RAM a sufficienza per eseguire le operazioni *all in core*: versioni successive utilizzeranno la possibilità di eseguire uno *swap* su disco per aumentare ulteriormente il raggio di azione del solutore.

Si fa in ultimo osservare che, come per il caso statico, il solutore modal sparse matrix è sensibile alla richiesta di rinumerare. In particolare, se viene richiesta una rinumerazione alla RCM (reverse Cuthill-Mc Kee), il solutore sparse esegue un *riordinamento delle equazioni* (mediante una tecnica che *non è* quella di RCM) al fine di ridurre la occupazione di spazio di

L a partire dallo spazio (noto) occupato da **K**. Infatti se la matrice **K** è sparsa, non è detto che la matrice **L** che soddisfa la triangolarizzazione di Cholesky $\mathbf{K}=\mathbf{L}\mathbf{D}\mathbf{L}^T$ sia sparsa anch'essa. In generale, in funzione della numerazione delle equazioni si potranno avere **L** più o meno sparse, con pesanti ricadute sul calcolo. In certi casi (con molte equazioni) la RAM può non essere sufficiente. Se non viene richiesta alcuna rinumerazione il riordinamento non viene eseguito e la sparsità di **L** è quella che è (in generale: bassa). E' dunque altamente consigliabile, nell'uso dei solutori *sparse matrix*, mantenere la richiesta di rinumerazione *alla RCM*, per fare in modo che il riordinamento venga eseguito, con ciò riducendo drasticamente la occupazione di spazio di **L**, ed anche il numero delle operazioni in virgola mobile.

2.15.4 Response Spectrum Analysis with SPECTRUM

ANALISI A SPETTRO DI RISPOSTA CON SPECTRUM

Da un punto vista operativo l'analisi a spettro di risposta viene lanciata, esattamente come l'analisi statica, con il command [Analizza](#)^[348]. Perchè l'analisi a spettro di risposta possa essere eseguita è necessario chiedere contestualmente una analisi modal, oppure che l'analisi modal sia stata eseguita in precedenza. Inoltre è necessario che esistano adeguati casi sismici. Un caso di carico è adeguato ad essere trattato per l'analisi a spettro di risposta quando soddisfa i seguenti requisiti:

- 1) Ha un'etichetta di tipo **Sisma (analisi modal)**.
- 2) In quel caso di carico è presente un'unica forza nodale, diretta come il sisma, e con una intensità in Newton pari alla intensità del sisma. Il node su cui applicare la forza è arbitrario. Se ad esempio il sisma è diretto come Y ed ha una intensità pari a 1.5 volte quella prevista dallo spettro, occorrerà dare ad un node una forza (0, 1.5, 0) in Newton.
- 3) Il nome del caso di carico deve cominciare con le lettere "XYZ_", dove XYZ è la sigla del sisma da adottare per quel caso. I file di output della analisi a spettro di risposta (.rin, .rog, .rou) avranno un nome del tipo MODELLO.XYZ.RIN, MODELLO.XYZ.ROG, MODELLO.XYZ.ROU. Ciò per tenere distinti i risultati delle varie analisi a spettro di

risposta.

La condizione 3) è stata introdotta a partire dalla versione 9.50 del programma (maggio 2010). Essa consente di associare diversi sismi (definiti da opportuni spettri di risposta) ai casi sismici. La necessità di definire sismi diversi (ovvero non solo sismi di intensità diversa, che si sarebbero potuti ottenere riscalandolo le ordinate dello spettro in sede di combinazioni, ma sismi aventi uno spettro di risposta con una forma diversa) è legata ad una specifica innovazione delle norme italiane del 2008, le cosiddette NTC 2008. Queste norme prevedono la possibile necessità di indagare 4 distinte situazioni sismiche: SLO, SLD, SLV, SLC. A ciascuna delle tre possibilità sono associati sismi aventi una forma spettrale differente. In Sargon, a partire dalla versione 9.50, è possibile definire fino a 5 sismi differenti. A ciascun sisma deve essere associata una sigla identificativa di tre caratteri (default: EA1, EA2,..., EA5). Tale sigla identificativa può essere fatta corrispondere ad esempio alle sigle già citate. Per ogni sisma è poi possibile definire 3 diversi spettri di risposta, associati alle 3 diverse direzioni globali (X, Y, Z). Tutto ciò viene fatto sia nella impostazione della analisi a spettro di risposta (command [File-Analizza](#)^[348]), sia con il command [Edit-Azioni-Terremoti](#)^[698]). Se un sisma non viene usato da alcun caso di carico non è necessario definirlo. Viceversa, se un caso di carico utilizza un sisma (mediante il nome) quel sisma, con quella sigla identificativa, deve esistere.

L'esecuzione della analisi a spettro di risposta, quando richiesta (command [File-Analizza](#)^[348]) comporta di fatto la esecuzione di tante analisi (ovvero di tante istanze successive di `wspectrm.exe`) quanti sono i sismi referenziati nel modello. Un sisma è referenziato nel modello mediante la presenza di casi di carico che abbiano all'inizio del loro nome la sigla di uno dei sismi definiti in precedenza.

Prima di eseguire l'analisi a spettro di risposta è necessario, per ciascun sisma usato nel modello, e per ognuna delle tre direzioni del sisma, fissare lo spettro di risposta. Lo spettro può essere definito per mezzo delle norme italiane, dell'EC8, delle norme ASCE-7 oppure per punti (file `SPETTROX.PTS`, `SPETTROY.PTS`, `SPETTROZ.PTS` della cartella di installazione). Il command è [File-Analizza](#)^[348] o [Edit-Azioni-Terremoti](#)^[698].

Oltre allo spettro è necessario fissare il modo in cui verranno combinati tra loro gli

effetti dei vari modi. Questi si possono combinare usando il metodo della somma dei quadrati con fattore di grappolo (SRSS con cluster factor in accordo a NRC Guide 1.92), oppure amplificando un modo ritenuto dominante sulla base della sua massa partecipante (metodo della amplificazione modal), oppure, infine, mediante il metodo della combinazione quadratica completa di Der Kiureghian (CQC).

Nel primo (SRSS) e terzo (CQC) caso l'equilibrio viene perso, nel secondo caso no. Per ovviare all'inconveniente del primo metodo, Sargon consente di ricalcolare i tagli sulla base dei momenti di calcolo, e consente di decidere il segno dei diagrammi di momento. Tale possibilità andrebbe attentamente presa in considerazione in vista delle verifiche di resistenza e stabilità.

COME IMPOSTARE UNA ANALISI A SPETTRO DI RISPOSTA

1) Generalità

Un'analisi a spettro di risposta ha per risultato uno o più casi di carico in cui gli spostamenti e le sollecitazioni sono ottenuti non per mezzo di una analisi statica, bensì per mezzo della opportuna rielaborazione dei risultati di un'analisi modal.

Come passo preliminare, è pertanto necessario definire un certo numero di casi di carico, etichettati **SISMA (Analisi Modale)**, e con il nome che cominci con "XYZ_", essendo "XYZ" l'identificatore del sisma. Tali casi sono i destinatari delle sollecitazioni e degli spostamenti. In ognuno dei casi di carico sismici rilevanti ai fini dell'analisi a spettro di risposta, occorre specificare la direzione del sisma. Ciò si fa convenzionalmente nel seguente modo. Si aggiunge in quel caso di carico un' unica forza nodale diretta come il sisma. Se ad esempio si vuole un sisma diretto come X nel caso di carico 3, occorre: etichettare il caso di carico 3 come caso di carico sismico. Aggiungere **come unica azione presente in quel caso**, una forza nodale, su un qualunque node, di intensità pari a $F_x = 1 \text{ N}$, $F_y = 0$, $F_z = 0$. E' da notare che nell'aggiungere la forza occorre usare come unità il Newton. Infatti il numero specificato non stabilisce solo la direzione, ma anche l'intensità, intendendosi che una forza doppia ha effetti doppi. Se si specifica 1N come intensità l'effetto sarà quello dello spettro con

moltiplicatore pari a 1. Se si specificano 2N l'effetto sarà quello dello spettro con moltiplicatore pari a 2, e così via.

Riepilogando: per ogni caso di carico sismico occorre aggiungere un'unica forza nodale, definita in Newton, diretta come il sisma e con intensità pari all'intensità che si desidera per gli spettri. **Normalmente pertanto si applicherà una forza avente componenti unitarie.** Se per errore la forza unitaria viene applicata usando per esempio le tonnellate, i risultati saranno palesemente fuori scala, perché saranno 9810 volte quelli dello spettro definito dalle norme. Al caso di carico sismico è associato il sisma descritto dalle prime tre lettere del nome del caso stesso.

Esempio 1

Si vuole far sì che nel caso 3 agisca un sisma diretto come Y e non si vuole amplificare o ridurre lo spettro di normativa. Si etichetta il caso 3 come sismico, poi si cambia l'unità di misura della forza e si sceglie N. Quindi si applica su un node qualsiasi una forza con queste componenti (0, 1, 0). Se si vuole che il caso di carico usi il sisma "SLV", allora il nome del caso di carico comincerà per "SLV_". Se invece si vuole il sisma "BOO", il nome del caso di carico comincerà per "BOO_".

Esempio 2

Si vuole far sì che nel caso 4 agisca un sisma diretto come la bisettrice del piano XY e non si vuole amplificare o ridurre lo spettro di normativa. Si etichetta il caso 4 come sismico, poi si cambia l'unità di misura della forza e si sceglie N. Quindi si applica su un node qualsiasi una forza con queste componenti (0.707, 0.707, 0). Se si vuole che il caso di carico usi il sisma "SLO", allora il nome del caso di carico comincerà per "SLO_". Se invece si vuole il sisma "GFD", il nome del caso di carico comincerà per "GFD_".

Gli identificatori dei sismi sono definiti con il command [File-Analizza](#)^[348].

Per eseguire un'analisi a spettro di risposta è necessario che sia stata preventivamente eseguita un'analisi statica ed un'analisi modal. Nessun problema se l'analisi a spettro di risposta viene eseguita in cascata dopo le precedenti.

I risultati dell'analisi a spettro di risposta vengono caricati nei casi che soddisfano i requisiti precedenti, sovrascrivendo i risultati ottenuti con l'analisi statica degli stessi. Tutto ciò è compiuto automaticamente. Occorre prestare attenzione al fatto che finchè non viene eseguita l'analisi a spettro di risposta, il programma fa vedere i risultati dell'analisi statica anche sui casi SISMA aventi i requisiti precedenti. Dal momento in cui viene eseguita l'analisi a spettro di risposta in poi, in quei casi di carico viene invece fatto vedere il risultato dell'analisi a spettro di risposta.

2) Come fissare gli spettri

Per ognuna delle tre possibili direzioni principali, X, Y e Z è necessario stabilire lo spettro di risposta. Lo spettro può essere quello previsto dal DM 24-1-1986, quello previsto dall'Eurocodice 8, quello previsto dalle norme ASCE-7, quello della Ordinanza 3274 del 20-3-2003, quello previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14-1-2008) o uno spettro definito dall'utente.

Nel caso in cui si debba fornire lo spettro secondo il DM96 occorre fornire il grado di sismicità S ($\max = 12$), il coefficiente di protezione sismica I , il coefficiente di fondazione ϵ ed il coefficiente di struttura β .

Nel caso in cui si debba fornire lo spettro in accordo alla Ordinanza 3274 occorre specificare la zona (1, 2, 3, o 4), il profilo stratigrafico (A, B, C, D, E), il coefficiente di importanza (1 per edifici ordinari, fino a 1.4 per edifici di particolare importanza) e, infine, il fattore di struttura q . Per il significato dei parametri ed il campo di validità si rimanda alla norma.

Per quanto riguarda le Norme Tecniche per le Costruzioni DM 14-1-2008, occorre preventivamente determinare per mezzo del programma NTCSISMA.EXE, presente nella cartella di installazione, i valori di A_g , F_o e T_c^* relativi al sito in esame ed allo stato limite considerato. Poi, oltre a questi tre numeri, occorre fornire il coefficiente di amplificazione topografica ST , la categoria del suolo C , e il fattore di struttura q . Si rimanda all'articolo

www.castaliaweb.com/ita/discussioni/zonegriglieostanze.pdf per una estesa discussione sulla modalità di determinazione della azione sismica in accordo alla nuova norma e sui commenti che si è ritenuto di dover fare alla determinazione della azione sismica.

Nel caso in cui si debba fornire lo spettro secondo l'EC8 occorre fornire il tipo di spettro, la classe del suolo S ($A=1$, $B=2$, $C=3$), l'accelerazione del suolo in g , A_g , il coefficiente di importanza, ed il “behaviour factor” q . La A_g da specificare è sempre quella orizzontale, quella verticale è determinata automaticamente dal programma.

Nel caso in cui si debba fornire lo spettro secondo le norme ASCE-7 occorre fornire il valore di SDS e di $SD1$ in unità g , il periodo TL in secondi, il fattore di importanza ed il fattore di struttura. In questo caso la accelerazione verticale è eguale a quella specificata nel dialog.

Se invece si sceglie di fornire lo spettro per punti, in modo diverso da quanto previsto dalle due norme precedenti, occorre modificare il file \SPETTROX.PTS, per lo spettro X , il file \SPETTROY.PTS, per lo spettro Y , il file \SPETTROZ.PTS, per lo spettro Z . Questi sono file ASCII di significato immediatamente comprensibile (formato SAPIV: l'ascissa è in secondi, l'ordinata è in unità g . Lo spettro ha un certo numero di punti, un moltiplicatore ed un divisore che è il fattore di struttura, q . Di solito il moltiplicatore è l'accelerazione del suolo in unità g , per esempio 0.15, mentre le ordinate sono numeri che amplificano o riducono tale valore in funzione del periodo; infine nella prima riga, dopo il moltiplicatore, compare il fattore di struttura che verrà usato per dividere le ordinate dello spettro). **Essi sono contenuti nel direttorio di installazione del programma.**

E' possibile avere uno spettro DM per la componente X ed uno spettro EC8 per la componente Y . Pertanto ogni componente va esplicitamente prescelta.

3) Come combinare i modi e scegliere il fattore d'errore

L'analisi a spettro di risposta serve a ottenere risultati fruibili in termini di verifiche a partire dai risultati di un analisi modal. SPECTRUM fa questo in tre modi: con il metodo NRC Guide 1.92, o anche SRSS method (square root of the sum of the square); con la Complete

Quadratic Combination (CQC); e con il metodo dell'amplificazione modal.

Per scegliere il metodo NRC Guide è necessario fornire un insieme di parametri (dialog [Type di spettro](#)^[357]).

Il numero "cluster" ([Guida pratica alla analisi modal](#)^[102]) deve essere maggiore di zero ed indica il fattore di grappolo (cluster). Generalmente esso vale 0.1. Se due modi hanno la pulsazione tale che $(O_{i+1} - O_i) / O_i < \text{cluster}$ l'effetto dei due modi verrà sommato prima di eseguirne il quadrato (O è il simbolo della pulsazione).

A partire dalla versione 9.90 rilasciata nel Luglio 2012, è possibile associare a ciascun caso di carico sismico (etichetta SISMA MODALE), un singolo modo di riferimento. Questa informazione è necessaria se si usa il metodo della amplificazione modal (verrà amplificato il modo di riferimento per ciascun caso), mentre è facoltativa se si usa la SRSS (NRC) o la CQC. Se è stato associato un modo di riferimento ad un certo caso di carico sismico, e si usa la NRC Guide o la CQC, i segni degli spostamenti e delle azioni interne saranno quelli del modo di riferimento.

Tale metodologia è utile quando vi sia un modo dominante sugli altri, tal che i segni delle singole azioni interne e degli spostamenti siano identici a quelli del modo indicato.

Se si esegue il metodo NRC Guide o la CQC senza alcuna modifica le sollecitazioni che si ottengono **non sono in equilibrio**. Per ottenere questo risultato i numeri n , mt , $m2$ ed $m3$ devono essere tutti nulli. Ciò vuol dire che non verrà applicata alcuna correzione al metodo, se non quella relativa al modo di riferimento nel caso in cui sia stato specificato (per non specificare un modo di riferimento basta porre "0" come modo di riferimento).

Viceversa, se vengono specificati n , mt , $m2$ o $m3$ diversi da zero viene fatta una correzione di segno nel seguente modo.

Il numero " n " serve a decidere il segno della azione assiale. Se n è positivo l'azione assiale sarà di trazione su tutti gli elementi. Se n è negativo l'azione assiale sarà di compressione su tutti gli elementi (indipendentemente dai segni del modo di riferimento, che non sarà utilizzato

per le azioni assiali).

Il numero "mt" serve a decidere il segno del momento torcente (indipendentemente dai segni del modo di riferimento, che non sarà utilizzato per i momenti torcenti).

Il numero "m2" ha una doppia funzione. Se è diverso da zero i tagli T3 al primo ed al secondo estremo verranno ricalcolati in modo da far equilibrio ai momenti agenti. In particolare, se "m2" è positivo il diagramma di momento sull'asta sarà tutto dello stesso segno. Se invece "m2" è negativo il diagramma di momento sull'asta sarà *a farfalla*. In ogni caso se "m2" è diverso da zero i tagli T3 saranno ricalcolati. La scelta sulla distribuzione influenza il calcolo del momento equivalente a stabilità. Pertanto deve essere compiuta con cura. Se "m2" è diverso da zero i segni di M2 e T3 negli elementi saranno determinati indipendentemente dai segni del modo di riferimento, che non sarà utilizzato.

Il numero "m3" ha una doppia funzione. Se è diverso da zero i tagli T2 al primo ed al secondo estremo verranno ricalcolati in modo da far equilibrio ai momenti agenti. In particolare, se "m3" è positivo il diagramma di momento sull'asta sarà tutto dello stesso segno. Se invece "m3" è negativo il diagramma di momento sull'asta sarà *a farfalla*. In ogni caso se "m3" è diverso da zero i tagli T2 saranno ricalcolati. La scelta sulla distribuzione influenza il calcolo del momento equivalente a stabilità. Pertanto deve essere compiuta con cura. Se "m3" è diverso da zero i segni di M3 e T2 negli elementi saranno determinati indipendentemente dai segni del modo di riferimento, che non sarà utilizzato.

Il metodo della CQC (complete quadratic combination) richiede di specificare tre cose.

La prima è lo smorzamento associato ai modi. Nella versione implementata (che è quella proposta dalla Norma) lo smorzamento resta eguale da modo a modo, e va quindi specificato una volta per tutte. In genere si assumono valori compresi tra 0.03 (3%) e 0.1 (10%).

La seconda cosa che occorre specificare è se si debbano tenere i segni dei singoli modi oppure se si debba prendere il valore assoluto. Si noti che il segno finale sarà comunque perso: i segni influenzano solo i termini che accoppiano modi diversi (doppi prodotti nel quadrato del binomio) e quindi possono far ottenere risultati anche minori di quelli ottenibili mediante

SRSS.

La terza è se si vogliono introdurre delle correzioni ai segni oppure no. Il significato delle correzioni (n , m_1 , m_2 , m_3) è identico a quello già descritto per la SRSS, e pertanto si rimanda a quanto già chiarito precedentemente.

Oltre al metodo NRC Guide ed al CQC è disponibile il metodo dell'amplificazione modal.

Questo metodo consente di valutare gli effetti del sisma amplificando opportunamente gli effetti di uno dei modi di oscillazione, quello di riferimento per il caso di carico in esame. Questo metodo è consigliato quando nella direzione in cui agisce il sisma esiste un modo che ha massa partecipante molto alta.

Per esempio si voglia studiare un sisma X . Supponiamo che il terzo modo abbia percentuale di massa partecipante in direzione X pari all'80% del totale. In questo caso si può amplificare l'effetto del terzo modo per un fattore tale da ottenere una massa partecipante pari al 100%. Se P è la percentuale di massa partecipante per il modo e per la direzione che interessa, gli effetti del singolo modo (precisamente il fattore di partecipazione) vengono moltiplicati per $1/\sqrt{P}$, ad esempio per l'80%, $1/\sqrt{0,8}$.

Questo metodo è applicabile su ogni modo, anche quelli a bassa massa partecipante. Occorre quindi prestare attenzione. L'uso con modi a bassa massa partecipante (alte frequenze) può servire per studiare se, su certi elementi, tipicamente ai piani alti, si ottengono sollecitazioni sensibilmente superiori a quelle ottenute amplificando il modo dominante. Il metodo in questione dà ottimi risultati su strutture aventi un modo dominante, e risultati in buon accordo con quelli ottenuti con NRC guide / CQC. **A differenza di quei metodi, questo metodo non ha bisogno di correzioni per riequilibrare la risposta**, ed il segno delle sollecitazioni è correttamente distribuito tra gli elementi. **Ai fini delle verifiche tutto ciò è ovviamente molto utile.**

Nota bene: per poter applicare questo metodo la direzione del sisma deve essere o X , o Y o Z (non può essere usato un sisma diretto come la bisettrice del piano xy).

A partire dalle versione 7.1 la soluzione mediante il metodo dello spettro di risposta viene

eseguita – a richiesta – anche secondo il metodo dello spettro di risposta con fattore di errore. Per una estesa trattazione del tema, si rimanda all’articolo allegato: [Spettro di risposta con fattore di errore](#)^[106].

Il fattore di errore è un numero che è considerato in genere maggiore di 1 e dà conto del fatto che una certa grandezza al valore nominale, d^* , possa invece assumere un valore da questo diverso. Pertanto il programma indaga cosa succede se il valore “reale” d è più basso (d^*/f) oppure più alto ($d*f$) di quello nominale d^* .

Il fattore di errore non è né potrebbe essere un numero “rigoroso”, probabilistico o “esatto”, ma solo una (peraltro fondamentale) stima ingegneristica, motivata da considerazioni che dipendono dal singolo problema in esame. Il fattore di errore è un grado di libertà che il progettista mantiene per sé e che serve ad indagare situazioni prossime, ma non identiche, a quelle allo studio.

Vengono definiti i seguenti fattori di errore:

Sul fattore di struttura (f_{eq}). Ovviamente il fattore di struttura “di calcolo” risulterà pari a q^*/f , essendo a favore di sicurezza il numero minore. Porre $f_{eq}=1$ significa non variare il coefficiente di struttura nominale.

Sulla intensità di massa a parità di distribuzione (f_{eM}). In genere spostamenti e sollecitazioni aumentano con la massa, e quindi generalmente il programma finirà con l’adottare una risposta con un livello di massa pari a $M*f_{eM}$. Porre $f_{eM}=1$ significa non variare la intensità di massa. Questo fattore di errore è a parità di distribuzione, e quindi non c’entra nulla con l’eccentricità accidentale, che dovrà essere studiata a parte.

Sulla intensità del modulo elastico (f_{eE}). In pratica la rigidezza viene variata in modo omogeneo a parità di distribuzione. Ciò viene fatto anche quando nel modello compare più di un materiale. Non esiste un caso valido in generale. Gli spostamenti tendono a diminuire all’aumentare di E , ma le azioni interne restano invariate o aumentano. Porre $f_{eE}=1$ significa non variare il modulo di elasticità e quindi non variare la rigidezza.

Sul periodo (f_{eT}) a causa di errori non dipendenti dalla intensità di massa o di rigidezza. Tale fattore di errore tiene in conto le incertezze sul periodo di calcolo dovute alla discretizzazione alle dimensioni geometriche, ecc..

In generale, detto T il periodo di un modo, C il suo coefficiente di risposta, X lo spostamento ad esso associato, e F la azione interna ad esso associata, valgono le seguenti espressioni per i fattori di errori derivati:

$$f_{eT} = f_{eT} \sqrt{\frac{f_{eM}}{f_{eE}}} \quad (*)$$

$f_{eC} = f_{eC}(T, f_{eT}, f_{eM}, f_{eE}, f_{eQ})$ una funzione che dipende dallo spettro adottato

$$f_{eX} = f_{eC} f_{eT}^2$$

$$f_{eF} = f_{eM} f_{eC}$$

Il programma calcola dapprima dei periodi « lower bound » ed « upper bound » grazie alla (*). Da questi può valutare dei coefficienti di risposta “lower bound” e “upper bound” e quindi dei fattori di errore su C, f_{eC} . Fatto ciò, il programma indaga sugli spostamenti e sulle azioni interne mediante le due formule indicate, e quindi perviene ai massimi valori (>1) per f_{eX} ed f_{eF} . A questo punto i valori “nominali” degli spostamenti saranno amplificati da f_{eX} , mentre i valori nominali degli sforzi saranno amplificati da f_{eF} . Il risultato è una sovrastima a favore di sicurezza, tenendo in conto possibili variazioni di fattore di struttura, della intensità di massa a parità di distribuzione, della intensità di rigidezza a parità di distribuzione, del periodo a causa di errori diversi da quelli indicati.

Poiché in generale f_{eX} ed f_{eF} saranno diversi, è normale che gli spostamenti in uscita non siano “coerenti” con le azioni interne calcolate sul modo. Il programma prende le variazioni che comportano, separatamente, il caso peggiore (spostamenti maggiori, azioni interne maggiori).

Un volta calcolati gli effetti modali con questo sistema, questi vengono poi combinati per le vie normali.

4) Esempio di come usare il programma con la norma italiana NTC 2008

Si abbia una struttura dove per semplicità siano presenti solo due casi non sismici, il caso 1, permanente, ed il caso 2 variabile con valore quasi permanente nullo. Nel caso in cui siano presenti più casi le modifiche sono ovvie, solo molto più numerose le combinazioni.

TIPO	NOME
CASO 1: GRAVITA'	Peso proprio
CASO 2: VARIABILI	Folla

Si debba eseguire una analisi sismica con la nuova normativa.

Se si deve studiare ad esempio SLD ed SLV si opererà in questo modo.

- a) Si definiranno con in command [Edit-Azioni-Terremoti](#)^[698] i sismi SLD ed SLV, usando le sigle SLD ed SLV.
- b) Si aggiungeranno 6 nuovi casi di carico di questo tipo:

CASO 3	SISMA_MODALE	SLV_Sisma X
CASO 4	SISMA_MODALE	SLV_Sisma Y
CASO 5	SISMA_MODALE	SLV_Sisma Z
CASO 6	SISMA_MODALE	SLD_Sisma X
CASO 7	SISMA_MODALE	SLD_Sisma Y
CASO 8	SISMA_MODALE	SLD_Sisma Z

Poi si definiranno 4 combi set con il command [Edit-Combinazioni-Modifica_insieme](#)^[707], un combi set SLU, un combi set SLE, un combi set SLV ed un combi set SLD.

Nel combi set SLU si metteranno combinazioni allo SLU di tipo non sismico. In particolare non si farà uso dei casi da 3 a 8.

Nel combi set SLE si metteranno combinazioni allo SLE di tipo non sismico. In particolare, come nel caso precedente, non si farà uso dei casi da 3 a 8. Nella generazione automatica delle combinazioni ciò è possibile perchè è possibile rendere non attivi alcuni casi prima della generazione automatica.

Nel combi set SLD si metteranno solo combinazioni sismiche allo SLD che usano i casi 6, 7, 8.

Nel combi set SLV si metteranno solo le combinazioni sismiche allo SLV che usano i casi 3, 4, 5.

Questa strategia ha i seguenti pregi e difetti:

- pregio: mantiene distinti i combi set della sismica e quindi consente più agevolmente di indagare inviluppi e altro che sia causato dai sismi in quanto tali
- difetto: dà luogo a ben 4 combi set anzichè 2.
- difetto: non vi è spazio (dato che i combi set sono al momento al massimo 6) per indagini che distinguano STR da EQU o GEO.

A questa strategia può essere sostituita la seguente.

Si definiscono due soli combi set, uno SLU ed uno SLE.

Nel combi set SLU si metteranno le combinazioni SLU non sismiche e le combinazioni sismiche che utilizzino i casi 3, 4, 5.

Nel combi set SLE si metteranno le combinazioni SLE non sismiche e le combinazioni sismiche che utilizzino i casi 6, 7, 8.

In questo caso si hanno i seguenti pregi e difetti:

- pregio: ci sono solo due combi set, uno SLU da verificarsi con i verificatori, e l'altro SLE da esaminare per quanto riguarda gli spostamenti.
- difetto: le combinazioni sismiche sono mescolate a quelle non sismiche
- pregio: ci sono altri 4 combi set disponibili per le combinazioni EQU e GEO.

La laboriosità di queste attività è dovuta alla norma, che non solo prevede SLU diversi per

EQU, STR e GEO, ma prevede anche sino a 4 gruppi diversi di sismi. Tale ultima caratteristica è assente dall'Eurocodice 8.

e) si eseguirà l'analisi statica, modal ed a spettro di risposta. Questa ultima si occuperà sia dei casi 3,4,5 che dei casi 6,7,8, dato che sono referenziati due sismi (SLD ed SLV). E' da notare che la definizione delle combinazioni (i combi set) può essere fatta anche dopo l'esecuzione della analisi.

5) Come scegliere la modalità di calcolo degli spostamenti

Gli approcci più recenti alla progettazione in zona sismica fanno uso del concetto di spettro di progetto, ottenuto dallo spettro di risposta elastico mediante riduzione per un opportuno fattore, detto fattore di struttura, che tiene in conto la duttilità del sistema e la sua capacità di dissipare energia.

Grazie all'impiego degli spettri di progetto, e del fattore di struttura q , è possibile progettare le strutture mediante forze minori di quelle che si otterrebbero con uno spettro elastico. L'abbattimento delle forze è tanto maggiore tanto maggiori sono le risorse di duttilità del sistema. Mentre le forze vengono abbattute, non così gli spostamenti, che non sono più legati alle forze da un legame di tipo lineare, data l'escursione in campo plastico della struttura.

Il programma che esegue la analisi a spettro di risposta, per default mantiene la coerenza tra spostamenti ed azioni interne data dal legame costitutivo, e quindi se le forze elastiche sono F e gli spostamenti elastici u , le forze di progetto sono F/q , ed allora gli spostamenti coerenti con le forze F/q sono dati da u/q . Se risulta $Ku=F$, risulta anche $K(u/q)=(F/q)$, ovvero è mantenuto il legame elastico.

Gli spostamenti u/q tuttavia, non sono gli spostamenti effettivamente sperimentati dall'oscillatore elasto-plastico. Questi sono molto maggiori e vengono normalmente stimati mediante la regola di egual spostamento come u , ovvero coincidono con quelli elastici. Nel caso in cui il periodo del modo associato sia inferiore al periodo di transizione T_C , allora il fattore per μ qui moltiplicare gli spostamenti u/q ottenuti dalla analisi non è q , ma è

$$\mu = 1 + (q - 1) T_C / T_1 < 5q - 4$$

essendo T_1 il periodo del modo considerato. Tale regola è applicata dal programma se si usano gli spettri in accordo alle NTC, all'EC8 ed alla Ordinanza 3274. Se invece si usano gli spettri ASCE, DM 1996 o utente, allora gli spostamenti ridotti vengono sempre moltiplicati per q .

Per default il programma calcola e memorizza nei casi di carico di tipo SISMA MODALE, dopo la esecuzione della analisi a spettro di risposta, gli spostamenti u/q . Dunque, per ottenere gli spostamenti "plastici" "effettivi" occorre moltiplicare per μ . Ciò deve essere fatto dall'utente a valle della analisi a spettro di risposta, moltiplicando esplicitamente gli spostamenti ove questi siano direttamente utilizzati per verifiche correlate.

Una alternativa a questo approccio è chiedere al programma di calcolare direttamente gli spostamenti "plastici" e memorizzarli insieme agli sforzi ridotti dal fattore di struttura q . Ciò si fa nel [dialog^{\[357\]}](#) che consente di impostare la analisi a spettro di risposta. Tale opzione è disponibile a partire dalla versione 9.90 del programma. Il vantaggio è di avere gli spostamenti direttamente amplificati, lo svantaggio è che si perde il legame di proporzionalità tra spostamenti ed azioni interne (gli spostamenti non sono più correlati alle azioni interne mediante le rigidezze).

2.15.5 Buckling analysis with BUCKL

ANALISI DI BUCKLING

A partire dalla versione 10.0 Sargon dispone di un solutore per l'analisi di buckling. Dalla versione 10.5 esiste una versione LIGHT ed una versione FULL del modulo di buckling. Questo solutore trova il numero richiesto di moltiplicatori critici *di ogni combinazione di carico selezionata*, e quindi non di una sola configurazione di carico ma di molte. Lanciando questo solutore viene eseguito un numero di analisi di buckling pari al numero delle combinazioni selezionate al momento della esecuzione del command. Ogni analisi di buckling trova un certo numero di modi critici, quello richiesto dall'utente.

Sia \mathbf{K} la matrice di rigidezza elastica del sistema allo studio, e \mathbf{K}_G la sua matrice di

rigidezza geometrica associata ad una certa combinazione (lineare) di carico. Si deve risolvere il problema agli autovalori

$$(\mathbf{K} + \alpha \mathbf{K}_G) \Psi = \mathbf{0}$$

dove α è un opportuno moltiplicatore (incognito) e Ψ è la deformata critica ad esso associata. Si noti che siccome \mathbf{K}_G dipende dallo stato di sforzo membranale (in particolare dalle azioni assiali, positive di trazione e negative di compressione) si danno casi in cui il problema non è fisicamente significativo:

1. Quando non ci sono azioni assiali come in un problema in cui tutti gli elementi abbiano azioni assiali nulle (ad esempio un graticcio).
2. Quando queste sono tutte positive in modo che non esiste alcun α positivo. In tal caso si dovrebbe invertire il segno delle azioni cosa che fisicamente di solito non ha senso (dato che le combinazioni includono l'effetto della gravità che è irreversibile).

Nel primo caso il programma dà un messaggio di avviso e si arresta: basterà deselezionare la combinazione corrispondente e rilanciare l'analisi. Nel secondo caso il programma trova un moltiplicatore negativo.

E' possibile che venga trovato un moltiplicatore negativo anche quando una parte della struttura è tesa ed un'altra compressa, in modo che invertendo il segno delle azioni si trovi un moltiplicatore (negativo) il cui valore assoluto è minore del primo moltiplicatore positivo. In questo caso il programma troverà prima il moltiplicatore negativo di quello positivo. In generale può accadere che tutti i moltiplicatori trovati siano negativi e che quindi non sia stato reperito tra quelli indagati alcun moltiplicatore positivo. Se tale circostanza si verifica si può provare ad aumentare l'ordine del sottospazio (ovvero il numero degli autovalori effettivamente cercati), in modo che oltre ai (primi in modulo) moltiplicatori negativi, vengano anche inclusi uno o più moltiplicatori positivi. Se ad esempio si chiede un solo modo e si dà un ordine del sottospazio pari a 10, nel caso in cui il modo trovato sia negativo, ciò implica che i primi 10 modi sono tutti con moltiplicatori negativi. Allora si potrà portare a 20 il numero dei modi cercati (ordine del sottospazio) in modo che tra i primi 20 modi (in modulo) ve ne sia almeno uno con moltiplicatore positivo: tale modo positivo sarà quello memorizzato essendosi

chiesto un solo modo. Per la ragioni dette in certi casi può avvenire che ciò non si verifichi mai.

Dato che il solutore è di tipo iterativo, si deve specificare il massimo numero di iterazioni, la tolleranza sul moltiplicatore, l'ordine del sottospazio ed il numero di modi richiesto. Il metodo di soluzione è lo stesso del solutore LEDA, ovvero la *Subspace Iteration*. Di solito ciò che interessa è il primo modo o al più due o tre primi modi. Il valore di default proposto dal programma è 1 per il numero dei modi richiesto e 3 per l'ordine del sottospazio.

Non ha ovviamente senso eseguire una analisi di buckling se:

1. Non è già stata eseguita preventivamente una analisi statica che sia andata a buon fine (il che esclude la presenza di modelli ipostatici o labili).
2. Non sono state definite o non sono selezionate combinazioni.
3. Nessun elemento risulti mai teso o compresso.

Nella versione LIGHT del programma la matrice di rigidezza geometrica è assemblata unicamente per:

1. Elementi truss.
2. Elementi beam con o senza svincoli e con o senza nodi semirigidi.

Nella versione LIGHT non sono assemblate le matrici di rigidezza geometrica degli elementi:

- Piastra
- Membrana
- Solidi
- Trave su suolo elastico
- Molle

Questo vuol dire che l'analisi di buckling con il solutore WBUCKL-LIGHT ha senso solo per sistemi di travi e bielle nei quali la parte modellata con altri elementi non sia soggetta a fenomeni di instabilità. Non avrebbe ovviamente senso fare una analisi di buckling di un

serbatoio modellato con elementi plate shell, usando la versione LIGHT del programma.

La versione FULL del programma, invece, disponibile come modulo a parte, assembla la matrice di rigidezza geometrica dei seguenti elementi finiti:

- Biella
- Trave
- Piastra sottile e spessa
- Membrana
- Solidi

ed è quindi adatta a eseguire analisi di buckling su modelli molto generali.

Una volta eseguita l'analisi i risultati sono accessibili dai comandi che si trovano sotto il menu **Post-Buckling**.

E' possibile [vedere le deformate critiche](#)^[775], avere una [tabella con i moltiplicatori critici](#)^[776], e [studiare il problema delle verifiche](#)^[777] mediante il cosiddetto [metodo generale](#)^[280] che usa i moltiplicatori critici (α_{cr}) e quelli limite (α_u).

Il solutore usa una tecnologia sparse matrix e triangolarizza la matrice di rigidezza una volta sola, mentre la matrice di rigidezza geometrica dipende dalla combinazione allo studio. Ciò consente una analisi molto rapida anche per numerose combinazioni di carico.

Da un punto vista operativo l'analisi di buckling viene lanciata, esattamente come l'analisi statica, con il command [Analizza](#)^[348].

2.15.6 Nonlinear analysis with CURAN solver

COME ESEGUIRE ANALISI NON LINEARI CON IL SOLUTORE CURAN (CURved Analysis)

1 Generalità.

A partire dalla versione 9.60 tra i solutori di Sargon è disponibile anche il solutore denominato CURAN (CURved ANalysis). Questo solutore è in fase di sviluppo e sarà il solutore di Sargon per i problemi nonlineari, rimpiazzando gradualmente il solutore SOCLEVER. CURAN è capace di gestire sia la nonlinearietà di materiale che quella geometrica (effetti del secondo ordine), che quella di contatto.

La versione LIGHT di CURAN è eseguibile senza costi aggiuntivi per chiunque disponga del solutore statico CLEVER. Questa versione **include i soli elementi truss e molla come elementi non lineari**, mentre tutti gli altri elementi sono trattati come elementi elastici lineari.

La versione FULL di CURAN, invece, come elementi nonlineari include bielle, travi (a fibre), membrane, piastre, solidi, molle e nodi semirigidi.

CURAN LIGHT	CURAN FULL
bielle	bielle
	travi
	membrane
	piastre
	solidi
molle	molle
	nodi semirigidi

CURAN dispone di un solutore interno sparse matrix, lo stesso già ampiamente testato all'interno di CLEVER. Ciò rende la soluzione dei problemi non lineari rapida ed efficiente. CURAN supporta sia il metodo di Newton completo (riassemblaggio ad ogni iterazione) sia il metodo di Newton modificato (assemblaggio all'inizio di ogni step di carico).

2 Le nonlinearità gestite da CURAN

2.1 Generalità

CURAN può gestire indipendentemente o contemporaneamente tre tipi di nonlinearità: la nonlinearità di materiale, la nonlinearità geometrica, e la nonlinearità di contatto.

La nonlinearità di materiale serve a trattare elementi che abbiano una legge costitutiva in cui non vi è un legame lineare tra sforzi e deformazioni, o che presentano, nel monoassiale, dissimmetria di comportamento (no-tension e no-compression). Dato che CURAN dispone anche del controllo della soluzione per mezzo di arc-length, è anche possibile seguire il ramo di softening, ovvero il ramo a pendenza negativa del legame costitutivo. CURAN può seguire i cicli di carico e scarico ed il comportamento incrudente per quei materiali per i quali sia disponibile. In particolare, per i metalli CURAN dispone di leggi di incrudimento isotropo, cinematico e misto ed è in grado di seguire il comportamento ciclico. Per il calcestruzzo al momento attuale le due leggi disponibili (parabola-rettangolo e Kent e Park modificata) non includono ancora il comportamento ciclico, ma solo quello monotono, che però è sufficiente per la gran parte delle applicazioni pratiche. La nonlinearità di materiale, se applicata per mezzo di leggi costitutive che presentano un *plateau*, dà luogo, al crescere del carico, a situazioni in cui si formano dei meccanismi. CURAN è in grado di prevedere il valore del parametro di carico adimensionale λ che corrisponde alla formazione di tali meccanismi. Il numero delle leggi costitutive disponibili sarà via via ampliato.

La nonlinearità geometrica serve a studiare gli effetti del secondo ordine. Tutti gli elementi finiti ad eccezione della molla dispongono della loro matrice di rigidezza geometrica, i cui valori dipendono dalle sollecitazioni che via via si sviluppano negli elementi. Al crescere degli sforzi di compressione si ha un progressivo indebolimento e la matrice di rigidezza geometrica tende a diventare negativa. La somma della matrice di rigidezza del materiale (eventualmente anch'essa non lineare) e della matrice di rigidezza geometrica, costituisce la matrice di rigidezza complessiva. Se si lavora in controllo di forza, CURAN segnala il livello del carico a cui corrisponde la perdita della condizione di definizione positiva della matrice complessiva. Una tale condizione segnala il raggiungimento di un punto singolare, che può essere un punto limite o un punto critico. In altre parole, CURAN è in grado di valutare il livello del carico che corrisponde a un certo *carico critico*.

La nonlinearità di contatto è legata allo svilupparsi o allo svanire di forze reattive legate al contatto tra superfici che non si devono compenetrare. Questo tipo di nonlinearità è molto utile per studiare problemi di contatto monolatero tra superfici deformabili, per le quali la superficie di contatto finale sia incognita. Un importante campo di applicazione riguarda lo

studio dei collegamenti delle strutture in acciaio (piastre di base, collegamenti flangiati). La nonlinearity di contatto comporta la "comparsa" e la "sparizione" di opportuni "elementi di contatto" che connettono i nodi di una superficie detta "contactor" (contatto), con gli elementi di un'altra superficie detta "target" (obiettivo). Da un punto di vista pratico la nonlinearity di contatto viene definita assegnando ad opportuni elementi piastra (a tre o quattro nodi e di tutti i tipi disponibili) un numero di "superficie contatto" o un "numero di superficie target".

Le tre nonlinearity possono essere attivate indipendentemente e quindi si possono avere questi tipi di analisi:

1. Nessuna nonlinearity
2. Solo NL di materiale.
3. Solo NL geometrica.
4. Solo NL di contatto.
5. NL di materiale e geometrica.
6. NL di materiale e di contatto.
7. NL geometrica e di contatto.
8. NL di materiale, geometrica e di contatto.

L'onere computazionale cresce al crescere del numero di nonlinearity attivate. L'analisi nonlineare è un calcolo specialistico e deve sempre essere condotta con attento giudizio esperto.

2.2 Nonlinearità di materiale

La nonlinearity di materiale è attivata assegnando agli elementi un materiale che presenti una qualche forma di nonlinearity, ovvero, che non sia indefinitamente elastico lineare. Se un elemento non riceve un materiale nonlineare, ma un materiale lineare, esso sarà trattato come elemento lineare per ciò che attiene alla nonlinearity di materiale.

Le leggi costitutive disponibili sono le seguenti:

- Indefinitamente elastico
- Elastico fragile

- Elastico non lineare
- Ramberg-Osgood
- Elastico perfettamente plastico
- Rigido plastico
- Elasto-plastico bilineare, trilineare o per punti
- Parabola-rettangolo (carico monotono in controllo di carico o arc-length)
- Kent e Park modificata (carico monotono in controllo di carico o arc-length)

Inoltre, per i nodi semirigidi, è disponibile la legge Li-Shen.

Tutti i precedenti comportamenti possono essere simmetrici, oppure no tension oppure no compression. E' inoltre possibile specificare le deformazioni ultime in trazione e/o compressione che corrispondono alla rottura e studiare le ridistribuzioni susseguenti alle rotture e/o lo svilupparsi di meccanismi (determinando il moltiplicatore limite).

Con CURAN LIGHT è possibile studiare problemi in cui le bielle (ad esempio i controventi) presentano comportamenti di questo tipo.

Gli elementi e le non linearità gestibili da CURAN FULL sono quindi:

- Bielle full reactive, no tension, no compression, con legge elastica lineare, bilineare, trilineare, elastica perfettamente plastica, rigido-plastica, Ramberg Osgood (elasticità non lineare), Parabola rettangolo e Kent e Park, e per le leggi plastiche adatte ai metalli incrudimento cinematico, isotropo e misto. Criterio di snervamento di Von Mises. Gap. Rottura del materiale per eccesso di deformazione.
- Molle traslazionali e rotazionali con analoga legge costitutiva (stesse tipologie bielle).
- Molle per semirigidità di elementi beam con analoga legge costitutiva (e quindi anche semirigidità bilineari, con gap, elastiche perfettamente plastiche, ecc.).
- Elementi membrana a 3 e 4 nodi con legge costitutiva elasto plastica plane stress e incrudimento cinematico, isotropo e misto. Vari tipi di ritorno su luogo plastico.
- Elementi piastra a 3 e 4 nodi (integrazione di Lobatto). Legge costitutiva elasto plastica e incrudimento cinematico, isotropo e misto.

- Elementi solidi (tetra, brick, penta) in campo elasto plastico (tensore a sei componenti). Incrudimento cinematico, isotropo e misto.
- Elementi beam non lineari con non linearità concentrata nelle molle semirigide (tutte le leggi costitutive valide per le molle). Viene gestita la rottura per eccesso di deformazione del giunto.
- Elementi beam non lineari per non linearità di materiale: modello beam a fibre. Viene gestita la rottura della fibra generica per eccesso di deformazione. La generica fibra segue la legge del materiale (tutti i tipi di leggi costitutive menzionate); In seguito saranno probabilmente aggiunte più sezioni (ad esempio le formate a freddo con opportune trattazioni, le sezioni in c.a. o fibro-rinforzate e le composte) e funzionalità.
- Elementi beam aventi sia la non linearità dei nodi semi rigidi sia la non linearità del materiale (per le forme sezionali gestire dai modelli a fibre).

2.2 Nonlinearità geometrica

La nonlinearità geometrica è studiata per mezzo dell'assemblaggio di opportune matrici di rigidezza geometrica per gli elementi. Gli elementi dotati di matrice di rigidezza geometrica sono:

1. Gli elementi truss.
2. Gli elementi beam.
3. Gli elementi beam con nodi semirigidi (formulazione particolare).
4. Gli elementi membrana a tre e quattro nodi.
5. Gli elementi piastra sottile e spessa a tre e quattro nodi.
6. Gli elementi solidi a 4, 6 ed 8 nodi.

Detto λ il parametro di carico il problema può essere descritto in generale in questo modo:

$$[\mathbf{K}(\lambda) + \mathbf{K}_G(\lambda)] \mathbf{u} = \lambda \mathbf{p} \quad (1)$$

dove $\mathbf{K}(\lambda)$ è la parte della matrice di rigidezza associata al materiale ed al possibile contatto, mentre $\mathbf{K}_G(\lambda)$ è la matrice di rigidezza geometrica. Nel caso di materiale elastico lineare, la parte della matrice associata al materiale è costante

$$\mathbf{K}(\lambda) = \mathbf{K}_E$$

mentre nel caso di non linearità di materiale essa cambia in funzione della rigidezza via via diversa dei punti in cui lo sforzo è campionato. Nel semplice caso uniassiale, al diminuire del modulo elastico E delle fibre, o al suo modificarsi in seguito ad unloading, la matrice \mathbf{K} muta. Se si fa l'ipotesi (non sempre verificata) che le azioni interne crescano linearmente col carico, e se il materiale è elastico lineare, allora il problema (1) si semplifica come segue

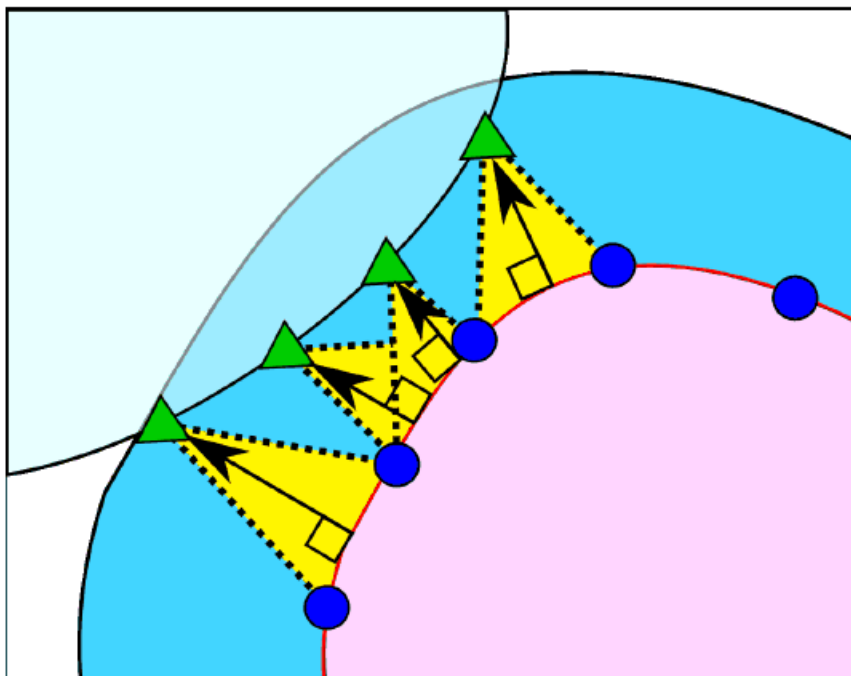
$$[\mathbf{K} + \lambda \mathbf{K}_G] \mathbf{u} = \lambda \mathbf{p}$$

La condizione per cui

$$\det(\mathbf{K} + \lambda \mathbf{K}_G) = 0$$

individua in tal caso i carichi critici (analisi di buckling agli autovalori). E' evidente che il problema non lineare (1) è molto più generale, anche perché consente di studiare la interazione tra plasticità ed instabilità che è alla base degli approcci di legge. La disponibilità di elementi piastra non lineari sia per materiale che per effetti geometrici potrebbe consentire, ad esempio, di determinare il carico ultimo di elementi dei quali non siano disponibili adeguate curve di stabilità. CURAN, in altre parole, mette in condizione di svolgere analisi molto avanzate ed in linea con il corrente stato dell'arte.

2.3 Nonlinearità di contatto



(figura tratta da V. A. Yastrebov, *Introduction to Computational Contact Mechanics*, Centre des Materiaux, MINES, Paris Tech)

Date due superfici denominate contatto e obiettivo poste ad una certa distanza iniziale d , si può definire un tipo di nonlinearità, detta di contatto, nel modo che segue. Si consideri un generico node della superficie di contatto (in verde in figura). Se questo node dista dalla superficie obiettivo (i cui nodi sono in blu in figura) più di una certa soglia detta gap, g , il contatto non esiste. Se invece la distanza di questo generico node è inferiore a g , allora il contatto esiste e si sviluppano delle forze reattive, proporzionali a $|d-g|$ tramite una *costante di penalty* K , che tendono ad allontanare il node della superficie di contatto dai nodi della superficie obiettivo. Non è necessario che i nodi della superficie di contatto corrispondano ai nodi della superficie obiettivo. Il brusco decadere a zero delle forze scambiate può dare luogo ad instabilità numerica. Per questo motivo CURAN implementa il metodo descritto nel testo di Crisfield, che associa una curva esponenziale atta a riscaldare i valori di rigidità (che altrimenti passerebbero da K a 0 e da 0 a K). Si tratta del metodo descritto nel volume Advanced Topics, e dovuto a Zavarise. In pratica si ha

$$t_N = \hat{t}_N + K(d - g) \quad \text{se } d < g$$

$$t_N = \hat{t}_N e^{\frac{K(d-g)}{\hat{t}_N}} \quad \text{se } d \geq g$$

dove:

- t_N indica la forza normale scambiata tra il node della superficie di contatto e i nodi della superficie obiettivo (questa forza si ripartisce sui nodi obiettivo in misura dipendente dalla loro posizione, i nodi obiettivo sono i tre o quattro nodi di un elemento prescelto come target tra quelli della superficie target);
- d è la distanza tra le superfici, che varia nel corso della analisi al progredire della deformazione e della applicazione delle forze;
- g è il gap preimpostato;
- K è una costante di penalty (ha le dimensioni di una rigidità traslazionale, forza diviso spostamento);
- il termine t_N con soprassegno è una costante negativa che ha la unità di misura di una forza.

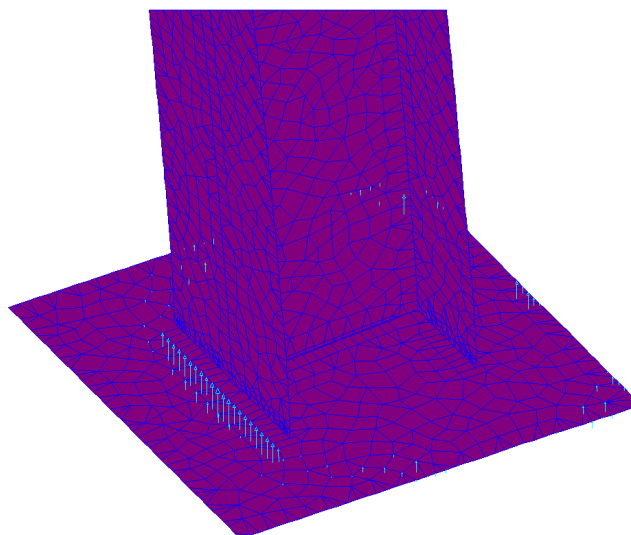
Con questa formulazione, che stabilizza di molto il problema da un punto di vista numerico, le superfici si scambiano delle forze anche quando il gap è aperto, anche se tali forze decrescono molto rapidamente (esponenzialmente) a zero.

Da un punto di vista sostanziale, la nonlinearità di contatto corrisponde alla generazione automatica di tanti elementi di contatto fittizi (grosso modo in giallo in figura), la cui rigidità cambia in funzione della deformazione, un po' come si fosse una qualche "deformazione" atta a mutare la rigidità.

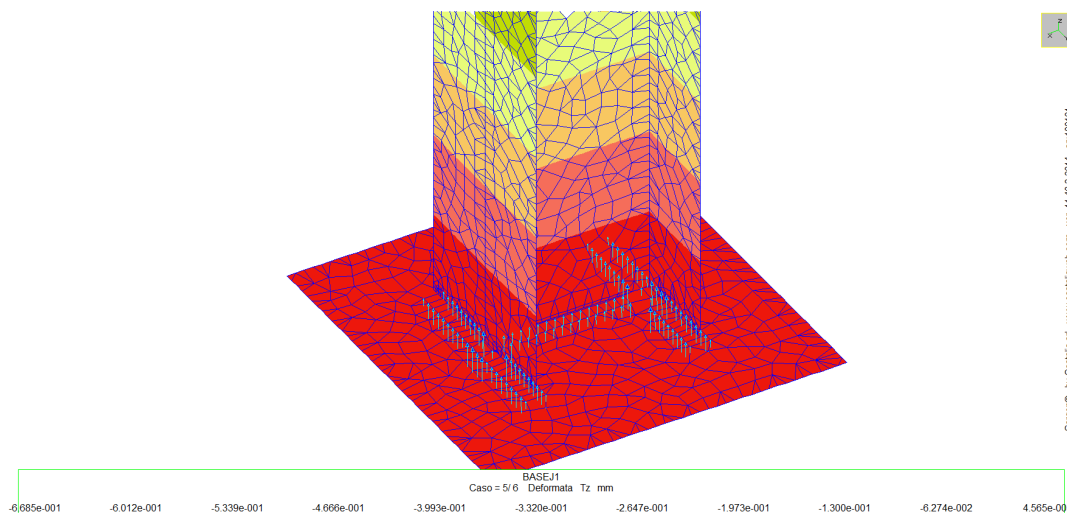
La nonlinearità di contatto può comportare un onere computazionale molto forte. E' bene adottare strategie di soluzione che comportino incrementi di carico modesti, in specie nella fase iniziale, quando la superficie di contatto è incognita e deve essere determinata con le iterazioni.

I risultati di una analisi di questo tipo possono essere controllati con il command [Post-Reazioni Vincolari-View](#).^[77] Infatti, le reazioni scambiate tra i nodi vengono salvate dal solutore sotto forma di residui e quindi possono essere visualizzate come reazioni vincolari. A causa della adozione del metodo di Zavarise, è possibile che forze di trazione molto piccole siano presenti nella soluzione finale. La loro presenza, se, come dovrebbe data la legge adottata, si tratta di forze molto molto piccole, non inficia la bontà della soluzione.

Nella figura successiva si vede il risultato di una analisi con nonlinearità di contatto relativa a una piastra di base.



L'elemento è inflesso e lungo la flangia compressa si sviluppano forze locali di contatto. Intorno alle zone dove sono presenti dei tirafondi tesi si sviluppano delle forze di contatto (effetto leva) dovute alla controflessione della piastra di base indotta dal tiro dei bulloni. Nel caso di compressione semplice (figura successiva), dato che la piastra è abbastanza sottile, si sviluppano delle forze di contatto in una regione (superficie di contrasto) tutta intorno alla impronta della colonna, che ricalca da vicino quella proposta da Eurocodice 3 parte 1.8.



3 File gestiti da CURAN

Curan gestisce i seguenti file:

.CUI	file di input formattato
.COG	file LOG con i messaggi nel corso della esecuzione
.COU	file ASCII di output
.SDB	file binario di output (sforzi)
.DDB	file binario di output (spostamenti)
.RDB	file binario di output (reazioni vincolari)
.FDB	file binario con i risultati delle fibre (elementi beam a fibre)
.PMC	file binario contenente le curve ¹⁹⁵ richieste prima dell'analisi
.TEMPX	file temporanei che possono essere eliminati

Tutti questi file sono creati automaticamente. Per le successive operazioni di post processing sono necessari i soli file .SDB, .DDB, .RDB e .PMC.

4 Terminologia

Nella descrizione del funzionamento di CURAN si fa uso di una terminologia che deve essere ben compresa. In questa sezione si danno alcune importanti definizioni.

Caso di carico: un insieme di forze che vengono applicate contemporaneamente in modo gradualmente crescente da 0 ad 1, e che vengono applicate alla struttura a partire da una situazione di sforzi e spostamenti nulli. La presenza di più casi di carico non costituisce un load path.

Stazione di carico (load station): un insieme di forze che vengono applicate contemporaneamente in modo gradualmente crescente con intensità scalata da 0 ad 1, e che vengono applicate sulla struttura a partire da una situazione di spostamenti e sforzi non nulli, ottenuti in generale da una stazione di carico precedente. La successione di più stazioni di carico costituisce un load path.

Passo di carico (load step): nella applicazione di un caso di carico o di una stazione di carico un load step costituisce l'applicazione di un incremento di carico di intensità scalata compresa tra 0 ed 1, ed atto ad aggiungersi a precedenti passi di carico, con il fine di raggiungere il pieno completamento del caso di carico o della stazione di carico, ovvero il raggiungimento della intensità completa e scalata di 1.

Dimensione del passo di carico (step size): è un numero compreso tra 0 ed 1. Se la dimensione del passo di carico è prefissata essa è eguale a $1/nstep$, dove $nstep$ è il desiderato numero di passi di carico. Se la dimensione del passo di carico è invece determinata automaticamente, allora la dimensione del passo di carico è inizialmente pari a $1/nstep$ e viene poi adeguata nel corso dell'analisi in funzione del grado di nonlinearietà riscontrata.

Iterazione: l'applicazione di uno step di carico avviene mediante un procedimento iterativo. In ogni iterazione vengono calcolate le forze interne e i residui e la norma dell'indice di errore (sia essa la variazione di spostamento o le forze non equilibrate) viene raffrontata con una opportuna misura di errore.

Norma dell'errore: dato un vettore indice di errore la sua norma può essere di due tipi. A) La SRSS, radice quadrata della somma dei quadrati. B) Il massimo valore in modulo dei termini del vettore. Come vettore dei indice di errore si può prendere, in generale: A) il vettore delle forze non equilibrate da applicare alla iterazione successiva; B) il vettore degli spostamenti aggiuntivi della ultima iterazione; C) il lavoro fatto dal vettore delle forze applicate all'ultima iterazione per la variazione di spostamento della ultima iterazione.

Punto limite: se nel corso della applicazione dei carichi la struttura arriva in qualche parte ad essere un meccanismo ciò viene segnalato e la elaborazione si arresta. Il livello del moltiplicatore dei carichi (del caso di carico o della stazione di carico corrente) compreso tra 0 ed 1 a cui corrisponde il punto limite viene stampato. L'elaborazione prosegue con il caso di carico successivo. Nel caso di carico in cui si ha un meccanismo, restano forze non equilibrate dato che viene scritto il quadro di spostamenti, deformazioni e sforzi corrispondente al punto immediatamente precedente il punto limite.

Moltiplicatore dei carichi: è un numero adimensionale compreso tra 0 (all'inizio del caso di carico o della stazione di carico) ed 1 (alla fine).

Strategia di analisi: CURAN prevede attualmente il metodo di Newton completo ed il metodo di Newton modificato.

Arc-length: è un metodo di analisi che consente di seguire il ramo *softening* di una struttura, ovvero incrementi di spostamento a cui corrispondono decrementi di carico. Si può chiedere il passaggio automatico dal controllo di forza al controllo di arc-length una volta che siano verificate certe condizioni.

5 Strategie di lavoro con CURAN

CURAN può essere usato in vari modi, al fine di ottenere varie informazioni. Le note seguenti si riferiscono alla versione attualmente rilasciata.

Due sono le possibili strategie di analisi usando CURAN: la prima consiste nell'esaminare tutte le combinazioni di carico come "casi di carico" a sé stanti ripartendo ogni volta da zero; la seconda strategia di analisi consiste nel seguire la struttura lungo un load path, costituito dalla successione di un opportuno numero di stazioni di carico.

Come è noto in ambito non lineare non vale il principio di sovrapposizione degli effetti,

quindi la risposta della struttura dipende dalla successione con cui sono applicati i carichi $A+B$ può dare risultati diversi da $B+A$. In teoria se si devono esaminare n combinazioni di carico bisognerebbe esaminare, per ognuna delle combinazioni, un certo numero di percorsi di carico. Ciò porterebbe a un onere computazione molto forte e quindi di solito non si fa. La norma stessa consente di applicare tutte le azioni che compongono una certa combinazione, contemporaneamente e scalando l'aggregato da 0 ad 1. Ciò consente di trattare ogni combinazione di carico del modello lineare come un "caso di carico" nel modello non lineare.

E' tuttavia anche possibile esaminare la successione degli effetti che si creano applicando le azioni in modo da assegnare prima i carichi associati a una causa fisica, poi le azioni associate a un'altra causa fisica, e così via.

Per chiarire le idee supponiamo per semplicità di aver esaminato un modello lineare con tre casi di carico G , Q , W e ad esempio solo quattro combinazioni:

$$1,4G+1,5Q+1,05W$$

$$1,4G+1,05Q+1,5W$$

$$1G+1,5W$$

$$G+1,5Q$$

Fatta l'analisi lineare (che sfrutta il principio di sovrapposizione degli effetti) potremo desiderare di fare un'analisi non lineare. Se decidiamo di avvalerci della possibilità di normativa di aggregare G, Q e W e farli crescere assieme, potremo operare nel seguente modo:

- a) Salviamo il modello lineare con un altro nome
- b) Con il command Edit-Casi-Combina generiamo una situazione in cui ci sono **4** casi di carico già con le azioni G, Q, W combinate in modo giusto.
- c) Eseguiamo un'analisi non lineare con CURAN sui quattro "casi di carico" combinati (essi corrispondono in realtà alle combinazioni del modello lineare).

Se invece vogliamo studiare il problema della successione dei carichi seguendo il load path relativo alla combinazione 2, allora possiamo fare così:

- a) Salviamo il modello lineare con un altro nome
- b) Cancelliamo tutte le combinazioni
- c) Aggiungiamo tre nuove combinazioni così fatte:
 1. $1,4G$
 2. $1,05Q$
 3. $1,5W$

- d) Con il command Edit-Casi-Combina generiamo automaticamente a partire dalle combinazioni una situazione in cui il load path della combinazione 2 è schematizzato con tre load station: nella prima si mette il permanente per 1,4; nella seconda il variabile per 1,05; nella terza il vento per 1,5.
- e) Eseguiamo CURAN chiedendo che venga eseguito un load path.

E' da notare che i load path possibili per la combinazione 2 sono in teoria infiniti: nessuno sa in che modo i carichi si succederanno sulla struttura. Un' ipotesi che di solito si fa è quella di applicare prima i permanenti, poi i variabili di lunga durata ed infine i variabili di breve durata, come abbiamo fatto.

Comandi utili all'uso di CURAN

I comandi utili all'uso di CURAN sono i seguenti:

[Edit-Proprietà-Materiali](#)^[658]

Questo command consente di aggiungere un materiale specificandone anche le proprietà non lineari. Tra i materiali di archivio sono stati aggiunti materiali PP (perfettamente plastici), EP2 (elasto plastici bilineari), NC (no compression) e NT (no tension). Se il materiale non è presente in archivio (come è probabile dato che ad un materiale lineare corrispondono decine di possibili modelli costitutivi non lineari) è possibile aggiungerlo ex novo, avendo cura di usare un nome univoco.

[Edit-Proprietà-Modifica materiale](#)^[670]

Si può usare questo command per modificare le proprietà di un materiale non lineare precedentemente introdotto, così sperimentando varie possibilità.

[Edit-Vincoli-Svincoli delle travi](#)^[680]

Questo command consente di assegnare nodi semirigidi nonlineare agli estremi degli elementi beam.

[Edit-Proprietà-Aggiungi semirigidezza](#)^[671]

Questo command consente di aggiungere una semirigidezza che potrà essere assegnata

ai nodi semirigidi.

[Edit-Proprietà-Modifica semirigidezza](#)^[672]

Questo command consente di modificare una semirigidezza tra quelle definite nel modello.

[Edit-Casi-Combina](#)^[705]

Questo command serve a bypassare il problema della mancata validità del principio di sovrapposizione degli effetti. Nei paragrafi precedenti abbiamo visto due esempi di uso di questo command.

[File-Analizza](#)^[348]

Con questo command si imposta il funzionamento di CURAN e lo si lancia.

6 Le impostazioni di funzionamento di CURAN

Acquisizione dati per analisi nonlineare

Modalità gestione casi di carico (stazioni)

☐ Attiva stazioni (load path)

Se non attivate le stazioni, allora casi distinti

Convergenza

Norma errore

☒ SRSS

☐ Norma infinito (max abs, per ogni gdl)

Indicatore

☒ Spostamento 0.001 Tolleranza

☐ Residuo 0.001 Tolleranza

☐ Lavoro 0.001 Tolleranza

Divergenza 50 Tolleranza

Metodo analisi

☒ Newton-Raphson completo

☐ Newton-Raphson modificato

☐ Quasi Newton-Raphson

Numero punti di integrazione Lobatto

10 Piastre (da 3 a 12 o 20)

5 Travi (da 3 a 12 o 20)

Altri parametri

0.0001 Minimo modulo pivot non nulli

0.005 Precisione moltiplicatore limite

☐ Stampa spostamenti in ogni iterazione

Strategia analisi

Iterazioni

10 Massimo numero di iterazioni per passo

Ampiezza passi

☐ Numero passi predefinito

1 Numero di passi per ogni stazione

☒ Controllo automatico ampiezza passo

3 Numero desiderato di iterazioni

0.5 Esponente per la scelta incremento

0.5 Massimo incremento (distanza, max)

0.01 Minimo incremento (distanza, min)

☒ Diminuzione automatica ampiezza passo (se no convergenza)

Nonlinearità

☒ Materiale

☐ Geometrica

☐ Contatto

Altri

☒ Stampa messaggi

☒ Interpoli sforzi ai nodi

Arc-length

☐ Passa all'arc-length se

☒ CSP < 0.3 CSP.lim

☐ STEP > 2 STEP.lim

Tipo di arc-length

☐ Sferico

☒ Cilindrico

☐ Ramm

☐ Fried

Non si arresta ai punti singolari

CSP: current stiffness parameter

Numero fibre (elementi trave)

250 Numero fibre

Ritorno sul luogo plastico

1e-005 Tolleranza

100 Max n° iterazioni

OK Annulla Applica ?

Informazioni dettagliate saranno date nella spiegazione del [dialog](#)^[351] per la

impostazione dell'analisi non lineare.

Il flag **Attiva stazioni** decide che tipo di funzionamento dare al solutore, ovvero se farlo funzionare a casi di carico o a stazioni. I risultati ottenuti saranno ovviamente completamente diversi.

Degli altri parametri si è accennato brevemente. Qui si vuole dare qualche ulteriore ragguaglio su alcuni di essi.

Nel controllo automatizzato della ampiezza del passo, si usa un esponente compreso tra 0,5 ed 1. La formula (si veda il Crisfield, *Nonlinear Finite Element Analysis for Solid and Structures*, Wiley) è la seguente:

$$\Delta\lambda_n = \Delta\lambda_{n-1} \left(\frac{I_d}{I_{n-1}} \right)^\alpha$$

dove I_d è il numero desiderato di iterazioni, I_{n-1} è il numero di iterazioni al passo precedente,

α è l'esponente di cui si sta parlando e $\Delta\lambda$ è l'incremento di carico adimensionale.

Il valore così calcolato di incremento ha poi un massimo e un minimo che non possono essere superati, dati dai valori **Massimo incremento** e **Minimo incremento**.

Se non si ha la certezza che venga attivata una significativa non linearità si può lasciare come numero di passi di carico per ogni stazione il numero 1. Semmai tale numero potrà essere ridotto ove si verifichi una certa difficoltà di convergenza. Analogamente l'entità della norma dell'errore ed il numero di tali norme, dovrebbe essere deciso in funzione della severità del problema allo studio.

7 Le leggi costitutive supportate da CURAN.

Deformazioni ultime

Tutte le leggi costitutive utilizzano le deformazioni ultime positiva *epsup* e negativa *epsum*. Nel caso in cui il materiale sia elastico lineare, esso trova comunque un limite nel raggiungimento delle deformazioni ultime: se queste vengono raggiunte il materiale “si rompe” la tensione precipita a zero e l'elemento non reagisce più (se si tratta del punto di Gauss di un elemento, è questo ad essere inattivato). Pertanto la simulazione di un materiale elastico indefinitamente elastico deve essere ottenuta mediante la impostazione di elevate deformazioni di rottura. Il valore proposto è 0,02, corrispondente a $210000 \times 0,02 = 4200 \text{ MPa}$ per un acciaio normale. Se il materiale è plastico, il flusso plastico viene interrotto al raggiungimento della deformazione limite, innescando la rottura.

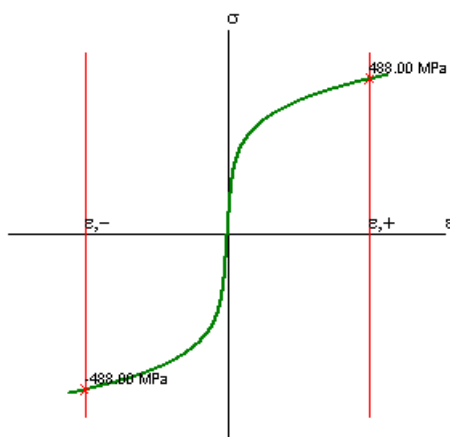
No tension- no compression

Tutte le leggi costitutive possono essere opzionalmente rese no tension o no compression. Se non viene raggiunta la deformazione ultima in caso di inversione del carico il materiale può ricominciare a reagire ove il segno della deformazione si inverte. Se invece viene raggiunta la deformazione ultima, allora anche un'eventuale inversione di segno lascia inalterato lo stato di rottura.

Indefinitamente elastica

L'indefinitamente è legato alla ampiezza delle deformazioni ultime.

Ramberg-Osgood



$$E=210000; K = 1000; n = 0.2; \text{epsu} = +/-0.03$$

La legge di Ramberg-Osgood è una legge di tipo elastico non lineare, quindi il materiale non dissipa. Essa è descritta dalla seguente equazione:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \left(\frac{\sigma}{K} \right)^{\frac{1}{n}}$$

La formula del lavoro originario è lievemente diversa dalla precedente, anche se a questa si può ricondurre con un' opportuna scelta dei parametri. Nel lavoro originario di Ramberg-Osgood la formula è:

Il legame tra i parametri nelle due formulazioni è il seguente:

$$n = \frac{1}{n'}$$

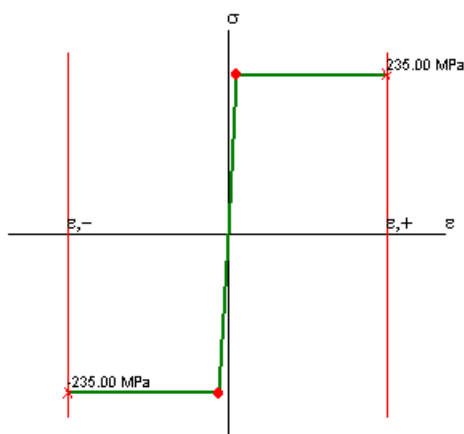
$$\frac{1}{K} = K' \left(\frac{1}{E} \right)^{n'}$$

Dalla seconda delle quali si ottiene, elevando ambo i membri alla n , facendo il reciproco di ambo i membri

$$K = \frac{E}{K'^{1/n}}$$

Nel caso in cui vi sia solo loading, la legge di Ramberg-Osgood può anche essere utilizzata per simulare situazioni elasto plastiche, dato che la nonlinearità del suo andamento può simulare leggi elasto plastiche in fase di loading.

Elastica-perfettamente plastica



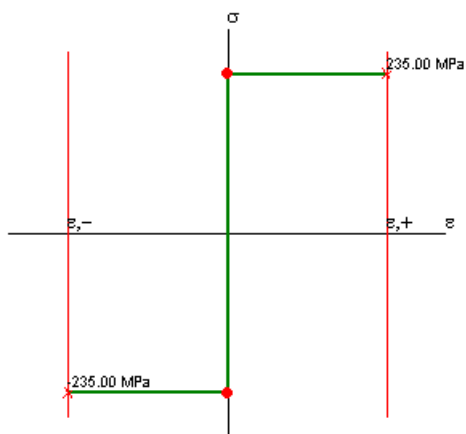
$$E=210000; \sigma_y=235\text{MPa. } \epsilon_{psu} = +/- 0.02.$$

Questa legge è individuata dai seguenti parametri:

E	modulo di elasticità in fase lineare
σ_y	tensione di snervamento
ν	coefficiente di Poisson

Il flusso plastico avviene senza incrudimento.

Rigida-perfettamente plastica



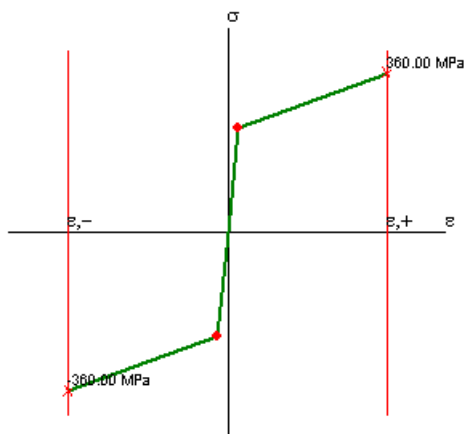
Questa legge è individuata dai seguenti parametri:

σ_y tensione di snervamento

ν coefficiente di Poisson

Numericamente la rigidezza infinita è simulata con $E = 1.e12$.

Elasto-plastica bilineare



$$\varepsilon_1 = 0.001119047; \sigma_1 = 235; \varepsilon_2 = 0.01678; \sigma_2 = 360;$$

Questa legge è individuata dai seguenti parametri:

ν coefficiente di Poisson

ε_1 deformazione allo snervamento

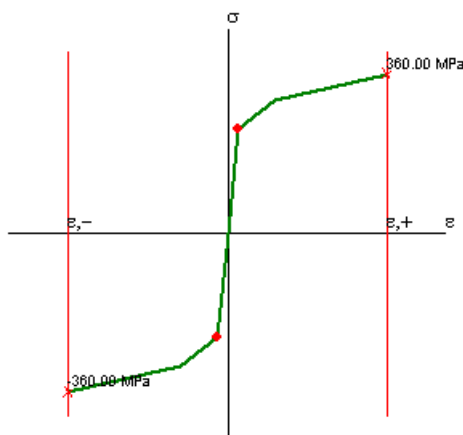
σ_1 tensione allo snervamento

ε_2	deformazione estrema
σ_2	tensione corrispondente alla deformazione estrema

Non sono ammesse estrapolazioni, quindi è buona cosa far corrispondere la deformazione estrema con la deformazione ultima. Si assume che la legge – se non si è attivata l'opzione no tension o no compression – sia simmetrica.

Il tipo di incrudimento può essere isotropo, cinematico o misto.

Elasto-plastica trilineare



$$\varepsilon_1=0.001119047; \sigma_1=235; \varepsilon_2=0.005; \sigma_2=300; \varepsilon_3=0.01678; \sigma_3=360;$$

Questa legge è individuata dai seguenti parametri:

ν	coefficiente di Poisson
ε_1	deformazione allo snervamento
σ_1	tensione allo snervamento
ε_2	deformazione intermedia
σ_2	tensione corrispondente alla deformazione intermedia
ε_3	deformazione estrema
σ_3	tensione corrispondente alla deformazione estrema

Non sono ammesse estrapolazioni, quindi è buona cosa far corrispondere la

deformazione estrema con la deformazione ultima. Si assume che la legge – se non si è attivata l'opzione no tension o no compression – sia simmetrica.

Il tipo di incrudimento può essere isotropo, cinematico o misto.

Elasto-plastica per punti

In questo caso, oltre al coefficiente di Poisson, si danno tante coppie di valori (ε , σ) tanti sono i punti definiti. Deve sempre essere inclusa l'origine. I punti sono ordinati per deformazioni crescenti (prima le massime deformazioni negative, poi le negative, poi l'origine, poi le deformazioni positive, poi la massima deformazione positiva).

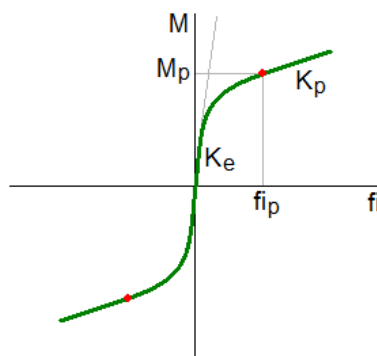
Non sono ammesse estrapolazioni, quindi è buona cosa far corrispondere la deformazione estrema (positiva e negativa) con la deformazione ultima.

Il tipo di incrudimento può essere isotropo, cinematico o misto.

Li-Shen (nodi semirigidi)

Questa legge costitutiva serve per i nodi semirigidi ed è definita in [1]. Vanno forniti i seguenti parametri:

K_e	initial stiffness
K_p	hardening stiffness
f_{ip}	rotazione corrispondente a M_p
M_p	momento plastico

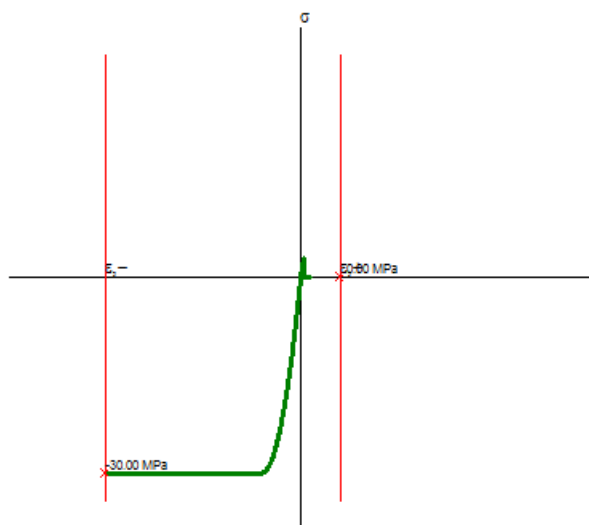


[1] *Advanced Analysis and Design of Steel Frames*, Guo-Qiang Li and Jin-Jun Li, Wiley, 2007.

• *Parabola rettangolo (carico monotono)*

Per la legge costitutiva di tipo parabola-rettangolo vanno forniti i seguenti parametri (tutti positivi, anche se per il programma le compressioni sono negative):

f_c	tensione limite di compressione del calcestruzzo
ε_{c0}	deformazione associata alla tensione limite
E_t	modulo elastico a trazione
f_t	tensione limite a trazione
ν	coefficiente di Poisson



$$\sigma = -f_c \left(\frac{2|\varepsilon|}{\varepsilon_{c0}} - \frac{\varepsilon^2}{\varepsilon_{c0}^2} \right) \quad \text{se } -\varepsilon_{c0} \leq \varepsilon < 0$$

$$\sigma = -f_c \quad \text{se } \varepsilon < -\varepsilon_{c0}$$

$$\sigma = \varepsilon E_t \quad \text{se } \varepsilon \leq \frac{f_t}{E_t}$$

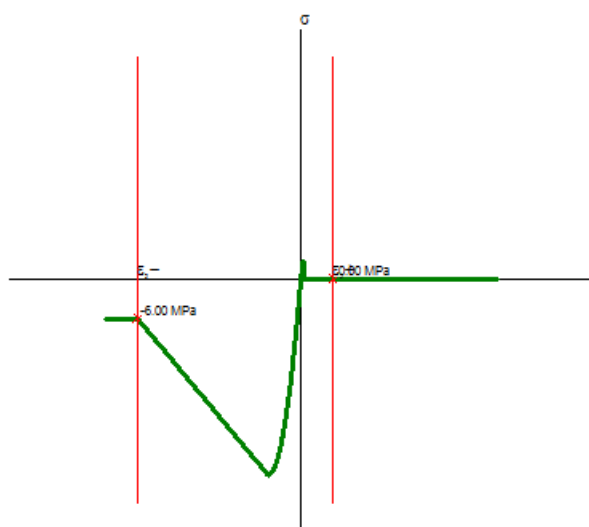
$$\sigma = 0 \quad \text{se } \varepsilon > \frac{f_t}{E_t}$$

• **Kent e Park modificato (carico monotono)**

Per la legge costitutiva di Kent e Park modificata vanno forniti i seguenti parametri (tutti positivi, anche se per il programma le compressioni sono negative):

f_c	tensione limite di compressione del calcestruzzo
-------	--

ε_{c0}	deformazione associata alla tensione limite
Z	pendenza del ramo di softening
E_t	modulo elastico a trazione
f_t	tensione limite a trazione
ν	coefficiente di Poisson



La legge di Kent e Park implementata prevede un residuo di resistenza pari a $-0,2f_c$.

$$\varepsilon_{c20} = \varepsilon_{c0} + \frac{0,8}{Z} \quad Z \neq 0$$

$$\varepsilon_{c20} = 0,1 \quad Z = 0$$

$$\sigma = -f_c \left(\frac{2|\varepsilon|}{\varepsilon_{c0}} - \frac{\varepsilon^2}{\varepsilon_{c0}^2} \right) \quad \text{se } -\varepsilon_{c0} \leq \varepsilon < 0$$

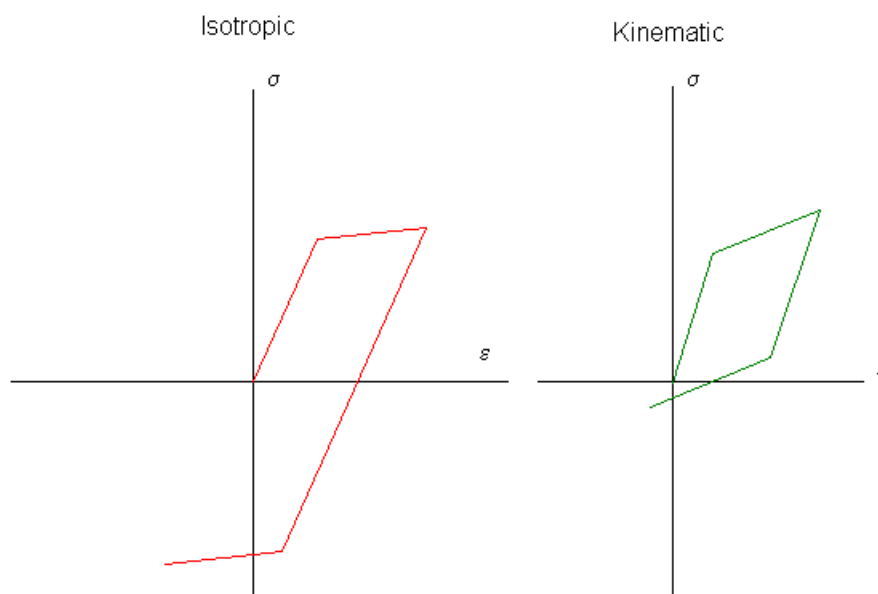
$$\sigma = -f_c [1 - Z(|\varepsilon| - \varepsilon_{c0})] \quad \text{se } -\varepsilon_{c20} \leq \varepsilon < -\varepsilon_{c0}$$

$$\sigma = -0,2f_c \quad \text{se } \varepsilon < -\varepsilon_{c20}$$

$$\sigma = \varepsilon E_t \quad \text{se } \varepsilon \leq \frac{f_t}{E_t}$$

$$\sigma = 0 \quad \text{se } \varepsilon > \frac{f_t}{E_t}$$

Incrudimento



L'incrudimento è determinato dal parametro β che può assumere valori compresi tra 0 (incrudimento cinematico) ed 1 (incrudimento isotropo).

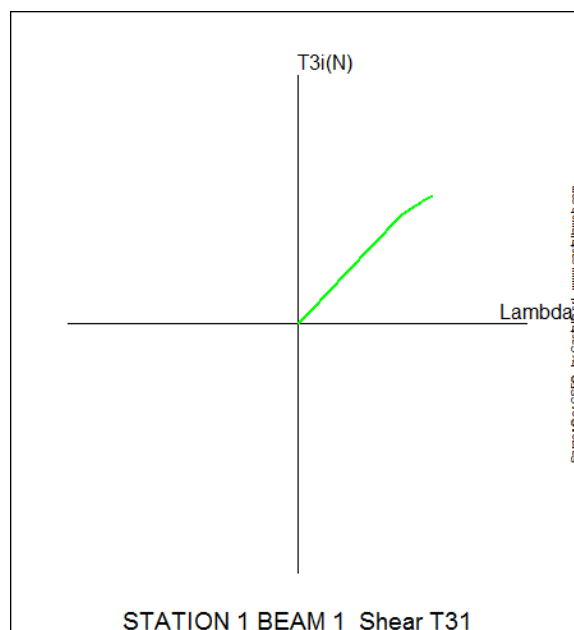
Nell'incrudimento isotropo un incrudimento al positivo comporta un analogo incrudimento al negativo. L'ampiezza della zona elastica va così aumentando man mano che l'incrudimento prosegue.

Nell'incrudimento cinematico l'ampiezza della zona elastica resta costante, ed un incrudimento al positivo implica una analoga riduzione (in valore assoluto) della tensione di snervamento al negativo.

L'incrudimento misto è una via di mezzo tra i due tipi di incrudimento.

8 CURVE (RISULTATI)

E' possibile fare in modo che CURAN generi delle curve di tipo λ -spostamento oppure λ -azione interna, dove λ è un opportuno parametro di carico, ovvero è una frazione del carico totale. Per chiarire meglio, si veda l'esempio nella figura seguente, dove è mostrato il taglio T3 nel primo estremo dell'elemento beam numero 1, al crescere del carico.



Creazione delle curve

Per far creare a Curan le curve desiderate, è **necessario selezionare preventivamente gli elementi opportuni (beam, truss, nodi) PRIMA dell'esecuzione dell'analisi** nonlineare del modello in esame. Tali elementi devono essere **selezionati nel serbatoio 3**. (si veda l'argomento *Come selezionare* - [Serbatoi di selezione](#)^[129]).

Per ottenere la curva precedente, prima dell'analisi si dovrà dunque selezionare l'elemento beam numero 1 nel serbatoio di selezione 3. Assieme a essa verranno scritte le altre componenti elementari delle azioni interne, a entrambi gli estremi dell'elemento (N1, T21, T31, M11, M21, M31, N2, T22, T32, M12, M22, M32).

Se è selezionato anche un **node** prima dell'analisi, per quel node verranno scritte tre **curve carico-spostamento** lungo i tre assi di riferimento globali (TX, TY, TZ).

I set di curve appena descritti **si riferiscono a una singola stazione di carico** (caso o combinazione). Se nel modello ci sono n stazioni, tutti i set di curve saranno ripetuti n volte (ad esempio, le tre componenti di spostamento del node i saranno ripetute per le n stazioni).

Selezionando preventivamente nel serbatoio 3 tutti i nodi e gli elementi (beam, truss) opportuni, durante l'analisi CURAN stamperà tutte le relative curve in uno o più file con estensione .PMC, in base al numero di stazioni di carico presenti. Se c'è una sola stazione, avrò

un solo file .PMC, se le stazioni sono 10, i file .PMC saranno altrettanti.

Dato un modello Sargon chiamato *[nome_modello].wsr*, i file delle curve si troveranno nella stessa cartella e saranno così nominati:

[nome_modello].STATION_0001.PMC

[nome_modello].STATION_0002.PMC

[nome_modello].STATION_0003.PMC

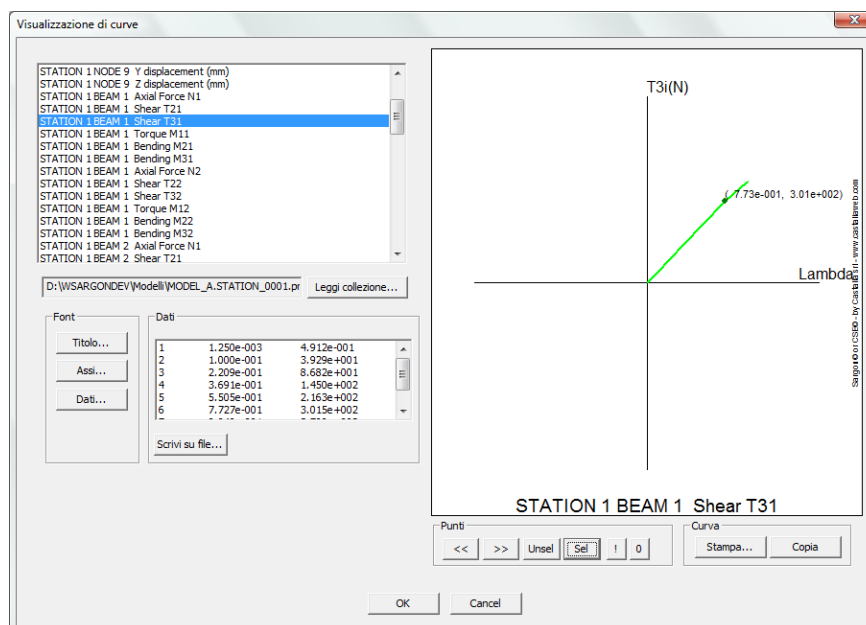
ecc.

dove il numero progressivo corrisponde al numero di ciascuna stazione. Ogni file è quindi una collezione di curve che si riferiscono a una stessa stazione. Tutte le collezioni conterranno lo stesso numero e lo stesso tipo di curve. Le medesime curve differiranno nelle diverse collezioni per via dei diversi carichi applicati.

Visualizzazione delle Curve

Abbiamo visto come chiedere a Curan le curve che ci interessano e come il solutore le scrive in opportuni file. Veniamo ora alla visualizzazione delle curve contenute nei file .PMC:


Le curve in funzione del parametro di carico λ , scritte su richiesta da Curan durante l'analisi, sono visualizzabili direttamente in Sargon, atbeamrso il command [Curve](#)^[786] del menu **Post**. Alla sua esecuzione viene proposto un opportuno dialog, in cui si seleziona il file .PMC desiderato e si possono visualizzare le curve in esso contenute, a una a una. Si possono anche ottenere informazione sulle curve stesse e le si possono stampare su file di testo. Per la descrizione operativa del [dialog](#)^[786] si rimanda all'argomento dedicato.



Note

- I punti che descrivono l'andamento delle curve non sono necessariamente equispaziati, ma dipendono dalle impostazioni sul [passo di carico](#)^[182] e dalle modalità di raggiungimento della convergenza durante il calcolo.
- Se si attiva il load path, le curve non vengono create.

9 FIBRE (RISULTATI)

Dopo aver eseguito con Curan un'analisi nonlineare che include la modellazione a fibre di elementi beam, è possibile visualizzarne i risultati in termini di tensioni, elemento per elemento e sezione per sezione, atbeamrso il command [Post-Fibre-View_sforzi sezione](#)^[782] . Esiste un analogo command per vedere le deformazioni ([Post-Fibre-View_deformazioni-sezione](#)^[784]). Per poter eseguire il command è necessario che uno e un solo elemento beam sia selezionato.

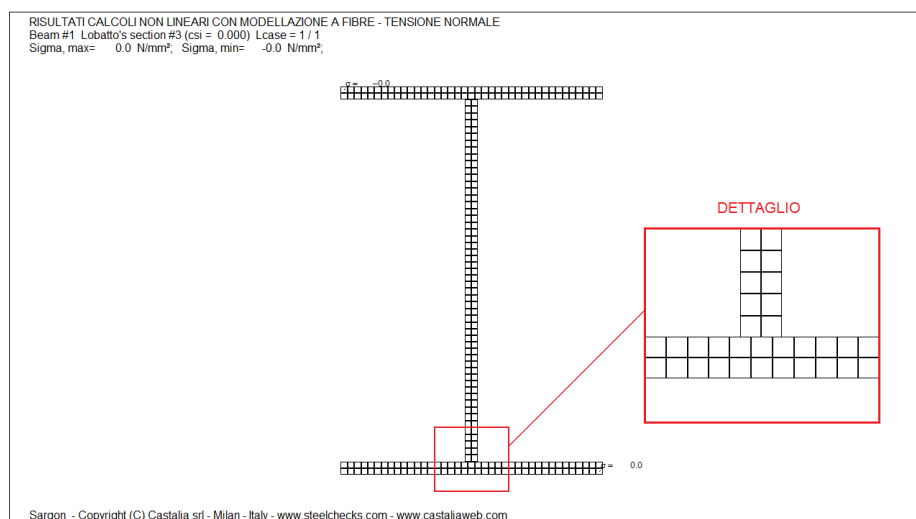
La forma sezionale dell'elemento correntemente selezionato viene visualizzata nella vista di Sargon. La sezione è modellata come un insieme di fibre, la cui forma dipende dal tipo di sezione in esame:

- fibre **rettangolari**, usate per modellare la maggior parte delle sezioni (piatti, angolari,

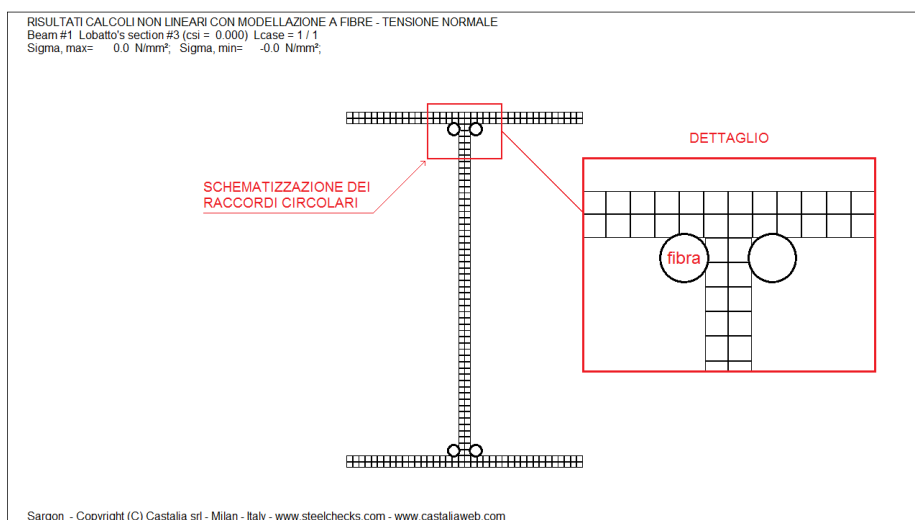
sezioni a T o ad H, sezioni rettangolari cave, ecc.);

- fibre **circolari** in corrispondenza dei raccordi curvilinei (ad esempio quelli di una sezione ad H laminata);
- fibre con forma di **settore di corona circolare**, per modellare sezioni circolari piene o cave. La sezione è suddivisa in un certo numero di corone circolari concentriche, e ciascuna corona è suddivisa in un certo numero di settori. Ogni corona circolare è divisa in un numero generalmente diverso di settori, in base al suo diametro medio; per questo motivo, le fibre delle varie corone non sono necessariamente allineate sugli stessi raggi. **Ciò è necessario per avere fibre di dimensione omogenea in tutte le zone della sezione.**

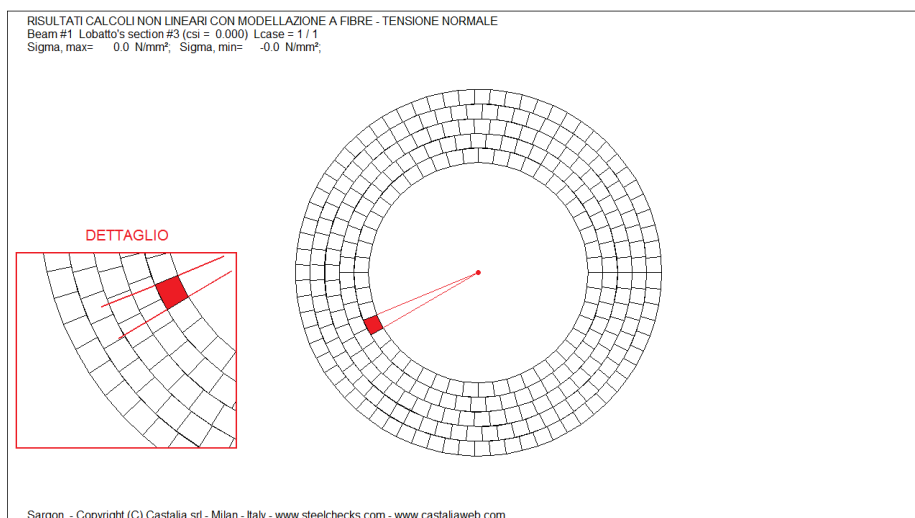
Le immagini seguenti mostrano i vari tipi di fibre; per maggiore chiarezza, gli sforzi nelle sezioni sono nulli.



Sezione ad H saldata modellata con fibre rettangolari



Raccordi curvilinei di una sezione ad H laminata modellati con fibre circolari



Sezione circolare cava modellata con fibre aventi forma di settori di corona circolare

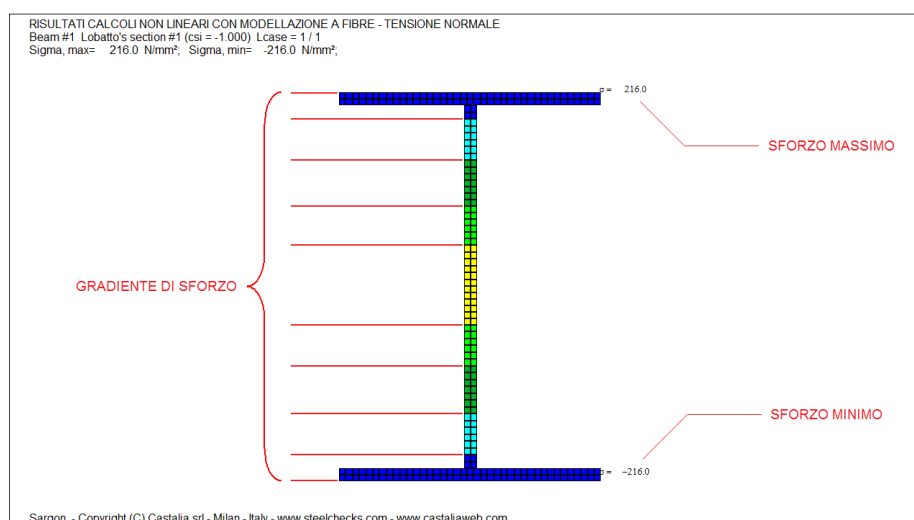
Nella parte in alto a sinistra della vista sono riportate le seguenti informazioni:

- numero dell'**elemento** beam;
- numero della **sezione** (corrispondente al numero del punto di Lobatto);
- **ascissa adimensionale** (csi) della posizione del [punto di Lobatto](#)³⁵⁴ lungo l'asse dell'elemento (+1.0 e -1.0 sono le ascisse adimensionali dei due estremi dell'elemento, 0.0 è il punto in mezzzeria; se i punti sono più di 3, si avranno le ascisse corrispondenti agli ulteriori punti);
- numero del **caso di carico**;
- **tensione normale massima**;

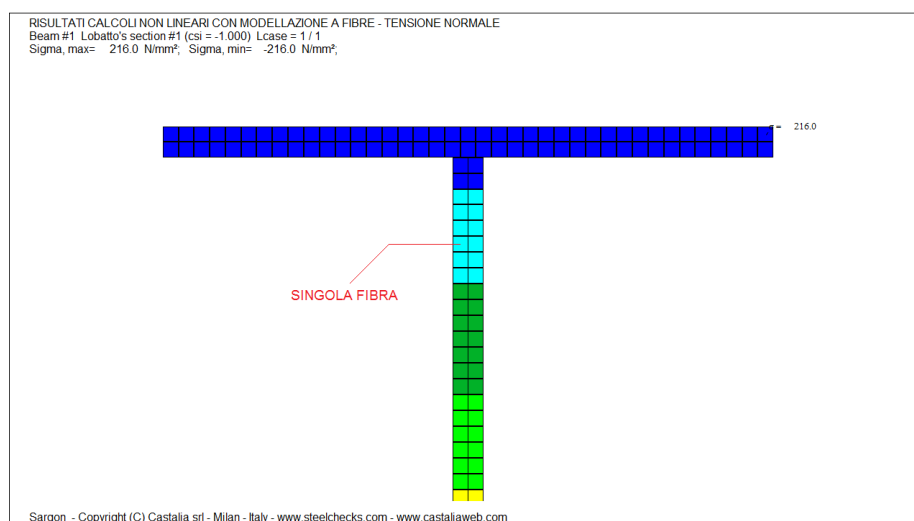
- **tensione normale minima.**

La tensione normale massima e la tensione normale minima sono riportate anche sulla sezione, in corrispondenza dei punti dove si manifestano.

Ogni fibra della sezione è campita con un colore dipendente dal livello di tensione. In questo modo è possibile cogliere l'andamento delle tensioni nella sezione, nonché la posizione dell'asse neutro in caso di flessione (retta o deviata). Se una fibra ha tensione normale nulla, essa risulterà bianca.





Sforzi nelle fibre



Sforzi nelle fibre (dettaglio)

Per ogni elemento beam sono disponibili n sezioni, dove n è il numero di [punti di](#)

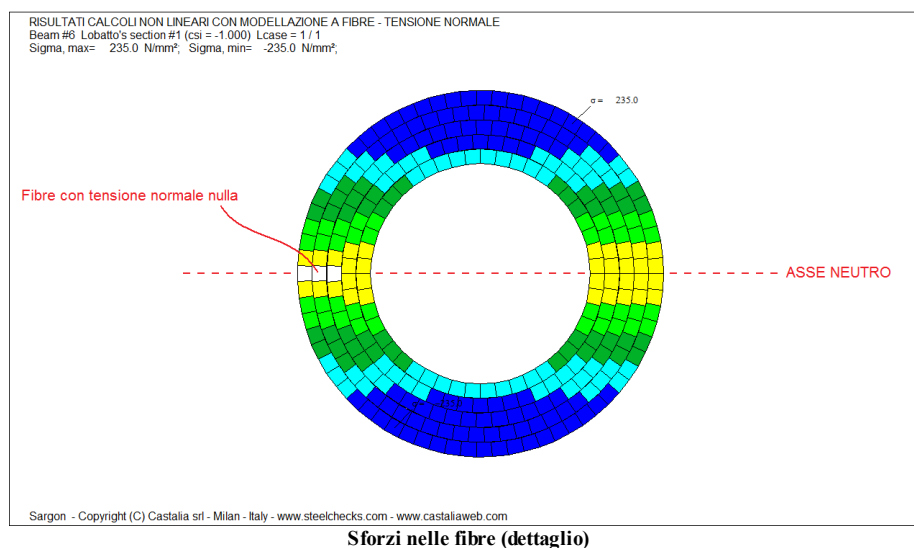
[Lobatto](#)^[354] richiesti nelle impostazioni dell'analisi nonlineare. Per passare da una sezione all'altra si usano i comandi [Sezione successiva](#)^[782] e [Sezione precedente](#)^[782], eseguibili anche con i bottoni  .

- Per il momento il solutore gestisce le seguenti tipologie di sezione nel caso in cui siano necessarie le fibre:
 - sezioni a I o H laminato;
 - sezioni a I o H saldato;
 - sezioni rettangolari;
 - sezioni circolari cave;
 - sezioni a cassone;
 - sezioni RHS;
 - sezioni a C saldato;
 - sezioni a C laminato e ali parallele (no rastremazione)
 - sezioni a T saldato;
 - sezioni a T ottenute per taglio di sezioni a I o H laminato;
 - sezioni a I o H laminato e ali di larghezza diversa (ASB);

in seguito saranno probabilmente aggiunte più sezioni (ad esempio le formate a freddo con opportune trattazioni, le sezioni in c.a. o fibro-rinforzate e le composte) e funzionalità.

Nota

Come descritto in precedenza, le sezioni circolari sono modellate con fibre che sono settori di corone circolari, e ciascuna corona è divisa in un numero generalmente diverso di fibre, in base al suo raggio medio. Ciò significa che non sono necessariamente presenti delle simmetrie radiali per le fibre. Nel caso riportato nell'immagine seguente, ad esempio, una sezione circolare cava è sottoposta a flessione. Nella zona a cavallo dell'asse neutro, la discretizzazione delle fibre è diversa tra la parte destra e quella sinistra della corona circolare. In particolare, a sinistra si hanno 3 fibre esattamente **in corrispondenza dell'asse neutro**, aventi quindi **tensione nulla**. Questo non avviene dall'altra parte, dove le fibre sono al di sopra o al di sotto dell'asse neutro, e quindi non possono avere tensione nulla.



10 CRITERI DI USO DI CURAN

CURAN è dato in due versioni. La versione LIGHT e la versione FULL.

La versione LIGHT è data insieme al solutore statico lineare CLEVER e usa come elementi dotati di non linearità unicamente gli elementi truss e molla. I nodi semirigidi sono considerati elastici. Gli elementi beam, membrana, piastra sottile e spessa e solidi sono tutti elastici ed identici a quelli del solutore elastico lineare CLEVER.

La versione FULL viene sempre utilizzata se la chiave la abilita. Il file corrispondente all'eseguibile è lo stesso della versione LIGHT. La versione FULL utilizza i seguenti elementi:

- truss non lineare
- molla non lineare
- nodi semirigidi lineari o non lineari
- elemento beam elastico se il materiale è elastico lineare, altrimenti elemento beam a fibre, eventualmente con nodi semirigidi non lineari.
- elemento membrana elasto-plastico.
- elemento piastra (sottile o spessa) con integrazione di Lobatto nello spessore.
- elementi solidi

Nella analisi di elementi beam converrà partire da materiali elastici lineari. Se si ravvisa che i

limiti elastici vengono superati, usando CURAN FULL, si può usare il modello a fibre. In tal caso se il tipo di sezione è gestibile a fibre, allora si può assegnare agli elementi beam un materiale non lineare e CURAN FULL userà la formulazione a FIBRE. Se viene assegnato un materiale non lineare, viene usato il modello a fibre anche se la non linearità non è attivata nel modello.

Dato che il modello a fibre è intrinsecamente meno preciso del modello elastico (poiché gli integrali di sezione sono calcolati come somma dei contributi delle singole fibre), ha senso usarlo solo quando è necessario, vale a dire solo se si supera la tensione di snervamento e si plasticizza almeno in parte la sezione.

11 RIFERIMENTI

- [1] M.A. Crisfield, Non-linear Finite Element Analysis of Solids and Structures, Volume 1, Wiley, 2003
- [2] M.A. Crisfield, Non-linear Finite Element Analysis of Solids and Structures, Volume 2 - Advanced Topics, Wiley, 1997
- [3] Daniele Ferretti, Ivo Mori, Marco Morini, La stabilità delle strutture, McGraw-Hill, 2002

2.15.7 Frequency response analysis with FREQUENCY

ANALISI DI FREQUENCY RESPONSE CON FREQUENCY

Per eseguire l'analisi di risposta in frequenza con FREQUENCY è necessario usare il command [Analizza](#)^[348] e attivare l'opzione relativa alla analisi corrispondente. La analisi di frequency response deve essere eseguita da sola, non può essere eseguita in cascata con altre.

Per poter eseguire una analisi di frequency response è necessario:

1. che sia preventivamente stata eseguita una analisi modal con LEDA;
2. che sia disponibile almeno un caso di carico con delle forze nodali applicate; se il numero di casi di carico è pari ad n (con $n > 2$) l'ultima condizione di carico deve essere vuota. Non si possono avere due soli casi di carico, si va da 1 a 3,4,5,...

3. che le azioni applicate nei casi di carico non vuoti siano tutte o forze o coppie nodali.

GENERALITA'

Quando un insieme di forze armoniche sollecita una struttura la risposta dinamica a regime della struttura, passata la fase iniziale di transitorio- è anch'essa di tipo armonico, e con la stessa frequenza della forzante.

Le ampiezze degli spostamenti e l'intensità degli sforzi a regime dipendono dalla intensità e dalla frequenza della forzante, oltre che dal valore dello smorzamento viscoso equivalente attribuito a ciascuno degli oscillatori semplici associati ai modi.

Se la forzante ha una frequenza prossima ad uno dei modi principali di vibrare della struttura, la risposta della stessa struttura può essere amplificata anche notevolmente, in tal caso come è noto si parla di risonanza.

Con la versione 6.60 Sargon aggiunge alla lista dei propri solutori anche il solutore per la analisi di risposta in frequenza (frequency response). Fanno parte dei dati di input da fornire, oltre alla parte statica delle forze (intensità e direzione, fornite nel solito modo al programma) anche la frequenza della forzante (ogni caso di carico ha una sua frequenza e si suppone che tutte le forze in esso presenti agiscano in fase), la distribuzione dello smorzamento in funzione della frequenza dei modi, l'insieme dei modi da tenere in conto.

Se la struttura è sollecitata da due o più insiemi di forze agenti a frequenze differenti, nell'ultimo caso di carico (vuoto) vengono posizionate le stime degli spostamenti e degli sforzi risultanti dalla contemporanea presenza di tutte le forze con le loro frequenze differenti. In questo ultimo caso, dopo aver calcolato la risposta per ciascuna forzante e collocato tale risposta nel caso di carico corrispondente, il programma valuta l'effetto combinato e lo colloca nell'ultimo caso di carico, vuoto di azioni applicate. Se vi è un solo caso di carico tale operazione non viene compiuta. Il metodo usato per combinare gli effetti delle diverse forzanti è di tipo statistico, poiché una analisi deterministica richiederebbe di conoscere esattamente tutte le varie fasi. Sono disponibili i seguenti metodi di combinazione degli effetti:

- SRSS radice quadrata della somma dei quadrati delle ampiezze;
- Valore efficace (in pratica il precedente diviso per la radice di 2);
- Somma dei valori assoluti.

Vediamo ora nel dettaglio in che modo fornire le varie informazioni, ed il loro esatto significato.

AZIONI APPLICATE

Le azioni vengono applicate essendo raggruppate in casi di carico così come si fa per le azioni agenti staticamente. Ad ogni caso di carico viene poi associata una certa frequenza (questo si fa quando si impostano i dati per la analisi). Se F è una forza applicata nel generico caso di carico avente frequenza f (in hertz), si suppone che sulla struttura agisca la forza agente dinamicamente pari a $F\sin(2\pi fT)$, dove “ T ” è il tempo. Le forze possono essere applicate solo sui nodi. Possono essere applicate sia forze che coppie (si parla di fatto di forze in senso generalizzato).

Se in un caso di carico avente frequenza f sono presenti due (o più) forze S e T , si fa l’ipotesi che le forze agiscano contemporaneamente ed in fase: $S\sin(2\pi fT) + T\sin(2\pi fT)$.

FREQUENZA DELLE AZIONI APPLICATE

La frequenza viene indicata per ciascun caso di carico. Se c’è un unico caso di carico la frequenza è indicata dall’utente per quel caso di carico. Se ci sono tre o più casi di carico la frequenza viene indicata per tutti i casi ad eccezione dell’ultimo, usato per combinare i vari casi tra loro.

La frequenza viene indicata (in hertz) nel [dialog^{\[363\]}](#) che consente di impostare i dati dell’analisi, in analogia a quanto già previsto per le altre tipologie di analisi possibili.

SMORZAMENTO

In assenza di una qualche forma di smorzamento il moto non assumerebbe le caratteristiche di stabilità nel tempo che invece assume. Ovviamente, all’aumentare dello smorzamento il moto e gli sforzi tendono a diminuire di intensità. Lo smorzamento è definito per ogni modo di vibrare per mezzo di una curva, definita per punti, che correla la frequenza dei vari modi allo smorzamento ad essi associato. Per smorzamento si intende “smorzamento relativo al critico”,

e pertanto numeri ragionevoli vanno dal 3 al 10% (0.03-0.10) per le strutture ordinarie. La possibilità di definire la curva in modo che lo smorzamento vari con la frequenza dei singoli modi consente di associare a modi con frequenza via via crescente smorzamenti via via superiori (o inferiori). In pratica, nota per punti la curva $\xi = \xi(f) \Rightarrow \xi(1/T)$, e nota la frequenza $(1/T)$ di un certo modo, si determina lo smorzamento ξ ad esso associato.

Dato che il numero di modi può anche essere molto elevato si è preferito definire lo smorzamento come una curva piuttosto che come una tabella di numeri. Lo smorzamento viene definito nel [dialog](#)^[363] usato per impostare l'analisi.

MODI DA TENERE IN CONTO

Sebbene in linea di principio tutti i modi debbano entrare nella analisi, la presenza di modi spurii o locali può richiedere che parte dei modi non sia tenuta in conto nell'analisi, onde scartare questi effetti locali o parassiti. Il programma, sempre per mezzo dello stesso [dialog](#)^[363], consente, se necessario, di scegliere quali modi devono essere tenuti in conto nella analisi. Il metodo consente anche di valutare indirettamente l'incidenza che ciascun modo o gruppo di modi ha sulla risposta finale, consentendo quindi di affinare gli interventi di progetto volti a modificare la forma o la frequenza del modo o del gruppo di modi rilevante.

METODO DI COMBINAZIONE DELLE AZIONI

Quando agiscono contemporaneamente più insiemi di azioni a frequenza differenti, la risposta complessiva finale dipende strettamente dalle fasi che, in genere, sono variabili aleatorie. In questo caso è possibile arrivare ad una stima di tipo probabilistico delle ampiezze finali del moto e degli sforzi combinando tra loro le ampiezze delle sinusoidi associate alla risposta a ciascuna forzante presa separatamente. Il ragionamento è simile a quello che si fa combinando gli effetti in una analisi a spettro di risposta (anche se qui le sinusoidi hanno le frequenze delle forzanti e non quelle dei modi).

Il solutore dispone al momento di tre possibili criteri di combinazione: la radice quadrata della somma dei quadrati (SRSS), il valore efficace (ottenibile dividendo il precedente per radice di 2), la somma dei moduli. Ovviamente il più cautelativo dei metodi è l'ultimo, anche se esso porta, in genere, ad una eccessiva sopravvalutazione degli effetti. Se le

frequenze delle forzanti, pur non essendo identiche, sono tuttavia vicine, allora è lecito attendersi la somma delle ampiezze e non la SRSS.COMBINAZIONE CON CASI STATICI

Se si intende combinare un caso di frequency response con uno o più casi di carico statici occorre seguire questa procedura. Il file “padre” è il file che contiene i casi di carico statici. Uno di questi casi di carico (o più: tanti quanti sono i casi di carico presi dalla analisi di frequency response) viene lasciato vuoto. Il modello viene poi salvato con un altro nome. Questo nuovo modello subisce l’analisi modal e l’analisi di frequency response con il numero di casi di carico dinamici desiderati. A questo punto l’applicazione “mergedbase.exe” eseguibile dalla riga di command, prende gli spostamenti e le sollecitazioni dei casi di carico dinamici desiderati del modello “figlio” e li pone nelle desiderate posizione dei casi di carico del modello “padre” (quei casi di carico lasciati preventivamente vuoti).

E’ da notare che tutti gli sforzi e tutti gli spostamenti di una analisi di risposta in frequenza sono positivi (la risposta è sinusoidale ed oscilla tra il valore positivo indicato ed un identico valore negativo).

I FILE DI INPUT E DI OUTPUT DI FREQUENCY

Il solutore ha un file di input formattato, creato automaticamente da Sargon che ha estensione .fin. Il file di output ha estensione .fou, mentre il file di diagnostica ha estensione .fog. L’output è scritto direttamente sui file binari .sdb e .ddb, ed è quindi necessario che una analisi statica “dummy” venga eseguita preliminarmente alla analisi di frequency response. Per il calcolo il solutore si avvale dei dati scritti dai file binari di output di LEDA, vale a dire il file .msb e .mdb: pertanto l’analisi modal deve essere eseguita prima della frequency.

2.15.8 Shear areas

SHEAR AREAS

To keep into account the strain energy related to shear, it is possible to add the shear areas of the beam elements inside the solver input file.

If the solving is done by one of the Sargon internal solvers, the choice is done when the

analysis will be required ([Analyze](#)^[348]).

If on the other hand the solving is executed by means of one of the external solvers, then the choice must again be done by the dialog used to run the internal solvers and then closing the dialog with "OK"; ([Analyze](#)^[348]).

The shear area definition uses a simplified theory that is not strictly applicable to all cross-sections. Usually neglecting shear areas of slender elements leads to slight changes in the solution. The solution without shear areas will be as much precise as the elements are slender, and more precise as the elements get more slender. For very stocky members (span to height ratio lower than 8) the shear area effect may be strong.

2.15.9 Tension stiffening

TENSION STIFFENING

Tension stiffening is the effect that changes the stiffness of an element depending on the axial force with which it is loaded. The classic example is that of the vibrating string: the tension in the string directly affects the vibration frequency (e.g. a guitar). Another example is that of pre-loaded cables, which are much stiffer than the unloaded ones.

Sargon can define, for each beam and truss element, the initial stress. This initial stress (actually a force) will be used by the non linear solvers and by the modal analysis solver, to assemble the geometric stiffness matrix. The solvers using the initial axial force are: LEDA (modal analysis), SOCLEVER and CURAN (both for nonlinear static analysis). The command to assign a preload is [Initial N](#)^[477].

2.15.10 Memory

MEMORIA

I sistemi operativi Microsoft a 32 bit non consentono la piena gestione della memoria fisica (RAM) da parte dei processi in atto sul computer. Invece, il sistema operativo riserva a ciascuno una parte di memoria RAM che dipende da molti fattori: la memoria fisica totale

disponibile; il numero ed il tipo dei processi in atto al momento della esecuzione del nuovo processo; le richieste in termini di memoria RAM del nuovo processo; il sistema operativo (W95, W98, WNT, W2000); il tipo e la natura delle operazioni richieste, la priorità assegnata al processo, eccetera, eccetera.

Non è possibile fornire una descrizione esatta di come il s.o. si comporti nelle varie situazioni, mentre è possibile indicare delle linee guida.

In generale, i solutori hanno tutti bisogno di molta memoria RAM fresca e disponibile. Scopo del solutore è quello di tenere in memoria la maggior parte possibile della matrice di rigidità (o più in generale delle matrici di lavoro), senza dover ricorrere al disco rigido (disk swap). Per prima cosa, si può valutare lo spazio in byte occupato dalla intera matrice di rigidità, mediante la seguente operazione:

$$S = \text{ndof} * \text{avb} * 8$$

Dove ndof è il numero di gradi di libertà, avb e la banda media (average bandwidth), 8 è il numero di byte per ogni numero reale (doppia precisione).

L'ideale sarebbe che ci fosse uno spazio di RAM M pari o superiore a S. In tal caso la matrice può non essere divisa in blocchi, e la sua triangolarizzazione può essere eseguita senza swap su disco.

Se il problema è molto grande, è facile che la matrice non stia nella memoria disponibile. In questo caso i solutori la dividono in pezzi, ciascuno dei quali occupa un numero di byte pari a quelli disponibili.

Finchè il numero di blocchi è pari a qualche unità, o una o due decine, il problema è ancora risolto in modo relativamente efficiente (ma 20 blocchi non sono 3), se il numero di blocchi è molto alto (da 20 in su), si è in presenza di un problema di dimensioni molto superiori a quelle normalmente affrontabili con quell'hardware: i tempi di risoluzione crescono a dismisura, e si è di fronte ad una soluzione non ottimale.

Poichè in genere la banda media è al di sotto (spesso molto al di sotto) del 10% dell'ordine del problema, si hanno qui alcuni esempi, che mediamente sovrastimano l'occupazione:

NUMERO DI DOF	MB NECESSARI PER K (avb=5%)	MB NECESSARI PER K (avb=10%)
1000	0.4	0.8

5000	10	20
10000	40	80
50000	1000	2000

E' dunque della fondamentale importanza capire come si può intervenire su S e su M, la quantità di memoria RAM effettivamente allocata e disponibile dal programma.

Per ridurre S è opportuno rinumerare in modo da ridurre al minimo la banda media (average bandwidth).

Per aumentare M si hanno a disposizione varie possibilità.

In primo luogo si tenga presente che, a parità di ogni altra considerazione, W95 e W98 lasciano libera meno memoria di WNT. Si danno casi in cui W98 su computer con 64Mb di RAM e nessun processo apparentemente attivo lasci come memoria libera poche centinaia di KB: assurdo, ma sperimentalmente verificato.

La memoria libera (in specie sotto W95 e W98) è influenzata dalla presenza nella esecuzione automatica di applicazioni tipo Office o la barra di Office. In generale, l'esecuzione automatica dovrebbe includere il solo antivirus. Si consiglia pertanto di rimuovere ogni altra cosa, non strettamente necessaria.

Se si deve eseguire un solving su un modello molto grande converrà chiudere le applicazioni non strettamente indispensabili: garantire il multitasking priva di memoria utile per il solving.

Infine, si potrà agire sul programma in modo da decidere esattamente quanta memoria allocare (ciò si fa con il dialog [Memoria da allocare](#)^[365]): prima di eseguire un solving è possibile decidere quanta memoria far allocare al solutore.

2.15.11 Renumbering

RINUMERAZIONE

Se un modello ha dimensioni medio grandi rispetto alla RAM disponibile è opportuno rinumerare i nodi in modo da ridurre la banda massima e la banda media.

A partire dalla versione 4.44 Sargon consente di scegliere, prima della esecuzione,

quale rinumeratore impiegare tra 4 disponibili. I rinumeratori disponibili sono: RCM, CM, PFM, PRM.

Per RCM si intende il metodo denominato Reverse Cuthill McKee: è un metodo solido e ampiamente usato. Di fatto è ottenuto dal CM invertendo l'ordine della numerazione. Questo metodo è proposto come default.

Per CM si intende il metodo di Cuthill e Mc Kee. Partendo da un ordinamento dei nodi che fa capo alla teoria dei grafi, i nodi vengono rinumerati in modo da trovare una configurazione migliore di quella originaria. Il metodo ha risultati che non dipendono dalla numerazione di partenza. La soluzione non è necessariamente quella ottima, perchè dipende dal node di partenza che, in generale, non è unico (se ne può scegliere più d'uno: la soluzione dipende dal node di partenza).

Per PFM si intende il metodo Profile Front Minimization, metodo preso da un lavoro del Prof. Wilson. Scopo del metodo è minimizzare il profilo, piuttosto che la banda. Il metodo ha tempi di esecuzione più lunghi e generalmente non comporta miglioramenti rispetto al RCM.

Il metodo PRM deriva dal PFM per una maggior insistenza nella valutazione del grado da assegnare a ciascun node. Si possono dire per esso le stesse cose già dette per PFM.

Inoltre, se si ritiene che la numerazione di partenza sia già ottima, si può chiedere di non rinumerare, salvando così il corrispondente tempo nella soluzione.

2.15.12 Pseudolability

PSEUDOLABILITA'

Si definisce *pseudolabilità* la situazione tale per cui, nella matrice di rigidezza, una certa riga è identicamente nulla. Ciò avviene perchè gli elementi finiti "prendono" in generale solo alcune delle sei rigidezze teoricamente associate a ciascun node. Ad esempio in una struttura piana di bielle, tutte le rotazioni sono pseudolabili, e tutte le traslazioni fuori piano sono, anche, pseudolabili.

In campo statico se si ha

$$0=0$$

la pseudolabilità non è attivata. Se invece

$$0=P$$

la pseudolabilità è attivata dando luogo ad un sistema impossibile (nell'esempio precedente, coppie applicate ai nodi o forze normali al piano delle bielle).

Dalla versione 4.44 Sargon pone - a richiesta - $K_{ii} \neq 0$ per la pseudolabilità non attivata, mentre non fa nulla in caso di pseudolabilità attivata. Questa scelta compare nel dialog [Analizza](#)^[348]. Così facendo se tutte le pseudolabilità non sono attivate, allora l'inversione della matrice è possibile e così il solving. Se invece c'è anche solo una pseudolabilità attivata, allora il programma solutore si fermerà perchè non riuscirà a triangolarizzare la matrice ($K_{ii}=0$).

Naturalmente, in campo statico, la pseudolabilità non è attivata se essa non lo è in alcuno dei casi di carico base.

In campo dinamico (analisi modal), se esistono pseudolabilità esse si dicono attivate se in loro corrispondenza è presente una massa. Inattivate se la massa è nulla. In assenza di correzioni succede quanto segue.

Se $K_{ii}=0$ e $M_i=0$, il programma si blocca in quanto non riesce ad invertire K . Analogamente se $K_{ii}=0$ ed $M_i \neq 0$. Se $k_{ii} \neq 0$ il problema non si pone in quanto non esiste pseudolabilità.

Se si ha $K_{ii}=0$ (pseudolabilità) sono possibili tre approcci.

- 1) **Shift.** Se $K_{ii}=0$ ed $M_i \neq 0$ la presenza di uno shift negativo consente la soluzione ($\omega = \sqrt{k/m} = 0$, $T = \text{infinito}$). Se $K_{ii}=0$ ed $M_i=0$ la presenza di uno shift s non risolve il problema in quanto $k^* = k_{ii} - sM_i = 0 - s \cdot 0 = 0$ e la matrice con lo shift non è invertibile.
- 2) **Correzione su K.** La correzione su K_{ii} è applicata se e solo se la pseudolabilità non è attivata, ovvero solo se $K_{ii}=0$ ed $M_i=0$. In questo caso lo shift (come abbiamo visto) è irrilevante, mentre forzando $K_{ii} \neq 0$ si ha la soluzione $\omega = \sqrt{k/m} = \text{infinito}$, $T=0$.
- 3) **Contemporanea correzione e shift.** In questo caso, per i gradi di libertà dove $K=0$ ed $M=0$ (pseudolabilità non attivate) entra in gioco la correzione, mentre per quelli dove $K=0$ $M \neq 0$ (pseudolabilità attivate) è in azione lo shift. Pertanto l'uso contemporaneo di correzione e di shift risolve il problema delle pseudolabilità in campo dinamico.

Si noti che spesso in campo dinamico le masse rotazionali sono nulle, pertanto se esiste

almeno un dof rotazionale pseudolabile con $M=0$ è necessario applicare la correzione.

==

Le tecniche qui descritte consentono di risolvere una certa classe di problemi senza introdurre errori nella soluzione. Naturalmente si consiglia di usare queste opzioni avendo chiara la origine e la collocazione di ogni pseudolabilità: queste vengono segnalate, quando rimosse, nel file *.inf* o *.dog*.

Nel generare pseudolabilità si è visto che è importante vedere quali elementi finiti siano attaccati al dof in questione e che giacitura abbiano. Un classico esempio di pseudolabilità è il cosiddetto *drilling mode* negli elementi piastra. Per fissare le idee, si immagini una piastra definita nel piano xy. Tutti gli elementi piastra non hanno rigidezze associate alla rotazione Z, e pertanto tutte le rotazioni Z sono pseudolabili (si immagina che non vi siano altri elementi connessi). Per evitare questo problema, si usa la tecnica del *drilling factor*. In pratica ad ogni node di un elemento piastra, viene aggiunta una piccola rigidezza associata alla rotazione del node nel piano della piastra stessa: nel nostro esempio la rotazione Z. Queste piccole rigidezze evitano che $K_{ii}=0$ e quindi eliminano la pseudolabilità. Tuttavia la presenza di termini molto piccoli (prossimi a zero) sulla diagonale della matrice di rigidezza può causare, in certi casi, problemi di instabilità numerica. Ciò avviene quando il rapporto tra la massima e la minima rigidezza diagonale supera i dieci-dodici ordini di grandezza. In questo caso il drilling factor fa più danno che altro. Siccome le pseudolabilità possono essere eliminate direttamente, sarà conveniente, in questi casi, porre il drilling factor a zero ed attivare la rimozione delle pseudolabilità.

Il drilling factor può essere fissato direttamente nella finestra di dialog [Analizza](#)^[348].

2.15.13 Choice of the finite elements

SCELTA DEGLI ELEMENTI FINITI

A partire dalla versione 6.50 di Sargon è stata aggiunta la possibilità di scegliere tra diversi tipi di elementi finiti per eseguire un'analisi. Questa scelta – senza nulla levare alla possibilità di scegliere gli elementi proposti, e quindi senza obbligare a decidere – consente

all'analista di fare una serie di studi e di validazioni altrimenti impossibili.

Grazie a questa nuova funzionalità lo stesso problema può essere fatto calcolare con le diverse formulazioni senza alcuna difficoltà. Lo studio delle differenti risposte, tenute in conto le differenti proprietà degli elementi finiti (alcuni dei quali approssimano “dal basso”, ovvero sovraastimando le rigidità, mentre altri no), può consentire di capire meglio dove possa trovarsi la soluzione “esatta”. Inoltre l'esecuzione di calcoli con differenti elementi finiti consente di avere un maggior grado di controllo sulla attendibilità della risposta. In quanto segue si darà una guida all'uso dei vari elementi finiti presenti in Sargon.

Elementi finiti atti a discretizzare la parte membranale

Si intendono non solo gli elementi membrana ma anche gli elementi plate-shell nella loro parte membranale. La scelta riguarda sia gli uni che gli altri e non può essere fatta disgiuntamente.

Al momento è possibile scegliere, per gli elementi a 4 nodi, tre diverse possibili formulazioni:

- Elemento isoparametrico bilineare ad integrazione piena (QUAD4).
- Elemento isoparametrico bilineare ad integrazione selettiva (QUAD4SRI)
- Elemento incompatibile con correzione di Wilson-Ibrahimbegovic (QM6WI).

QUAD4

Si tratta di un elemento classico che possiede la importante proprietà di essere conforme. Questo vuol dire che esso ha la proprietà di essere sempre più rigido del vero, in modo che gli spostamenti ottenuti con questo elemento sono sempre inferiori a quelli esatti. Una serie di mesh via via più fitte, e fatte in modo tale da contenere sempre i nodi delle mesh precedenti, porta a convergere alla soluzione esatta in modo monotono. Questa importante proprietà consente di studiare la convergenza con una certa confidenza.

Il principale difetto di questo elemento è che tende ad essere eccessivamente rigido quando inflesso (*locking*), con mesh non molto fitte. Se ad esempio si modella un nucleo scale

con elementi di questo genere in numero insufficiente (piastre o membrane che siano) le pareti soggette a flessione a mò di mensola tenderanno a spostarsi troppo poco, sottostimando la risposta dell'edificio (per un esempio vedi [1]).

Quando si usa questo tipo di elementi occorre quindi eseguire mesh con una discretizzazione molto fitta, o, per lo meno, studiare il cambiamento della risposta al variare della mesh in modo da quantificare la variazione della risposta. In compenso si ha una chiara informazione circa il posizionamento della risposta rispetto a quella esatta.

QUAD4SRI

Per ovviare ai fenomeni di locking connessi con l'elemento bilineare sono stati proposti vari sistemi atti a diminuire la rigidità dell'elemento. Il primo metodo fa uso di un'integrazione ridotta, ma esso genera rilevanti problemi in quanto vi sono dei movimenti che possono avvenire a prezzo di un'energia di deformazione nulla (modi spuri). In seguito è stato proposto il metodo della integrazione selettiva (SRI, selective reduced integration), che comporta un differente modo di integrare la parte della matrice di rigidità collegata alla energia di deformazione "estensionale" (2x2 punti di Gauss), rispetto alla parte della matrice di rigidità collegata alla energia di deformazione tagliante (1x1 punto di Gauss). L'elemento QUAD4SRI usa questo tipo di integrazione e quindi migliora sensibilmente le prestazioni dell'elemento QUAD4. In compenso vengono perse le proprietà legate alla convergenza, ragion per cui per questo elemento non si può dire se lo spostamento calcolato sia minore o maggiore di quello esatto. Per una approfondita discussione sulle tecniche di integrazione selettiva si rimanda ad esempio a [3] ed a [4], esponenti a riguardo di correnti di pensiero piuttosto diverse.

QM6WI

Sempre al fine di migliorare l'elemento a 4 nodi sono stati proposti elementi non compatibili (e quindi privi delle proprietà di convergenza dell'elemento QUAD4) i quali presentano, rispetto al normale QUAD4, 4 ulteriori parametri di interpolazione (2 per u e 2 per v). Questi elementi (elementi Q6) mostravano di comportarsi bene finchè rettangolari, ma non passavano il patch test se distorti. Per risolvere il problema del patch test sono state proposte

delle correzioni (da Q6 a QM6) delle quali la migliore e più convincente è quella proposta da Wilson e Ibrahimbegovic [2], qui denominata QM6WI. L'elemento a quattro nodi in questione ha un eccellente comportamento già con mesh non molto fitte, e si pone quindi, nonostante la non-compatibilità, come uno degli elementi di elezione per l'analisi degli stati di sforzo membranali.

A titolo di esempio riportiamo da [1] una serie di risultati comparativi ottenuti su una mensola caricata all'estremo (un classico benchmark reperibile identico in letteratura), rispettivamente con i vari elementi finiti presenti in Sargon ed anche con l'elemento di Taylor-Simo presente in Sap90 ed in Sap2000 (TAYL4, il calcolo è stato fatto usando Sap90). Sono riportati i rapporti tra la soluzione calcolata e quella esatta per la freccia all'estremo e per la tensione normale all'estradosso a distanza H dall'incastro, essendo H l'altezza della mensola. I dati sono i seguenti: L=48cm, H=12cm, t=1cm, E=200kN/mm², $\nu=0.25$, P=40kN applicato a mezza altezza.

Mes h	Elemen ti	Dof	vA	$\sigma \times B$
2x8	16QUA D4	48	0.890	0.928
4x16	32QUA D4	160	0.970	0.987
2x8	16QUA D4SRI	48	0.974	1.022
4x16	32QUA D4SRI	160	0.995	1.013
2x8	16QM6 WI	48	0.990	1.001
4x16	32QM6 WI	160	0.999	1.000
2x8	16TAY L4	72	0.984	1.034

4x16	32TAY	240	0.997	1.016
	L4			

BIBLIOGRAFIA

- [1] P.Rugarli “Calcolo Structurele con gli Elementi Finiti”, EPC Libri, Roma, Settembre 2003.
- [2] E.L.Wilson, A. Ibrahimbegovic, “Use of incompatible displacement modes for the calculation of element stiffnesses and stresses”, *Finite Elements in Analysis and Design*, 7, 1990, 229-241
- [3] R.H. MacNeal, “Finite Elements: Their Design and Performance”, Marcel Dekker Inc., 1994
- [4] K.J.Bathe, “Finite Element Procedures”, Prentice Hall, 1996

2.15.14 Check the analysis effectivity

CONTROLLO DELLA BONTA' DEL CALCOLO

Sargon dispone di un sofisticato strumento per il controllo della bontà di ciascuna esecuzione e per il controllo della bontà delle successive versioni del programma. Tale strumento è denominato “checksolvers” ed è un eseguibile rilasciato insieme con il programma.

Checksolvers è un programma indipendente dai solutori poiché utilizza unicamente i dati di output da essi prodotti (spostamenti, azioni interne, reazioni e residui) oltre che, naturalmente, le informazioni sulla geometria e sulle connessioni.

Checksolvers ha un suo manuale d'uso esterno al manuale di Sargon, si tratta del document (in inglese) “checksolvers.doc” contenuto nella cartella di installazione del programma.

I controlli eseguiti da checksolvers sono controlli di due tipi.

Vi sono i controlli eseguibili senza alcuna specifica informazione da parte dell'utente, ovvero controlli sulla bontà della soluzione, sulla sua coerenza e precisione (controlli standard).

Vi sono invece controlli che il programma esegue paragonando certi risultati ottenuti dai

solutori (“computed values”) con i risultati attesi (“target values”). I risultati attesi possono essere risultati “teorici” (e in tal caso deriveranno da formulazioni descritte in letteratura) oppure risultati di confronto con altri solutori (“cross checks”) o, ancora, risultati reputati accettabili sulla base di altre considerazioni (“accepted values”). Questi controlli sono detti globalmente “controlli incrociati”.

Controlli standard

A partire dalla versione 8.10 del programma, al termine di ogni soluzione statica si viene richiesti di decidere se si vuole ottenere un controllo automatico della bontà della esecuzione. Se si risponde “sì”, Sargon creerà in modo automatico un file di input per checksolvers relativo al modello correntemente in analisi, eppoi lancerà, sempre in modo automatico, lo stesso checksolvers.exe, in modo che questo produca poi un file di output che verrà aperto automaticamente usando blocco note.

In pratica se si sceglie di eseguire i controlli si verrà automaticamente portati a un file di output ASCII che conterrà una serie di importanti dati relativi alla bontà della soluzione, e che potranno essere d’aiuto al fine di certificarne la qualità (almeno per le parti relative alla precisione della soluzione: non è infatti detto che il modello sia appropriato, e ciò per numerosi possibili motivi).

Supponendo che il modello si chiami “paperino.wsr”, viene creato il file di input per checksolvers “paperino.chk.txt”, eppoi il file di output di checksolvers “paperino.chk.txt.out”. Si tratta di file ASCII editabili con un qualsiasi editor di testo.

Per una dettagliata descrizione dei controlli standard eseguiti da checksolvers si rimanda al suo manuale d’uso. Qui diamo un esempio di tale tabulato che fa intendere il tipo ed il numero di controlli standard eseguiti. Il modello qui analizzato aveva due soli casi di carico.

*	*
*	*
*	*
*	*
*	*
*	*
*	*
CHECKSOLVERS VERS 2-0	
*	*
*	*
Author: Paolo Bugarli - Structural Engineer	
*	*
* Copyright 2005-2006 Castalia srl-All rights reserved - www.castaliaweb.com *	

```

*****
-----
Legenda:
-----
IC..... The load case number inside the model
TV..... Target value
THEORIC..... Theoric target value
CROSS..... Cross check target value (other solvers)
ACCEPTED..... Accepted target value (e.g. benchmarks, previous tests)
CV..... Computed value (what is found into binary output files)
VA..... A value "A" to be compared to a value "B"
VB..... A value "B" to be compared to a value "A"
DELTA..... By definition: (CV - TV) or (VB - VA)
Err(%)..... By definition 100 (CV - TV) / TV, percentage error
              if TV = 0 --> conventionally Err(%) = 100 CV
ND..... The node number in the fem model
TR..... Truss element number
BE..... Beam element number
ME..... Membrane element number
PL..... Plate element number
SP..... Spring element number
SO..... Solid element number
-----
*****
E:\ANALISI\RI0\mensola
*****
-----
GENERAL CHECKS OF CONSISTENCE AND GENERAL INDICATORS
-----
Units: length: mm force: N temperature: °C time: s work: joule
Load case 1 Sum of Reactions Rx TV= -0.000000e+000 CV = -3.451001e-006 DELTA = -3.451001e-006 Err(%)
= -0.0003
Load case 1 Sum of Reactions Ry TV= -0.000000e+000 CV = 9.362848e-006 DELTA = 9.362848e-006 Err(%)
= 0.0009
Load case 1 Sum of Reactions Rz TV= 2.000000e+007 CV = 2.000000e+007 DELTA = -6.141886e-005 Err(%)
= -0.0000
----- Reaction X Check passed -----
----- Reaction Y Check passed -----
----- Reaction Z Check passed -----
Load case 2 Sum of Reactions Rx TV= -2.000000e+007 CV = -2.000000e+007 DELTA = -2.458692e-006 Err(%)
= 0.0000
Load case 2 Sum of Reactions Ry TV= -0.000000e+000 CV = 3.124927e-007 DELTA = 3.124927e-007 Err(%)
= 0.0000
Load case 2 Sum of Reactions Rz TV= -0.000000e+000 CV = -1.399647e-007 DELTA = -1.399647e-007 Err(%)
= -0.0000
----- Reaction X Check passed -----
----- Reaction Y Check passed -----
----- Reaction Z Check passed -----
Load case 1 Work of residual forces and moments TV= 0.000000e+000 CV = 7.588558e-004 DELTA =
7.588558e-004 Err(%) = 0.0759
Load case 2 Work of residual forces and moments TV= 0.000000e+000 CV = -6.211972e-008 DELTA = -
6.211972e-008 Err(%) = -0.0000
Total number of degrees of freedom: 2850
Load case 1 Total Residual Rx = -2.135974e-006 Maximum Residual Rx = 1.162291e-006 on node 862
Total Residual Ry = -1.520588e-006 Maximum Residual Ry = 5.960464e-007 on node 738
Total Residual Rz = -2.467728e-005 Maximum Residual Rz = 5.215406e-006 on node 945

```


Total Residual Mx =	0.000000e+000	Maximum Residual Mx =	0.000000e+000	on node 0
Total Residual My =	0.000000e+000	Maximum Residual My =	0.000000e+000	on node 0
Total Residual Mz =	0.000000e+000	Maximum Residual Mz =	0.000000e+000	on node 0
Load case 2 Total Residual Rx =	3.376522e-008	Maximum Residual Rx =	9.620999e-008	on node 771
Total Residual Ry =	-3.109257e-008	Maximum Residual Ry =	1.909757e-008	on node 947
Total Residual Rz =	5.412877e-008	Maximum Residual Rz =	8.949428e-009	on node 872
Total Residual Mx =	0.000000e+000	Maximum Residual Mx =	0.000000e+000	on node 0
Total Residual My =	0.000000e+000	Maximum Residual My =	0.000000e+000	on node 0
Total Residual Mz =	0.000000e+000	Maximum Residual Mz =	0.000000e+000	on node 0
Load case 1 Point of application of residual + reaction resultant (Or):	X= 9.500000e+003	Y= 5.000000e+002	Z= 1.405154e-009	
Load case 1 Point of application of applied loads (Op):	X= 9.500000e+003	Y= 5.000000e+002	Z= 0.000000e+000	
Load case 1 P x (Op-Or):	Mx= -2.424940e-003	My= 1.747321e-001	Mz= 0.000000e+000	M = 1.747489e-001
M / P =	8.737447e-009			
Load case 2 Point of application of residual + reaction resultant (Or):	X= 8.140836e-013	Y= 5.000000e+002	Z= 1.000000e+003	
Load case 2 Point of application of applied loads (Op):	X= -0.000000e+000	Y= 5.000000e+002	Z= 1.000000e+003	
Load case 2 P x (Op-Or):	Mx= 0.000000e+000	My= -2.501110e-004	Mz= -2.015668e-003	M = 2.031126e-003
M / P =	1.015563e-010			
Load cases a #1, b #2.Betti's rule (Lab=Lba)	VA= -1.337239e-007	VB = -1.238659e-007	DELTA = 9.858013e-009	Err(%) = -7.3719
Load case 1 Average translations:	Tx= 4.194072e-015	Ty= -2.462228e-011	Tz= -1.662977e+001	Ttotal= 1.700409e+001
Load case 2 Average translations:	Tx= 2.342640e-001	Ty= -7.355153e-013	Tz= 1.126599e-014	Ttotal= 2.347626e-001

Nella versione 8.10 i controlli riguardano:

- Le risultanti delle reazioni vincolari paragonate alle risultanti dei carichi applicati
- Il lavoro dei residui
- Il residuo totale e le massime componenti dello stesso residuo
- Il punto di applicazione del vettore delle forze reattive + residui, paragonato al punto di applicazione del risultante dei carichi applicati (controllo distribuzione delle reazioni vincolari)
- Il momento esercitato dal vettore dei residui+ reazioni vincolari rispetto al punto di applicazione del risultante dei carichi applicati
- Il controllo di eguaglianza dei lavori misti secondo il teorema di Betti (quando possibile con sole forze nodali)
- Il valore degli spostamenti medi

Si consiglia di eseguire sempre un controllo sui risultati forniti da checksolvers al fine di verificare la bontà della soluzione ottenuta.

Controlli incrociati

Dato un certo insieme di modelli test, è opportuno eseguire test di controllo sui risultati delle elaborazioni su ogni successiva versione del programma, al fine di verificare che nulla di scorretto infici i risultati delle analisi. Normalmente tale genere di controlli viene eseguito dalle software house che producono i programmi, ma si è ritenuto che fosse utile e trasparente consentire a ciascun utente non solo di eseguire gli stessi controlli eseguiti dalla Casa Produttrice, bensì anche altri controlli, eventualmente messi a punto da ciascun utente e rieseguiti ad ogni versione.

Con checksolvers versione 2.0 questo è possibile in modo molto semplice, poiché è possibile automatizzare completamente la esecuzione del solving (il nuovo solving ottenuto con la nuova versione da controllare) e la esecuzione dei test eseguiti da checksolvers.

Al fine di illustrare la procedura si parte dalla descrizione della sottocartella \checksolvers alla cartella di installazione del programma.

Tale cartella contiene alcuni file, che sono (rilascio versione 8.10):

Directory di C:\WSARGON\CHECKSOLVERS

```

18/04/2006  19.56  <DIR>      .
18/04/2006  19.56  <DIR>      ..
24/03/2006  14.17  <DIR>      CHECKSPARSE_STATICS
18/03/2005  13.06              35 go.bat
06/04/2006  17.58              33 gomodal.bat
03/04/2006  12.37          11.174 modal.txt
03/04/2006  12.56          25.609 modal.txt.out
03/04/2006  14.06  <DIR>      MODALE
06/04/2006  17.57              344 readme.txt
03/04/2006  12.42              7.280 runmodal.bat
05/04/2006  19.48          16.909 runstatics.bat
07/04/2006  17.57  <DIR>      STATICS
05/04/2006  19.57          47.379 statics.txt
07/04/2006  18.46          451.965 statics.txt.out
23/03/2006  19.00  <DIR>      VER700

```

- La cartella “statics” contiene file di prova per l’analisi statica.
- La cartella “modal” contiene file di prova per la analisi modal
- La cartella “VER700” contiene i risultati di checksolvers ottenuti con la versione 7.00.
- La cartella “checksparse_statics” contiene modelli fatti girare con il solutore statico sparse matrix e controllano in modo incrociato i risultati ottenuti con il solutore skyline.
- Sono poi contenuti alcuni file:
 - Readme.txt è un piccolo promemoria che spiega cosa fare
 - Runstatics.bat è un file batch che lancia la soluzione con CLEVER di tutti i modelli per le analisi statiche. Naturalmente le analisi vengono eseguite con la versione corrente di sargon.
 - Runmodal.bat è un file batch che lancia la soluzione con LEDA di tutti i modelli per le analisi modali.
 - Statics.txt è il file di input per checksolvers (analisi statiche). Esso dice come eseguire i controlli e cosa controllare.
 - Modal.txt è il file di input per checksolvers (analisi modali). Esso dice come eseguire i controlli e cosa controllare.
 - Statics.txt.out è il file di output di checksolvers rispetto all’input “statics.txt”. Dice cosa checksolvers ha trovato.
 - Modal.txt.out è il file di output di checksolvers rispetto all’input “modal.txt”. Dice cosa checksolvers ha trovato.
 - Go.bat è un file batch che lancia checksolvers dicendogli di aprire il file “statics.txt”
 - Gomodal.bat è un file batch che lancia checksolvers dicendogli di aprire il file “modal.txt”.

Da un punto di vista pratico occorre dapprima eseguire tutti i solving statici e dinamici con la versione in uso, su tutti i file di interesse. Ciò si fa eseguendo dapprima “runstatics.bat” (facendoci doppio click sopra) e poi “runmodal.bat” (sempre facendoci doppio click sopra: bisogna possedere una licenza d’uso di LEDA, ovviamente).

Poi si eseguono i batch file che chiamano checksolvers dicendogli di aprire e leggere i file di input ad esso riservati: checksolvers si aspetta di trovare i file di output e quindi occorre

eseguire questo passo dopo il precedente.

Infine si aprono i file “.out” andando a controllare che i risultati siano identici a quelli delle versioni precedenti o comunque attendibili.

Ricapitolando:

- doppio click su “runstatics.bat”
- doppio click su “runmodal.bat”
- attendere la fine di tutti i solving (alcuni sono onerosi !!)
- doppio click su “go.bat”
- doppio click su “gomodal.bat”
- Aprire e controllare “statics.txt.out”
- Aprire e controllare “modal.txt.out”

La procedura indicata esegue test correntemente in uso da parte del produttore. Nulla vieta all'utente di aggiungere suoi propri casi test in modo da avere un ulteriore controllo, indipendente da quello del produttore.

Il tabulato di output di checksolvers per i casi test consegnati dal produttore rappresenta una importante fonte di descrizione della bontà delle elaborazioni del programma.

2.16 Prepare and execute solving

COME PREPARARE ED ESEGUIRE LE VERIFICHE

[Coefficienti di libera inflessione](#)^[225]

[Riduzione dell'area per i fori](#)^[227]

[Superelementi](#)^[227]

[Scegliere e impostare la normativa](#)^[230]

[Esecuzione delle verifiche](#)^[231]

Prima di eseguire le verifiche è in generale necessario fissare il valore di un certo

insieme di parametri che influenzano l'esito delle verifiche stesse. Un particolare rilievo per le verifiche a stabilità hanno i coefficienti di libera inflessione, che decide il progettista sulla base del funzionamento strutturale.

La riduzione dell'area per tener conto dei fori va definita sulla base del tipo di collegamento che si intende impiegare: essa influenza le verifiche a trazione.

Molte volte è necessario introdurre un certo numero di superelementi: tutte le volte che esiste una membratura da verificare a stabilità suddivisa in più elementi finiti. E' compito dell'analista aggiungere i superelementi, quando è necessario usarli, e definire i coefficienti di libera inflessione dei superelementi aggiunti.

Le verifiche vengono eseguite solo sulle combinazioni del combiset attivo. Le combinazioni devono essere aggiunte dall'utente, tenendo conto del tipo di norma (tensioni ammissibili, stati limite). Nel caso di norme agli stati limite, le combinazioni vengono normalmente generate automaticamente dal verificatore, e, in un secondo tempo, possono essere eventualmente modificate.

E' possibile lavorare con più combiset (SLU, SLE, ecc.).

2.16.1 Slenderness coefficient

COEFFICIENTI DI LIBERA INFLESSIONE

Le verifiche a stabilità vengono eseguite sugli elementi beam, sugli elementi truss e sui superelementi. Esse in generale sono verifiche a pressoflessione, a compressione, a svergolamento. Queste verifiche dipendono dalla lunghezza di libera inflessione dell'elemento, la quale è definita come $\mathbf{b}L$, ove L è la lunghezza dell'elemento e \mathbf{b} il coefficiente di libera inflessione. In Sargon i coefficienti di libera inflessione sono tre: **b1**, **b2**, **b3**. Il primo governa lo svergolamento, il secondo ed il terzo governano la pressoflessione e la compressione. Per default se l'utente non fa nulla i coefficienti di libera inflessione sono eguali ad 1, tuttavia è responsabilità dell'analista decidere il corretto valore di tali coefficienti che, come è noto, possono differire anche significativamente da 1.

I coefficienti di libera inflessione delle aste selezionate vengono modificati con il command [Beta](#)^[674].

Un'importante decisione che va in genere presa quando si abbiano a stabilire i coefficienti di libera inflessione è la seguente: la struttura è a nodi fissi o a nodi mobili? Di fatto dire che la struttura è a nodi fissi significa dire che gli spostamenti trasversali sono così piccoli che si può ritenere la struttura come se fosse a “nodi fissi”, e pertanto trascurare l'effetto $P\Delta$. In tal caso i coefficienti di libera inflessione sono inferiori o eguali ad 1. Dire che la struttura è invece a nodi mobili significa dire che gli spostamenti trasversali (e quindi l'effetto $P-\Delta$) non sono trascurabili. In tal caso i coefficienti di libera inflessione sono sicuramente maggiori di 1 (e possono essere anche molto elevati).

Sia le alignment charts che gli abachi di Wood cambiano considerevolmente a seconda che la struttura sia a nodi fissi o a nodi mobili. Le normative inoltre, in generale, evidenziano formule diverse a seconda che la struttura sia a nodi fissi o a nodi mobili.

Nel caso importante di strutture multipliano, alcune norme forniscono dei criteri quantitativi per valutare se una struttura sia a nodi fissi oppure no. Si definisce *interstorey drift* I_d lo spostamento relativo tra il node superiore ed il node inferiore di una colonna di interpiano diviso per la altezza della colonna. Ovvero, se la colonna va dal node **i** al node **j**, ed h è l'altezza della colonna

$$I_{dx} = |s_{xi} - s_{xj}| / h$$

$$I_{dy} = |s_{yi} - s_{yj}| / h$$

dove s_{xi} è la traslazione del node **i** in direzione x , s_{xj} è la traslazione del node **j** in direzione x , e così via.

Secondo British Standard (BS5950-1990-5.1.3) l'interstorey drift deve essere inferiore a 1/2000 in un'opportuna condizione di carico (carichi orizzontali pari a una frazione di quelli verticali, ad ogni piano), perchè la struttura sia considerabile a nodi fissi.

Secondo EC3 (5.2.5.2), uno dei criteri da seguire per dimostrare che una struttura è a nodi fissi è dimostrare valida la relazione seguente:

$$Id < 0.1 H / V$$

dove V è la risultante dei carichi verticali applicati ed H la risultante dei carichi orizzontali applicati ad un certo livello della costruzione. Anche in questo caso l'interstorey drift gioca un ruolo essenziale per determinare se la struttura sia a nodi fissi oppure no.

Sargon consente di valutare per ogni colonna che soddisfi certi requisiti e per ogni combinazione di carico il valore di I_{dx} e di I_{dy} , il command è [Idrift](#)^[785]. Prima di usare questo command è necessario aver eseguito il solving, definire le quote dei vari piani mediante il command [Multipiano](#)^[728], ed aver definito almeno una combinazione.

Usando il command [Idrift](#)^[785] l'utente può stabilire se la propria struttura è a nodi fissi oppure no: è sufficiente dimostrare che il massimo interstorey drift soddisfa le condizioni richieste da BS o da EC3 (si rimanda al testo delle norme in questione per approfondimenti).

Il criterio dell'interstorey drift è assai più stringente del criterio che limita il massimo spostamento, perchè l'interstorey drift viene valutato per ogni livello della costruzione, e quindi in modo assai più capillare.

2.16.2 Area reduction due to holes

AREA REDUCTION DUE TO HOLES

The standards require, for the tensile force check, to use net area and not gross area. Sargon keeps into account the area reduction due to holes, in its checking modules, by assigning a reduction factor of the gross area, to be used to evaluate net area. The command, acting on selected beams and trusses, is [Ared](#)^[675].

2.16.3 Superelements

SUPERELEMENTI

I superelementi ([Superelemento](#)^[46]) sono degli oggetti assai importanti nell'ambito della esecuzione delle verifiche automatiche. Sargon è stato il primo programma dotato di interfaccia grafica ad aggiungere i superelementi agli elementi beam e truss, ed a dotarsi di una serie di strumenti atti a trattarli in modo efficiente.

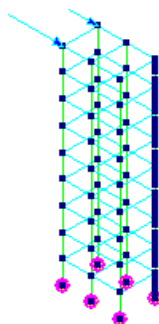
I superelementi possono essere selezionati ([Oggetti](#)^[541]), e cancellati ([Cancella](#)^[514]) come gli altri elementi finiti. Esiste un command di interrogazione a loro dedicato ([Superelementi](#)^[430]). E' possibile (e in generale necessario) attribuire loro i corretti coefficienti di libera inflessione ([Beta](#)^[674]).

Un discorso a sè stante merita il modo in cui i superelementi vengono aggiunti. In linea di principio, i superelementi potrebbero essere aggiunti uno per uno, specificando gli elementi che compongono il superelemento. Gli elementi beam che compongono il superelemento devono essere allineati ed equiorientati. Controlli automatici vengono eseguiti sul fatto che gli elementi siano allineati, non sul fatto che siano equiorientati.

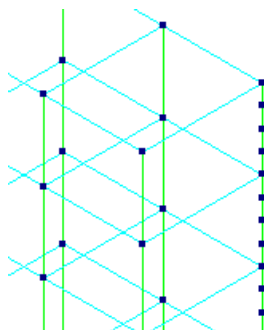
L'aggiunta dei superelementi in questo modo sarebbe però molto lunga e noiosa, soprattutto se questi fossero numerosi. Pertanto Sargon implementa un metodo drasticamente più potente per aggiungere i superelementi, metodo che verrà ora spiegato (il command è [Cerca](#)^[513]). Sargon cerca tutti i gruppi di elementi che soddisfano questi requisiti:

- sono composti da travi selezionate;
- sono allineati o quasi (un angolo superiore a $\arccos(0.98)$ comporta l'interruzione del superelemento);
- lungo la fila di elementi allineati, ovvero nei nodi interni, non interviene alcun altro elemento beam o truss selezionato (piastre e membrane o molle non contano), se non quelli della fila stessa

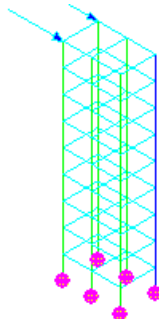
Ogni gruppo di elementi che soddisfa questi requisiti diventa un superelemento e viene aggiunto ai superelementi esistenti. Gli esempi che seguono chiariscono come far funzionare questo command, che è molto potente.



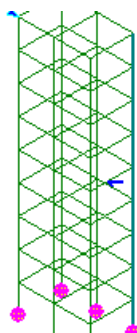
Un telaio a cui si vogliono aggiungere dei superelementi (le colonne spezzettate)



Dettaglio

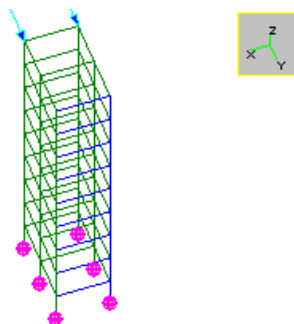


Primo esempio: si selezionano tutti e soli gli elementi da terra in su

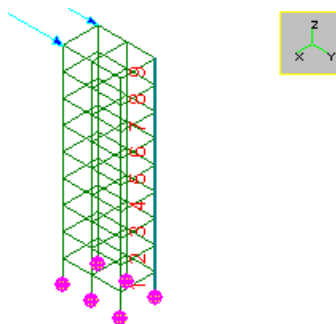


Il risultato (errato) è che viene trovato un solo superelemento: infatti tra gli elementi

selezionati non ve ne è alcuno che rompitratte la colonna



Secondo esempio: si selezionano gli elementi che compongono i nove superelementi e degli elementi ad essi ortogonali, che li rompitratano in corrispondenza ad ogni piano



Il risultato (corretto) è che vengono trovati i nove superelementi che interessavano.

Da quanto visto sopra è chiaro che la potente routine di ricerca automatica dà un risultato che dipende dagli elementi selezionati prima di eseguire il command stesso.

2.16.4 Choice of the standards

SCELTA DELLA NORMATIVA

La scelta della normativa di riferimento va fatta con il command [Edit-Selezione-Norma](#)^[544], che fa accedere a un [dialog](#)^[545] in cui va indicato il codice che si intende utilizzare.

Sono disponibili le seguenti normative per l'acciaio:

- EN1993-1-1 - NTC2008 (default)
- CNR agli Stati limite
- CNR alle Tensioni Ammissibili
- CNR 10011-10022
- AISC
- BS 5950
- AISC-LRFD

e le seguenti norme per il legno:

- Eurocodice 5
- Documento N.I.CO.LE.
- DM 14/9/2005 NTC

Alcune normative (EC3-NTC2008, [legno](#)^[549]) richiedono delle impostazioni da definire atbeamrso il dialog sopracitato.

2.16.5 Checks execution

EXECUTION OF THE CHECKS

The *execution* of the checks is done quite easily: the elements that will have to be checked must be selected, there must be at least one combination in the active combi set (and it must be activated), and the proper standard must have been chosen. Then it must be run the command [Checks](#)^[754].

Before executing the checks it is however necessary to be sure that the slenderness factors and the superelements are correctly defined. If this is not true, and the slenderness coefficients have not been carefully set, the results of the checks might be not completely right or also, completely wrong.

2.17 Examine and manage results

COME ESAMINARE E TRATTARE I RISULTATI

[Deformata](#)^[232]

[Diagrammi](#)^[233]

[Reazioni Vincolari](#)^[234]

[Sforzi in piastre membrane e solidi](#)^[234]

[Verifiche](#)^[245]

[Tabulato](#)^[247]

[Stampa](#)^[247]

[Trasferimento d'immagini](#)^[248]

[Sforzi in travi e bielle](#)^[248]

2.17.1 Deformed

DEFORMATA

Lo studio della spostata (menu Post-Deformata) fa parte del postprocessing *classico*. Di ogni caso di carico base o combinazione è possibile studiare la deformata. Lo studio della deformata consiste da un lato nell'osservare la sua forma, paragonandola a quella della struttura indeformata, dall'altro nell'ottenere i valori numerici delle traslazioni e delle rotazioni di uno o più nodi ([Inquire](#)^[732]). Sargon consente anche di ottenere il valore delle traslazioni dei punti interni agli elementi beam, là dove non esistono nodi ([Interno](#)^[732]). Il valore dato dal programma è quello stesso che consente di tracciare una deformata nonlineare su ogni elemento finito: deriva dalle funzioni di forma tipiche dell'elemento beam, che sono cubiche per lo spostamento trasversale all'asse. Lo spostamento è *esatto* solo nei limiti in cui è *esatta* la analisi numerica svolta. Tuttavia l'approssimazione fornita è il più delle volte sufficiente.

Lo studio della deformata è essenziale per validare il modello: la forma e l'intensità della deformata non devono dare sorprese, in particolar modo per ciò che attiene alla congruenza.

La deformata può essere vista con una scala automatica o con il fattore di scala deciso dall'utente ([Scala](#)^[734]).

La rappresentazione della deformata è una modalità di disegno paragonabile a quella che fa vedere gli elementi per tipo o per sezione. Una volta attivata questa modalità, essa resta attiva fino al successivo command [No post](#)^[794] o fino alla scelta di una modalità diversa.

2.17.2 Diagrams

DIAGRAMMI

Lo studio dei diagrammi delle azioni interne (menu Post-Sforzi BT) fa parte del postprocessing *classico*. E' possibile ottenere i diagrammi di ciascuna delle sei possibili azioni interne in ogni caso di carico o combinazione. Allo stesso modo è possibile ottenere questi diagrammi anche per l'involuppo delle combinazioni.

I diagrammi delle azioni interne possono essere ottenuti immaginando queste nel sistema di riferimento locale (come di solito) o nel sistema di riferimento globale.

La rappresentazione dei diagrammi è una modalità di disegno paragonabile a quella che fa vedere gli elementi per tipo o per sezione. Una volta attivata questa modalità, essa resta attiva fino al successivo command [No post](#)^[794] o fino alla scelta di una modalità diversa.

Scelto uno dei diagrammi con uno dei sei comandi disponibili (da [Azione Assiale-Fx](#)^[734], a [Momento 3-Mz](#)^[738] nel menu Post-Sforzi BT), i diagrammi verranno mostrati su tutte le aste o solo su quelle selezionate, a seconda dello stato del flag [Selezionati](#)^[741]. Per vedere il diagramma di involuppo della azione prescelta occorre attivare la opzione [Involuppo](#)^[747]. Questa opzione è disponibile solo se esistono combinazioni nel modello.

I diagrammi si riferiscono al riferimento locale o a quello globale in dipendenza dallo stato del flag attivabile con il command [Locale](#)^[739], che ha effetto anche sui comandi di interrogazione e sugli involuppi.

Il command [Numero Sezioni](#)^[748] consente di decidere il grado di raffinatezza della

campionatura dei diagrammi.

Il command [Scala](#)^[741] consente di variare la scala se quella automatica non soddisfa.

Il command [Inquire](#)^[747] consente invece di avere informazioni sui valori dei diagrammi (tutte e sei le componenti) non solo all'estremo degli elementi, ma anche all'interno degli elementi stessi. Se è attiva l'opzione [Inviluppo](#)^[747] l'interrogazione avverrà sui valori di inviluppo del combiset attivo. In caso contrario avverrà sul caso o sulla combinazione attiva nella active view al momento della esecuzione del command (sempre del combiset attivo).

2.17.3 Constraint Reactions

CONSTRAINT REACTIONS

To study the constraint reactions it is available the command [Inquire](#)^[771], which is used to get information, in the active load case or combination, of the constraint reactions of a node chosen by the user. The program lists the six values of the components of the reaction over the node, in the active force and moment units. If the node is not constrained, or if some degrees of freedom of the nodes are not constrained, the program outputs a measure of the precision of the analysis, listing the numerical values of the out-of-balance loads (residuals) acting over the node.

2.17.4 Stresses in plates, membranes and solids

SFORZI IN PIASTRE MEMBRANE E SOLIDI

I comandi da usare per lo studio degli sforzi negli elementi piastra e membrana sono tre: il command [Sforzi](#)^[748] consente di scegliere una componente di sforzo o un invariante ed il modo di rappresentarlo; il command [Inquire](#)^[750] consente di interrogare il programma sul valore ai quattro nodi della quantità visualizzata (con le regole precedentemente scelte con il command [Sforzi](#)^[748]); il command [Legenda](#)^[794] consente di impostare la legenda per la resa grafica degli sforzi.

Nell'esaminare lo stato di sforzo negli elementi bidimensionali è bene tenere presente

tutto quanto segue, organizzato nella seguente lista di argomenti:

- A) GENERALITA'
- B) GLI ELEMENTI
- C) IL CALCOLO DEGLI SFORZI AI NODI
- D) RESA DEL CAMPO DI SFORZO SULL'ELEMENTO
- E) VALUTAZIONE DELLA PRECISIONE
- F) ADAPTIVE REFINEMENT
- G) REGOLE GENERALI SUGGERITE
- H) MODALITA' DI VISUALIZZAZIONE
- I) USO DELLA LEGENDA
- L) CONVENZIONI E TERMINOLOGIA
- M) BIBLIOGRAFIA

A) GENERALITA'

Il calcolo degli sforzi all'interno degli elementi piastra e membrana si presenta intrinsecamente più complesso di quello all'interno dei normali elementi beam o truss di tipo hermitiano. La maggior difficoltà è legata al fatto che gli elementi bidimensionali sono meno precisi degli elementi monodimensionali, per i quali le funzioni di forma rappresentano il campo di spostamenti esatto in assenza di carichi distribuiti. Poichè inoltre il campo degli sforzi è in genere ottenuto tramite il legame costitutivo, che richiede una differenziazione per passare dagli spostamenti alle deformazioni, parte della precisione viene ad essere perduta in quella fase.

Per aumentare la precisione sono sostanzialmente possibili tre approcci: il primo è quello di aumentare la discretizzazione. Questo approccio è oggi maggiormente possibile di quanto non fosse quindici o venti anni fa grazie alle caratteristiche degli odierni microprocessori. Il secondo approccio è quello di usare elementi di ordine superiore (a 8 o a 9 nodi). Questo approccio è tipico dei programmi *general purpose*, dotati di una ampia libreria di elementi finiti. Il terzo approccio, che può coesistere con i primi due, è quello di ottenere una maggior precisione mediante una trattazione numerica degli sforzi effettuata successivamente alla *stress*

recovery o variando opportunamente il modo di eseguire la stress recovery stessa: è questo l'ambito tipico delle tecniche di smoothing, delle interpolazioni, delle stime ai minimi quadrati, della integrazione ridotta o selettiva, e così via.

La bibliografia sull'argomento è sterminata. Qui daremo solo brevi cenni rimandando ai testi in bibliografia per una carrellata sulle problematiche connesse alla valutazione degli sforzi.

L'approccio seguito da Sargon fa capo a tecniche ampiamente consolidate ed elementi finiti di sicura affidabilità, pur non essendo così rapidi nel convergere come quelli di ordine superiore. Non essendo (nè volendo essere) un programma *general purpose*, la tecnica tipica per ottenere una maggior precisione usando Sargon è l'incremento della discretizzazione. Sargon enfatizza la imprecisione del calcolo mettendola chiaramente in evidenza. A differenza di altri programmi, che tendono a regolarizzare la risposta ed a valutarne la precisione con tecniche ingannevoli (cfr. più oltre), Sargon presenta i risultati in modo tale che sia evidente il loro grado di imprecisione. Questa scelta è voluta ed è fatta apposta per consentire all'analista di conoscere la reale situazione del proprio calcolo. Particolarmente utile a questo riguardo è la visualizzazione degli scarti interelementari nella visualizzazione delle isolinee (cfr. l'ottimo [2]: "*We emphasize that the calculation of an error measure and its display is a most important aspect of a finite element solution. The quality of the finite element stress solution should be known*").

B) GLI ELEMENTI

Gli elementi finiti usati da Sargon sono tutti classici elementi il cui comportamento, pregi e difetti sono ben noti.

Per la parte membranale Sargon usa elementi CST per i triangoli. L'elemento CST modella linearmente il campo di spostamenti e dà luogo ad una deformazione od uno sforzo costante. Non è un elemento quindi con il quale si possano modellare zone a forte gradiente, a meno di non usarlo con dimensioni sufficientemente piccole rispetto a quelle del gradiente in esame (in tal caso occorrerà aumentare la discretizzazione).

Sempre per la parte membranale, Sargon usa per i quadrangoli l'elemento isoparametrico bilineare QUAD4 o in alternativa l'elemento bilineare con integrazione selettiva QUAD4SRI, o, ancora, l'elemento incompatibile QM6WI (vedi [scelta degli elementi finiti](#)^[214]).

Il QUAD4 modella il campo di spostamenti con una curva bilineare, mentre il campo di

sforzi risultante è lineare sull'elemento. L'integrazione è a quattro punti di Gauss (schema 2x2). Come è noto questo schema può dare un certo aumento di rigidità (shear locking) quando si studino problemi di flessione su travi snelle. La contromisura consiste nella integrazione ridotta o in quella selettiva, anche implementata in Sargon. La integrazione ridotta non è stata implementata in quanto può dare modi spurii (deformazione senza energia di deformazione).

Per quanto riguarda l'integrazione selettiva si tenga anche presente quanto suggerito in [2] ed in [3] (*"We recommend that full numerical integration always be used for a displacement-based or mixed finite element formulation[...]. The reason for recommending the numerical integration orders in table 5.9 is that the reliability of the finite element procedures is of utmost concern and if an integration order lower than the 'full' order is used for a displacement-based or a mixed formulation, the analysis is in general unreliable"* [2]).

Per gli elementi di piastra (immaginata sottile, e cioè aderente alla teoria di Sophie Germaine-Kirchhoff) Sargon usa gli elementi DKT (Discrete Kirchhoff Triangle [7]). Nel caso degli elementi a quattro nodi vengono usati quattro elementi DKT sovrapposti, secondo la tecnica usata da ANSYS per il suo elemento SHELL63 [8]. Ciascun elemento DKT è integrato con tre punti di Gauss.

A partire dalla versione 7.0 si possono usare anche gli elementi di piastra spessa formulati da Hughes e Tezduyar. Si tratta di elementi da impiegare quando lo spessore della piastra da modellare non è "sottile" il che vuol dire compreso diciamo tra 1/50 ed 1/5 della dimensione libera. Per spessori ancora maggiori si è probabilmente nell'ambito di modellazioni solide. Gli elementi a tre nodi sono da usare con parsimonia in quanto hanno la tendenza a comportarsi in modo eccessivamente rigido, ben più che i fratelli a 4 nodi.

C) IL CALCOLO DEGLI SFORZI AI NODI

E' ben noto che i punti più affidabili ove calcolare il campo di sforzo sono gli stessi punti ove si è integrata la matrice di rigidità, i punti di Gauss (ad esempio, *"stresses at Gauss points can be interpolated or extrapolated to other points in the element. The result obtained is usually more accurate than the result of evaluating [stresses] directly at the point of interest"* [3]). Questi punti sono dunque i primi ove lo sforzo è valutato. Si pone allora il

problema di ottenere lo stato di sforzo ai nodi partendo dallo stato di sforzo nei punti di Gauss. Per ottenere questo risultato si possono impiegare varie tecniche ([2], [3], [5]) alcune delle quali però mostrano di essere potenzialmente pericolose (cfr. [6] a proposito dei risultati ottenuti con il solutore ALGOR).

Per gli elementi CST lo sforzo ai nodi coincide con lo sforzo calcolato nel punto di Gauss. Per gli elementi isoparametrici ad interpolazione bilineare (QUAD4 e QUAD4SRI) lo stato di sforzo nei nodi è ottenuto a partire da quello nei punti di Gauss immaginando che lo sforzo segua la stessa legge bilineare impiegata per lo spostamento: vengono così identificati gli sforzi nodali che, con quella legge di interpolazione, portano ad avere nei punti di Gauss gli sforzi là calcolati. La tecnica è descritta ad esempio in [3]. Per gli elementi QM6WI la tecnica di calcolo degli sforzi fa uso di considerazioni di equilibrio e si presenta diversamente da quanto viene normalmente fatto (si veda [9]). Questa tecnica consente di avere migliori stime degli sforzi anche in presenza di un campo di spostamenti piuttosto impreciso.

Per i DKT gli sforzi di piastra vengono calcolati direttamente nei nodi, e si vede che ciò è equivalente a calcolarli nei punti di Gauss per poi estrapolarli ai nodi con legge di variazione lineare.

Per gli elementi a quattro nodi gli sforzi vengono calcolati nei nodi di ciascun elemento triangolare e poi il valore finale è ottenuto facendo la media dei valori ottenuti con i tre sotto-elementi che arrivano al nodo in questione. Questa tecnica è diversa da quella adottata da ANSYS che invece esegue una stima ai minimi quadrati con tutti e 12 i punti di Gauss (3 punti x4 triangoli).

D) RESA DEL CAMPO DI SFORZO SULL'ELEMENTO

Una volta noto lo sforzo ai nodi dell'elemento è poi necessario determinare la variazione dello sforzo all'interno del dominio dell'elemento. Sono state descritte varie tecniche per ottenere questo scopo. Sargon adotta una interpolazione lineare ($v=ax + by + c$) sugli elementi a tre nodi, un'interpolazione bilineare sugli elementi a quattro nodi ($v=ax+by+cxy+d$). Naturalmente il campo di sforzi "esatto" non segue queste leggi, tuttavia, se la dimensione dell'elemento è piccola rispetto a quella del gradiente del campo, l'approssimazione è sufficientemente affidabile. Naturalmente una piastra modellata con tre soli elementi esibirà un

campo di sforzo inattendibile, mentre una piastra sufficientemente discretizzata esibirà un comportamento attendibile.

Grazie a questa assunzione (o ad ogni altra possibile assunzione ad essa equivalente) è possibile descrivere le isolinee (curve che rappresentano i punti ove lo sforzo è costante) all'interno dell'elemento stesso. A tale riguardo va detto che mentre queste isolinee sono nel caso degli elementi triangolari delle rette, da lato a lato dell'elemento, nel caso degli elementi a quattro nodi esse sono delle iperboli ($v=ax+by+cxy+d=$ costante). Per sposare queste iperboli Sargon usa in genere sette punti da lato a lato. Il tracciamento delle isolinee è però rallentato dalla ricerca di questi punti interni, per cui è possibile scegliere di rappresentare le isolinee in modo "rozzo" mediante un semplice segmento di retta da lato a lato (command [Legenda](#)^[794]).

E) VALUTAZIONE DELLA PRECISIONE

Come già anticipato la valutazione della precisione è un aspetto di fondamentale importanza in ogni analisi agli elementi finiti. Se quello che interessa è il campo di sforzo all'interno di un continuo bidimensionale modellato con elementi piastra o membrana, la valutazione della precisione può essere fatta in maniera chiara ed al tempo stesso affidabile nel modo che segue.

Si è visto che si è in grado di stimare il valore degli sforzi ai nodi di ogni elemento e di disegnare delle mappe che rappresentano regioni aventi sforzo costante. Quando si vanno ad esaminare i risultati osservando due elementi contigui si dovrà sempre constatare che lungo il lato in comune tra i due elementi vi sono delle discontinuità. Tali discontinuità dipendono dal fatto che il valore di sforzo S ottenuto sul node I pensato appartenente all'elemento N , SIN , è diverso dal valore di sforzo S ottenuto sullo stesso node I pensato appartenente all'elemento M , SIM . Chiamiamo scarto la quantità $(SIN-SIM)$. La immediata rappresentazione grafica dell'esistenza di questi scarti è data dal fatto che le isolinee presentano in generale un andamento interrotto, in quanto non vi è la continuità interelementare. L'entità delle discontinuità può rendere questo effetto così marcato da rendere pressochè indecifrabili le linee di isolivello. In questo caso, o in tutti i casi in cui a giudizio dell'analista risulti marcato l'effetto di discontinuità delle linee di isolivello, è necessario fare un nuovo calcolo con una mesh infittita.

Tutti gli Autori concordano che il valor medio degli sforzi in un node è una stima

generalmente più precisa di quanto avviene in quel node che quella ottenuta con i valori dei singoli elementi (*global smoothing*). E' perciò assolutamente naturale sostituire ai valori calcolati con ciascun elemento il valor medio di questi valori, su ogni node. *Il campo risultante è più affidabile di quello ottenibile con i valori dei singoli elementi, ma non può stravolgere il valore di precisione ottenibile esaminando con cura gli scarti da elemento a elemento.* Con il *global smoothing* ogni discontinuità è sparita: per questo secondo motivo è raro vedere nelle relazioni rappresentazioni che evidenzino gli scarti, sebbene sia assolutamente necessario conoscerne l'entità. Gli scarti (che ci sono sempre) parlano direttamente di precisione, il *global smoothing* fa apparire precisa ogni analisi. *In altre parole il cosiddetto "global smoothing", ovvero l'operazione di media su un node da elemento a elemento è una tecnica tanto utile quanto potenzialmente pericolosa, in quanto nasconde gli scarti e rende impossibile una valutazione della bontà della analisi. Inoltre in presenza di discontinuità di materiale o di spessore questa tecnica è totalmente inattendibile* (si immagini un filo e una barra connessi in serie e tirati da N, lo sforzo nel filo è effettivamente più grande di quello nella barra!).

Alcuni programmi presentano "di default" i valori di sforzo con il *global smoothing*, Sargon invece no: i Sargon il *global smoothing* deve essere espressamente richiesto ed è comunque segnalato nelle stampe per mezzo della dicitura "scarti eliminati".

Sebbene la misura ad occhio della precisione mediante l'esame della entità dei salti nelle isolinee sia estremamente efficace, pure è evidentemente necessario dare una misura di questa precisione mediante una stima quantitativa.

Alcuni programmi misurano la precisione con un algoritmo che è pericoloso: l'errore in un node sarà $0.5(\text{Max}-\text{min})/\text{GMAX}$, dove Max è il massimo valore dello sforzo di Von Mises in quel node come risultante dai vari elementi ad esso attaccati, Min è il valore minimo in quel node, GMAX è il massimo valore dello sforzo di Von Mises letto sull'intero modello. Questa misura si presta a qualche critica: infatti, se si sta esaminando una zona dove lo sforzo non è quello massimo si ha un brutale abbattimento del valore di errore senza che vi sia alcuna ragione per farlo. Per esempio se il massimo è 1000Mpa magari raggiunto in un solo node lontano dove ho una concentrazione di sforzo, ed io ho 120 come massimo nel node in esame e 60 come minimo, l'errore misurato sarà $(120-60)/1000=0.06$, ovvero solo il 6%, anche se 120 è il doppio di 60 ed anche se lo scarto è elevato (60Mpa!). Una seconda critica è che l'errore non può essere mostrato per il solo sforzo di Von Mises, ma andrebbe mostrato per ogni

possibile componente di sforzo, giacchè non è detto che tutti gli sforzi siano misurati con identica precisione.

La prima idea è di sostituire alla precedente stima dell'errore la seguente: $0.5(\text{Max}-\text{min})/\text{min}$. Questa stima ha però lo svantaggio di non tenere in conto l'entità dello scarto. Se ad esempio ho in un node il massimo pari a 0.0001Mpa ed il minimo stimato pari a 0.00005Mpa l'errore sarà del 100%, ma in realtà ciò impensierisce assai poco data comunque la esiguità dell'entità dello sforzo.

Sargon dà una misura quantitativa della precisione che è una stima dimensionale (non un numero puro). L'errore è dato in termini di scarto quadratico medio sul node (cfr. Malerba in [4]), cosicchè si conosce nelle varie zone del modello l'entità degli scarti medi attesi letta direttamente nella unità di misura attiva. Nel caso di prima (60 e 100), si leggerebbe 20Mpa come errore medio atteso ($\sqrt{((60-80)*(60-80)+(100-80)*(100-80))/2}$). La rappresentazione degli scarti può essere chiesta per ogni componente di sforzo, anche se ha senso solo per gli invarianti (tensore nel riferimento globale, sforzo di Von Mises, sforzi principali massimi e minimi, invarianti del tensore, tutti in presenza di continuità strutturale, mentre non ha senso per le componenti del tensore nel riferimento locale, giacchè questo varia da elemento a elemento).

F) ADAPTIVE REFINEMENT

Per adaptive refinement ([5]) si intende la tecnica in base alla quale la mesh viene infittita solo in certe zone, dipendentemente dalla stima dell'errore commesso in quelle zone stesse. In Sargon l'infittimento è fatto dimezzando il passo della mesh degli elementi da raffinare ed aggiustando poi gli elementi contigui in modo da sposare, localmente, il nuovo passo di mesh ([Adaptive Refinement](#)^[518]). Iterando questa tecnica si può rapidamente arrivare a ridurre gli scarti della soluzione a valori ritenuti accettabili dall'analista. Un'importante considerazione è quella legata alla distorsione degli elementi. Nel corso dei raffinamenti gli elementi adiacenti alla zona infittita vengono ridefiniti in modo da non aggiungere nodi ulteriori: ciò può alla lunga portare ad aumentare la distorsione degli elementi e quindi a zone ove la forma degli elementi è inaccettabile. La contromisura consiste nell'ampliare la zona da infittire o nel coinvolgere in successivi remeshing gli elementi distorti.

G) REGOLE GENERALI SUGGERITE

E' molto facile produrre un'analisi agli elementi finiti, più difficile è produrre una analisi realmente affidabile. Se la valutazione dello stato di sforzo negli elementi bidimensionali è importante la prima cosa da fare è esaminare una o più componenti dello stato di sforzo in presenza degli scarti. Se le linee di isolivello sono irriconoscibili o scarsamente riconoscibili occorre rifare l'analisi aumentando la discretizzazione. Se le linee di isolivello appaiono accettabili occorre valutare l'errore mappando gli scarti, e considerare i valori ottenuti con lo smoothing affetti, punto per punto da un errore (positivo o negativo) dell'entità quantificata dal programma. L'errore fornito da programma dovrebbe sempre essere paragonato alla precisione richiesta dal calcolo in esame. Ad esempio un valore massimo di 100Mpa con un errore di 20Mpa può lasciare tranquilli se la soglia è ad esempio 160Mpa. Ma se il valore è 150 e l'errore è 50, allora occorre rifare l'analisi.

H) MODALITA' DI VISUALIZZAZIONE

Sargon consente di vedere sia gli sforzi membranali che quelli flessionali. E' possibile chiedere al programma, cioè, di calcolare lo stato di sforzo usando solo le azioni di membrana trascurando i momenti di piastra. Allo stesso modo è possibile chiedere al programma di vedere solo la componente flessionale e non quella membranale. In questi casi una scritta nella legenda segnala la scelta fatta.

Se si decide di vedere lo stato di sforzo completo o quello solo flessionale, sorge il problema legato al fatto che lo stato di sforzo cambia tra la faccia superiore e quella inferiore della piastra. Sargon consente di scegliere se vedere lo stato di sforzo sulla faccia visibile (sia essa superiore o inferiore) o su quella nascosta. Nel caso di elementi membrana questa opzione è ovviamente inutile.

Se vengono estratti degli elementi Sargon fa vedere i massimi e i minimi assumendo come massimo il massimo valore presente tra gli elementi estratti e non il massimo valore complessivo: ciò consente di studiare più in dettaglio parti della struttura.

I) USO DELLA LEGENDA

La legenda viene personalizzata con il command [Legenda](#)⁷⁹⁴. Personalizzare la legenda

vuol dire scegliere il numero di intervalli da usare per le isolinee (il default è 10) e scegliere il colore usato per ciascuna banda di sforzo. E' inoltre possibile chiedere al programma di calcolare le isolinee rettificandole da lato a lato dell'elemento, in modo da sveltire le operazioni.

Spesso molto utile è la possibilità di scegliere dei valori di minimo e massimo arbitrari: grazie a questa possibilità è dato vedere evidenziate le regioni del modello che superano un certo valore di soglia, o che si trovano in un certo *range*. Questa possibilità è anch'essa contenuta nel command [Legenda](#)^[794].

L) CONVENZIONI E TERMINOLOGIA

Le convenzioni usate da Sargon sia a schermo che nel tabulato ricalcano quelle solite impiegate nei testi sull'argomento. Per il tensore dello sforzo si assumono positive le trazioni. I pedici 1,2,3 indicano il riferimento locale. I pedici x,y,z il riferimento globale. Per i momenti di piastra si deve tenere presente che il momento m11 è il momento che provoca una σ_{11} positiva sulla faccia superiore dell'elemento. Il momento m12 provoca una τ_{12} positiva sulla faccia superiore dell'elemento. I momenti mxx, myy, mzz sono ottenuti per trasformazione e servono a dare quantità indipendenti dal sistema di riferimento locale dell'elemento, che può in generale essere assai diverso da elemento a elemento.

Nel tabulato di output gli sforzi sono dati con le stesse convenzioni.

Per le piastre vengono dati, per ogni elemento selezionato, i seguenti valori:

Plate	CC	I	S1m	S2m	S12m	m1	m2
m12							
		J	S1m	S2m	S12m	m1	m2
m12							
		K	S1m	S2m	S12m	m1	m2
m12							
		L	S1m	S2m	S12m	m1	m2
m12							

Dove:

Plate indica il numero di elemento;

CC la condizione di carico o la combinazione (se $CC > NLCASE$, CC è la combinazione CC-NLCASE);

I,J,K,L sono i quattro nodi ordinatamente presi: ad ogni riga corrisponde l'output di un node.

S1m indica la tensione σ_{11} membranale;

S2m indica la tensione σ_{22} membranale;

S12m indica la tensione τ_{12} membranale;

m1 indica il momento per unità di lunghezza (momento che genera una σ_{11} flessionale)

m2 indica il momento per unità di lunghezza (momento che genera una σ_{22} flessionale)

m12 indica il momento per unità di lunghezza (momento che genera una τ_{12} torsionale)

Per le membrane vengono dati, per ogni elemento selezionato, i seguenti valori:

Membr	CC	I	SVm	SI	SII	S1	S2
S12							
		J	SVm	SI	SII	S1	S2
S12							
		K	SVm	SI	SII	S1	S2
S12							
		L	SVm	SI	SII	S1	S2
S12							

Membr indica il numero di elemento;

CC la condizione di carico o la combinazione (se $CC > NLCASE$, CC è la combinazione CC-NLCASE);

I,J,K,L sono i quattro nodi ordinatamente presi: ad ogni riga corrisponde l'output di un node.

SVm indica lo sforzo di Von Mises;

SI indica lo sforzo principale minimo;

SII indica lo sforzo principale massimo;

S1 indica la tensione σ_{11} membranale;

S2 indica la tensione σ_{22} membranale;
 S2m indica la tensione σ_{22} membranale;
 S12 indica la tensione τ_{12} membranale;

M) BIBLIOGRAFIA

- [1] **Meccanica delle strutture, 2, Le teorie strutturali ed il Metodo degli elementi finiti**, L. Corradi Dell'Acqua, Mc Graw Hill, 1992
- [2] **Finite Element Procedures**, K. J. Bathe, Prentice Hall International Ed., 1996
- [3] **Concepts and Applications of Finite Element Analysis**, R. D. Cook, D. S. Malkus, M.E.Plesha, Third Ed., John Wiley & Sons, 1989
- [4] **Analisi per Elementi Finiti: Modellazione Structurele e Controllo dei Risultati**, a cura di B.A. Schrefler A.A: Cannarozzi, CISM - International Centre for Mechanical Sciences, 1991
- [5] **The Finite Element Method vol. 1 and 2**, O.C. Zienkiewicz, R.L.Taylor, Fourth Ed. McGraw Hill, 1991
- [6] **On the use of finite element programs in structural evaluation and development of design charts**, A. Mufti, G.Tadros, A.C. Agarwal, *Can. J. Civ.Eng.* **21**, 797-804 (1994)
- [7] **A study of three-node triangular plate bending elements**, J.L. Batoz, K.J.Bathe, L.W. Ho, *Int. Jou. Num. Met. Eng.*, **15**, 1771-1812 (1980)
- [8] **ANSYS User's Manual - Theory - rev. 5.0**, 1992
- [9] **Use of incompatible displacement modes for the calculation of element stiffnesses and stresses**, E.L.Wilson, A. Ibrahimbegovic, , *Finite Elements in Analysis and Design*, **7**, 1990, 229-241

2.17.5 Checks

VERIFICHE

Lo studio dei risultati delle verifiche avviene grazie ai comandi posti nel menù Post-Verifiche. Il command [Inquire](#)⁷⁵⁵ consente di avere informazioni sulle verifiche di un'asta

(beam o truss) scelta dall'utente. Sono possibili tre modalità di rappresentazione dei coefficienti di sfruttamento:

[Inviluppo](#)^[758]

In questa modalità si vedono i coefficienti di sfruttamento massimi tra resistenza e stabilità, al variare delle combinazioni di verifica del combiset attivo. In pratica il peggio del peggio. Se questa modalità è attiva, il command [Inquire](#)^[755] darà informazioni sull'inviluppo.

[Resistenza](#)^[758]

In questa modalità si vedono i coefficienti di sfruttamento dovuti alle verifiche di resistenza nella combinazione attiva. Se questa modalità è attiva, il command [Inquire](#)^[755] darà informazioni sui coefficienti di sfruttamento a resistenza nella combinazione attiva. Se nella vista corrente non è attiva una combinazione il command diventa non eseguibile.

[Stabilità](#)^[758]

In questa modalità si vedono i coefficienti di sfruttamento dovuti alle verifiche di stabilità nella combinazione attiva. Se questa modalità è attiva, il command [Inquire](#)^[755] darà informazioni sui coefficienti di sfruttamento a stabilità nella combinazione attiva. Se nella vista corrente non è attiva una combinazione il command diventa non eseguibile.

[Massimo](#)^[758]

In questa modalità si vedono i coefficienti di sfruttamento dovuti al massimo tra le verifiche di resistenza e quella di stabilità nella combinazione attiva. Se questa modalità è attiva, il command [Inquire](#)^[755] darà informazioni sui coefficienti di sfruttamento massimi tra resistenza e stabilità nella combinazione attiva. Se nella vista corrente non è attiva una combinazione il command diventa non eseguibile.

Se nelle verifiche sono stati verificati dei superelementi si tenga conto di quanto segue.

Il coefficiente di sfruttamento a stabilità degli elementi beam che compongono il superelemento è quello del superelemento, non quello dell'elemento.

La rappresentazione dei coefficienti di sfruttamento è una modalità di disegno paragonabile a quella che fa vedere gli elementi per tipo o per sezione. Una volta attivata questa modalità, essa resta attiva fino al successivo command [No post](#)^[794] o fino alla scelta di una modalità diversa.

Il command [Statistiche](#)^[756] viene impiegato per avere informazioni di tipo statistico sul coefficiente di sfruttamento (di inviluppo, di resistenza, di stabilità o massimo a seconda della scelta fatta) dell'insieme delle aste selezionate al momento della esecuzione del command.

2.17.6 Output listing

OUTPUT LISTING

The output listing (printout) is got by the command [Listing](#)^[370] in menu File. It can be chosen the preferred language among a set of languages available, and choose to add or not some part of the printout, which is divided in sections and subsections.

Generally, the information printed in the printout refers only to the selected elements when the listing-creation command is executed. This in order to save the amount of information output. This rule applies to all elements and nodes. The results of the checks, instead, are always added to the printout as a whole, in order to avoid the risk of omitting some unchecked elements.

2.17.7 Print

PRINT

Sargon can print the content of the active view. The command is [Print](#)^[346]. It is also possible to get a print preview and to set printer settings (commands [Print Preview](#)^[346] and [Print](#)

Setup).

As the program uses the color, and not all printers are color printers, not always the printing result is *what you see is what you get*. In particular, the slenderness colour maps and the utilisation ratios are displayed by using symbols, and not colors, if the printer is detected as being black and white.

2.17.8 Image transfer

IMAGE TRANSFERT

Sargon is able to transfer the content of the active view to the clipboard (*clipboard*) so as to use this captured image in other programs (typically Word for Windows™, Write™, Paintbrush™, and more generally all the programs able to import a Bitmap object by clipboard). The command is [Photograph](#)^[537], and is accessible both from the menu and from the main toolbar.

2.17.9 Stresses in beams and trusses

SFORZI IN TRAVI E BIELLE

A partire dalla versione 6.10 Sargon consente di avere un'idea degli sforzi nelle travi e nelle bielle prima di eseguire le verifiche.

I comandi sono tutti raggruppati sotto il menu Post e sono posizionati nella barra dei bottoni POST2.

Scopo di questi comandi non è fornire un dettagliato quadro della situazione puntuale degli sforzi all'interno delle sezioni, bensì fornire una serie di informazioni base utili per la valutazione dello stesso. Sono plottabili come mappa a colori, ed interrogabili, nonché stampabili tutti i seguenti nuovi dati di calcolo, che si affiancano alle azioni interne già calcolate dal programma:

1. N/A sforzo assiale con segno
2. $M2/W2$ massimo sforzo flettente elastico sull'asse 2 con segno
3. $M3/W3$ massimo sforzo flettente elastico sull'asse 3 con segno.
4. $M2/W_{pl2}$ tensione di snervamento del materiale che corrisponderebbe ad un pieno sfruttamento plastico sotto il momento $M2$ applicato.
5. $M3/W_{pl3}$ tensione di snervamento del materiale che corrisponderebbe ad un pieno sfruttamento plastico sotto il momento $M2$ applicato.
6. $|N/A|+|M2/W2|+|M3/W3|$ stima semplificata del massimo valore di tensione elastica. Nel caso dei tubi e delle sezioni circolari piene – data la loro importanza e frequenza- la formula viene sostituita nei calcoli dalla seguente (esatta): $|N/A|+|M/W|$, essendo M la risultante dei due momenti applicati. Nel caso di profili non doppiamente simmetrici, ad esempio le $[$ o le L , la formula porta in generale ad una sovrastima dello sforzo.
7. $|N/N_{pl}|+|M2/M_{pl2}|+|M3/M_{pl3}|$ sfruttamento plastico semplificato (usa la f_y del materiale assegnato senza coefficienti γ). N_{pl} è valutato come $A f_y$, M_{pl2} come $W_{pl2} f_y$ e M_{pl3} come $M_{pl3} f_y$.

Le quantità 6) e 7) sono quantità indice del cimento della sezione e sono a favore di sicurezza. Non è il modulo base la sede per calcolare gli sforzi ed i domini limite in modo più aderente al dettato delle varie normative, questa operazione è compiuta dai verificatori. Questi indicatori possono però aiutare ad inquadrare rapidamente i possibili problemi.

In pratica per ognuna di queste quantità è possibile avere:

- una mappa a colori sulla struttura che dà un'idea dei valori in gioco, sia per i casi di carico base che per ciascuna combinazione.
- Un command di interrogazione sui punti interni dell'asta che dà i valori puntuali nel caso o nella combinazione prescelti.
- Una mappa a colori con l'involuppo al variare delle combinazioni, ed il corrispondente command di interrogazione.
- Tre sezioni del tabulato corrispondenti ai valori nei casi/combinazioni, agli involuppi

ed agli involucri degli involucri (sul combiset attivo). Il tabulato è sensibile agli oggetti selezionati. Gli involucri degli involucri plottano il massimo delle varie quantità al variare delle combinazioni, e degli elementi selezionati. Pertanto, selezionando prima della creazione del tabulato gruppi di elementi affini, è possibile conoscere il massimo valore degli indicatori al variare degli elementi e delle combinazioni. Analoga informazione è ottenibile a schermo estraendo parte degli elementi dal resto della struttura.

2.18 Using Autocad with Sargon

COME USARE AUTOCAD CON SARGON

Nota: i moduli ARX non sono più supportati. Tuttavia le funzionalità di questi moduli sono state assorbite dal command di esportazione verso DXF [File-Esporta](#)³⁷³.

A partire dalla versione 5.50 alcuni comandi e funzionalità di Sargon sono disponibili come comandi Autocad. Nell'intento di migliorare il collegamento tra il calcolo ed il disegno sono stati realizzati alcuni comandi Autocad che consentono di leggere la base dati Sargon e di restituirla in un formato più tipicamente simile a quello del disegno.

Da un punto di vista informatico il collegamento tra i due programmi è realizzato per mezzo di una serie di moduli ARX (ovvero di file con estensione .ARX) che di fatto rappresentano delle estensioni di Autocad. I file ARX altro non sono che file DLL con l'estensione modificata a sottintendere che si tratta di componenti Autocad.

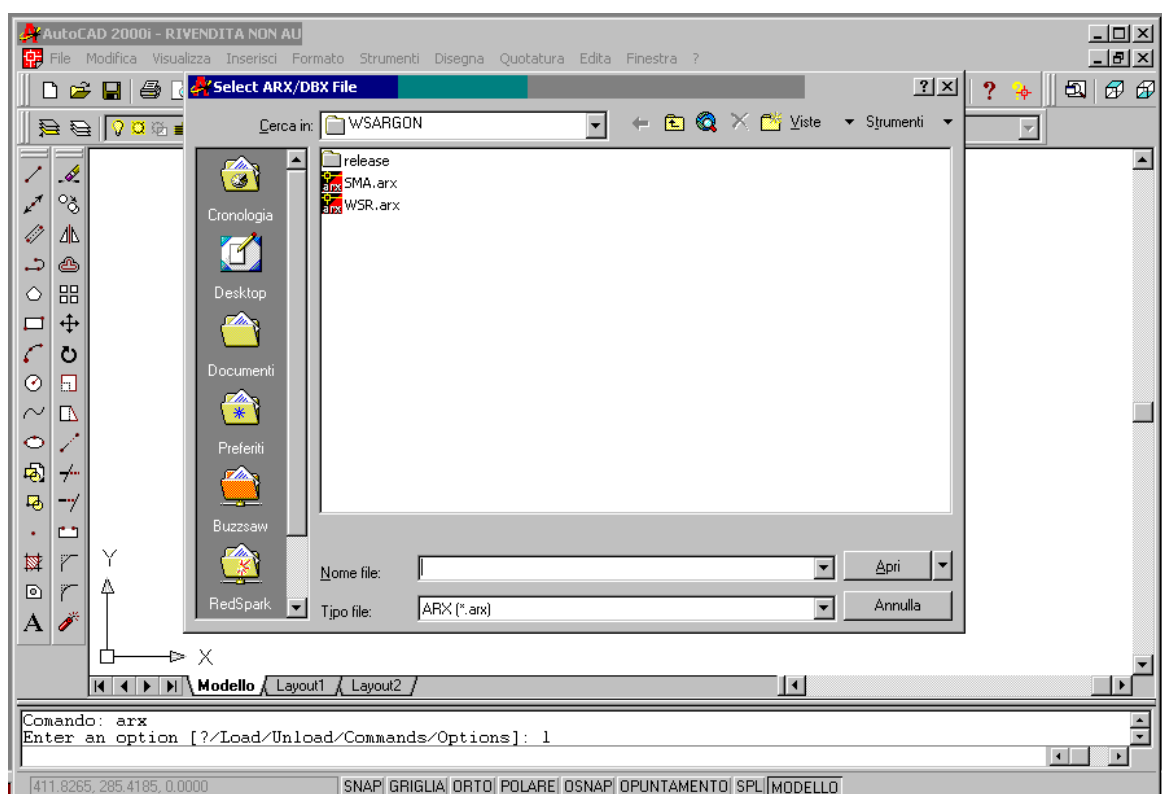
Perché Autocad possa vedere questi nuovi moduli è necessario:

1. che i moduli ARX siano presenti nella cartella del programma Sargon, insieme a tutte le dll di Sargon;
2. che le due dll "ACBR15.DLL" e "ACGE15X.DLL" siano state copiate dalla cartella di Sargon alla cartella di Autocad.

3. che sia montata e funzionante la protezione di Sargon
4. che in Autocad, tramite il command Strumenti-Opzioni-File, si sia aggiunta la cartella di Sargon (in genere c:\wsargon) al “Percorso di ricerca dei file di supporto”.

Il punto 2) richiede una operazione manuale poiché la copia non viene fatta automaticamente al momento della installazione. Il punto 1) è garantito dal file ARX.ZIP presente sui dischetti di installazione a partire dalla versione 5.50 o scaricabile dal sito internet.

Al momento attuale sono state fatte prove con Autocad 2000i. Si ha ragione di ritenere che i moduli ARX vengano visti correttamente anche sotto Autocad 2000 e sotto Autocad 14.



Ogni modulo ARX è portatore di un certo numero di nuovi comandi Autocad. I moduli ARX devono essere caricati in Autocad al fine di rendere disponibili i comandi in essi contenuti. Per caricare in Autocad un modulo ARX è sufficiente dare il command “ARX” e specificare l’opzione “Load”. A questo punto occorre indicare il percorso del file ARX al quale si è interessati e selezionarlo.

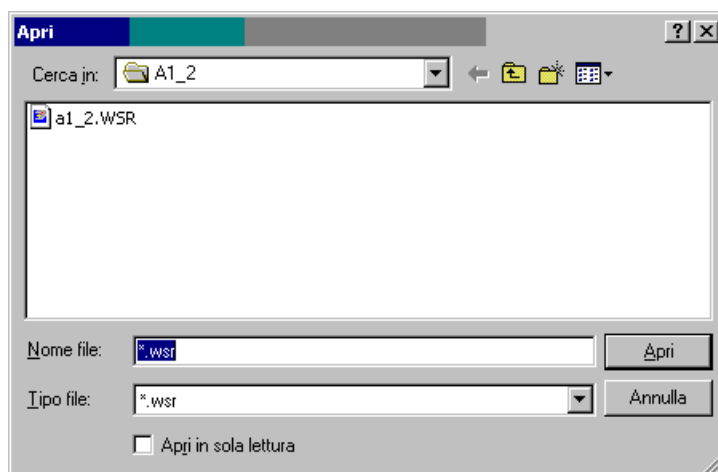
Una volta che i comandi del modulo ARX non siano più utili è possibile scaricare il modulo ARX (liberando memoria) con il command “ARX” seguito dalla opzione “Unload”. Si verrà richiesti di specificare un nome, ad esempio “SMA” oppure “WSR”.

Modulo WSR.ARX

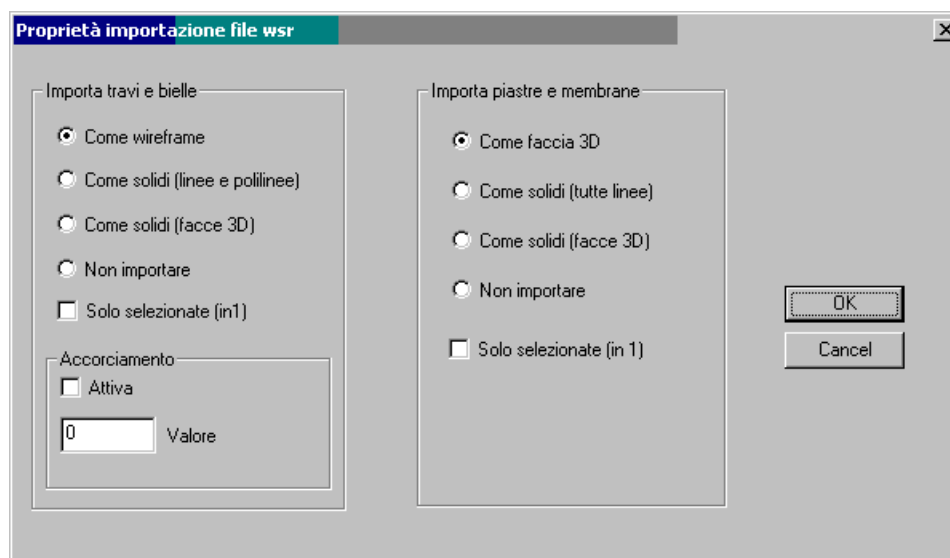
Questo modulo consente di importare in Autocad la geometria di un modello Sargon. Una volta caricato il modulo (come chiarito in precedenza) il command da dare è

WSRIN

Alla esecuzione del command compare il dialog seguente, che consente di scegliere il file .wsr che si desidera importare



Scelto il file compare il dialog seguente, che consente di impostare il modo in cui il modello Sargon verrà importato. Vengono importati gli elementi beam, truss, piastra e membrana.



Relativamente alla **importazione di travi e bielle** sono possibili le seguenti opzioni mutuamente esclusive:

come wireframe	in questo caso le travi e le bielle verranno trasformate in linee, aventi un colore associato al numero di sezione.
come solidi (linee e polilinee)	In questo caso gli elementi vengono resi con le loro dimensioni reali (le quote sono in mm) e vengono descritti mediante linee e polilinee, aventi colore associato al numero di sezione
come solidi (facce 3D)	In questo caso gli elementi vengono resi come solidi con le loro dimensioni reali in (le quote sono in mm) e vengono descritti mediante le primitive 3Dface, aventi colore associato al numero di sezione. Questa opzione è particolarmente utile per rendere immagini tridimensionali con il command Autocad Visualizza-Ombra-

	Nascosta o altri comandi simili
non importare	In questo caso le travi e le bielle non verranno importate

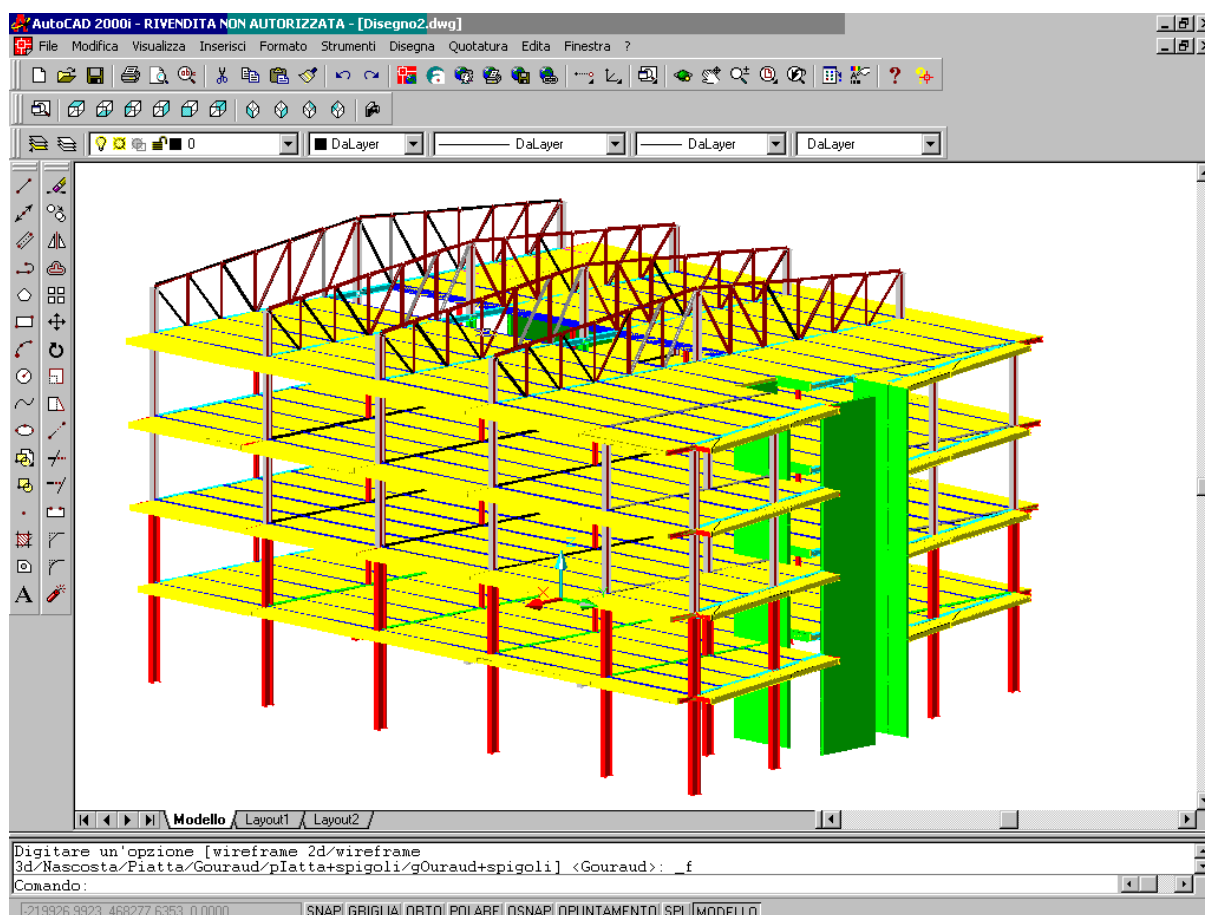
Il flag “**solo selezionate**” consente di importare in Autocad le sole travi e bielle presenti nel modello .wsr selezionate nel serbatoio 1. Ciò è particolarmente utile per importare parti di struttura (ad esempio solai, telai trasversali, capriate, ecc.). Basta far funzionare Sargon e Autocad in parallelo, selezionare via via ciò che interessa in Sargon, salvare il modello, e applicare il command WSRIN in Autocad su disegni diversi.

Il command WSRIN dà anche la possibilità di accorciare automaticamente gli elementi tagliandone via un pezzo agli estremi. Questa funzionalità (che riguarda solo i modelli solidi, non quelli wireframe), può essere o meno attivata. Se si decide di attivarla (flag **Attiva** sotto Accorciamento) occorre specificare di quanto tagliare agli estremi le travi, dando una lunghezza in mm (**Valore**). Questa funzionalità consente di evitare sovrapposizione di elementi nei nodi.

Ogni elemento finito importato come solido viene trasformato in un blocco denominato con il numero ed il tipo dell'elemento finito.

Ogni volta che viene eseguito un command WSRIN, nel disegno Autocad vengono aggiunti dei blocchi che rappresentano le sezioni impiegate all'interno del modello. Questi blocchi potranno poi convenientemente venir impiegati in Autocad al fine di completare o perfezionare il disegno. I blocchi hanno per nome il nome della sezione corrispondente, e comunque il loro colore è in corrispondenza con il numero progressivo di sezione attribuito in Sargon.

Le opzioni disponibili per l'importazione di piastre e membrane ricalcano quelle disponibili per le travi e le bielle. Il corrispettivo dell'importazione wireframe è la importazione come faccia 3d, ovvero una faccia giacente sul piano medio dell'elemento. Nella importazione solida invece l'elemento viene descritto con il suo spessore reale.



Esempio di file Sargon importato in Autocad e reso con un command di rendering

Modulo SMA.ARX

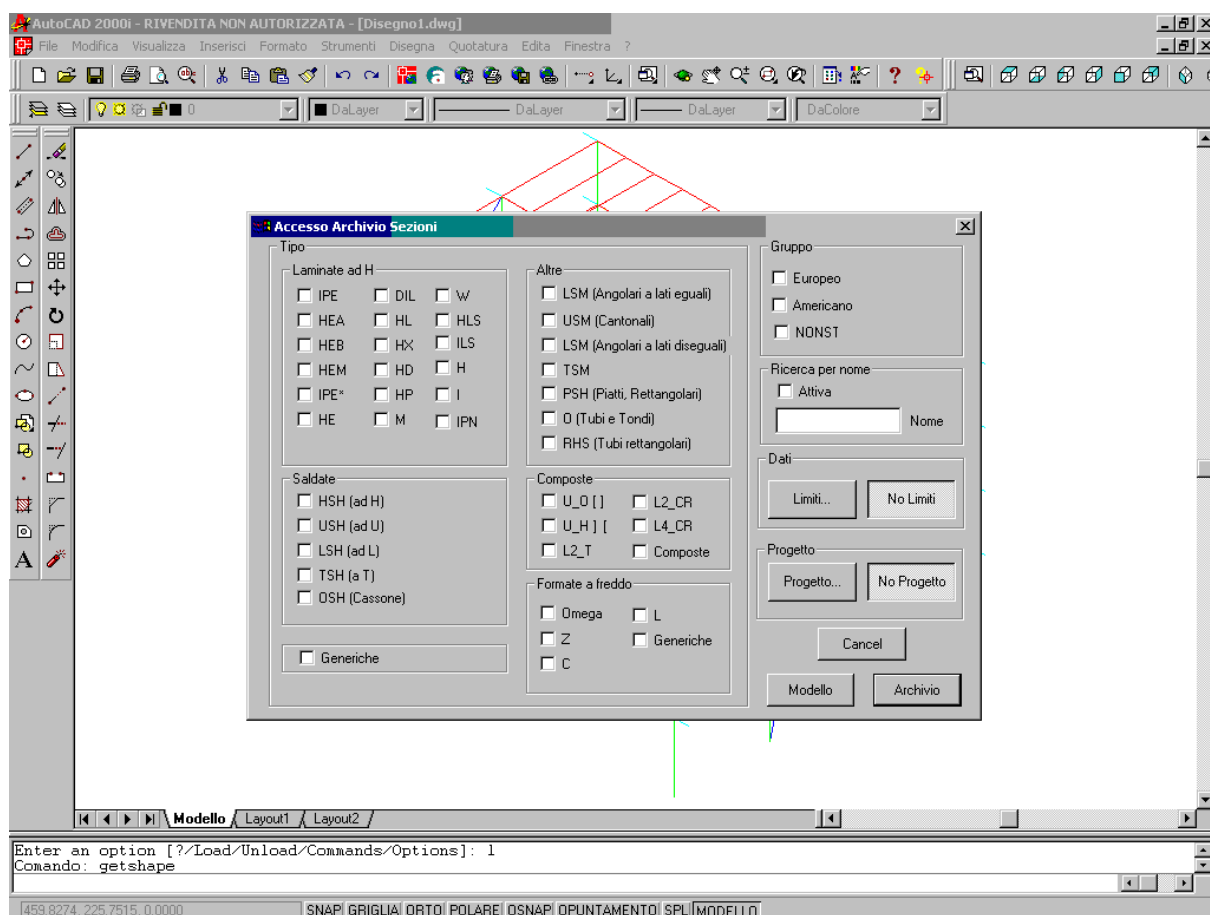
Questo modulo consente di aggiungere due comandi ad Autocad: il command “GETSHAPE” ed il command “ADDSHAPE”.

Una volta eseguito uno qualsiasi di questi due comandi per la prima volta nel corso di una sessione di lavoro si viene richiesti di indicare un file SMA (vale a dire un archivio di sezioni e di materiali in formato SAMBA) da usare come riferimento. Ciò si fa con un ordinario dialog di richiesta di file. Il file da indicare per gli utenti di Sargon è il file “sargon.sma”, ma nulla vieta di indicare qualsiasi altro file gestito da Samba.

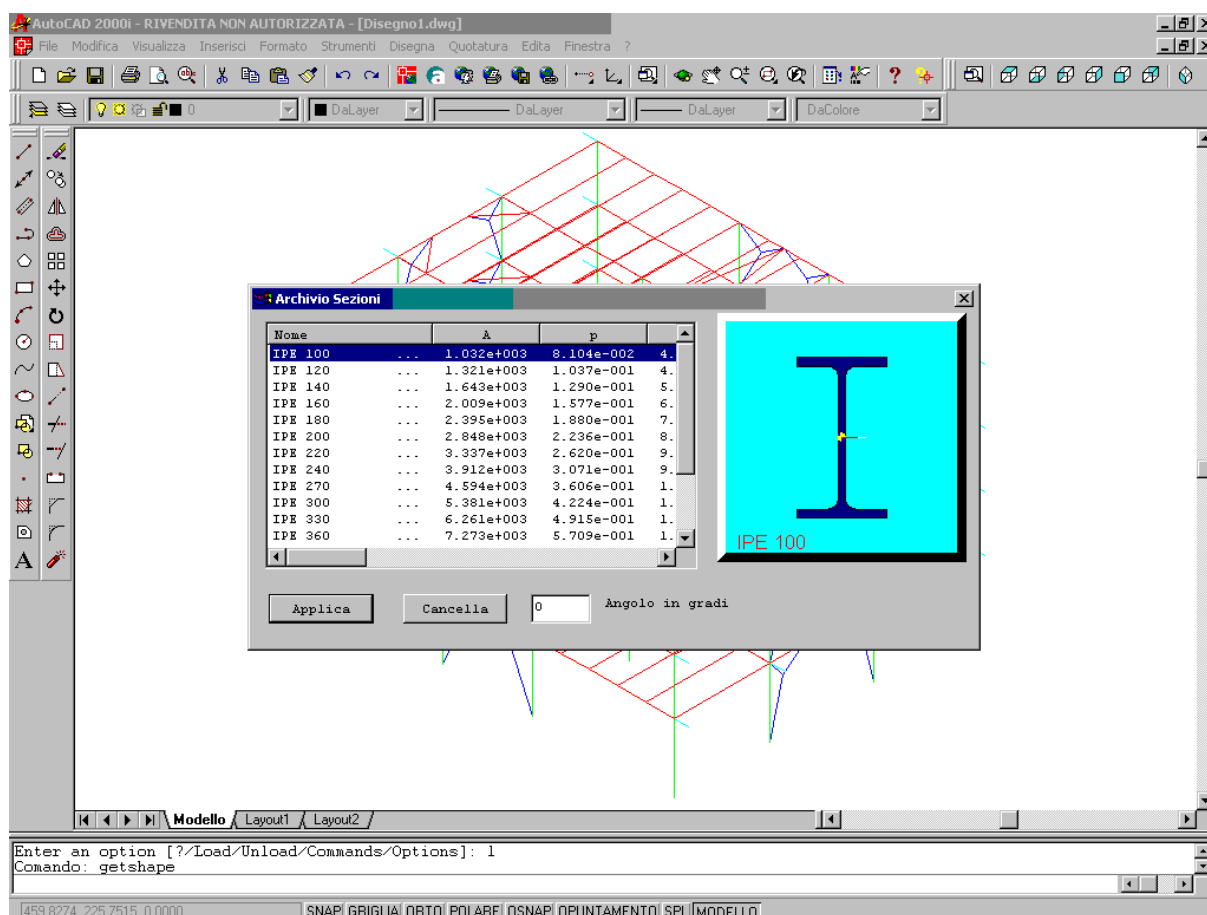
Il primo command consente di importare in un disegno Autocad il disegno di una qualsiasi delle sezioni presenti nell'archivio specificato. Il command da fornire è

GETSHAPE

Alla esecuzione del command ci si trova di fronte al ben noto dialog che consente di specificare le condizioni di filtro con le quali accedere all'archivio (cfr, figura seguente in cui si vede il dialog nell'ambiente Autocad).



Stabilite le condizioni di filtro si scorrono le sezioni (i dati sono forniti in mm) e si sceglie quella desiderata (cfr. figura seguente).

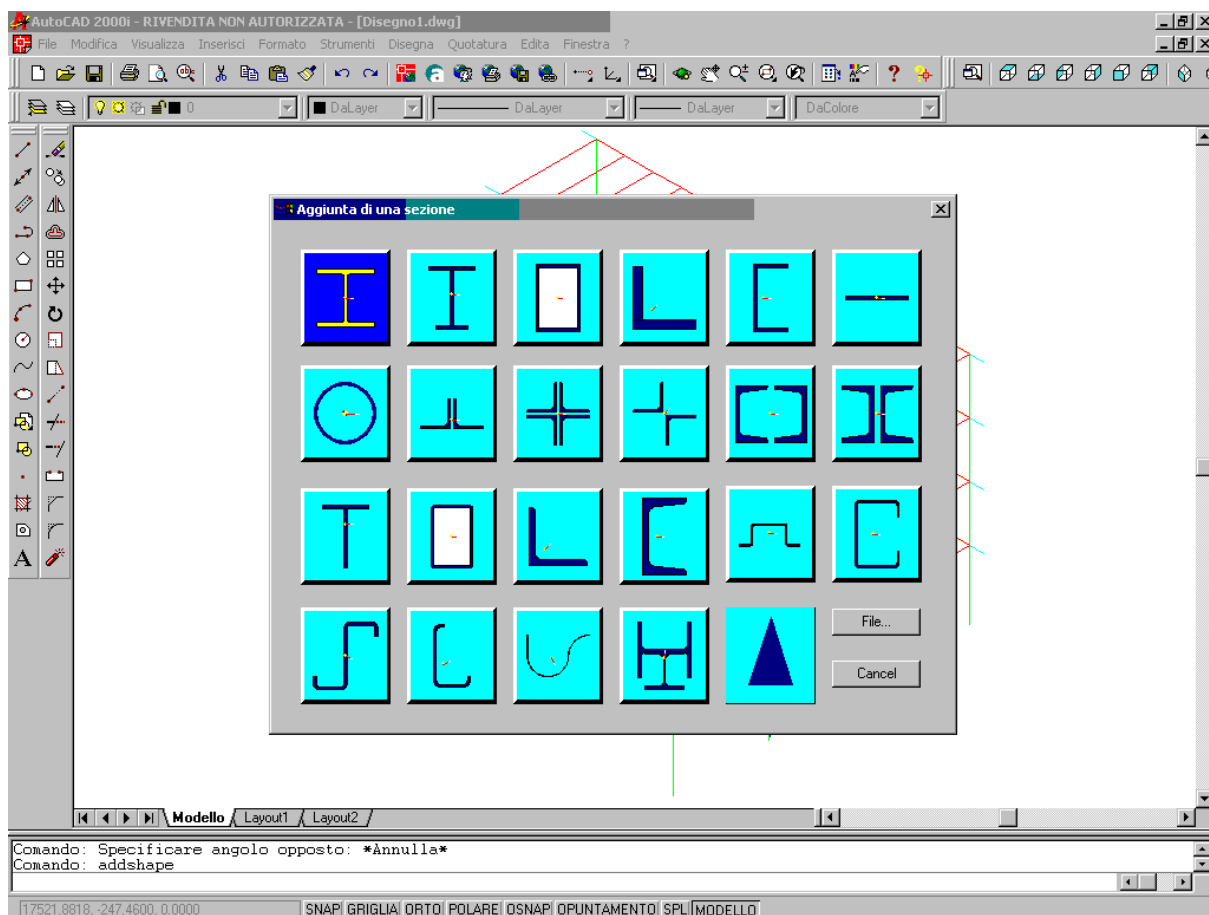


Scelta la sezione si viene richiesti di stabilire il grado di dettaglio con il quale vanno descritti i raccordi curvilinei. Se si sceglie di descriverli con precisione il raccordo verrà descritto come una poligonale molto fitta in grado di seguire il contorno. Se invece si sceglie di schematizzarli questi verranno trasformati in un segmento secante.

Una volta scelta la sezione questa viene aggiunta al disegno sotto forma di blocco che può essere inserito come un qualsiasi altro blocco nel punto desiderato.

La normale dei blocchi così inseriti è sempre l'asse z.

Il secondo command consente di aggiungere ad un disegno una sezione che non è contenuta all'interno dell'archivio .sma che si è aperto. Appena eseguito il command ci si trova davanti il dialog seguente, che consente di specificare il tipo della sezione che si desidera aggiungere.



Questo dialog è lo stesso di quello usato da Samba ed i comandi funzionano allo stesso modo. L'unica differenza è che non è disponibile il command per l'aggiunta di sezioni composte generiche (mentre si possono aggiungere sezioni composte da angolari e da cantonali ed anche sezioni formate a freddo), e che *non* è utile il pulsante "File..." che in Samba consente di leggere le sezioni da un file.

Le unità di misura adottate sono i mm, pertanto nei vari dialoghi ove vengono chieste le quote occorre fornirle in mm.

Una volta descritta la sezione, questa viene aggiunta sotto forma di blocco avente il nome dato alla sezione stessa. Il blocco è poi referenziabile con i metodi ordinari previsti in Autocad.

2.19 Generate combinations

COME GENERARE LE COMBINAZIONI

Le combinazioni di verifica possono essere generate automaticamente, generate manualmente, oppure si può, partendo da combinazioni generate automaticamente aggiungere o rimuovere manualmente le combinazioni che interessano. In ogni caso le operazioni si riferiscono al combiset attivo.

I comandi relativi alle combinazioni si trovano sotto il Menu Edit-Combi.

Per la generazione automatica è disponibile il command [Genera!](#)^[712], per quella manuale il command [Aggiungi](#)^[708] (la generazione automatica definisce combinazioni di tipo [lineare additivo](#)^[709], mentre atbeamrso l'aggiunta manuale si possono definire anche combinazioni di tipo diverso: [SRSS, inviluppo, range, valori assoluti, combinazioni di combinazioni](#)^[709]). Le combinazioni possono essere stampare con il command [Stampa](#)^[717]. E' possibile azzerare una combinazione ([Azzerà](#)^[720]), modificarla ([Modifica](#)^[719]) o anche rimuoverla (sempre con il command [Modifica](#)^[719]). E' possibile rimuovere in un solo command tutte le combinazioni ([Elimina Tutte](#)^[721]). Se il numero di combinazioni da aggiungere manualmente è molto alto, è possibile usare una macro che faccia leggere da un file, mediante il command [Comandi](#)^[383].

La geneazione delle combinazioni secondo il metodo delle tensioni ammissibili non presenta particolari problemi per il progettista, che è lasciato libero di inventare a proprio piacimento combinazioni che siano in grado di mettere al sicuro contro ogni possibile rischio. In genere in questo caso si generano poche combinazioni anche molto molto improbabili (ad esempio vento+sisma), allo scopo di pervenire a situazioni di sollecitazione sicuramente a favore di sicurezza. In questi casi le combinazioni vengono generate manualmente.

Molto diverso è invece il caso in cui la struttura debba essere verificata secondo il metodo degli stati limite. In questo caso le norme danno regole di combinazione che, se interpretate in modo coerente, portano ad avere facilmente svariate centinaia di combinazioni. Non è infrequente la generazione di migliaia di combinazioni.

Per poter avere una idea chiara del modo in cui il programma ragiona, è necessario leggere l'articolo [Combinazioni di verifica agli stati limite, il non detto delle normative](#)^[1034], che è il frutto del lavoro svolto in Sargon per mettere a punto il command di generazione

automatica.

Da un punto di vista operativo, la generazione automatica delle combinazioni è realizzata da un unico command, che richiede che non vi siano altre combinazioni nel modello.

Per poter generare automaticamente le combinazioni occorre tenere presente che non è compito della procedura automatica di generazione la creazione di combinazioni di carico in cui la direzione o la collocazione di un carico cambia sulla struttura. L'unica variabilità di un dato carico statisticamente indipendente tenuta automaticamente in conto dal programma è quella relativa al segno. Ad esempio se si è definito un caso "Vento X" ed un caso "Vento Y", il programma potrà generare combinazioni nelle quali i segni varino, ma occorrerà specificare che i due casi di carico non possono verificarsi contemporaneamente, essendo di fatto alternativi. La descrizione di un vento spirante a 45° dovrà dunque essere fatta generando una caso di carico a sé stante, agente in modo non contemporaneo con gli altri due. Analogo discorso vale per le scacchiere dei carichi variabili o per le diverse posizioni di un carico mobile.

Con queste avvertenze le routine messe a punto in Sargon consentono di generare tutte le combinazioni realmente rilevanti, ed anche di dosare in modo graduale l'effettiva completezza delle combinazioni.

Si fa presente che su strutture normali l'onere computazionale legato alla presenza di un alto numero di combinazioni cresce notevolmente, tanto da avere situazioni di fatto irrealistiche, vuoi al fine di un reale controllo sulla struttura, vuoi al fine di consentire tempi di calcolo e volumi di output ragionevoli.

Al momento il limite superiore del numero di combinazioni fissato nel programma è pari a 65535. Tale numero è ben superiore a quello che è realistico affrontare con l'hardware oggi a disposizione, e con le metodologie oggi in uso. Test eseguiti dal produttore hanno portato a generare e verificare fino a più di 11000 combinazioni (per l'esattezza undicimila quattrocento ventidue). Si fa presente che anche il tempo di generazione può essere rilevante, a causa dei controlli di ridondanza previsti dal programma.

Per poter eliminare combinazioni sicuramente non rilevanti è stato aggiunto il command [Edit-Combinazioni-Elimina Alcune](#)^[721].

Dalla versione 9.80 del programma è possibile disattivare delle combinazioni se non le si vuole includere nelle verifiche automatiche, negli involuppi, ecc. Tutte le combinazioni,

generate automaticamente o aggiunte manualmente, sono attive di default al momento della loro aggiunta. La disattivazione o attivazione delle combinazioni è gestita dal command [Edit-Combinazioni-Modifica](#)^[719]. In questo modo è possibile definire, ad esempio, combinazioni necessarie alla definizione di ulteriori combinazioni di combinazioni, attivando solo queste ultime per i risultati e le verifiche.

2.20 Generate drawings

COME GENERARE I DISEGNI

Generalità

A partire dalla versione 9.00 Sargon è stato dotato di comandi utili per generare in modo automatico dei disegni in formato DXF rappresentanti ciascun filo fisso presente nel modello. Sargon non è un programma dedicato ai collegamenti e quindi i disegni che esso produce sono necessariamente preliminari, tuttavia le tavole che vengono automaticamente create da Sargon possono grandemente facilitare il lavoro dei disegnatori e dare una idea abbastanza precisa di come la struttura dovrà essere realizzata. Tra l'altro i disegni possono, a richiesta, contenere informazioni sulle sollecitazioni di involuppo afferenti ai giunti, consentendo di passare le informazioni necessarie alla loro progettazione già dalle fasi preliminari del lavoro di modellazione.

In quanto segue verranno chiarite le regole usate dal programma per generare le tavole. Queste funzionalità sono molto potenti: è possibile creare tutte le tavole dei fili fissi con un solo command, e ritrovarsi quindi ad avere molti disegni già inizializzati e pronti per essere personalizzati. Non vi sono limitazioni geometriche: un filo fisso può essere un qualsiasi piano, orientato in qualsiasi modo. Il funzionamento del programma è identico. Ad esempio, è possibile rappresentare le quattro facce di un traliccio tronco-piramidale, tutti i suoi livelli, tutte le tracce di ciascun filo sul piano del filo corrente, e mediante lo stesso identico command.

Il file DXF viene creato utilizzando differenti layers in modo da consentire di visualizzare le cose che maggiormente interessano. I layer previsti nelle tavole sono:

ALIGNMENT	la rappresentazione degli allineamenti del modello
JOINT_FORCES	il valore in kN e kNm delle azioni di involucro per i collegamenti
LABEL_SEC	le etichette di sezione
MARKS	le marche delle membrature
MEMBERS	le membrature come solidi proiettati
MEMBERS_HIDDEN	le linee nascoste delle membrature proiettate
SECTIONS	le sezioni delle membrature tagliate dal luogo
TEXT	il testo di alcune scritte
WIREFRAME_MEMBERS	le linee d'asse delle membrature e i segni di connessione

Per avere le tavole occorre eseguire il command [Draw-Tavole...](#)^[455] dopo aver eseguito il command [Draw-Genera membrature!](#)^[452] ed aver preventivamente definito i luoghi geometrici necessari con il command [Draw-Fili fissi...](#)^[452].

Generazione delle membrature

Un primo fondamentale punto da comprendere è che Sargon non crea il disegno del modello agli elementi finiti bensì delle membrature. La differenza è presto detta: una membratura è un pezzo fisicamente unico che può eventualmente essere modellato mediante più elementi finiti. Per generare un modello a membrature Sargon si avvale di funzionalità proprie del programma CSE, di Castalia srl, dedicato al calcolo dei collegamenti. Sargon non gestisce direttamente le membrature, non le rappresenta e non consente quindi di lavorare su di esse poiché questi compiti sono propri di CSE. In Sargon tuttavia, è possibile creare in background il modello a membrature e giovarsene nella creazione delle tavole preliminari. Le tavole di dettaglio sono oggetto del programma CSE, che è la naturale prosecuzione di Sargon.

Nello scandire gli elementi finiti che compongono il modello Sargon ricostruisce le membrature con le seguenti regole:

- Ogni elemento truss rappresenta una membratura a sé stante.
- Ogni discontinuità nella forma sezionale, nella linea d'asse, nella orientazione della terna locale comporta la interruzione di una membratura.
- La presenza di uno svincolo o di un mero segno di connessione all'estremo di un

elemento finito comporta la interruzione della membratura a cui l'elemento finito appartiene.

- Discontinuità di materiale comportano la interruzione di una membratura.

E' dunque evidente che è l'analista, mediante la apposizione di opportuni segni di connessione in eventuale aggiunta agli svincoli, a determinare il modo in cui il programma crea le membrature a partire dal modello agli elementi finiti.

Si consideri ad esempio una colonna realizzata in due tronchi. In corrispondenza al giunto di prosecuzione si potrà mettere un node, e assegnare ad uno dei due elementi attaccati a quel node un segno di connessione. Tale operazione comporterà la suddivisione in due membrature della colonna, e quindi corrispondentemente nei disegni.

Marcatura automatica delle membrature

Nel generare automaticamente le membrature il programma assegna ad ogni membratura una "marca" ovvero un identificatore univoco, che la distingue da tutte le altre.

Il criterio di assegnazione delle marche è basato sulla presenza dei fili fissi. La marca è una stringa alfanumerica costruita secondo le seguenti regole.

Se la membratura è una truss la marca comincia per "T".

Se la membratura giace in un piano orizzontale la marca comincia con "B".

Se la membratura è strettamente verticale (diretta come Z) la marca comincia per "C".

Se la membratura non ha le precedenti proprietà la marca comincia con "E".

La prima lettera di una marca prende il nome di *qualificatore*.

L'appartenenza ad un certo luogo relativamente alla giacitura viene verificata esaminando i nodi dell'elemento, non i suoi estremi. Pertanto se vi sono eccentricità di queste non si tiene conto.

I due nodi di estremità di ciascuna membratura sono due punti nello spazio 3D. Tali punti possono o meno appartenere ai luoghi geometrici (fili fissi) precedentemente descritti nel

modello.

Un node si dice ***pienamente individuato*** (sottintendendo: dai luoghi del modello) se esso appartiene almeno a tre luoghi geometrici diversi. In effetti tre piani si incontrano in generale in un punto. I luoghi geometrici devono non essere complanari (non basta che abbiano versori diversi o nomi diversi).

Si dice che la membratura appartiene ad un certo luogo geometrico se entrambi i suoi nodi appartengono a quel luogo geometrico (si noti che l'appartenenza di una membratura ad un luogo è fatta analizzando i nodi senza tener conto degli offset, per consentire piccoli scostamenti dal luogo che – se non inficiano il sostanziale posizionamento “logico” della membratura – possono consentire un suo corretto posizionamento nello spazio, anche al fine di interfacciarsi con l'ambiente del calcolo dei collegamenti).

Una membratura è ***pienamente individuata*** se entrambi i suoi nodi estremi sono pienamente individuati. Ad esempio una membratura che vada da A.1.L1. ad A.1.L2. è una membratura pienamente individuata. Se i fili fissi sono stati propriamente assegnati, molte membrature risulteranno pienamente individuate. Per le membrature pienamente individuate la marca viene formata nel seguente modo:

“QUALIFICATORE”.“LUOGHI DELLA MEMBRATURA”.“LUOGHI DEGLI ESTREMI”

Per esempio la membratura “C” precedentemente ipotizzata avrà la marca univoca:

C.A1.L1L2

Per una beam che vada dal node C.1.L2 al node D.1.L2, la marca sarà

B.1L2.CD

Se il numero di luoghi soddisfatti dai due estremi è inferiore a sei, la membratura ***non è pienamente individuata*** dai luoghi esistenti. In questo caso il programma genera una marca provvisoria, con la stessa regola precedente. Si consideri ad esempio la beam secondaria che va da un punto sul filo A del livello 3, L3, ad un punto del filo B del livello 3, senza appartenere né al filo 3 né al filo 4 (A,B,3,4 definiscano un rettangolo al livello 3). La marca iniziale sarà:

B.L3.AB

E' da notare che tale marca sarà in comune con le altre secondarie nello stesso

specchio compreso tra il filo 3 e 4 ed il filo A e B del livello 3.

Dopo aver generato tutte le marche provvisorie, il programma esamina le marche provvisorie identiche e aggiunge una numerazione progressiva, da 001 a N (tre cifre). In questo modo la marca definitiva ha la seguente struttura:

**“QUALIFICATORE”. “LUOGHI DELLA MEMBRATURA”. “LUOGHI DEGLI
ESTREMI”. “NUMERO PROGRESSIVO”**

Per esempio tutte le secondarie presenti nello specchio precedente avranno le seguenti marche, immaginando $N < 10$:

B.L3.AB.001

B.L3.AB.002

.....

B.L3.AB.00N

Questo sistema di marcatura ha il pregio di individuare gli elementi per quanto possibile sulla base della loro posizione (e quindi eventuali rifacimenti di mesh o di modello non generano cambiamenti generalizzati ma solo localizzati, se i luoghi conservano la loro definizione), consentendo al tempo stesso di non dover individuare mediante l'aggiunta ad oltranza di luoghi, tutte le membrature. La lettura della marca consente di ricostruire la posizione dell'elemento con ottima approssimazione anche per le membrature non pienamente individuate.

Se si vuole avere un buon sistema di marcatura, comunque, è opportuno che i luoghi siano stati attentamente descritti, prima di eseguire le tavole. In caso contrario il ricorso al gruppo finale con i numeri progressivi può essere maggiore di quanto strettamente necessario.

Oltre alle membrature pienamente individuate ed alle membrature non pienamente individuate vi sono le membrature non individuate. Gli estremi di queste membrature non appartengono (nessuno dei due) ad alcuno dei luoghi precedentemente definiti nel modello. Tali membrature hanno una marca provvisoria definita dal solo qualificatore, e vengono distinte mediante il numero progressivo. E' chiaro che queste membrature dovrebbero, per quanto possibile, evitarsi.

Luoghi geometrici

Come abbiamo visto la definizione dei luoghi geometrici è fondamentale ai fini della marcatura delle membrature ed anche ai fini della creazione delle tavole. Un generico luogo è individuato dal piano di equazione

$$ax+by+cz=d$$

Il versore normale al piano è il vettore

$$\frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \vec{i} + \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \vec{j} + \frac{c}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \vec{k}$$

È da notare che il piano

$$-ax-by-cz=-d$$

è complanare al precedente ma comporta un diverso effetto ai fini delle tavole. Infatti il versore del piano è opposto e la vista riportata su tavola è sempre realizzata in modo tale che l'osservatore guardi dal secondo estremo del versore verso l'origine. Il verso del versore del luogo influenza il modo in cui verranno visualizzate le linee delle membrature, poiché le linee nascoste cambiano. Questa è la ragione per cui i luoghi creati automaticamente dal programma sono del tipo

$$x=\text{costante}$$

$$-y=\text{costante}$$

$$z=\text{costante}$$

in quanto in tale modo le viste associate a questi luoghi (versori (1,0,0), (0,-1,0), (0,0,1)) sono di fatto le viste ortogonali classiche dei disegni. Nulla vieta di aggiungere un nuovo luogo del tipo

$$-x=\text{costante}$$

Ad esempio, se si vuole avere anche la tavola con la vista dall'altra parte.

Sollecitazioni afferenti alle giunzioni

Tra le funzionalità disponibili nella creazione delle tavole, v'è quella di rappresentare, agli estremi delle membrature, i valori delle forze e delle coppie di involuppo afferenti ai collegamenti. Per ragioni di leggibilità la unità di misura di queste forze e coppie è predeterminata in kN per le forze e kNm per le coppie. Inoltre ogni valore è arrotondato all'intero e privo di segno.

I valori sono riportati in modo diverso per le travi e le bielle. Per le travi si ha ad esempio

12,45,23 kN

(0,32,0) kNm

Dove i valori tra parentesi sono le coppie, ordinatamente M1, M2, ed M3, mentre i valori non tra parentesi sono le forze, ordinatamente N, T2, T3. Le azioni sono quindi riportate nel sistema di riferimento locale della membratura corrispondente.

Per le bielle è riportato il solo valore di azione assiale, arrotondato al kN e non tra parentesi.

Questa funzionalità è molto importante ed utile per consentire di progettare le unioni in modo indipendente dal modello di calcolo e con grande anticipo rispetto ai tempi finali di lavorazione del modello.

Viste solide proiettate

Tra le funzionalità disponibili nella creazione delle tavole vi è anche quella di far vedere le membrature come oggetti solidi proiettati. La rappresentazione è sensibile al versore dell'allineamento utilizzato. Le linee nascoste sono posizionate in un layer diverso (denominato MEMBERS_HIDDEN), rispetto alle linee visibili (layer MEMBERS). Non vi sono limitazioni di giacitura o di forma sezionale. Le membrature sono rappresentate tenendo conto delle loro eccentricità.

2.21 Manage elastic-soil elements

COME GESTIRE ELEMENTI SU SUOLO ELASTICO

A partire dalla versione 9.20 Sargon consente di gestire esplicitamente gli elementi su suolo elastico, e segnatamente la piastra su suolo elastico e la beam su suolo elastico.

In entrambi i casi l'utente dovrà selezionare degli elementi e poi assegnare a questi le proprietà del suolo elastico desiderato (con i comandi [Mesh-Piastre e Membrane-Winkler](#)^[501] e [Mesh-](#)

[Travi e Bielle-Winkler](#)^[476]). Per le piastre il modello è quello di Winkler. Per le travi il modello è quello elastico generalizzato a due parametri, che contiene anche il modello di Winkler.

In entrambi i casi è conveniente utilizzare questi elementi per la maggior precisione che si può ottenere impiegando ordinari livelli di discretizzazione. Se lo scopo è quindi quello di pervenire ad un più esatto stato di sforzo sugli elementi (piastra o beam) l'uso delle formulazioni su suolo elastico è fortemente consigliato.

[N.b.: Nella versione 9.20 non sono ancora stati aggiunti comandi che diano lo sforzo nel terreno sotto gli elementi su suolo elastico. Infatti il terreno non risulta essere esplicitamente modellato mediante molle e va indagato con continuità sul dominio – linea o superficie. Nel caso di terreno alla Winkler si può tuttavia valutare l'entità dello sforzo esaminando le componenti di spostamento associate alla reazione del terreno. In particolare, eventuali trazioni del terreno, accettate in un modello puramente lineare, e non accettabili nella realtà fisica, possono essere individuate mediante lo studio dell'involuppo degli spostamenti al variare delle combinazioni. Sotto le travi alla Winkler è sufficiente moltiplicare lo spostamento $w(x)$ per k per ottenere la reazione del terreno per unità di lunghezza].

PIASTRA SU SUOLO ELASTICO

Con la versione 9.20 Sargon consente di assegnare agli elementi piastra anche una costante di Winkler k . Tale costante ha la dimensione fisica di una forza per unità di volume. La piastra viene inizialmente generata sempre con tale $k=0$. Per assegnare un k alle piastre selezionate si deve usare il nuovo command Mesh-Piastre e Membrane – Winkler. Per togliere il k di Winkler occorre assegnare un valore nullo.

Le piastre che hanno un k di Winkler diverso da zero sono mostrate con una molla al centro dell'elemento, nella direzione normale al piano dell'elemento.

La possibilità di dare elementi plate su suolo elastico consente di ottenere una maggior precisione nello studio di platee su suolo elastico. Anziché assegnare le molle ai nodi è possibile assegnare direttamente la costante di Winkler agli elementi plate-shell.

La matrice di rigidezza dell'elemento viene modificata aggiungendo il termine

$$k \int \mathbf{N}^T \mathbf{N} dL$$

Dove \mathbf{N} sono le funzioni di forma della parte traslazionale dello spostamento e k è la costante di Winkler. A parte la modifica della matrice di rigidezza, tutte le operazioni relative al post-processing restano invariate. Sebbene molto più preciso dell'approccio a molle concentrate, il sistema qui succintamente descritto (e reperibile in letteratura ad esempio nel testo del Cook di seguito precisato) non può essere considerato di precisione paragonabile a quello adottato per le travi su suolo elastico, in quanto la parte intrinseca della matrice di rigidezza resta inalterata. Pertanto il livello di discretizzazione dovrà essere molto elevato.

R.D. Cook, D. S. Maltus, M.E. Plesha, "Concepts and applications of finite element analysis", John Wiley & Sons, 1989.

TRAVE SU SUOLO ELASTICO

Con la versione 9.20 di Sargon compare l'elemento beam su suolo elastico a due parametri. Tale aggiunta consente di studiare le travi su suolo elastico con molta maggior precisione rispetto a quanto possibile in precedenza. Non è più necessaria una elevata discretizzazione per studiare elementi beam su suolo elastico (beam rovescia), ma basta un solo elemento dato che le funzioni di forma dell'elemento su suolo elastico usano non più polinomi ma complicate funzioni trigonometriche ed esponenziali, che sono la soluzione esatta della equazione differenziale e che quindi forniscono già con un solo elemento il risultato corretto, sia in termini di azioni interne che in termini di spostamento

Valgono però le seguenti limitazioni:

1. L'elemento beam su suolo elastico può ricevere come carichi interni solo carichi distribuiti linearmente (o uniformi) tra un estremo e l'altro estremo. Non sono ammessi carichi concentrati o carichi che vadano da un punto interno ad un altro punto interno o d'estremo. Non sono inoltre ammesse le coppie distribuite. Tale limitazione non è molto forte se si tiene conto che di solito vi sono solo i carichi distribuiti e che nel caso di carichi concentrati è sempre possibile spezzare l'elemento in più elementi.
2. L'elemento beam su suolo elastico non considera la rigidezza a taglio, quindi i fattori di taglio non sono considerati.

3. Nelle analisi con Soclever, gli elementi su suolo elastico non contribuiscono alla rigidezza geometrica e quindi non sono oggetto di analisi del secondo ordine. Restano trattati al primo ordine anche se possono far parte di un più generale modello ove figurino analisi del secondo ordine (sugli altri elementi beam e sugli elementi truss).

Come accennato il modello è quello del suolo elastico a due parametri. Il lavoro di riferimento adottato per questo elemento è il seguente:

Feng Zhaohua, Robert D. Cook, “Beam Elements on Two-Parameter Elastic Foundations”, Journal of Engineering Mechanics, Vol. 109, N° 6, December 6 1983.

Nel modello a due parametri, risulta che, $w(x)$ l'abbassamento della beam e $p(x)$ la reazione del terreno si abbia:

$$p(x) = kw(x) - k_1 \frac{d^2 w}{dx^2}$$

Il parametro k è l'ordinario parametro di Winkler, ed ha le dimensioni fisiche di una forza per unità di superficie. Si ottiene dalla costante di Winkler del terreno moltiplicandola per la larghezza della superficie di appoggio. Esprime una rigidezza (F/L) per unità di lunghezza.

Il parametro k_1 è il secondo parametro e consente di modellare suoli con maggior generalità ed efficacia di quanto possibile con il solo k . k_1 ha le dimensioni fisiche di una forza. In particolare il secondo parametro consente di evitare il tipico e ben riconosciuto fenomeno che fa sì che una beam su suolo elastico alla Winkler, soggetta ad un carico uniformemente distribuito, si abbassi senza inflettersi, cosa che è evidentemente in contrasto con la esperienza effettiva di travi su suoli reali. In effetti ciò dipende dal fatto che nel modello alla Winkler il terreno al di fuori della beam non si abbassa, Il modello a due parametri invece comporta una inflessione anche nel caso in cui vi sia un mero carico distribuito.

Il modello a due parametri contiene al suo interno le seguenti teorie, che tutte ricadono nella medesima equazione pur impiegando per il secondo termine una diversa formulazione collegata ad un diverso significato fisico:

1. Modello di Filonenko-Borodich

2. Modello di Pasternak
3. Modello di fondazione generalizzata
4. Fondazione di Vlasov

Si rimanda al già citato paper per i riferimenti esatti ai corrispondenti lavori. Qui si riporta solo la formulazione di Vlasov utile per determinare k_1 .

$$k = \frac{E_0 b}{4(1 - \mu_0^2)}$$

$$k_1 = \frac{E_0 b}{4(1 + \mu_0)}$$

$$A = \sqrt[3]{\frac{2D(1 - \mu)}{E_s b}}$$

$$E_0 = \frac{E_s}{1 - \mu}$$

$$\mu_0 = \frac{\mu_s}{1 - \mu}$$

$$D = \frac{EI}{(1 - \mu)}$$

Dove:

b	larghezza della beam
μ	coefficiente di Poisson della beam
EI	rigidezza flessionale della beam
E_s	modulo di elasticità del terreno
μ_s	coefficiente di Poisson del terreno
γ	un coefficiente numerico che dipende dalla fondazione (ad esempio, 1, 0.5, ecc.)

Per maggiori dettagli su come impostare il valore di k_1 si rimanda alla letteratura tecnica sull'argomento. Ove non si abbia idea di come impostare il valore di k_1 si suggerisce di lasciarlo nullo.

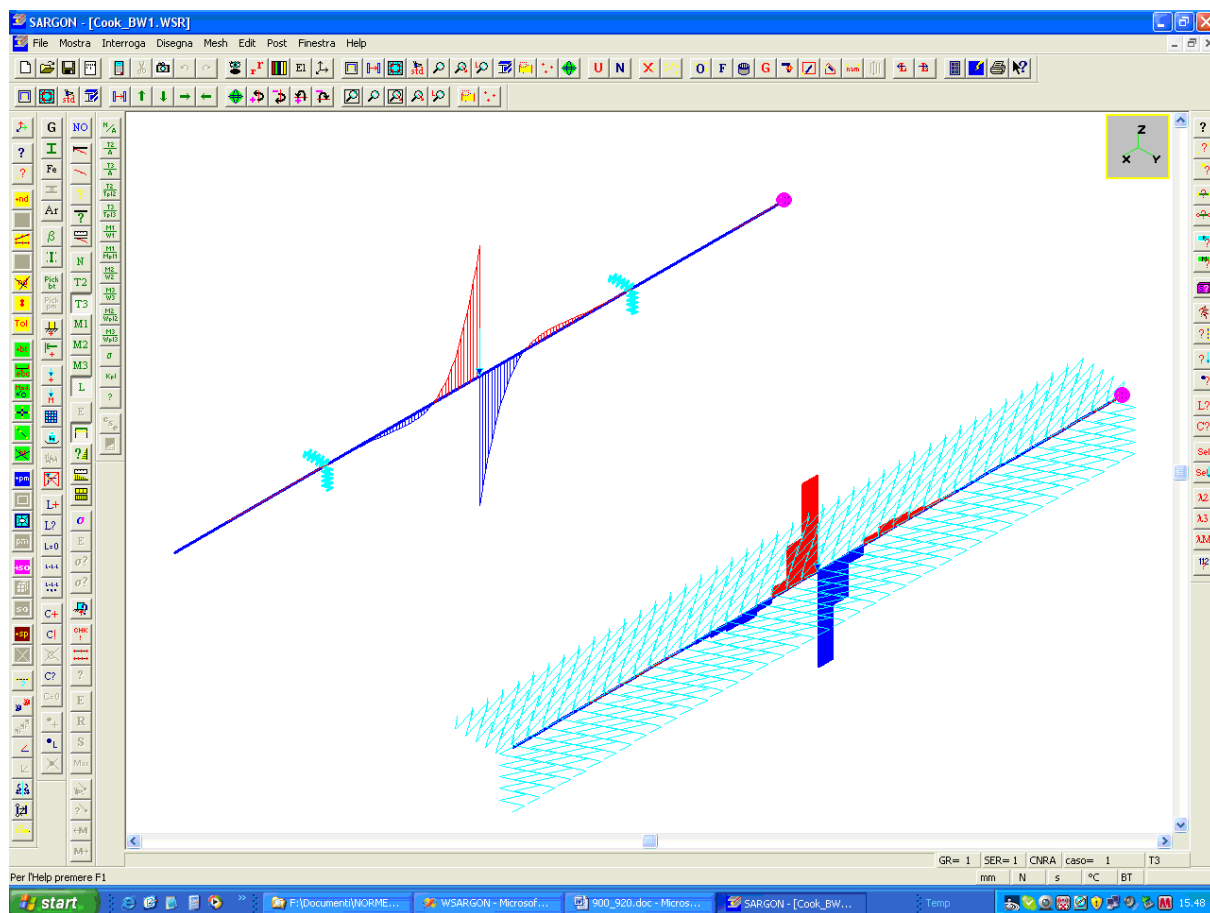
Per ottenere una ordinaria fondazione su suolo elastico alla Winkler è sufficiente porre $k_1=0$.

k_l non deve mai raggiungere o superare il valore

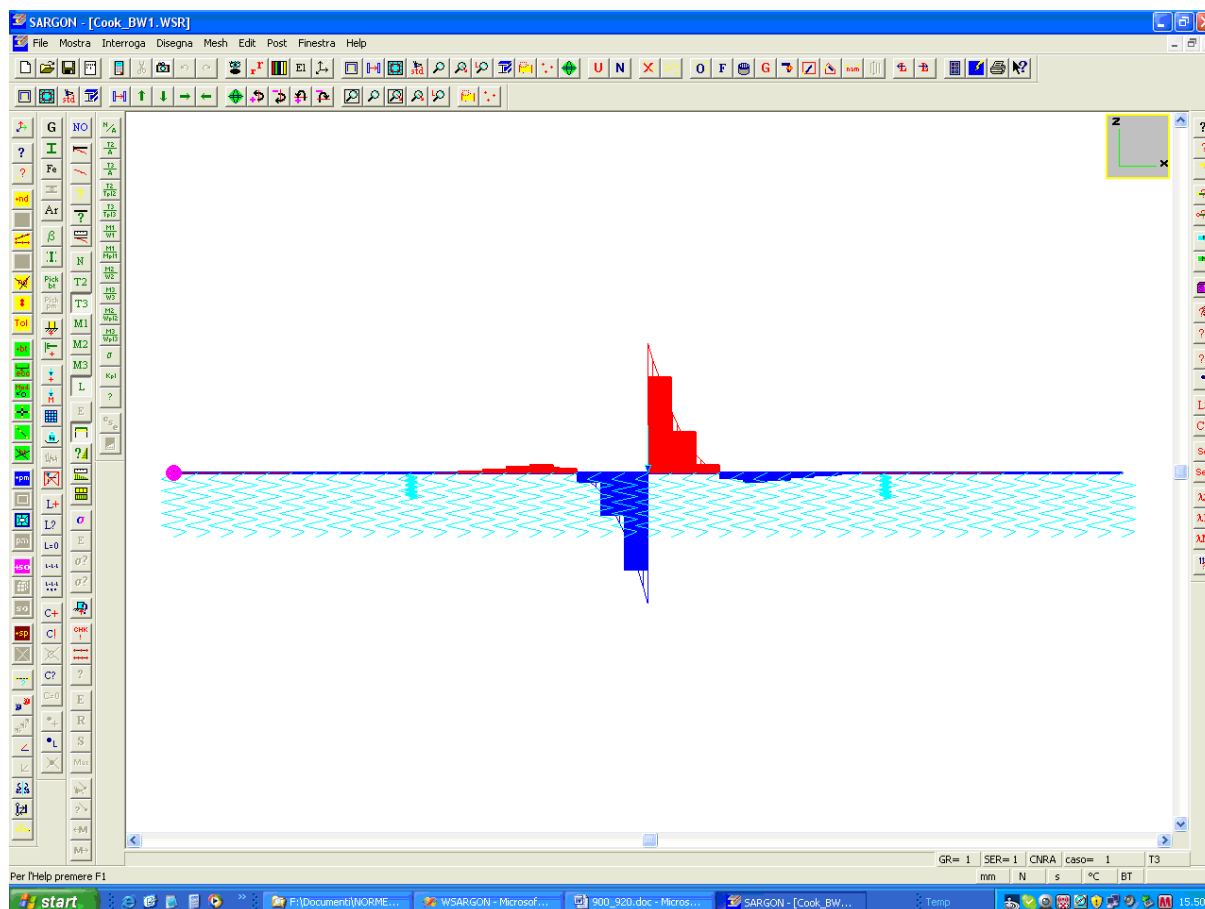
$$k_{l,lim} = \sqrt{4k_l}$$

Come già detto l'introduzione di uno specifico elemento finito di beam su suolo elastico semplifica di molto la creazione delle mesh corrispondenti, in quanto il livello di discretizzazione necessario a cogliere con precisione la risposta si abbassa drasticamente. Sia l'andamento della deformata, sia i diagrammi di taglio e momento flettente presentano variazioni secondo complicate funzioni trigonometriche ed esponenziali. In letteratura è noto che per cogliere correttamente il momento flettente e soprattutto il taglio è necessario dividere l'elemento in moltissimi sotto-elementi se si fa uso degli ordinari elementi a funzioni di forma cubiche. Per questa ragione si è sin da subito deciso che gli elementi avrebbero impiegato le molto più complesse funzioni di forma trigonometriche-esponenziali.

Nella figura che segue si vede il raffronto tra due travi modellate con le molle o con la nuova formulazione. E' mostrato l'andamento del taglio.



Si noti che in un caso il modello (beam su suolo elastico con carico concentrato in mezzeria) è realizzato con due elementi finiti, nell'altro con ben 40. Nonostante ciò il taglio massimo (figura seguente) non è ancora colto dal modello ordinario con molle.



2.22 Manage eccentricities (offset)

COME GESTIRE LE ECCENTRICITA'

A partire dalla versione 9.00 Sargon gestisce le eccentricità degli elementi beam (beam). Tale aggiunta si è resa specialmente necessaria per compatibilità con CSE, ovvero il programma di Castalia srl dedicato al calcolo dei collegamenti, tuttavia essa ha anche una notevole importanza nel consentire con maggiore facilità di trattare disassamenti ed eccentricità che provocano momenti aggiuntivi e di trasporto.

Al momento le eccentricità si possono applicare solo agli elementi beam. Se un elemento truss ha delle eccentricità può essere modellato con un elemento beam eccentrico opportunamente svincolato. Nel caso in cui si voglia modellare una piastra nervata, le eccentricità devono andare dal piano della piastra al baricentro delle nervature.

I comandi dedicati alle eccentricità sono tre:

[Mesh-Travi e bielle-Eccentricità](#)^[480]

[Mesh-Travi e bielle-Snap su luogo](#)^[482]

[Mesh-Travi e bielle-Reimposta eccentricità!](#)^[486]

Teoria

Per definizione un elemento beam va da un estremo ad un altro estremo. Gli estremi possono non coincidere con i nodi dell'elemento stesso. Chiamiamo “offset” o “eccentricità” di un elemento, il vettore che va dal node dell'elemento al suo corrispondente estremo, nel sistema di riferimento globale. Ciascuna eccentricità è quindi definita da tre componenti nel sistema di riferimento globale, aventi la dimensione fisica di una lunghezza. La traslazione di un node si comunica inalterata all'estremo corrispondente. La rotazione di un node si comunica inalterata all'estremo corrispondente, con in più l'aggiunta di una traslazione che viene ad essere calcolata nel seguente modo. Sia **M** il punto nello spazio corrispondente al node (“master”) ed **S** il punto nello spazio corrispondente all'estremo (“slave”). Siano dx, dy, e dz le componenti del vettore (**S-M**). E' definita la matrice di trasferimento **T** nel seguente modo:

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} 0 & dz & - \\ -dz & 0 & \\ dx & -dy & \end{bmatrix}$$

Tale matrice gode della seguente proprietà:

$$\mathbf{T}^T = -\mathbf{T}$$

Sia ora:

- \mathbf{u}_s il vettore delle traslazioni del master
 \mathbf{u}_m il vettore delle traslazioni dello slave
 \mathbf{r}_s il vettore delle rotazioni dello slave
 \mathbf{r}_m il vettore delle rotazioni del master

Risultano le seguenti relazioni vettoriali dirette:

$$\mathbf{u}_s = \mathbf{u}_m + \mathbf{T} \mathbf{r}_m$$

$$\mathbf{r}_s = \mathbf{r}_m$$

e inverse:

$$\mathbf{u}_m = \mathbf{u}_s - \mathbf{T} \mathbf{r}_s$$

$$\mathbf{r}_m = \mathbf{r}_s$$

che possono essere anche scritte in questo modo:

$$\begin{Bmatrix} \mathbf{u}_s \\ \mathbf{r}_s \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{T} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{u}_m \\ \mathbf{r}_m \end{Bmatrix}$$

(***)

$$\begin{Bmatrix} \mathbf{u}_m \\ \mathbf{r}_m \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{I} & -\mathbf{T} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{u}_s \\ \mathbf{r}_s \end{Bmatrix}$$

Il vero e proprio elemento finito va da un estremo ad un altro estremo. La lunghezza effettiva di un elemento non è quella da node e node ma quella da estremo ad estremo. Se le eccentricità sono nulle gli estremi coincidono con i nodi. La assegnazione delle eccentricità, variando la lunghezza effettiva degli elementi, ha effetti sulla risultante dei carichi distribuiti assegnati. L'asse 1 dell'elemento va da un estremo all'altro estremo. La terna locale è definita rispetto all'elemento che va da estremo ad estremo. Le azioni interne sono sempre riferite all'elemento e vanno da un estremo ad un altro estremo. Le leggi che fanno passare dalle azioni (forze e momenti) ad un estremo alle azioni (forze e momenti) sul node, e viceversa, sono le seguenti:

$$\begin{Bmatrix} \mathbf{f}_m \\ \mathbf{m}_{...} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \\ -\mathbf{T} & \mathbf{I} \end{Bmatrix}$$

Le reazioni vincolari ai nodi, ed i residui, sono calcolati mettendo in conto i momenti di trasporto mediante le relazioni matriciali precedenti. La matrice di rigidezza dell'elemento avente certi estremi è trasformata per tenere conto che i nodi non coincidono con gli estremi stessi. Precisamente risulta che, detta Π la seguente matrice

$$\Pi = \begin{Bmatrix} \mathbf{I} & \vdots \\ \mathbf{0} & \vdots \end{Bmatrix}$$

e detta \mathbf{K} la matrice di rigidezza dell'elemento, partizionata nei blocchi relativi agli estremi "i" e "j"

$$\mathbf{K} = \begin{Bmatrix} \mathbf{K}_{ii} & \mathbf{k} \\ \mathbf{K}_{ji} & \mathbf{k} \end{Bmatrix}$$

Si ottiene che la matrice di rigidezza \mathbf{K} relativa ai nodi N_i ed N_j è la seguente:

$$\bar{\mathbf{K}} = \begin{Bmatrix} \Pi_i^T & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \Pi_j^T \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{K}_{ii} & \mathbf{K}_{ij} \\ \mathbf{K}_{ji} & \mathbf{K}_{jj} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \Pi_i \\ \mathbf{0} \end{Bmatrix}$$

Assemblata la matrice di rigidezza così ottenuta per le vie normali si calcolano gli spostamenti nodali, e da questi tramite le (***) gli spostamenti agli estremi. Noti questi si procede al calcolo delle azioni interne che vengono memorizzate come al solito.

Applicazione automatica delle eccentricità

La definizione delle eccentricità non è sempre univoca, dato che essa dipende da come fisicamente viene realizzata l'unione. Sargon non è un programma di disegno 3d e quindi non ha delle informazioni necessarie a ricostruire sempre e comunque la eccentricità. E' tuttavia possibile, in un certo insieme di casi, calcolare ed assegnare in modo automatico la eccentricità agli elementi, tenendo meramente conto delle posizioni dei nodi, delle giaciture e

delle relazioni statiche che intercorrono tra vari elementi (il command è [Mesh-Travi e Bielle-Reimposta eccentricità!](#)⁴⁸⁶).

E' in particolare possibile assegnare le eccentricità agli elementi che convergono ad un altro elemento che resta ininterrotto. In questo caso le linee d'asse ideali degli elementi secondari possono essere interrotte in modo da fermarsi prima del node teorico. La lunghezza di questa "eccentricità assiale" dell'elemento secondario dipende dalla forma sezionale dell'elemento principale e dalla mutua orientazione delle linee d'asse. Per poter decidere quale membratura è interrotta e quale no, il programma trasforma il modello agli elementi finiti in un modello a membrature, e poi classifica i JNODI mediante le informazioni sulle connessioni (svincoli e segni di connessione). Per i JNODI gerarchici, ovvero i JNODI nei quali esiste un master ininterrotto al quale si attaccano vari slave, è possibile definire le eccentricità assiali degli slave in modo automatico. Per gli altri tipi di JNODO non viene applicata alcuna eccentricità.

Un secondo tipo di eccentricità gestibile in modo automatico è quella che fa rispettare il top of steel. In questo caso gli elementi giacenti su un certo livello (ovvero con i nodi appartenenti ad un certo livello così come definito nel command Edit-Multipiano) possono essere traslati in modo che il loro top of steel (TOS) giaccia alla quota specificata nel medesimo command precedentemente richiamato. Tale operazione è compiuta in automatico dal command che genera le eccentricità.

Posizionamento di punti notevoli delle sezioni su luoghi

Al fine di favorire il passaggio del modello di calcolo ai programmi dedicati al disegno ed al calcolo dei collegamenti, è stato aggiunto, a partire dalla versione 9.00, un importante command utile al posizionamento delle membrature nello spazio, in modo coerente al posizionamento effettivo da realizzarsi durante il montaggio. In pratica, scelto un determinato luogo geometrico (al momento un piano di data equazione), è possibile *aggiungere* agli offset esistenti degli offset tali da far giacere certi punti o lati notevoli della sezione sul luogo desiderato.

Di solito il problema delle eccentricità può essere visto come duplice:

1. Le eccentricità assiali riducono la lunghezza dell'elemento mantenendone inalterato il piano di giacitura;
2. Le eccentricità normali mantengono invariata la lunghezza ma modificano il piano di giacitura.

Il command [Mesh-Bielle e Travi-Snap su luogo](#)^[482], consente di modificare le eccentricità in modo che il piano di giacitura cambi. Il cambiamento è programmato in modo tale che non già il baricentro, bensì altre opportune parti della sezione, si trovino sul luogo desiderato.

Sargon gestisce migliaia di tipi e di forme sezionali diverse. Per poter avere una regola unica e nitida di applicazione di questo command, si sono definiti dei luoghi geometrici sul contorno della sezione, ovvero dei punti che soddisfano certe proprietà geometriche. Tali punti sono quattro: il TOS, il BOS, il LOS ed il ROS.

Riferita la sezione ai suoi assi principali baricentrici 2 e 3, ogni punto del contorno della sezione ha coordinate x_2 ed x_3 rispetto al baricentro della sezione. Si noti che gli assi principali non sempre sono paralleli ai piatti (per esempio in una sezione ad L non lo sono).

Definiamo punto **TOS della sezione** il punto del suo contorno avente la coordinata x_3 maggiore (in senso algebrico).

Definiamo punto **BOS della sezione** il punto del suo contorno avente la coordinata x_3 minore (in senso algebrico).

Definiamo punto **ROS della sezione** il punto del suo contorno avente la coordinata x_2 maggiore (in senso algebrico).

Definiamo punto **LOS della sezione** il punto del suo contorno avente la coordinata x_2 minore (in senso algebrico).

L'uso di questi punti consente nella maggior parte dei casi di posizionare il profilo correttamente. Ad esempio:

- Per profili ad I od a H doppiamente simmetrici le facce esterne delle flange sono il TOS ed il BOS;
- Per profili ad L lo spigolo (appartenente ad ambedue i lati esterni) è il LOS;
- Per i profili a [il lato esterno dell'anima è il LOS;

- Per i profili a T il piatto superiore è il TOS;

Si rimanda alla parte di [descrizione del command](#)^[482] per ulteriori dettagli su questi luoghi.

E' da notare che il command aggiunge la eccentricità a quelle già esistenti, quindi eventuali eccentricità assiali vengono mantenute.

Eccentricità vs comandi standard

Divisione, splitting, intersezione

Se un elemento con eccentricità viene suddiviso con uno dei comandi elencati, la situazione finale rispetta le eccentricità originariamente assegnate all'elemento di partenza.

Copia, ricopia, specchia

Se un elemento con eccentricità viene copiato o ricopiato o specchiato, i nuovi elementi ottenuti dal primo mantengono le stesse identiche eccentricità rispetto ai nuovi nodi venuti a creare.

Visualizzazione, cliccabilità degli estremi

Rotazione

Nella rotazione viene mantenuta la direzione rispetto agli assi globali, quindi un elemento con eccentricità assiale non le nonserva se ruotato di un certo angolo. Tali eccentricità diventano normali per rotazioni di 90 gradi.

I monconi rigidi sono sempre visualizzati con un colore opposto a quello di background. Gli estremi delle aste non sono cliccabili per assegnarvi forze o per interrogazione sulla posizione. Le interrogazioni sugli elementi fanno muovere il cursore lungo l'elemento da un estremo ad un

altro estremo.

E' generalmente preferibile generare le eccentricità (o mediante il command automatico, o mediante la assegnazione manuale), solo al termine delle operazioni di meshing, nella fase finale del lavoro.

Una **linea guida per la gestione delle eccentricità** può essere la seguente:

1. Generare il modello normalmente senza preoccuparsi delle eccentricità, analizzarlo e verificarlo. Salvare e duplicare il modello.
2. Aggiungere i segni di connessione in modo da pilotare correttamente la suddivisione in membrature, e trasformare le bielle in travi là dove si desidera avere eccentricità su elementi truss.
3. Eseguire il command [Reimposta eccentricità!](#)^[486] per far inizializzare al programma le eccentricità assiali.
4. Eseguire più volte là dove serve, se serve, il command [Eccentricità](#)^[480], in specie per determinare la eccentricità assiale degli elementi non trattati dal command [Reimposta eccentricità!](#)^[486]. Infatti solo i JNODI gerarchici sono trattabili dal command.
5. Eseguire più volte il command [Snap su luogo](#)^[482] in modo da portare il piano delle membrature ad essere coerente con quanto sarà fatto in fase di montaggio (quota estradosso impalcati, piano facce esterne controventi per profili ad L o a []).
6. Rieseguire le verifiche, controllare che tutto sia a posto.
7. Esportare il modello verso il disegno e verso il calcolo dei collegamenti.

2.23 Execute the checks with the "general method"

COME ESEGUIRE LA VERIFICA CON IL "METODO GENERALE"

Con il nome di "metodo generale" si intende la verifica della interazione tra resistenza e stabilità condotta mediante un metodo che generalizza quanto si fa per il caso di semplici

colonne compresse. Il metodo è descritto in EN 1993-1-1 al §6.3.4 relativamente allo svergolamento di travi inflesse, ma è di fatto adoperato anche in numerosi altri contesti all'interno della norma in questione. Il metodo è descritto e discusso nel testo *Calcolo di Strutture in Acciaio*, di Paolo Rugarli, EPC Libri, 2008, al §1.7.1 e verrà ora brevemente richiamato.

Sia data una generica struttura e consideriamo una generica combinazione di carico ad essa associata. Sia α_{cr} il moltiplicatore critico (positivo), ovvero il moltiplicatore dei carichi che conduce alla instabilizzazione di tutta o di parte della struttura. Sia inoltre α_u il moltiplicatore limite, ovvero il moltiplicatore dei carichi (positivo) che porta alla creazione di un meccanismo, ovvero alla formazione di un atto di moto rigido all'interno della struttura a seguito della plasticizzazione di uno o più dei suoi elementi resistenti (cerniere plastiche o plasticizzazione di elementi tesi o compressi). Definiamo col termine generale di *criticità*, o *snellezza adimensionale*, il numero adimensionale $\bar{\lambda}$ ottenuto dalla seguente espressione

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{\alpha_u}{\alpha_{cr}}} \quad (1)$$

Data la criticità e data una curva di stabilità, ovvero una relazione del tipo $\chi = \chi(\bar{\lambda})$ è possibile determinare un fattore di riduzione χ che dipende dalla criticità e che va a diminuire il carico che, in assenza di fenomeni di instabilità, si potrebbe applicare sulla struttura. Dunque il *moltiplicatore reale dei carichi*, non è α_u ma è α_R e vale

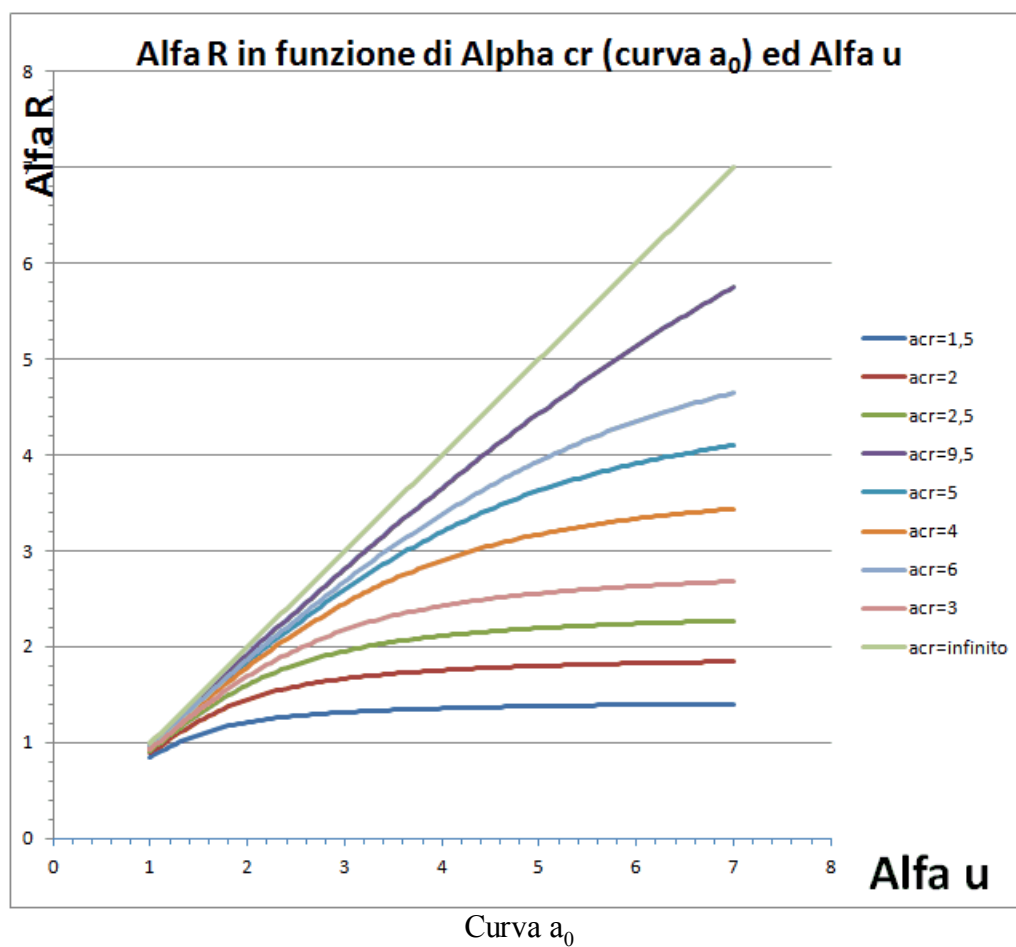
$$\alpha_R = \chi \alpha_u = \chi(\bar{\lambda}) \alpha_u = \chi \left(\sqrt{\frac{\alpha_u}{\alpha_{cr}}} \right) \alpha_u \quad (2)$$

Il metodo è applicabile a qualsiasi struttura e tiene conto del fatto che, a causa dei fenomeni di instabilità, il carico per resistenza idealmente raggiungibile può non essere raggiunto. E' importante osservare che il concetto di criticità (ed il calcolo di χ) è totalmente svincolato da concetti come *lunghezza*, *distanza tra i punti di flesso*, ed è associabile a qualsiasi struttura, come un guscio, una lastra, una copertura, ecc..

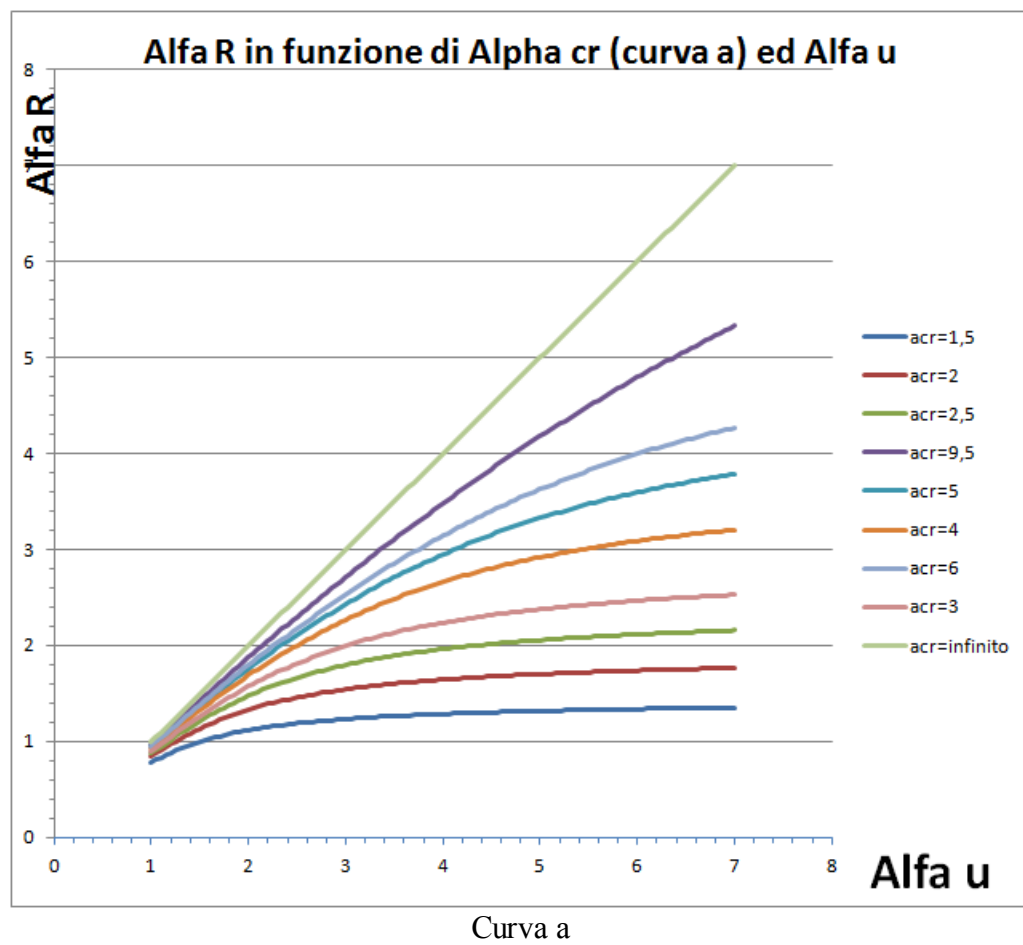
Un punto di fondamentale importanza nella applicazione del metodo è la scelta della curva di stabilità. Normalmente si adoperano le stesse curve di stabilità impiegate per la

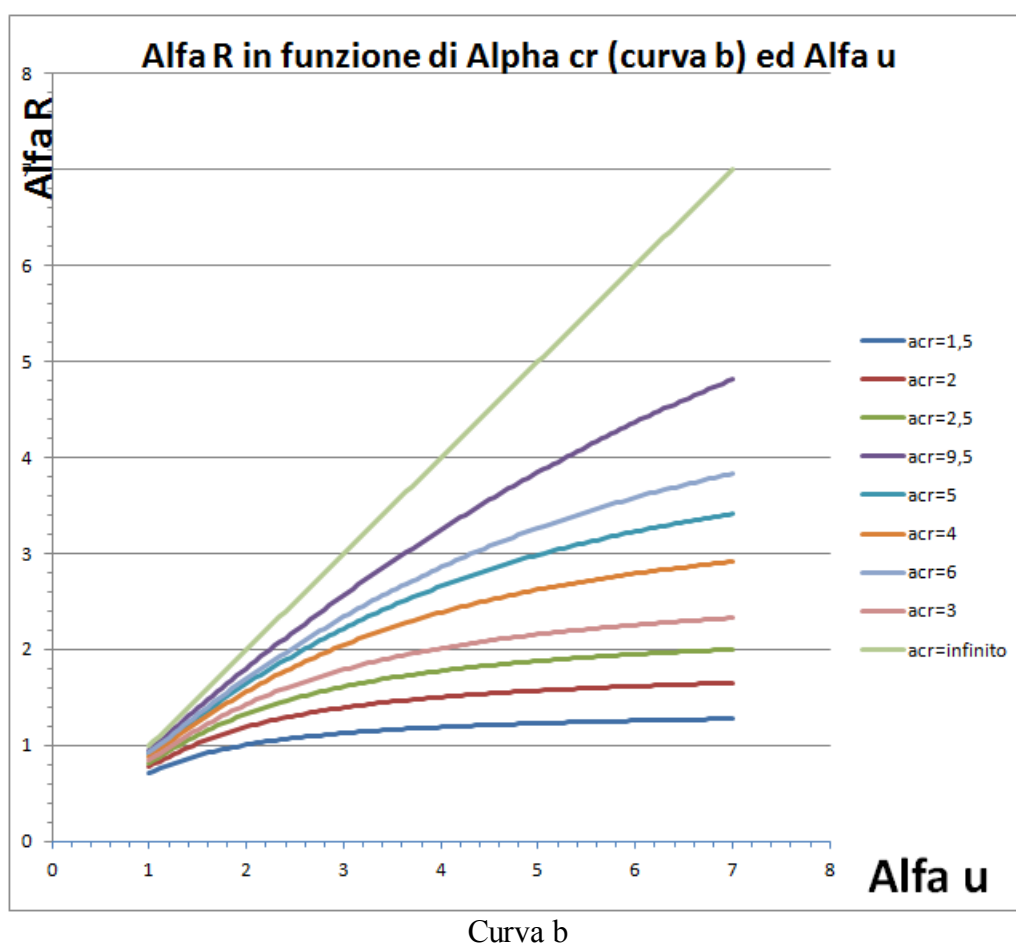
verifica di elementi compressi (curve a_0 , a, b, c, d), dato che tali curve di stabilità rendono conto di diversi possibili livelli di imperfezione e costituiscono una stima ingegneristica della maggiore o minore probabilità che si inneschino i fenomeni di instabilità stessi. La curva di stabilità è associata ad un fattore di imperfezione che vale 0,13 per la curva a_0 , 0,21 per la curva a, 0,34 per la curva b, 0,49 per la curva c, ed infine 0,76 per la curva d. E' naturalmente possibile definire altre curve pur di impostare valori differenti per il fattore di imperfezione (si veda la Tabella 6.1 di EN 1993-1-1).

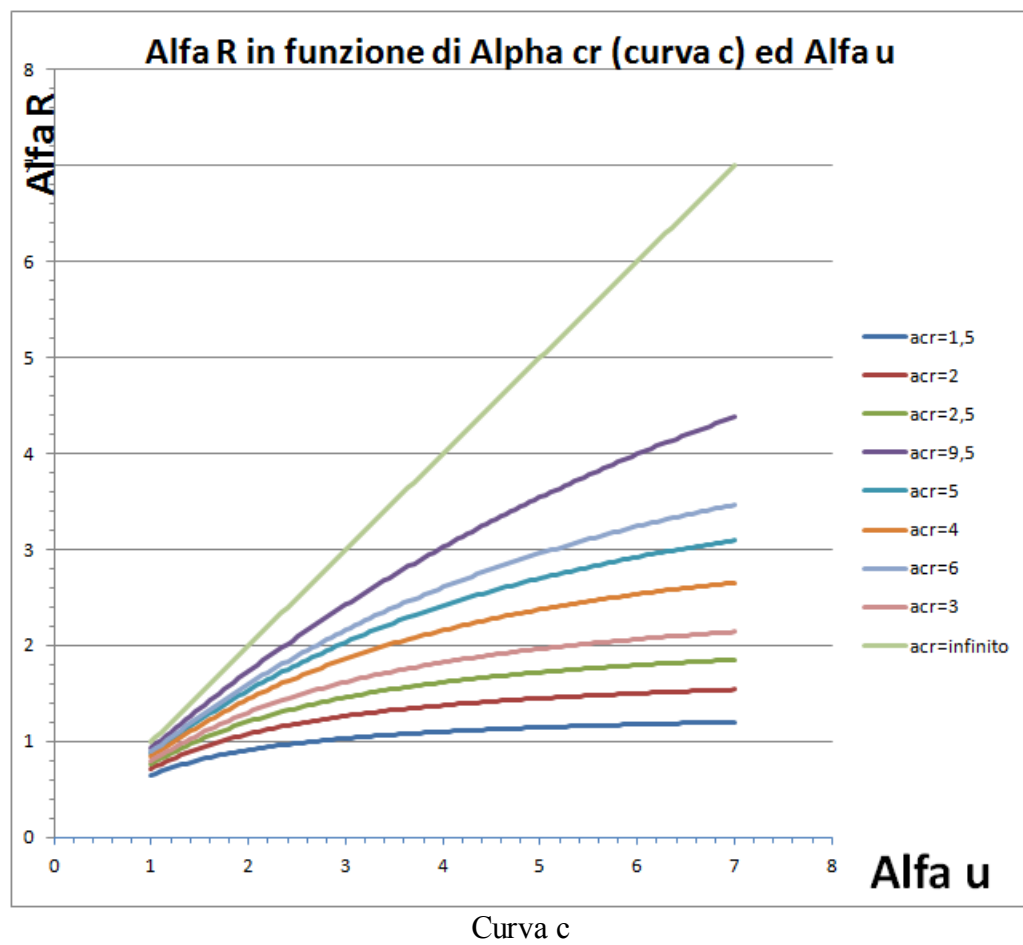
Per poter applicare il metodo occorre quindi conoscere il fattore α_{cr} ed il fattore α_u . Si noti che è sempre a favore di sicurezza sottostimare α_u , dato che se è vero che la criticità viene ad essere sottostimata (perché α_u compare a numeratore nella (1)) è anche vero che nella espressione (2) l'effetto finale sarà una sottostima e non una sovrastima di α_R . In altre parole le curve $\alpha_R = \alpha_R(\alpha_u)$ sono sempre crescenti per ogni α_{cr} . Questo vuol dire che ai fini di una determinazione a favore di sicurezza di α_R è possibile usare una sottostima di α_u quale quella ottenuta con metodi semplificati e senza bisogno di ricorrere ad una vera e propria analisi limite.

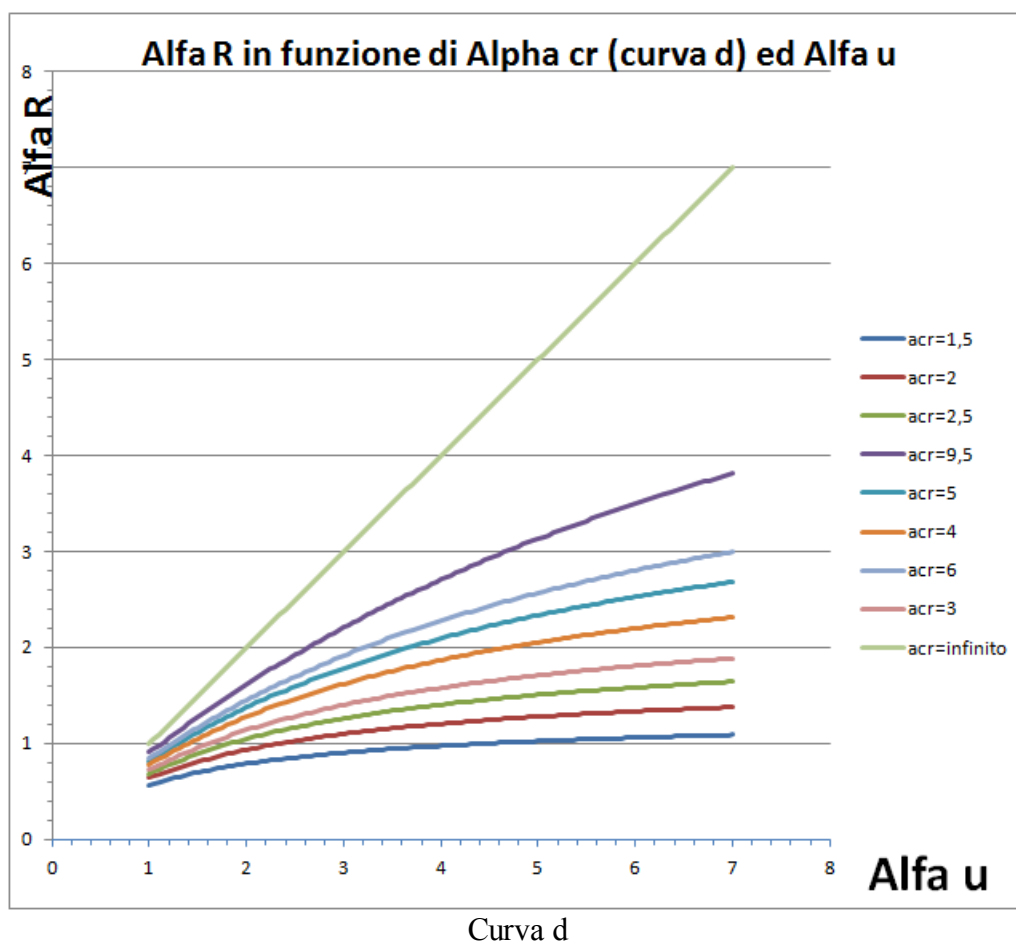


Nella precedente figura, ad esempio, si vede il rapporto tra α_u ed a_R per valori diversi di α_{cr} e per la curva a_0 . Come si vede sottostimare α_u porta anche a sottostimare a_R , il che è a favore di sicurezza. Nelle figure successive vengono riportati gli analoghi abachi per le curve di stabilità a, b, c, e d.









La stima di α_u può essere fatta in modo semplificato come segue.

Si può considerare il moltiplicatore dei carichi che porta una sezione di qualche elemento (truss o beam) al limite elastico. In tal caso $\alpha_u = \alpha_I$, ovvero si raggiunge il primo snervamento di qualche elemento. In tal caso, usando un criterio semplificato $|N/A| + |M_2/W_2| + |M_3/W_3| = f_y$.

Oppure si può considerare il moltiplicatore dei carichi α_{Iy} che porta una sezione di qualche elemento alla piena plasticizzazione, ed in tal caso $|N/A| + |M_2/W_{2,pl}| + |M_3/W_{3,pl}| = f_y$.

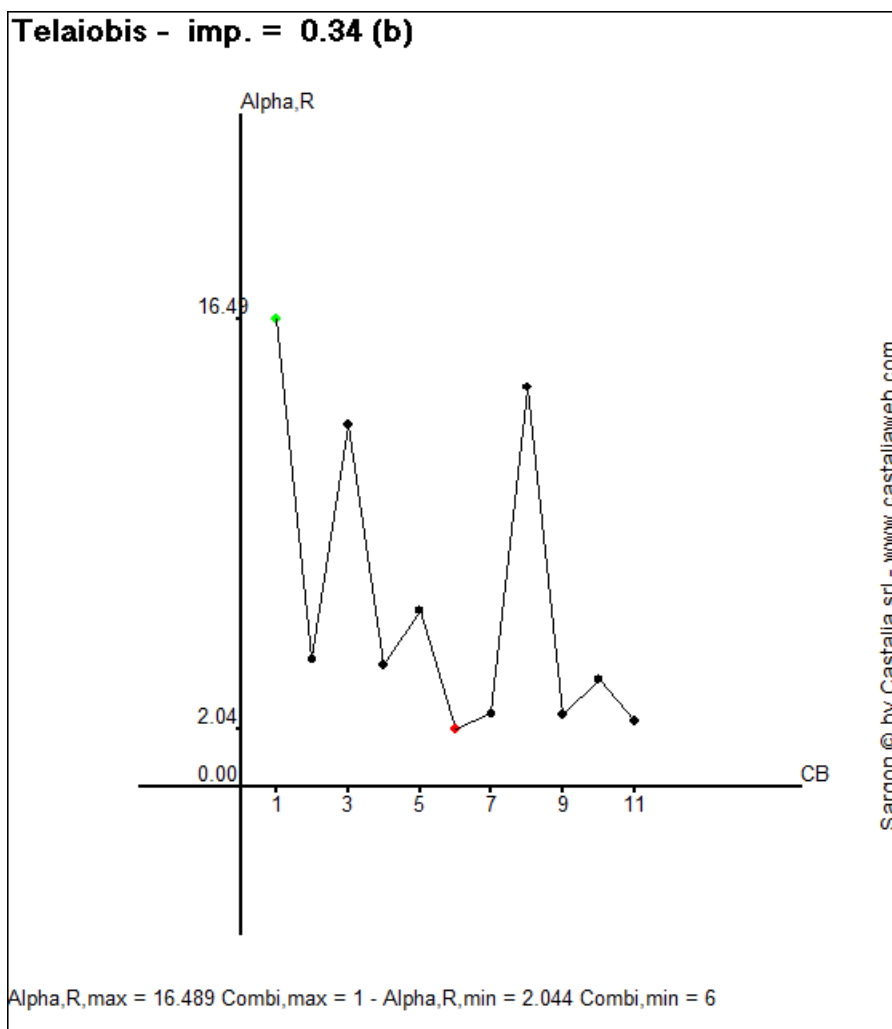
In altri casi α_u può essere valutato mediante considerazioni basate su analogie come la stessa normativa prevede (§7.4.3.2., §7.5.2.2, ecc.) facendo variare α_u/α_I da 1,0 a 1,3.

I ragionamenti fatti si qui per una generica combinazione, *devono essere ripetuti per tutte le combinazioni*. Sargon, a partire dalla versione 10,0 costante appunto di far ciò,

mediante un opportuno command, detto [Metodo Generale](#)⁷⁷⁷, e posto sotto il menu Post-Buckling.

Dato che una precedente analisi di buckling ha determinato per ogni combinazione "i" il suo (primo) moltiplicatore critico $\alpha_{cr,i}$, supposto positivo, il programma è in grado di valutare per ogni combinazione una stima semplificata di $\alpha_{u,i}$ e quindi per ogni combinazione "i" una stima di $\alpha_{R,i}$.

Nella figura seguente si vede un caso studiato mediante tale command.



Come si vede l' α_R è qui compreso tra 16,49 per la combinazione 1 e 2,04 per la combinazione 6. La verifica è positiva in quanto $\alpha_R > 1$ (si noti che è stata usata la curva b). Il seguente tabulato, ottenibile mediante il medesimo command, spiega i calcoli in dettaglio:

```

-----
-                                     -
-                               General Method                               -
-                                     -
-                                     -
- Sargon © by Castalia srl - www.castaliaweb.com -
-----

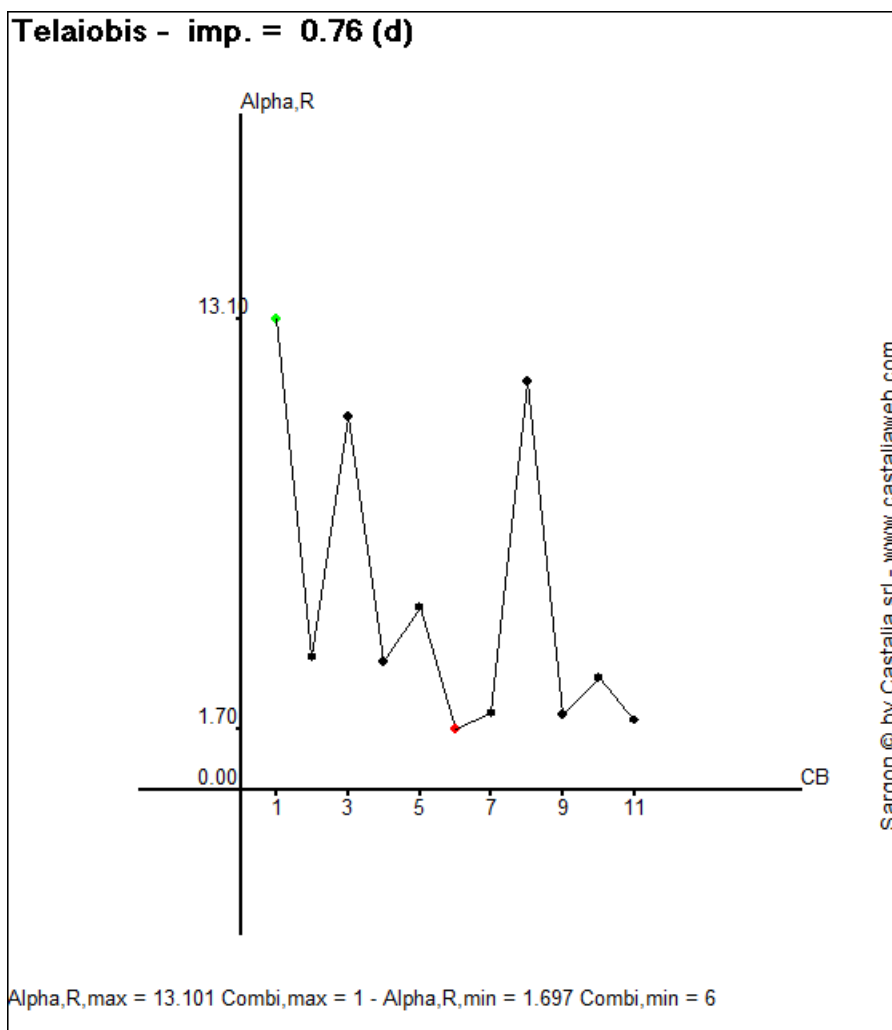
```

Model name: Telaibobis
 Number of combinations: 11
 Imperfection factor: 0.34

Combi	Alpha,u	Alpha,cr	Lambda,s	X	Alpha,R
1	3.955e+001	2.267e+001	1.321e+000	4.169e-001	1.649e+001
2	1.608e+001	5.615e+000	1.692e+000	2.802e-001	4.506e+000
3	4.021e+001	1.632e+001	1.570e+000	3.178e-001	1.278e+001
4	1.638e+001	5.297e+000	1.758e+000	2.624e-001	4.299e+000
5	2.073e+001	7.857e+000	1.624e+000	3.003e-001	6.224e+000
6	8.084e+000	2.504e+000	1.797e+000	2.528e-001	2.044e+000
7	1.002e+001	3.183e+000	1.775e+000	2.583e-001	2.589e+000
8	4.012e+001	1.842e+001	1.476e+000	3.513e-001	1.409e+001
9	1.013e+001	3.112e+000	1.804e+000	2.510e-001	2.543e+000
10	1.398e+001	4.715e+000	1.722e+000	2.720e-001	3.804e+000
11	9.146e+000	2.871e+000	1.785e+000	2.558e-001	2.339e+000

Combi,min: 6 - Alpha,R,min = 2.044

Se si fosse usata la curva d, si sarebbe ottenuta la immagine seguente, con un moltiplicatore reale massimo pari a 1,70.



Lo studio di queste curve è particolarmente interessante per capire, al di là delle mere apparenze, quali sono le combinazioni di carico potenzialmente più pericolose per una certa struttura.

Prima di eseguire questo command è bene accertarsi che tutti i primi modi critici di tutte le combinazioni abbiano moltiplicatore critico maggiore o eguale a zero (eseguendo il command [Inquire](#)^[776]). Se ciò non avviene e si hanno uno o più primi moltiplicatori negativi, per una o più combinazioni, o si cercano moltiplicatori positivi aumentando l'ordine del sottospazio, oppure si deselecta la combinazione, scartandola da quelle indagate.

2.24 Reset registry deleting keys

COME RESETTARE IL REGISTRO CANCELLANDO LE CHIAVI IN MODO DA

RIPORTARE L'INTERFACCIA AI DEFAULT

Per resettare le chiavi di registro associate all'interfaccia di Sargon occorre fare le seguenti operazioni (Sargon **non** deve essere in esecuzione).

1. Si apre l'editor del registro di sistema (eseguendo *regedit.exe*).
2. Si cancella la chiave "Workspace" relativa a Sargon, che si trova nel seguente percorso:

```
-->HKEY_CURRENT_USER  
--> Software  
--> Castalia  
--> Sargon  
--> Workspace
```

3. Al successivo avvio di Sargon, verranno ripristinate le impostazioni di default.

2.25 Use validation commands

COME USARE I COMANDI DI VALIDAZIONE

Premessa

Per una trattazione dettagliata del problema della validazione si rimanda ai seguenti documenti in formato word nella cartella di installazione di Sargon:

- *Criteri di validazione per Sargon*
- *Chi fa cosa*
- *Checksolvers*

Inoltre, si rimanda alle seguenti sezioni del sito web di Castalia:

- *Area Prodotti - Validation* ([link](#))

- *Area Servizi - Validation* ([link](#))

e, soprattutto, al volume

La Validation del Calcolo Structurele, di Paolo Rugarli, EPC Libri, 2014, che costituisce la base di riferimento.

Sargon dispone di due utili strumenti: il **priming** e il **menu** di comandi dedicato alla **validazione**. Il [priming](#)^[292] serve ad aumentare il livello di attenzione dell'utente durante la creazione di un modello; il menu [Validation](#)^[294] serve a **confrontare in modo automatico** due modelli indipendenti della stessa struttura, al fine di rilevare eventuali differenze, nonché a ottenere ulteriori informazioni che possono essere controllate e verificate direttamente dall'utente stesso.

PRIMING

Da *La Validation del Calcolo Structurele*, Paolo Rugarli, EPC, 2014.

Il *priming* (pre-attivazione o sensibilizzazione) è un importante effetto osservato in una vasta pluralità di casi, che agisce sui processi di tipo 1, e quindi non consciamente. “Negli anni Ottanta gli psicologi scoprirono che essere esposti a una parola determina cambiamenti immediati e misurabili nella facilità con cui sono evocate molte parole correlate” ([64]).

Il priming è un meccanismo cognitivo generale e riguarda non solo le parole ma anche le esperienze complesse. Ad esempio è stato dimostrato che assentire con la testa (per motivi artificiosi indotti dagli sperimentatori) porta ad essere d'accordo e scuotere la testa in senso di diniego porta a dissentire, così come sorridere (stringendo una matita tra i denti) ad essere gai e far la faccia triste ad essere effettivamente tristi (nesso ideomotorio). Poiché tali esperimenti non sono contestabili, e hanno solide basi statistiche (dato che sono stati fatti su campioni significativi) si resta un po' smarriti e l'idea che si aveva della singolarità della nostra specie, scema.

Ai fini della validazione, sentirsi sotto controllo può portare a prestazioni migliori di

quelle ottenibili in un contesto libero e rilassato (la validazione è una attività stressante). A tale riguardo cito questo interessante esperimento fatto nella cucina di un ufficio di una università britannica, a Newcastle (Bateson et al. [106], reperibile in rete), e descritto al grande pubblico da Kahneman nel suo best seller *Pensieri Lenti e Veloci*:

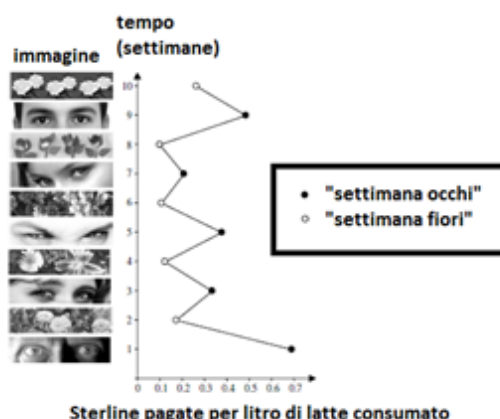


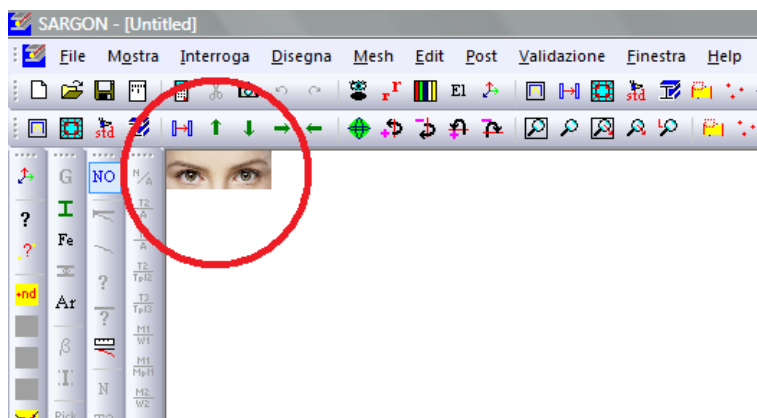
Figura 3.8. Tratto da [106]. Grafico coi gli incassi della “scatola dell’onestà” in funzione dell’effetto priming dato da immagini di fiori e di occhi.

Per molti anni i dipendenti di quell’ufficio avevano pagato il tè o il caffè che prendevano durante il giorno mettendo soldi in una “scatola dell’onestà”. In ufficio era affisso l’elenco dei prezzi raccomandati. Un giorno, senza alcun preavviso o spiegazione, sopra quell’elenco fu attaccato un tabellone al quale venne affissa ogni settimana, per dieci settimane, un’immagine diversa. Nello specifico, vennero sostituite alternativamente rappresentazioni di fiori e immagini di occhi che parevano scrutare direttamente l’osservatore. Nessuno commentò il nuovo elemento d’arredo, ma i contributi alla scatola dell’onestà cambiarono significativamente. I poster e la somma che gli impiegati mettevano nella scatola dei soldi (relativamente alla quantità che consumavano) sono mostrati nella figura [3.6]. E meritano un’attenta analisi. La prima settimana dell’esperimento (come si vede alla base del diagramma), due occhi spalancati fissavano i bevitori di tè o caffè, il cui contributo medio era di 70 pence per litro di latte. La seconda settimana, quando venne installato il poster dei fiori, i contributi medi scendevano a 15 pence. Il trend continuava. In media, gli utenti della cucina versarono nelle “settimane degli occhi” quasi il triplo dei soldi che diedero nelle “settimane dei fiori”. Sembrava che bastasse suggerire loro simbolicamente che erano osservati perché migliorassero il comportamento. Come si può immaginare, l’effetto si verificava senza che nessuno ne fosse consapevole. Ci credi, adesso, che anche tu rientreresti nello stesso modello di comportamento? [Kahneman, 64].

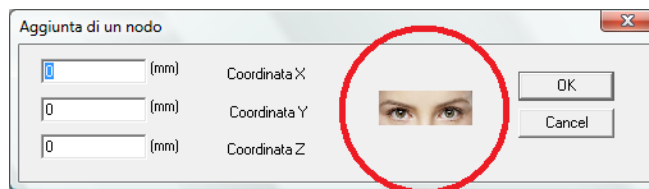
Questo esperimento è molto significativo anche per noi, tanto significativo che ho deciso di

aggiungere ai miei programmi più importanti una opzione di “priming” che accluda gli occhi che scrutano (vari esemplari da alternarsi) come immagine da far apparire in posizioni strategiche sullo schermo o nei dialoghi, o in certi momenti di particolare importanza, come alla esecuzione di una selezione o della assegnazione di un carico. Ciò al fine di indurre nell’analista un effetto priming che lo porti ad essere più attento, con l’effetto finale che potrebbe essere simile a quello della figura 3.8.

Il priming è presente nella vista di Sargon e nei dialoghi che richiedono l'introduzione di dati fondamentali o comunque molto importanti. E' possibile attivare o disattivare il priming nella vista grafica atbeamrso il command **File-Impostazioni**^[345]. L'immagine del priming nella vista cambia ogni giorno con ciclo di tre giorni.



Il priming nei dialoghi, invece, è fisso e non disattivabile. E' presente nei dialoghi in cui vanno definiti dati delicati, quali coordinate, lunghezze, azioni, vincoli, fattori di sicurezza, ecc.



MENU VALIDAZIONE

Sargon dispone di un menu chiamato **Validation**^[813] in cui sono presenti comandi che servono a

creare **informative** e **targhe** dei modelli o di parti di essi. In entrambi i casi vengono create delle impronte, banali nel primo caso, non banali nel secondo.

Da *La Validation del Calcolo Structurele*, Paolo Rugarli, EPC, 2014.

Per *impronta* di un modello intendo in generale il valore assunto da una certa grandezza funzione dei dati di input o di output del modello, o meglio, usando la terminologia che ho appositamente introdotto nel precedente capitolo, funzione di una o più *caratteristiche* del modello.

Possiamo guardare al modello come a un'entità astratta che viene identificata mediante il controllo di una serie di dati ad essa propri, le *impronte*, le quali lo identificano univocamente. In analogia a quanto avviene con le persone umane, che sono identificate mediante le impronte digitali, o l'iride, o l'orecchio, un modello può essere probabilisticamente definito (e confrontato) mediante un certo numero di *impronte*, ovvero di dati numerici calcolabili a partire da esso.

Le impronte possono riferirsi a specifiche caratteristiche del modello di calcolo (ad esempio: i vincoli), e in tal caso sono dette *impronte semplici* o *elementari*. L'area logica alla quale si riferiscono le impronte è detta *caratteristica* o "parte del modello". Dunque le impronte semplici si riferiscono a singole parti del modello. Ad esempio la quantità di luogo ideale (1D, 2D e 3D) di un modello è una impronta semplice della geometria dei suoi luoghi ideali.

Impronte che utilizzino informazioni di parti differenti di un modello sono dette *impronte composte*. Ad esempio il peso complessivo di un modello è una impronta composta della sua geometria e dei suoi materiali.

Elaborando le impronte semplici relative alle singole caratteristiche del modello, e quelle composte, sarà possibile pervenire alla definizione di una o più *impronte complessive del modello*, che identificano in senso probabilistico il modello allo studio. Le impronte complessive si possono anche indicare, per evitare confusione, come *targhe del modello*.

Un'ulteriore classificazione delle impronte le divide in *impronte banali* ed *impronte non banali*. Le prime sono calcolabili con relativo poco sforzo anche con mezzi di calcolo elementari, mentre le seconde richiedono mezzi di calcolo più elaborati e sono tipicamente destinate a essere calcolate mediante software specifici ed elaboratori di calcolo.

Nota che un'impronta non deve avere necessariamente un chiaro significato fisico, anzi, come vedremo, è possibile ideare impronte di un modello prive di significato fisico riconosciuto ma che però, per come sono costruite, hanno certe elevate capacità descrittive. Allora chiamo *impronte fisiche* impronte che abbiano un chiaro significato fisico alla luce della teoria, e *impronte numeriche* impronte che sono costruite con artifici numerici e che sono prive di un immediato significato fisico.

A differenza delle impronte digitali, che sono di per sé univoche (o meglio: hanno altissima probabilità di esserlo), le impronte semplici di un modello di per sé non lo sono. Ad

esempio il peso teorico di un modello strutturale è una sua impronta fisica banale, ma non è univoca, perché due modelli differenti possono pesare allo stesso modo. Oppure, il numero delle combinazioni è un'altra impronta di un modello (numerica banale), ma è possibile che due insiemi di combinazioni siano differenti pur avendo lo stesso numero di combinazioni elementari. Dunque le singole impronte semplici prese non sono sufficienti a identificare un modello. Tuttavia, se viene controllato un numero sufficientemente alto di impronte, o se vengono utilizzate impronte complessive sufficientemente elaborate (funzioni di impronte elementari), diviene sempre meno probabile che il modello che ha le impronte controllate identiche a quelle di un altro modello, o ha le impronte controllate identiche alle impronte che dal modello che stiamo controllando ci aspettiamo, sia non conforme (ovvero sia un modello differente).

Proseguendo nella classificazione delle impronte distinguo tra impronte del modello ideale o *impronte ideali*, ed impronte del modello attuale, o *impronte attuali*. Ad esempio il peso di un modello è una impronta fisica ideale, mentre il volume medio di ciascun elemento finito è una impronta attuale (dipende dalla discretizzazione). Le impronte ideali non cambiano al variare del modello attuale, le impronte attuali sì. Due modelli attuali che abbiano impronte ideali identiche ma impronte attuali diverse sono due modelli attuali diversi del medesimo modello ideale. Come vedremo non ha senso cercare di verificare l'identità delle impronte attuali su modelli attuali differenti, mentre ha senso identificare per essi le impronte ideali.

Relativamente alla area del modello presa in considerazione distinguo ulteriormente tra *impronte di input*, se riferite al modello di ingresso, ed *impronte di output*, se riferite alla risposta strutturale di quel modello.

Infine, distinguo tra *impronte estensive* e *impronte intensive*, con l'ordinario significato della termodinamica: una impronta estensiva raddoppia se si considera un sistema ottenuto dalla riunione di due sistemi identici, mentre una impronta intensiva resta immutata. Ad esempio il volume è un'impronta estensiva, mentre la massima tensione di Von Mises è intensiva.

Passo ora ad esaminare le proprietà delle impronte. Le impronte sono valori numerici e possono o meno dipendere dal sistema di riferimento adottato per il modello e dalle unità di misura impiegate per descrivere le variabili di base (coordinate, forze, moduli di elasticità, eccetera).

Anziché mettere a punto dubbie e complicate metodologie atte a determinare un sistema di riferimento univoco per un modello di calcolo arrivato da chi sa dove (per esempio prendendo come assi globali gli assi baricentrici e principali dei volumi modellati), a me pare più sensato immaginare che i programmi vengano dotati di comandi utili a cambiare facilmente sistema di riferimento. Per cambiare sistema di riferimento gli assi devono ruotare e traslare. Le operazioni da compiere sono abbastanza immediate e quindi non dovrebbe essere un problema che un tale command (cambia sistema di riferimento al modello) diventi un command standard.

Le impronte possono essere adimensionali, o, se dimensionali, devono essere espresse in un ben preciso sistema di unità di misura, che deve essere una specifica della impronta.

La introduzione delle impronte è stata fatta per uno scopo ben preciso, in vista di alcuni tipici problemi della validazione di modelli:

1. Dati due modelli attuali A e B dimostrare che A è identico a B.
2. Dato un modello attuale A ed un modello ideale I, dimostrare che il modello attuale A è coerente con il modello ideale I.
3. Dati due modelli attuali diversi A e B comprendere perché sono differenti.

Come si vedrà nel corso del lavoro, le attività 1,2 e 3 possono essere molto onerose per l'analista, e quindi in generale verrà del tutto spontaneo utilizzare mezzi di calcolo opportunamente allestiti al fine di automatizzare questo lavoro. Una parte di questo testo è infatti dedicata a descrivere procedure di controllo *automatico* che siano in grado di svolgere parte dei controlli. Naturalmente se e quando sarà possibile controllare un modello in modo semplice, ottenendo un certo grado di probabilità che i controlli siano sufficienti, non rinunceremo ad avvalerci di tale sistema, ma non pare neppure sensato rinunciare ad impiegare procedure automatiche che, se opportunamente progettate, possono rapidamente condurre o al medesimo risultato o, meglio ancora, ad un risultato più sicuro perché basato su probabilità di errore ancora minori. Comunque questa discussione sarà ripresa al cap. 10, dedicato agli *esocontrolli*. Dico sin da subito che i controlli di impronte automatici sono uno strumento nelle mani di una testa pensante ma non si possono in alcun modo sostituire ad essa.

Nella discussione che vede alcuni colleghi saldamente ancorati alle quattro operazioni ed altri tenacemente fautori delle procedure di calcolo più complesse, io penso che entrambi gli approcci siano meritevoli di attenzione, ma certo non è possibile sostenere che le quattro operazioni o l'intuito siano sempre sufficienti a controllare un modello in modo efficace.

Se è vero che l'attività di validazione è oggi in qualche misura un'*arte*, è anche vero che la disponibilità di procedure standardizzate ed automatizzate renderebbe un grande servizio senza nulla togliere alla possibilità di mantenere una quota parte del lavoro di validazione in un ambito più intuitivo. Dato che questo lavoro è un tentativo di inquadramento generale della materia, manterrò entrambi i punti di vista.

Le [informative](#)^[297] contengono dati e informazioni sul modello che l'utente può verificare di persona, mentre le [targhe](#)^[299] sono file "criptati" che contengono una descrizione completa e univoca del modello. Le targhe servono a confrontare in modo automatico modelli della stessa struttura realizzati separatamente e in modo indipendente, anche con programmi diversi. Di seguito sono ampiamente descritte le informative e le targhe.

Le informative

Si tratta di *impronte banali*. Ovvero di grandezze numeriche che è facile tirare fuori con le 4 operazioni e che possono essere ottenute abbastanza facilmente con l'aiuto di una calcolatrice da tasca o di un foglio di lavoro.

Un'informativa è costituita dalle seguenti sezioni.

- **Mesh info:** informazioni sulla mesh.
- **Ideal Loci without assigned properties (rounded sum):** informazioni sui luoghi ideali degli elementi finiti.
- **Constraints:** informazioni sui vincoli.
- **Material vector & assigns:** informazioni sui materiali e sulla loro assegnazione agli elementi finiti.
- **Cross section vector & assigns:** informazioni sulle sezioni e sulla loro assegnazione agli elementi finiti.
- **Cross section modifiers (beams and trusses):** informazioni sui modificatori delle forme sezionali.
- **Beam orientation:** informazioni sull'orientazione degli elementi beam.
- **Beam End releases:** informazioni sugli svincoli delle travi.
- **Semi rigid joints of beam elements:** informazioni sui nodi semirigidi.
- **Connection codes of beam elements:** informazioni sui segni di connessione degli elementi beam.
- **Masses:** informazioni sulle masse.
- **Load cases:** informazioni sui casi di carico.
- **Combinations (active set):** informazioni sulle combinazioni dell'insieme (combiset) attivo.
- **Actions assigned (overall sum of all load cases, here sum of rounded):** informazioni sulle

azioni applicate (somma di tutti i casi di carico).

- **Action assigned: individual load cases (here sum of rounded):** informazioni sulle azioni dei singoli casi di carico.

Le targhe

La targa è, metaforicamente, il DNA di un modello agli elementi finiti. Se si confrontano targhe di modelli della stessa struttura realizzati in modo del tutto indipendente (da utenti diversi, eventualmente utilizzando programmi diversi), l'uguaglianza tra due targhe implica un'elevata probabilità di assenza di differenze tra i modelli confrontati. E' infatti poco probabile che due modelli creati indipendentemente possano avere targhe eguali essendo differenti.

Se il confronto automatico delle targhe evidenzia differenze significative tra i due modelli, ciò è indice del fatto che i due modelli sono differenti. Sarà quindi possibile andare a indagare in modo mirato per capire le cause delle differenze e individuare eventuali errori commessi in uno o nell'altro modello.

In termini pratici, una targa è un file alfanumerico in cui tutte le informazioni relative ai dati di un modello vengono opportunamente combinate e rielaborate per dare origine a pochi numeri significativi che Sargon può utilizzare per confrontare in modo automatico due modelli creati indipendentemente l'uno dall'altro.

Alcuni dati sono **immediati**, come ad esempio il **numero totale dei nodi** di un modello o il numero totale di elementi beam. Altri dati invece sono molto più **complessi**, come ad esempio quelli legati al **luogo ideale** di tutti gli elementi beam di un modello, dipendente dalla presenza di decine, centinaia o migliaia di elementi finiti, dalla loro posizione e orientazione nello spazio, dalle loro proprietà, ecc. Sargon traduce tutte queste informazioni in un unico dato "criptato", che un essere umano non è in grado di interpretare, perché privo di senso fisico, ma che il programma è in grado di confrontare con l'equivalente dato ottenuto su un altro modello. L'uguaglianza tra i due dati implica l'uguaglianza dei luoghi ideali degli elementi beam nei due

modelli. Una differenza tra i due dati è sintomo di diversità tra i due modelli. Lo stesso viene fatto con gli altri tipi di elementi, ma anche con le proprietà sezionali e dei materiali, delle loro assegnazioni agli elementi, nonché con i vincoli e gli svincolo, con i casi di carico, le azioni, le combinazioni.

Poiché quando si crea un modello si introducono inevitabilmente delle approssimazioni nei dati (arrotondamenti, conversioni di unità di misura, ecc.), è importante stabilire quando due dati devono essere considerati uguali. Ad esempio, se la risultante delle azioni applicate in un caso di carico del modello A è pari a 1000kN, mentre per lo stesso caso di carico il modello B ha una risultante di 999.8kN, devo considerare tali valori come "uguali" oppure diversi?

Da un punto di vista ingegneristico, sappiamo che quella differenza potrebbe essere dovuta al fatto che in un modello le azioni sono state definite in Newton al millimetro quadrato, nell'altro invece in chilogrammi al metro quadrato. Nella conversione, si creano piccole differenze dovute agli arrotondamenti, ma presumibilmente non considereremo i due modelli diversi tra loro.

Lo stesso discorso può essere fatto per le coordinate dei nodi, per le dimensioni di una forma sezionale, ecc. Per stabilire se due dati siano da considerarsi uguali o diversi, l'utente stabilisce il numero di **cifre significative** da confrontare per le varie grandezze.

Per il numero di nodi, di elementi beam, di elementi piastra, ecc. il confronto è tra numeri interi che non vengono arrotondati: se un modello ha 1500 nodi e l'altro 1501, viene rilevata una differenza (e starà poi all'utente capirne la causa).

Nel caso dei luoghi ideali degli elementi della struttura, delle masse totali o delle risultanti delle azioni, il confronto è invece su grandezze influenzate dal numero di cifre significative chieste dall'utente. Tornando all'esempio precedente, se confrontiamo due modelli simili, in cui la risultante del primo caso di carico sia 1000kN per un modello e 999.8kN per l'altro, verrà rilevata una differenza solo se il numero di cifre significative utilizzato per le azioni nelle due targhe è maggiore di 3. Con tre cifre significative, infatti, entrambe le targhe riporteranno una risultante di 1000kN e ci sarà quindi uguaglianza. **Sta all'utente stabilire il numero ottimale di cifre significative per ciascuna grandezza, in relazione al problema allo studio e al livello di tolleranza desiderato nel valutare l'uguaglianza di due modelli.** Non è in ogni caso sensato confrontare due targhe che per una stessa grandezza utilizzino numeri di

cifre significative diverse.

Lo stesso vale per i luoghi. Se ad esempio nei modelli si introducono dati leggermente diversi relativamente allo spessore di determinati elementi plate (differenze legate alla conversione, ecc.) la differenza verrà rilevata solo oltre un certo numero di cifre significative.

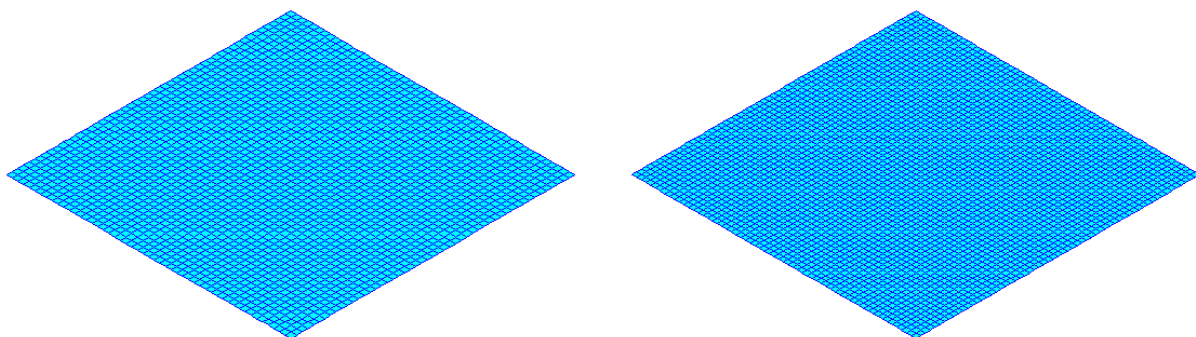
Analogamente, per il luogo ideale degli elementi truss, se le coordinate dei nodi sono leggermente diverse a causa di approssimazioni nella definizione dei dati, si dovranno ridurre opportunamente le cifre significative se si vuole che tali approssimazioni siano trascurate. Riducendo troppo il numero di cifre significative, il confronto non risulterà significativo.

I valori scritti in una targa sono riassumibili in:

- numero di oggetti di ciascuna tipologia (n° nodi, n° beam, n° truss, n° piastre, n° membrane, n° solidi, n° molle);
- numero di gradi di libertà del modello;
- impronte del luogo ideale dei vari elementi divisi per tipologia (beam, truss, membrane, ecc.);
- impronte dei vettori delle proprietà (materiali, sezioni, proprietà di piastre e membrane);
- impronte della assegnazione delle proprietà ai vari elementi;
- impronte della orientazione degli elementi beam;
- impronte della assegnazione di vincoli e svincoli;
- impronte del vettore dei casi di carico;
- impronte dei risultanti dei casi di carico (escluso il termico);
- impronte del vettore delle combinazioni;
- impronte delle masse nodali.

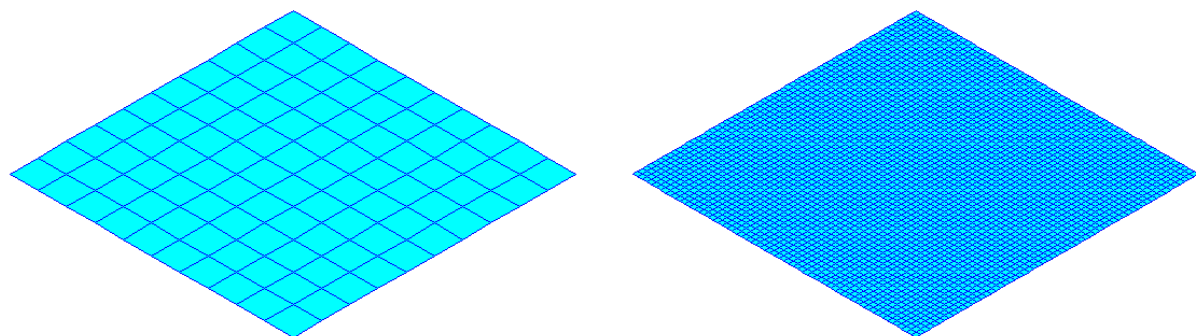
Una differenza in un dato non implica necessariamente che i modelli non siano confrontabili o che vi siano "errori". Prendiamo un esempio molto semplice: chiediamo a due utenti di modellare una piastra quadrata appoggiata su quattro lati, utilizzando elementi plate-shell a 4 nodi, possibilmente quadrati. Un utente potrà modellare la piastra con una discretizzazione di 50x50 elementi plate, l'altro utilizzerà 60x60 elementi plate. Il **numero totale di elementi plate** sarà inevitabilmente **diverso** ma, se i due non hanno commesso errori di definizione dei dati, **i luoghi degli elementi plate saranno uguali**. Poiché l'ordine di

grandezza della discretizzazione è molto simile, **potremo considerare simili i due modelli.**



Mesh di 50x50 elementi (a sinistra) e mesh 60x60 (a destra)

Se invece le due mesh fossero rispettivamente di 10x10 elementi e di 60x60 elementi, pur essendoci uguaglianza tra i luoghi, sarebbe opportuno considerare diversi i due modelli, perché la risposta flessionale del modello con discretizzazione meno fitta, a causa del [locking](#), sarebbe diversa da quella del modello con discretizzazione maggiore.



Mesh di 10x10 elementi (a sinistra) e mesh 60x60 (a destra)

Naturalmente questo semplice esempio sarebbe verificabile anche senza l'ausilio di strumenti automatici, che invece diventano molto importanti in caso di modelli reali, anche molto complessi, in cui il confronto automatico può darci indicazioni generali sulla similitudine tra modelli e, in caso di differenze rilevate, permette di individuare l'area in cui tali differenze si manifestano (diversa orientazione degli elementi beam, differente risultante delle azioni di un caso di carico, assegnazione di svincoli errati o mancata assegnazione degli stessi, ecc.).

In casi reali, magari complessi, sarà difficile che confrontando due modelli indipendenti della stessa struttura ci sia un match completo di tutti i valori, anche qualora nessun modello sia affetto da differenze rilevanti. Come visto nell'esempio precedente, possono

esserci differenze spiegabili e accettabili. L'uso degli strumenti automatici serve ad avere un'idea chiara delle similitudini e delle differenze, localizzando queste ultime per un approfondimento ulteriore.

Si ribadisce che il concetto di uguaglianza (o somiglianza) tra due modelli dipende dalla tolleranza desiderata, definita tramite il numero di cifre significative che devono essere confrontate per ciascuna grandezza.

Di seguito viene mostrato un esempio di *targa*. Il primo blocco mostra la struttura della targa; il secondo (compreso tra le stringhe `_STRUCTFOOTPRINT` ed `_ENDSTRUCTFOOTPRINT`) ha la stessa struttura, ed è riempito con i valori relativi al modello. La struttura non è fissa, ma dipende dal numero di casi di carico presenti. I dati sono espressi in formato esadecimale.

```

0  Number of significant digits used for signatures
1  IN0                IN1                IN2                IN3D
2  Ia0D1D             Ia2D3D             IaRIG              Ia1DRig
3  Ia0Dxyz            Ia1Dxyz            Ia2Dxyz            Ia3Dxyz
4  IMaterials         IAssignDefMaterials  IAssignRigMaterials ---
5  ICrossSections     IAssignCrossSections  IBeamOrientation  ICrossSectionModifiers
6  IMThicknesses      IPThicknesses          IAssignMThicknesses IAssignPThicknesses
7  IaWinklerB         IaWinklerP            ---              ---
8  -----            -----            IAssignSpringT    IAssignSpringR
9  IaConstraints      IaEndReleases          IaSemirigid       ---
10 ILoadCases         ICombinations          IaTotActions       IaMasses
11 LoadCase 1        LoadCase 2            LoadCase 3        LoadCase 4
12 LoadCase 5        LoadCase 6            LoadCase 7        LoadCase 8
..... up to MAX 120 load cases .....
```

`_STRUCTFOOTPRINT`

```

0  00000004 00000004 00000004 00000004 00000004 00000004 00000000
1  000005E1 0000007E 00000330 00000DC4 00000000 00000000 00000000 00002106
2  69CA4AF5 F0657463 9E661180 9B184409 416A9148 F061ECC8 429EF026 F061ECC8
3  7EC112EE E412BA93 B86D5E68 E412B813 B86D5E68 E412B813 B86D5E68 E412B813
4  30E72AB0 00000000 EEA5115C FFFFFFFF EEA5115C FFFFFFFF 00000000 00000000
5  57F18A3C 01154697 E1B579A0 904AE04E C6382696 192ADCA3 EEA5115C FFFFFFFF
6  0012DB34 0012DB60 0012DB34 0012DB60 00000000 00000000 00000000 00000000
7  B86D5E68 E412B813 B86D5E68 E412B813 00000000 00000000 00000000 00000000
8  00000000 00000000 00000000 00000000 7BAB25BE E412BB45 7BAB25BE E412BB45
```

```

 9  F78638FD E412BB1E 4DCF7642 38D7327F B86D5E68 E412B813 00000000 00000000
10  01B75755 00000000 000027FB 00000000 DF1BF37F 29CCF5A1 D199F6AD 3D982EC2
11  DF0F70F8 E42306AC 9DAED8E2 E41D164C C78B268D E41CDBE6 89A822CF E41D7CDC
12  E33D5772 40080AFF 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000
_ENDSTRUCTFOOTPRINT

```

Quando vengono automaticamente confrontate due targhe, ciascun dato della targa del modello A viene confrontato con il corrispondente dato della targa del modello B. Se sono diversi, verrà segnalato un "mismatch".

Targa modello A

```

...
12  E33D5772 40080AFF 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000
...

```

Targa modello B

```

...
12  E33D5413 50151BDF 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000
...

```

Se andiamo a vedere a cosa corrisponde il primo valore della riga 12, capiamo che c'è una differenza nel caso di carico 5. Il programma confronta in modo automatico tutti i dati, quindi stampa un riepilogo di tutte le corrispondenze (matches) e di tutte le differenze (different). Di seguito è riportato un esempio di file di confronto tra due modelli.

```

Number of nodes: matches
Number of spring: matches
Number of trusses: matches
Number of beams: matches
Number of membranes: matches
Number of plates: matches
Number of solid: matches
Number of degrees of freedom: matches
Ideal locus of translational spring: matches
Ideal locus of rotational spring: matches
Ideal locus of trusses: matches
!!! Ideal locus of Bernoulli beam: different

```

Ideal locus of Timoshenko beam: matches
Ideal locus of rigid trusses: matches
Ideal locus of rigid beams: matches
Ideal locus of trusses rigid-offsets: matches
Ideal locus of beams rigid-offsets: matches
Ideal loci of springs Ix (coords Y, Z): matches
!!! Ideal loci of springs Iy (coords X, Z): different
Ideal loci of springs Iz (coords X, Y): matches
!!! Ideal loci of springs Ixy (coords X, Y): different
Ideal loci of springs Iyz (coords Y, Z): matches
Ideal loci of springs Ixz (coords Z, X): matches
Materials vector: matches
Material assignment of deformable elements: matches
Material assignment of rigid elements: matches
Cross-sections vector: matches
Cross section assignment: matches
!!! Beam orientation: different
Beam orientation: Ix (coords Y, Z): matches
Beam orientation: Iy (coords X, Z): matches
Beam orientation: Iz (coords X, Y): matches
!!! Beam orientation: Ixy (coords X, Y): different
!!! Beam orientation: Iyz (coords Y, Z): different
Beam orientation: Ixz (coords Z, X): matches
Cross section modifiers: matches
Translational springs assignment: matches
Rotational springs assignment: matches
End releases assignment: matches
Semi rigid assignment: matches
!!! Constraints assignment: different
Ideal loci of point times constraint code: Ix (coords Y, Z): matches
!!! Ideal loci of point times constraint code: Iy (coords X, Z): different
Ideal loci of point times constraint code: Iz (coords X, Y): matches
Ideal loci of point times constraint code: Ixy (coords X, Y): matches
Ideal loci of point times constraint code: Iyz (coords Y, Z): matches
Ideal loci of point times constraint code: Ixz (coords Z, X): matches
Load case vector: matches
!!! Overall actions (no thermal): different
Overall masses: matches

Combination vector light footprint: matches

Consideriamo, ad esempio, il confronto tra il numero di nodi del modello A e il numero di nodi del modello B; potremo avere una delle due condizioni seguenti:

Number of nodes: matches

oppure

!!! Number of nodes: different

Nel primo caso, il numero di nodi del modello A è uguale al numero di nodi del modello B; nel secondo caso è stata riscontrata una differenza.

La esatta descrizione del modo in cui la targa viene creata esula dagli scopi di questa guida. Approfondimenti significativi relativi alle impronte ed alle targhe sono disponibili nel volume *La validazione del calcolo strutturale*, di Paolo Rugarli, pubblicato da EPC nel 2014.

2.25.1 Legenda dell'informativa

LEGENDA DELL'INFORMATIVA

Mesh info

NBeam	Numero degli elementi beam snelli nel modello (B, Bernoulli beam).
NTruss	Numero degli elementi truss nel modello.
NMembrane	Numero di elementi membrana nel modello
NPlateThin	Numero di elementi con formulazione di piastra sottile nel modello.
NPlateThick	Numero di elementi con formulazione di piastra spessa nel modello.
NSolid	Numero di elementi solidi nel modello.
NSpring	Numero di elementi molla nel modello.

NPlateThinWink	Numero di elementi di piastra sottile su suolo elastico nel modello.
Formulazione di Winkler.	
NPlateThickWink	Numero di elementi di piastra spessa su suolo elastico nel modello.
Formulazione di Winkler.	
NMembrane3	Numero di elementi membrana a 3 nodi nel modello.
NMembrane4	Numero di elementi membrana a 4 nodi nel modello.
NPlate3	Numero di elementi piastra a 3 nodi nel modello.
NPlate4	Numero di elementi piastra a 4 nodi nel modello.
NOffsets	Numero di offset rigidi assegnati a nodi di elementi
MinDistNodes100	Minima distanza tra i nodi in centesimi di millimetro.

Ideal Loci without assigned properties (rounded sum)

1D

Lnom1D	Lunghezza in mm dei luoghi nominali degli elementi 1D (bielle e travi).
LdefBB	Lunghezza in mm dei luoghi deformabili degli elementi <i>beam</i> alla Bernoulli (beam snella).
LdefBT	Come sopra, ma degli elementi beam alla Timoshenko (beam tozza).
LdefT	Lunghezza in mm dei luoghi deformabili degli elementi <i>truss</i>
Ldef1DTot	Lunghezza totale dei luoghi deformabili degli elementi beam e truss (mm).
LrigBTot	Lunghezza totale degli offset rigidi degli elementi beam (mm).
BBnomIX	Momento di inerzia dei luoghi nominali degli elementi beam alla Bernoulli, rispetto all'asse gobale X, in cm^3 . In pratica ogni lunghezza infinitesima di luogo viene moltiplicata per $(Y^2 + Z^2)$, e tutti i contributi degli elementi sommati. Infine arrotondati.
BBnomIY	Lo stesso, ma momento di inerzia rispetto all'asse globale Y ($X^2 + Z^2$).
BBnomIZ	Lo stesso, ma momento di inerzia rispetto all'asse globale Z ($X^2 + Y^2$).

BBnomlXY Y (XYdL).	Lo stesso, ma momento di inerzia centrifugo rispetto agli assi X e Y (XYdL).
BBnomlYZ Z (YZdL).	Lo stesso, ma momento di inerzia centrifugo rispetto agli assi Y e Z (YZdL).
BBnomlZX X (XZdL).	Lo stesso, ma momento di inerzia centrifugo rispetto agli assi Z e X (XZdL).
BBrigIX	In questo caso si usano come luoghi i segmenti degli offset rigidi degli elementi beam alla Bernoulli. Si sommano i contributi degli offset a entrambi gli estremi. Se a un estremo non c'è offset, non se ne tiene conto. Momento di inerzia secondo asse globale X.
BBrigIY	Momento di inerzia secondo asse globale Y.
BBrigIZ	Momento di inerzia secondo asse globale Z.
BBrigIXY	Momento di inerzia centrifugo.
BBrigIYZ	Momento di inerzia centrifugo.
BBrigIZX	Momento di inerzia centrifugo.
TnomlX elementi truss.	Si tratta di impronte analoghe alle precedenti ma relative ai soli elementi truss.
TnomlY	"
TnomlZ	"
TnomlXY	"
TnomlYZ	"
TnomlZX	"

Constraints

NNodeConstrained spostamento vincolata.	E' il numero dei nodi che presentano almeno una componente di spostamento vincolata.
NDofConstrained	E' il numero totale dei gradi di libertà vincolati del modello. Se sono presenti maschere di vincolo, i gradi di libertà vincolati corrispondenti entrano nel conteggio.
NNodeClamped gradi di libertà bloccati).	E' il numero dei nodi completamente bloccati nel modello (sei gradi di libertà bloccati).
VolDefTotConstrained	E' il volume totale associato ai vincoli. Questo volume totale associato ai vincoli si ottiene sommando i contributi di tutti i nodi vincolati, e poi arrotondando. Ogni node vincolato contribuisce

con un termine del tipo Volume x Codice.

Il *codice* è calcolato in modo affine a quanto già visto per gli svincoli. In pratica un numero è associato ai sei gradi di libertà, nel modo seguente:

$$\text{Codice} = T_x + 2T_y + 4T_z + 8R_x + 16R_y + 32R_z$$

dove T_x , $2T_y$, $4T_z$, $8R_x$, $16R_y$, $32R_z$, valgono 1 o 0 a seconda che il corrispondente grado di libertà globale (T sta per traslazione, R per rotazione) sia bloccato o libero.

Il *volume* associato al node vincolato è la somma dei volumi “tributari” di tutti gli elementi connessi al node. Se un elemento che ha n nodi (di qualsiasi tipo purché esteso: bielle, travi, membrane, piastre o solidi) è connesso al node in considerazione, il suo volume tributario è pari al volume dell’elemento diviso per n .

L’impronta è significativa sia dei vincoli applicati sia della mesh, ed è sensibile al livello di discretizzazione della stessa.

Material vector & assigns

NMaterials

Numero di differenti materiali nel modello.

NAssumedRigidMaterials

Numero di materiali assimilabili a (infinitamente) rigidi. Tali materiali hanno convenzionalmente la proprietà di avere E maggiore di 10^4 volte l’ E di tutti gli altri materiali (per ogni materiale diverso da loro, $E > 10^4 E_i$). La definizione del fattore 10^4 è convenzionale.

Si assume che di materiale rigido ce ne sia solo uno. Potrebbe essere necessario distinguere più materiali rigidi ad esempio per il loro peso specifico. Tuttavia di solito gli elementi “rigidi” sono elementi fittizi ai quali non è associata massa.

ETotDefMaterials

Valore totale della somma degli E (moduli di elasticità di Young) dei materiali non assimilati a rigidi, N/mm^2 . Nel caso di materiali anisotropi o ortotropi si usa come E il valor medio degli E del materiale. E’ una impronta dei materiali usati nel modello.

GTotDefMaterials	Valore totale della somma dei G (moduli di elasticità tangenziale) dei materiali non assimilati a rigidi, N/mm^2 . Nel caso di materiali anisotropi o ortotropi si usa come G il valor medio dei G del materiale. E' una impronta dei materiali usati nel modello.
FyTotDefMaterials	Somma totale delle tensioni di snervamento dei materiali non assimilati a rigidi, N/mm^2 . Nel caso in cui, come avviene con l'acciaio, la tensione di snervamento cambi con lo spessore, si usa quella nominale del materiale (ad esempio 235 per S235). E' una impronta dei materiali usati nel modello.
FuTotDefMaterials	Somma totale delle tensioni di rottura dei materiali non assimilati a rigidi, N/mm^2 .
LDefETotMaterials	Arrotondamento della somma dei prodotti della lunghezza deformabile degli elementi monodimensionali (travi snelle e tozze, bielle) per il modulo elastico dei materiali loro assegnati, N/mm . E' una impronta dei luoghi e della assegnazione ai luoghi dei materiali.
SDefETotMaterials	Arrotondamento della somma dei prodotti della superficie deformabile degli elementi bidimensionali (membrane, piastre sottili e piastre spesse), per il modulo elastico dei materiali loro assegnati, N . E' una impronta dei luoghi e della assegnazione ai luoghi dei materiali.
VDefETotMaterials	Arrotondamento all'intero della somma dei prodotti dei volumi deformabili degli elementi solidi per il modulo elastico dei materiali loro assegnati, Nmm . E' una impronta dei luoghi e della assegnazione ai luoghi dei materiali.

Cross section vector & assigns

NCrossSections	Numero di diverse sezioni trasversali usate nel modello.
ATotCrossSections	Area totale delle sezioni trasversali diverse usate nel modello (mm^2).
IminTotCrossSections	Arrotondamento della somma dei momenti di inerzia minimi delle sezioni trasversali usate nel modello, cm^4 . Per momento di inerzia minimo si intende il momento di inerzia della sezione rispetto all'asse principale che comporta la inerzia minima (attenzione: non sempre è il così detto "asse forte", tuttavia in questo modo la

	definizione è univoca senza bisogno di enumerare gli assi d prendere in funzione dei tipi sezionali). E' una impronta del vettore delle sezioni trasversali usate nel modello.
ImaxTotCrossSections	Come sopra, ma somma dei momenti di inerzia massimi.
WminTotCrossSections	Arrotondamento della somma dei moduli di resistenza elastici "minimi" delle sezioni trasversali usate nel modello, cm^3 . Per moduli di resistenza elastici "minimi" si intende i moduli di resistenza associati agli assi che hanno inerzia minima, non necessariamente i moduli di resistenza minimi.
WmaxTotCrossSections	Come sopra, ma moduli di resistenza massimi.
VolDefTot1D	Volume deformabile totale degli elementi monodimensionali (travi e bielle), cm^3 . E' una impronta sia del vettore delle sezioni che della loro assegnazione agli elementi. Non tiene conto della orientazione degli elementi.
WeiDefTot1D	Peso totale della parte deformabile degli elementi monodimensionali (beam e bielle), N. Anche questa impronta tiene conto delle assegnazione delle sezioni ed anche delle assegnazioni di materiale, e non tiene conto della orientazione degli elementi.

Cross section modifiers (beams and trusses)

NCSModifiersA	Numero di modificatori dell'area di elementi monodimensionali (travi e bielle). Il modificatore è un parametro adimensionale che scala l'area dell'elemento a cui è assegnato al fine di modificare il computo della rigidezza (in questo caso assiale).
NCSModifiersAmax	Numero di modificatori dell'area di taglio associata all'asse di inerzia massima di elementi monodimensionali (travi e bielle).
NCSModifiersAmin	Numero di modificatori dell'area di taglio associata all'asse di inerzia minima di elementi monodimensionali (travi e bielle).
NCSModifiersJ1	Numero di modificatori del momento di inerzia torsionale di elementi monodimensionali (travi e bielle).
NCSModifiersJmax	Numero di modificatori del momento di inerzia associato all'asse di inerzia massima di elementi monodimensionali (travi e bielle).
NCSModifiersJmin	Numero di modificatori del momento di inerzia associato all'asse di inerzia minima di elementi monodimensionali (travi e bielle).

Beam orientation

OrieVolx	<p>E' il "volume orientato" in direzione X degli elementi beam, mm^3. Il volume orientato in direzione X di un elemento è il prodotto del volume dell'elemento per la componente in direzione X (dotata di segno) del versore che individua l'asse principale di inerzia massima della sezione assegnata, nello spazio. Ad esempio se l'asse principale di inerzia massima di un elemento di volume 1000mm^3, ha versore $\mathbf{v}=(0. \ 1. \ 0.)$, allora il volume orientato in direzione X è 0, in direzione Y è 1000 e in direzione Z è zero. In molti casi gli assi principali sono ben orientati rispetto agli assi globali. Sarà dunque semplice con questa impronta (e le gemelle) verificare la corretta orientazione di vasti aggregati.</p>
OrieVoly	E' una quantità analoga alla precedente ma in direzione Y, mm^3 .
OrieVolz	E' una quantità analoga alla precedente ma in direzione Z, mm^3 .
CSIx	
CSIy	
CSIz	
CSIxy	
CSIyz	
CSIzx	

Beam End releases

NEndReleasedExtremities	E' il numero delle estremità rilasciate degli elementi beam. Non dipende dal livello di discretizzazione della mesh.
NDofReleased	<p>E' il numero totale di gradi di libertà rilasciati degli elementi beam. Ad esempio un elemento beam che abbia agli estremi due cerniere flessionali su entrambi gli assi di flessione dà un contributo pari a 4 alla somma totale. Anche questa impronta non dipende dal livello di discretizzazione.</p>
VolDefTotReleased	Associando a ogni estremo rilasciato la metà del volume dell'elemento pertinente, e moltiplicando per un codice di svincolo

opportuno, si ottiene il contributo di ogni estremo svincolato. La somma di tutti i contributi è poi arrotondata e costituisce l'impronta, in mm^3 . Il codice di connessione è costruito a partire dalla rappresentazione binaria del codice di svincolo: 000000, è il codice associato a un completo ripristino. 000001 è il codice associato al rilascio assiale, 001000 è il codice associato al rilascio torsionale.

Il codice può essere costruito in questo modo (in notazione decimale):

- 1+ se svincolo assiale presente; 0 + se assente.
- 2+ se svincolo a taglio asse minimo presente; 0 + se assente.
- 4+ se svincolo a taglio asse massimo presente; 0+ se assente.
- 8+ se svincolo torsionale presente; 0 + se assente.
- 16+ se svincolo flessionale asse minimo presente; 0 + se assente.
- 32+ se svincolo flessionale asse massimo presente; 0 + se assente.

Ad esempio, se è svincolato sia l'asse di flessione sull'asse minimo sia quello sull'asse massimo, il codice è $(16+32)=48$. L'asse minimo e massimo sono rispettivamente quello per cui il momento di inerzia è minimo o massimo.

Semi rigid joints of beam elements

NSemirigidSpring

E' il numero degli estremi degli elementi beam ai quali è associato un rilascio semirigido (con rigidezza non nulla). Se ad un estremo è associato più di un rilascio elastico ognuno di essi conta per uno. Ad esempio se ci sono due rilasci elastici, per i due momenti flettenti sugli assi principali, questi contano complessivamente 2.

VolDefTotSemirigid

Si sommano tanti contributi, uno per ogni grado di libertà locale semi rigido. Ogni grado di libertà contribuisce con un termine del tipo

Volume x Codice x Rigidezza

dove

? il volume è la metà del volume dell'elemento deformabile;

? il codice si ottiene dalla stessa regola già vista per gli

svincoli;

- ? la rigidezza è la rigidezza elastica del grado di libertà semirigido;

Connection codes of beam elements

NConnCode

E' il numero degli estremi di elementi beam che presentano un segno di connessione. Il segno di connessione è sempre presente se è definito un rilascio. Ma può essere anche presente se il rilascio non è definito. Il segno di connessione non è una informazione standard, nei programmi agli elementi finiti, e non interferisce con i calcoli statici o dinamici. Lo aggiungo per completezza perché è una informazione fondamentale ai fini della decodifica dei nodi delle strutture in acciaio (e non).

Masses

MassTotTx
in Kg.

E' la somma delle masse traslazionali in direzione X del modello,

MassTotTy
in Kg.

E' la somma delle masse traslazionali in direzione Y del modello,

MassTotTz
in Kg.

E' la somma delle masse traslazionali in direzione Z del modello,

MassTotRx

E' la somma dei momenti delle masse rispetto all'asse X, in Kgcm^2 . Si compone di due termini. Un termine somma i contributi delle masse traslazionali Z e Y nel seguente modo:

$$m_y Z^2 + m_z Y^2$$

Un altro termine somma i contributi delle masse rotazionali di node, dirette secondo l'asse X.

$$m_{RX}$$

In pratica si tratta degli stessi contributi che si sarebbero computati per le corrispondenti forze peso o momenti delle forze peso, divisi per g.

Così, per ogni node a cui sia applicata una massa si ha il contributo

$$m_y Z^2 + m_z Y^2 + m_{RX}$$

MassTotRy

In questo caso il contributo è (in Kgcm²)

m

$$m_x Z^2 + m_z X^2 + m_{RY}$$

MassTotRz

In questo caso il contributo è

$$m_x Y^2 + m_y X^2 + m_{RZ}$$

Load cases

NLcases

E' il numero totale dei casi di carico statici inclusi nel modello.

NPerm

E' il numero dei casi permanenti (non gravitazionali).

NGrav

E' il numero dei casi gravitazionali.

NVar

tipologie).

E' il numero dei casi di carico variabile (non ricadenti nelle altre

NWind

E' il numero dei casi di carico legati al vento.

NSnow

E' il numero dei casi di carico legati alla neve.

NEarthM

risposta.

E' il numero dei casi di carico sismici legati ad analisi a spettro di

NEarthS

equivalenti (lineari).

E' il numero dei casi di carico sismici legati ad analisi statiche

NEarthP

E' il numero dei casi di carico legati ad analisi di pushover.

NAcc

E' il numero dei casi di carico accidentali (urti, esplosioni, ecc.).

NTherm

E' il numero dei casi di carico termici.

Combinations (active set)

NCombi

E' il numero totale di combinazioni nel combi set attivo.

NLinearCombi

E' il numero di combinazioni lineari.

SumFact1000

E' un numero che si ottiene sommando tutti i fattori associati ai casi di carico base, di tutte le combinazioni (la maggior parte di tali fattori è 0). I fattori sono moltiplicati per 1000 e arrotondati all'intero, in questo caso prima di essere sommati. Ad esempio 1.35 conta come 1350.

MaxFact1000

Per ogni combinazione si calcola la norma del vettore che dà la combinazione nello spazio dei casi di carico. Ad esempio per una combinazione del tipo 1.35 Caso 1 + 1.5 Caso 3 + 1.05 Caso 5, si ottiene la norma come

$$\sqrt{1,35^2 + 1,5^2 + 1,05^2}$$

tale norma è poi moltiplicata per 1000 ed arrotondata all'intero (2275 nel caso precedente). L'impronta è il massimo valore ottenuto per tale norma arrotondata al variare delle combinazioni. Questa norma non dipende dalla sequenza con cui sono numerate le combinazioni. Non ha un altissimo valore probatorio, dato che possono esserci combinazioni con norma analoga ma diverse, però è facile da calcolare e può servire a indentificare rapidamente insiemi di combinazioni incompatibili.

MinFact1000

variare delle combinazioni.

E' identica alla norma precedente, ma si prende il valore minimo al

Actions assigned (overall sum of all load cases, here sum of rounded)

L'algoritmo è

Somma Sui Casi(Arrotonda(Somma Sulle Azioni di un Caso()))

Fx	Risultante complessiva di tutte le azioni agenti in direzione globale X, al variare di tutti i casi di carico, N.
Fy	Lo stesso ma in direzione Y.
Fz	Lo stesso ma in direzione Z.
Mx	Momento complessivo di tutte le azioni applicate in tutti i casi di carico, rispetto all'asse globale X, Nmm.
My	Come sopra ma momento rispetto all'asse Y.
Mz	Come sopra ma momento rispetto all'asse Z.
NodalFx	Impronta simile alle precedenti, ma si considerano solo e soltanto le forze e le coppie applicate ai nodi.
NodalFy	"
NodalFz	"
NodalMx	"
NodalMy	"
NodalMz	"
ConcFx	Simile alle precedenti ma si considerano solo le forze o le coppie

concentrate applicate all'interno di elementi beam.

ConcFy	"
ConcFz	"
ConcMx	"
ConcMy	"
ConcMz	"
Distr1DFx	Analoga alla precedente ma si considerano solo i carichi distribuiti assegnati agli elementi monodimensionali.
Distr1DFy	"
Distr1DFz	"
Distr1DMx	"
Distr1DMy	"
Distr1DMz	"
Distr2DFx	Simile alla impronta precedente ma relativa ai carichi distribuiti assegnati a elementi bidimensionali.
Distr2DFy	"
Distr2DFz	"
Distr2DMx	"
Distr2DMy	"
Distr2DMz	"
Distr3DFx	Simile alla impronta precedente ma relativa ai carichi distribuiti assegnati a elementi tridimensionali.
Distr3DFy	"
Distr3DFz	"
Distr3DMx	"
Distr3DMy	"
Distr3DMz	"

Action assigned: individual load cases (here sum of rounded)

Load Case i

Fxi Risultante delle forze in direzione X del caso i-esimo (N)

Fyi	Risultante delle forze in direzione Y del caso i-esimo (N)
Fzi	Risultante delle forze in direzione Z del caso i-esimo (N)
Mxi (Nmm)	Risultante delle coppie attorno all'asse X del caso i-esimo
Myi (Nmm)	Risultante delle coppie attorno all'asse Y del caso i-esimo
Mzi (Nmm)	Risultante delle coppie attorno all'asse Z del caso i-esimo

2.26 Manage capacity design

COME... ESEGUIRE LA VERIFICA DI CAPACITA'

1. [Brevi richiami](#)^[318]
2. [Limiti delle prescrizioni delle normative](#)^[321]
3. [Modalità di implementazione in Sargon](#)^[329]
 - 3.0 [Premessa e ipotesi di base](#)^[329]
 - 3.1 [Definizione e rimozione delle Zone Dissipative](#)^[330]
 - 3.2 [Verifiche: criteri generali](#)^[331]
 - 3.3 [Verifiche: descrizione passo-passo \(metodo 1\)](#)^[332]
 - 3.4 [Verifiche: il tabulato](#)^[338]

Copyright © Castalia srl. Autore: Paolo Rugarli.

2.26.1 Short background

1. Brevi richiami

Le verifiche di capacità, o verifiche di gerarchia delle resistenze, sono verifiche da applicarsi

in ambito sismico, quindi hanno senso solo e soltanto se nel modello sono state introdotte e definite delle combinazioni di verifica sismiche nel combiset attivo. Una combinazione è "sismica" se al suo interno è referenziato con un fattore diverso da zero almeno un caso di carico di tipo "SISMA STATICA EQUIVALENTE" o "SISMA MODALE".

Il paradigma che si è andato affermando nelle normative di ultima generazione è che le strutture soggette a sismi di forte intensità devono essere in grado di dissipare l'energia entrante mediante opportuni sistemi dissipativi. Tale dissipazione è spesso assegnata alla plasticizzazione del materiale strutturale, ed ai corrispondenti cicli di carico e scarico. Tali cicli di carico e scarico devono essere stabili, e gli elementi che devono sopportare le plasticizzazioni devono essere in grado di farlo senza che altri fenomeni indesiderati (come la instabilità globale o locale) lo impediscano.

Perché la desiderata dissipazione si possa attivare sono necessari alcuni requisiti fondamentali:

1. Che gli elementi dissipativi siano effettivamente in grado di plasticizzarsi in modo ciclico e che non presentino indesiderati effetti locali atti a impedire la plasticizzazione.
2. Che gli elementi non dissipativi, limitrofi a quelli dissipativi, restino in campo elastico (non dissipativo) tenendo conto delle sollecitazioni plastiche che provengono dagli elementi dissipativi.

Il modello correntemente usato per trattare la plasticizzazione degli elementi è quello elastico perfettamente plastico. Un tale modello è però una semplificazione, dato che il metallo può presentare, e in generale presenta, rami incrudenti che comportano l'attingimento di tensioni superiori a quelle di snervamento, ed inoltre un comportamento statisticamente non omogeneo: il valore caratteristico della tensione di snervamento, un limite inferiore, non è in questo caso a favore di sicurezza, dato che valori superiori di tensione di snervamento comportano maggiori sollecitazioni per gli elementi non dissipativi limitrofi a quelli dissipativi. Le "azioni plastiche" non possono quindi a favore di sicurezza essere considerate pari a quelle ottenibili con la tensione di snervamento, ma devono essere opportunamente incrementate di un fattore, detto fattore di sovraresistenza γ_{ov} , che tiene conto del possibile incrudimento, e della differenza tra valor medio e caratteristico della tensione di snervamento: tale fattore dipende

dal materiale. A tale fattore di sovrarresistenza si aggiunge poi un ulteriore fattore di incremento, pari a 1.1, che va considerato come un fattore di sicurezza. Se dunque diciamo S_{pl} il vettore delle sollecitazioni che portano al limite plastico (ideale perfetto) una certa sezione, gli elementi non dissipativi limitrofi a quello dissipativo dovranno essere verificati per una sollecitazione $1.1\gamma_{ov}S_{pl}$. Per dare una idea, con S235 $\gamma_{ov} = 1.2$ mentre con S355 $\gamma_{ov} = 1.1$. Comunque, come vedremo nella sezione successiva, il problema si complica se di elementi dissipativi connessi ve n'è più d'uno e se le sollecitazioni che portano al limite plastico le diverse sezioni non vengono attinte per lo stesso livello esterno dei carichi applicati.

Nelle schematizzazioni correntemente accettate, vi sono essenzialmente tre tipologie di strutture dissipative per le costruzioni in acciaio:

1. Telai resistenti lateralmente a momento (MRF). In questo caso la dissipazione avviene nelle travi all'interfaccia con le colonne. Le colonne devono rimanere elastiche. Gli elementi dissipativi sono necessariamente elementi beam e non elementi truss.
2. Strutture a controventi concentrici (CBF). In questo caso la dissipazione avviene nelle diagonali tese (e a volte, se lo sbandamento è impedito, anche compresse). Gli elementi dissipativi possono essere beam o truss. *In Sargon si ipotizza che siano elementi truss.*
3. Strutture a controventi eccentrici (EBF). In questo caso la dissipazione avviene nei "link" delle travi di piano. Gli elementi dissipativi devono essere elementi beam e non truss.

Il problema è complicato molto dal fatto che in una unica struttura si possono dare le seguenti condizioni:

- a) Nelle due direzioni ortogonali i sistemi adottati sono differenti (ad esempio MRF in direzione X ed EBF in direzione Y).
- b) La struttura, anche se caricata in una direzione precisa (ad esempio X) induce azioni anche nei controventi progettati per l'altra direzione.
- c) Le azioni di calcolo non fanno il favore di essere dirette secondo un preciso asse ben orientato rispetto agli assi di costruzione della struttura.
- d) L'attingimento del limite plastico, per un elemento dissipativo in una struttura tridimensionale, non avviene con una sollecitazione elementare, e nemmeno in presso

flessione o tensoflessione retta, come semplicisticamente la normativa riporta, bensì con sei componenti di sollecitazione tutte agenti contemporaneamente, ovvero con un punto in uno spazio a sei dimensioni.

In generale i criteri del capacity design possono essere facilmente compresi. La loro traduzione in effettive regole di progetto è però ardua. Tali criteri sono:

1. Gli elementi che si plasticizzano (dissipativi) devono essere certi elementi e non altri. Tali elementi devono essere progettati per la plasticizzazione. Non si devono plasticizzare parti della struttura fondamentali per l'equilibrio globale, dato che la loro plasticizzazione comporterebbe un collasso. Gli elementi dissipativi non si devono instabilizzare localmente o globalmente o, se è ammesso che lo facciano (CBF), devono instabilizzarsi in modo controllato e reversibile.
2. Gli elementi non progettati per plasticizzarsi (non dissipativi) devono essere progettati per le massime sollecitazioni che gli elementi plasticizzati possono loro consegnare, tenendo conto della sovraresistenza del materiale e di opportuni fattori di sicurezza aggiuntivi. Ciò comporta in teoria il calcolo di sestuple di azioni plastiche per tutti gli elementi beam dissipativi, opportunamente incrementate (da $1.1 \gamma_{ov}$) e con opportuni margini suppletivi di sicurezza.
3. Le verifiche 1 e 2 devono valere per tutte le possibili combinazioni sismiche.

2.26.2 The limits of the rules of the standards

2.Limiti delle prescrizioni delle normative

Se i criteri logici di progettazione secondo il capacity design sono chiari, non così le prescrizioni di normativa, che appaiono sovrasemplificatorie e sostanzialmente inesatte.

Prima di addentrarci nella disamina attenta delle prescrizioni di normativa, delineiamo quello che in teoria potrebbe essere un percorso computazionale abbastanza coerente con i principi espressi nella sezione precedente.

Dato un insieme di forze apparenti tali da simulare il sisma, queste forze apparenti possono essere fatte crescere omoteticamente sino a generare una prima plasticizzazione nella struttura. Se la struttura è ben progettata la prima zona che si plasticizza è una zona dissipativa. Un tale sistema di forze può essere ottenuto da una statica equivalente o da una analisi di pushover, la quale, come è noto, utilizza i risultati di una analisi modal (e quindi elastica). In Sargon queste forze si possono ottenere con il command [Edit-Azioni-Da Spettro](#)⁶⁹⁸: si tratta in sostanza di forze apparenti (di D'Alembert).

Non appena la struttura attinge la plasticizzazione in qualche zona, però, immediatamente il procedimento cessa di essere valido. Infatti la struttura ha rigidezze differenti, e dunque periodi, modi e forze apparenti differenti.

Supponendo di non tenere conto di tale problema (come fa la pushover nelle modalità di calcolo più diffuse), possiamo incrementare ancora le stesse forze e vedere che succede. Se stiamo facendo una analisi elastica ciò che otteniamo è certamente non corretto, dato che le sollecitazioni, dopo la prima plasticizzazione, non cresceranno più allo stesso modo. Se stiamo facendo una analisi non lineare con plasticità diffusa (ovvero con CURAN), il calcolo può effettivamente seguire il progressivo evolversi della plasticità (sarebbe la famosa pushover). Nel corso della analisi dovremmo controllare:

1. Che gli elementi plastici non subiscano effetti di instabilità locale o globale (dunque dovremmo usare una analisi non lineare anche per gli effetti geometrici)
2. Che gli elementi non dissipativi restino elastici.

Un modello di calcolo in nonlinearietà di materiale, che usasse per il materiale delle zone dissipative una tensione di snervamento opportunamente incrementata, potrebbe pervenire a una qualche stima delle effettive sollecitazioni sovreresistenti afferenti agli elementi non dissipativi. Si tratterebbe però di un calcolo gravemente convenzionale, in ogni caso, perché dato che la condizione tale per cui una certa fibra diviene plastica sarebbe legata al raggiungimento di un limite plastico che è in effetti ignoto, anche la distribuzione di azioni risultante sugli elementi non dissipativi sarebbe in definitiva il frutto di una tale ipotesi arbitraria: che tutti gli elementi dissipativi si snervino non alla tensione f_y , ma alla tensione prefissata $1.1\gamma_{ov}f_y$.

In ogni modo, almeno in linea di principio, e dimenticando il problema legato alla non coerenza

delle azioni sismiche, una tale analisi potrebbe effettivamente seguire l'evolversi della plasticizzazione nella struttura e verificare sia che gli elementi plastici assolvano al loro dovere, sia che gli elementi elastici subiscano le azioni (incrementate) afferenti dagli elementi plastici.

Quanto detto in precedenza implicherebbe una analisi pienamente non lineare (non linearità di materiale, non linearità geometrica di membratura sia per presso flessione che per svergolamento, non linearità locale di sezione) e un onere computazionale molto forte.

Queste esigenze sono aggirate dalla normativa essenzialmente nel seguente modo:

1. Le verifiche di instabilità locale sono soddisfatte mediante la richiesta che le sezioni abbiano una classificazione buona (classi 1 o 2).
2. Le verifiche di escursione plastica e capacità ciclica mediante la classificazione delle sezioni e mediante la aggiunta di irrigidimenti (come nei link degli EBF o i pannelli dei MRF), provvidenze varie e limitazioni di snellezza (CBF).
3. Le verifiche di resistenza nelle zone non dissipative sono soddisfatte mediante regole di amplificazione parziale e lineare delle sollecitazioni sismiche (parziale: perchè riguardano solo alcune componenti mentre di altre non si parla proprio; lineare: perché si finge che nel corso della escursione plastica non lineare le sollecitazioni possano crescere linearmente rispetto a quanto calcolato in ambito elastico).
4. Le verifiche di instabilità di membratura possono essere soddisfatte con brutali semplificazioni in merito a quali sollecitazioni usare per le verifiche. Infatti, la norma non parla né di sestuple S né di loro distribuzioni lungo l'asse ($S=S(x)$), ma sempre al massimo di terne di sollecitazioni e di valori puntuali.

Consideriamo ora più in dettaglio e commentiamo le prescrizioni delle NTC 2008 (vicina copia dell'Eurocodice) alla luce di quanto detto.

Telai resistenti a momento

Per i telai resistenti a momento si hanno dapprima le prescrizioni relative alle "travi", che in

questo schema progettuale sono gli elementi dissipativi (le colonne, invece, devono essere protette). Le prescrizioni

$$M_{Ed}/M_{pl,Rd} \leq 1$$

$$N_{Ed}/N_{pl,Rd} \leq 1$$

$$(V_{Ed,G} + V_{Ed,M})/V_{pl,Rd} \leq 0.50$$

tendono a stabilire che le sollecitazioni di progetto non superino il dominio limite, che l'azione assiale non sia eccessiva (portando a un depauperamento della capacità flettente plastica) e che il taglio in condizioni limite non sia a sua volta eccessivo. I problemi derivano dal fatto che tali equazioni sono a rigore valide solo per telai piani, o per strutture spaziali perfettamente disaccoppiate sotto l'azione di azioni perfettamente allineate con i sistemi di controvento. Entrambe le ipotesi sono generalmente non verificate. La prima può essere ottenuta con progettazioni altamente regolari, la seconda non è mai ottenibile: un sistema dissipativo è in realtà caricato da una sestupla di sollecitazioni e tale sestupla deve rispettare le condizioni limite. Assumendo che le "desiderata" plasticizzazione sia sull'asse principale 2 soltanto, le precedenti equazioni possono meglio determinarsi in questo modo

$$M_{Ed,2}/M_{pl,Rd,2} \leq 1$$

$$M_{Ed,3}/M_{pl,Rd,3} \leq k_1$$

$$N_{Ed}/N_{pl,Rd} \leq 1$$

$$(V_{Ed,G,3} + V_{Ed,M,3})/V_{pl,Rd,3} \leq 0.50$$

$$(V_{Ed,G,2} + V_{Ed,M,2})/V_{pl,Rd,2} \leq k_2$$

dove k_1 e k_2 sono due numeri piccoli prossimi a 0. Anche in questo caso, comunque, la mera prescrizione ($M_{Ed,2}/M_{pl,Rd,2} \leq 1$) non garantisce che lo stato di sollecitazione sia interno al dominio limite, e nel loro complesso queste equazioni appaiono scarsamente fondate, nel caso generale.

Il secondo gruppo di prescrizioni riguarda le "colonne" ovvero gli elementi non dissipativi. Per esse sono date le seguenti prescrizioni in merito alle azioni di calcolo:

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega N_{Ed,E}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega M_{Ed,E}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega V_{Ed,E}$$

che indicano la terna dei valori di sollecitazione da usare per le verifiche. Anche in questo caso va osservato che queste prescrizioni si adattano al solo caso di telai piani, mentre cadono in difetto nel caso di strutture spaziali. A livello di verifica di resistenza sezionale, esse potrebbero essere ampliate nel seguente modo:

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega N_{Ed,E}$$

$$M_{Ed,1} = M_{Ed,G,1} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega M_{Ed,E,1}$$

$$M_{Ed,2} = M_{Ed,G,2} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega M_{Ed,E,2}$$

$$M_{Ed,3} = M_{Ed,G,3} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega M_{Ed,E,3}$$

$$V_{Ed,2} = V_{Ed,G,2} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega V_{Ed,E,2}$$

$$V_{Ed,3} = V_{Ed,G,3} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega V_{Ed,E,3}$$

o brevemente

$$\mathbf{S}'_{Ed} = \mathbf{S}_{Ed,G} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega \mathbf{S}_{Ed,E}$$

Nella precedente relazione:

\mathbf{S}'_{Ed} è lo stato di sollecitazione da impiegare per le verifiche

$\mathbf{S}_{Ed,G}$ è lo stato di sollecitazione che, nella combinazione sismica, è associato ai carichi non sismici

γ_{ov} è il fattore di sovraresistenza

Ω è il minimo fattore che porta qualche elemento dissipativo al primo snervamento

$\mathbf{S}_{Ed,E}$ è la quota parte di sollecitazioni dovuta ai meri carichi sismici

La prima cosa da osservare è che le verifiche non possono essere solo verifiche sezionali e non

possono essere solo verifiche di resistenza: dunque l'unico modo per eseguirle efficacemente non è semplicemente verificare che nella sezione affluente al node la sezione estrema soddisfi un qualche criterio di resistenza, ma occorre di fatto rieseguire le verifiche complete alla luce di una qualche opportuna distribuzione di azioni interne.

Una tale opportuna distribuzione di azioni interne potrebbe essere ottenuta generando un insieme di combinazioni nuovo (OVS), nelle quali i fattori originariamente previsti per i casi sismici, chiamiamoli C , siano ulteriormente moltiplicati per il fattore $1.1 \gamma_{ov} \Omega$ che dipende dalla combinazione sismica in considerazione. Se quindi la combinazione originaria prevedeva

$$A \times \text{Permanenti} + B \times \text{Variabili} + C_1 \times \text{SismaX} + C_2 \times \text{SismaY},$$

la nuova combinazione sarà

$$A \times \text{Permanenti} + B \times \text{Variabili} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega C_1 \times \text{SismaX} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega C_2 \times \text{SismaY},$$

A valle della generazione di un tale nuovo insieme di combinazioni, si potrà eseguire una nuova verifica, la quale però avrà senso solo per gli elementi non dissipativi (che dovranno risultare verificati).

Il calcolo del fattore Ω secondo la normativa deve essere fatto nel seguente modo:

$$\Omega = \min\{M_{pl,Rd,i} / M_{Ed,i}\}$$

dove "i" è il generico elemento (beam) dissipativo, ed M_{Ed} la sollecitazione totale calcolata in condizioni sismiche.

Alcune osservazioni:

- L'idea che questo moltiplicatore porti alla condizione plastica è verificata solo e soltanto in condizioni di flessione semplice. Ma gli elementi dissipativi delle strutture reali sono soggetti a sestuple di sollecitazione, e quindi si dovrebbe piuttosto cercare una condizione ben più complessa, almeno trinomia.
- Se l'amplificazione avviene rispetto ai carichi totali, essa è in contraddizione con le formule precedenti, che invece amplificano la sola quota parte dovuta al sisma.
- Se nella struttura sono presenti elementi due diversi sistemi di controvento dissipativi, uno a momento e l'altro, nell'altra direzione, ad azione assiale, il ciclo deve necessariamente

contenere anche gli elementi che dissipano in altro modo e deve pertanto essere generalizzato come segue

$$\Omega = \min\{M_{pl,Rd,i} / M_{Ed,i}, N_{pl,Rd,j} / N_{Ed,j}\}$$

non si può infatti escludere che, a causa di un sisma agente in direzione inclinata, o a causa di una struttura non perfettamente disaccoppiata, il sisma generi azioni plastiche prima sugli elementi di un sistema che in quelli dell'altro.

- La prima plasticizzazione di un elemento dissipativo nulla dice in merito alle sollecitazioni ulteriori che nascono allorché la plasticizzazione va diffondendosi (tale problema resta per ogni analisi di tipo lineare, e resta anche in caso di analisi statica non lineare dato che il sistema di forze cessa di essere attendibile).

Le considerazioni precedenti portano a concludere che i metodi normati difettano di un eccesso di specificazione, inapplicabile al caso generale.

L'ulteriore famoso requisito di normativa, ovvero che la somma dei momenti plastici provenienti dalle travi sia congruamente inferiore ai momenti elastici resistenti delle colonne

$$\Sigma M_{C,pl,Rd} \leq \gamma_{ov} \Sigma M_{b,pl,Rd}$$

è anch'essa una grossolana semplificazione.

- $M_{C,pl,Rd}$ è il "momento resistente della colonna calcolato per i livelli di sollecitazione assiale presenti nella colonna nelle combinazioni sismiche", ma in realtà tale momento resistente è influenzato anche dall'altro momento, dai tagli, e dalla torsione: piuttosto che una verifica a momento sarebbe necessaria una verifica completa delle sezioni;
- $M_{b,pl,Rd}$ è il "momento resistente delle travi che convergono nel node beam-colonna", momento plastico resistente nel monoassiale e senza interazioni, e quindi certamente un limite superiore di quello effettivamente possibile, ma che non tiene conto dei tagli e delle azioni assiali che anche gli elementi dissipativi vanno certamente a consegnare.
- Perché la formula abbia senso, tutti gli elementi devono avere asse principale coinvolto parallelo, ma ciò in generale può non avvenire.

Strutture a controventi concentrici

Un primo insieme di verifiche riguarda la classificazione dei profili ed il fatto che la loro snellezza adimensionale sia entro certi intervalli (che dipendono dal tipo di controvento). Regole speciali sui rapporti larghezza-spessore si applicano ai tubi tondi e quadri e rettangolari.

La regola seguente impone che i fattori

$$\Omega_j = N_{pl,Rd,j} / N_{Ed,j}$$

non differiscano troppo tra loro. Deve infatti verificarsi che il rapporto tra il minimo ed il massimo non superi 1.25. Questa condizione impone gravosi e potenzialmente infiniti ricicli, dovuti al fatto che un cambio di sezione dei controventi porta ad un cambio di periodi, spostamenti, azioni. Nè sembra agevole inventare un qualche sistema di ciclo automatico stante il fatto che le variazioni delle sezioni (a meno di non usare piatti rettangolari) sono di fatto discrete e non continue, ovvero l'area si può solo variare "a salti". Il possibile *escamotage* costituito dal fatto di indebolire un breve tratto di sezione (così che la rigidità sia poco o punto perturbata) non sembra accettabile dato che ridurrebbe a una frazione della lunghezza la quota di elemento che sarebbe plasticizzata e con essa l'energia dissipata.

Se e solo se gli elementi diagonali dissipativi vengono modellati con elementi truss (truss) la regola precedente di calcolo di Ω_j può essere implementata facilmente. Nel caso invece in cui l'elemento sia modellato con elementi beam, l'insorgenza di sollecitazioni parassite o spurie la rende sostanzialmente errata. Quindi, si fa l'ipotesi che tali sistemi di controvento siano modellati con elementi truss e non con elementi beam.

La susseguente prescrizione impone, in analogia con quanto visto in precedenza, che gli elementi non dissipativi limitrofi a quelli dissipativi possano portare le sollecitazioni causanti la (prima) plasticizzazione degli elementi dissipativi, opportunamente incrementate (NTC 2008, 7.5.14). La prescrizione in NTC 2008 sembra alludere alla inopinata trasformazione del telaio in struttura reticolare, tal che nelle travi e nelle colonne finirebbe, per equilibrio, una mera azione assiale, che sarebbe poi (7.5.14) quella da controllare tenendo conto però

illogicamente del momento che nella struttura originaria è effettivamente applicato. Si tratta di una procedura inutilmente tortuosa. Al contrario, sembra molto più logico generare un nuovo insieme di combinazioni "OVS" nel modo già chiarito nella sezione precedente (e quindi tutte le azioni interne degli elementi non dissipativi saranno amplificate, e la verifica sarà fatta mediante verificatore con tutte le modalità di crisi e non seguendo il formato 7.5.14, che appare inapplicabile al caso generale e non pertinente).

Non agevole è il tener conto di azioni di compressione pari a $0.3 N_{pl}$ negli elementi diagonali compressi: una tale sollecitazione, infatti, non è coerente con alcun calcolo formale e non se ne vede la possibile applicazione a contesti strutturali 3D complessi: la prescrizione risulta quindi sostanzialmente inapplicabile a contesti strutturali realistici, almeno sino a quando non si sarà trovato un modo per generare automaticamente quadri di sollecitazione equilibrati che portino N_{pl} nei diagonali tesi (cosa ottenibile con una analisi non lineare elastica perfettamente plastica) e $0.3N_{pl}$ in quelli compressi (cosa forse ottenibile con leggi elastiche perfettamente plastiche asimmetriche, certo non con mezzi banali). E' probabile che il normatore avesse in mente un calcolo semi-manuale limitato a schemi tipici di controvento, prescindendo completamente dai risultati di una analisi agli elementi finiti.

Strutture a controventi eccentrici

Saranno trattati in una successiva versione di questo document. Valgono comunque considerazioni analoghe a quelle già viste per i telai resistenti a momento.

2.26.3 Sargon implementation

3.Modalità di implementazione in Sargon

3.0 Premessa e ipotesi di base

La verifica di capacità ha senso solo in ambito sismico. Quindi, il modello deve avere almeno un caso di carico etichettato "SISMA STATICA EQUIVALENTE" o "SISMA MODALE". Inoltre, la verifica è applicata al [combiset](#)^[707] attivo, e dunque tale combiset deve contenere

almeno una combinazione sismica. Una combinazione è dichiarata sismica se al suo interno esiste almeno un caso di carico sismico con fattore moltiplicativo non nullo.

Perché la verifica di capacità abbia senso devono essere state definite delle zone dissipative. Le zone dissipative sono gli estremi degli elementi nel caso degli elementi beam, o l'intero elemento nel caso di elementi truss.

Nel primo caso (elementi beam) la norma fa implicitamente l'ipotesi che la dissipazione avvenga per momento flettente nei telai MRF, mentre essa può avvenire per momento nei link "lunghi" delle strutture EBF e per taglio nei link corti. Sorge dunque la necessità di distinguere le zone dissipative dei link dalle zone dissipative delle travi nei telai MRF. Dato che i due sistemi possono coesistere nella medesima struttura, la differenziazione va fatta a livello di definizione della zona dissipativa. Nella versione attuale del programma le strutture a controventi eccentrici non sono ancora trattate. E' attesa per la prossima versione 11.70 la loro aggiunta.

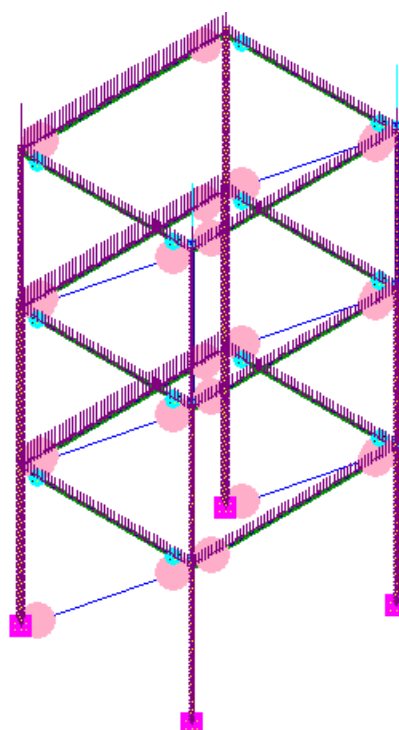
Nel secondo caso (elementi truss) la dissipazione è associata alla azione assiale (strutture CBF).

Il command per assegnare le zone dissipative agli elementi è [Structure-Gerarchia-Aggiungi DZONE](#)^[802].

Per alcune verifiche il programma assume che gli elementi dissipativi siano del tipo: ad H simmetrico laminato; ad H anche asimmetrico saldato; tubi circolari; box rettangolari o quadrati; Rhs.

3.2 Definizione e rimozione delle Zone Dissipative

Come accennato la assegnazione delle zone dissipative e la sua rimozione si possono realizzare con il command [Structure-Gerarchia-Aggiungi DZONE](#)^[802]. Il command [Structure-Gerarchia-Rimuovi!](#)^[803] serve invece per eliminare rapidamente le zone dissipative precedentemente assegnate dagli elementi selezionati.



Sargon® - by Castalia srl - www.castaliaweb.com - ver. 11.00.11-2014 - s1.100.101

Zone dissipative in una struttura a telaio in direzione X e CBF in direzione Y

La assegnazione delle zone dissipative è fatta dall'utente sulla base del suo progetto, non è una operazione compiuta dal programma. Le zone dissipative sono individuate da un cerchio pieno di colore rosa, il cui diametro è il doppio del corrispondente diametro dei simboli per gli svincoli e per i segni di connessione. Tra le possibili opzioni relative alla visualizzazione degli oggetti nella finestra grafica, vi è anche quella che sceglie di far vedere o di non far vedere i simboli per gli elementi dissipativi ([qui](#)^[403]).

3.3 Verifiche: criteri generali

I criteri generali a cui ci si dovrebbe attenere sono i seguenti:

1. Verifiche di classe e di snellezza per gli elementi dichiarati dissipativi. Per i link verifiche sulla lunghezza e loro classificazione in "lunghi", "corti" ed "intermedi".
2. Determinazione, per ogni combinazione sismica, di un pertinente fattore di sovraresistenza Ω , e del corrispondente fattore complessivo $K=1.1 \gamma_{ov} \Omega$, che dipende dalla combinazione.
3. Verifiche sulle azioni affluenti negli elementi dissipativi: limitazione delle sollecitazioni spurie e valori sotto quelli limite per le componenti principali della sollecitazione.

4. Verifiche degli elementi non dissipativi con sollecitazioni di calcolo opportunamente amplificate rispetto a quelle delle combinazioni sismiche.
5. Verifiche di omogeneità degli sfruttamenti degli elementi dissipativi, mediante la verifica che i fattori Ω non siano troppo diversi tra loro.

Le verifiche richiedono alcune scelte preliminari che ne orientano il funzionamento. Tali scelte preliminari vengono compiute con il command [Structure-Gerarchia-Imposta](#)^[803]. Tra le scelte da fare, il valore dei coefficienti parziali, la classe di duttilità (alta o bassa), la modalità di classificazione da adottare per la verifica di classe degli elementi beam dissipativi, la lunghezza delle travi dissipative da considerare per il calcolo dei tagli plastici, l'intervallo di snellezza adimensionale che le bielle dissipative devono soddisfare.

3.4 Verifiche: descrizione passo-passo (metodo 1)

Nella versione attuale del programma è rilasciato il solo metodo 1, teso a sposare, per quanto possibile, le regole di normativa. In futuro è previsto che siano aggiunti altri metodi, più generali di quelli previsti dalla normativa, ma in scia con essa per quanto attiene ai principi generali (che sono poi quelli che contano).

La versione attuale del programma (11.65) tiene conto delle strutture a telaio (MRF) e con controventi concentrici (CBF). Una nuova release, che verrà rilasciata a breve, includerà anche i telai EBF.

1. Per prima cosa vengono calcolati e stampati i fattori di sovraresistenza Ω per ogni combinazione sismica. Se tali fattori risultano minori di 1 ciò implica che le sollecitazioni di progetto superino i valori plastici per gli elementi dissipativi, il che è di per sé inaccettabile. La formula al momento impiegata per valutare Ω in una data combinazione è la seguente

$$\Omega = \min \{ M_{pl,Rd,i} / M_{Ed,i}, N_{pl,Rd,j} / N_{Ed,j} \}$$

e tiene conto sia degli elementi beam che degli elementi truss dissipativi presenti nel modello.

Se nella struttura sono presenti solo elementi dissipativi di un certo tipo (travi o bielle) il ciclo riguarderà evidentemente solo questi elementi. Ciò implica che il sistema di controvento sia (MRF, MRF) o (CBF, CBF) nelle due direzioni. Se invece i due sistemi sono entrambi presenti, allora verranno controllati sia gli elementi beam che truss. In questo caso, se la struttura è disaccoppiata e se la direzione del sisma è allineata con uno degli assi, allora il fattore Ω minimo sarà quello relativo agli elementi impegnati su quella direzione, e non relativo agli altri elementi. Per le direzioni inclinate non è possibile dire a priori quel che può succedere, anche se è da attendersi che per strutture ben progettate "vinca" sempre il sistema della direzione prevalente.

M_{Ed} ed N_{Ed} solo le sollecitazioni in macchina in quella combinazione sismica così com'è.

M_{pIRd} è il momento plastico limite degli elementi beam dissipativi. Esso è pari a $W_{2pl} f_y / \gamma_{M0}$. Si usa quindi il momento secondo l'asse 2 (anche per M_{Ed}). Non si tiene conto di alcuna riduzione così come indicato dalla normativa, che indica il medesimo simbolo per il momento plastico (e del resto richiede precise limitazioni sulle altre sollecitazioni "piane").

Va notato che il momento letto è quello all'estremo (dissipativo) preso in considerazione, in valore assoluto.

N_{pIRd} è pari a $A f_y / \gamma_{M0}$.

2. Mentre viene determinato, in ogni combinazione, il fattore Ω , si tiene anche conto del minimo Ω e del massimo Ω relativo ai soli elementi truss, in modo da eseguire la verifica sulla omogeneità dello sfruttamento richiesta dalla normativa. Viene quindi stampato il minimo Ω_{truss} ed il massimo Ω_{truss} , per ogni combinazione sismica.

3. Vengono individuati tutti i nodi ai quali affluiscono elementi beam o truss dissipativi. Da questo momento comincia un ciclo su tutti questi nodi "dissipativi".

4. Comincia un ciclo su tutti gli elementi beam connessi al generico node dissipativo. Questi vengono divisi in beam dissipativi (nel node) e beam non dissipativi (nel node). Per ogni elemento beam (dissipativo o no) si calcola il fattore di sovraresistenza per il suo materiale e si memorizza per compararlo con il massimo al variare degli elementi strutturali dissipativi ($\gamma_{ov,max}$). Si calcolano i massimi di ciascuna sollecitazione elementare, in

quell'estremo di quell'elemento, al variare delle combinazioni sismiche (involuppo sismico). Si fa lo stesso per tutte le combinazioni sismiche, ma trascurando gli effetti del sisma e considerando solo gli altri carichi, al variare delle combinazioni sismiche.

5. Elemento beam dissipativo. Si calcolano e dichiarano stampandoli i valori plastici senza riduzioni dovuti alla interazione delle sollecitazioni dei momenti M_2 ed M_3 . Nel caso in cui l'elemento dissipativo sia dei tipi previsti (H, O, box, cosa peraltro auspicabile), si fa la classificazione della sezione dell'elemento dissipativo per le sollecitazioni elementari, e si verifica la classe massima o la prescelta classe di sollecitazione elementare fatta dall'utente, nei riguardi del massimo previsto per gli elementi dissipativi. Il massimo previsto è 2 per la classe di duttilità bassa, e 1 per quella alta. Si verifica che la massima azione assiale complessiva, per tutte le combinazioni sismiche, precedentemente calcolata, rispetti la limitazione $N_{Ed} < 0.15 N_{pl}$. Si verifica che il massimo momento secondo l'asse 2, M_{2Ed} sia minore del momento plastico secondo l'asse 2. Si fa la stessa verifica per il momento secondo l'asse 3. Si calcola un taglio secondo l'asse 3 dato da due contributi: il massimo taglio dovuto ai carichi non sismici nelle combinazioni sismiche, $V_{3Ed,G}$, precedentemente calcolato; il taglio plastico $V_{3Ed,M}$ dato da $2M_{2pl}/L$, dove M_{2pl} è il momento plastico secondo l'asse 2, ed L una lunghezza introdotta dall'utente (la lunghezza delle travi dissipative, che può non coincidere con la lunghezza dell'elemento finito). Tale taglio ($V_{3Ed,G} + V_{3Ed,M}$) si verifica sia minore di $0.50 V_{3pl,Rd}$. Si fa la stessa identica cosa sul taglio V_2 ma considerando il momento M_3 . Queste verifiche sono una generalizzazione delle 7.5.3, 7.5.4, 7.5.5 delle NTC 2008. Se la zona dissipativa dell'elemento dissipativo non soddisfa qualcuna di queste verifiche, la zona dissipativa viene marcata come non verificata.

6. Elemento beam non dissipativo. Si calcola un fattore riduttivo del momento elastico pari a $K_{red} = (1 - |N_{max}| * \gamma_{M0} / [A * f_y])$. Se tale fattore è negativo si pone eguale a zero. Il fattore riduttivo usa una semplice formula di interazione elastica di presso o tenso flessione retta (come implicitamente richiesto dalla normativa). Si calcolano dei momenti elastici ridotti massimi come $K_{red} W_2 f_y / \gamma_{M0}$ e $K_{red} W_3 f_y / \gamma_{M0}$. Si esegue, sulla sola sezione non dissipativa dell'elemento beam non dissipativo affluente al node dissipativo,

una verifica di resistenza fatta in questo modo. Si esegue un ciclo sulle combinazioni sismiche. Si calcolano le sollecitazioni non sismiche S_G e quelle totali S_{Ed} affluenti alla sezione non dissipativa nella generica combinazione sismica. Per differenza si calcolano quelle sismiche S_E . Dato il fattore di sovrarresistenza γ_{ov} per il materiale dell'elemento non dissipativo, e dato il fattore di sovrarresistenza Ω della combinazione, si calcola la sestupla di sollecitazioni: $S'_{Ed} = S_G + 1,1\gamma_{ov}\Omega S_E$. Si esegue una verifica sezionale di resistenza calcolando il seguente sfruttamento E : $E = (N_{Ed}'/N_{el}) + (M_{2Ed}'/M_{2el}) + (M_{3Ed}'/M_{3el}) + \rho$. Si noti l'uso dei limiti elastici (con γ_{M0}). Il fattore ρ si calcola come segue. $\rho = \max\{\rho_2, \rho_3\}$. Se $V_{3Ed}' < 0.5 V_{3pl}$, $\rho_3 = 0$, altrimenti $\rho_3 = (2V_{3Ed}' / V_{3pl} - 1)^2$. Analogamente per V_2 . In altre parole, si tiene in conto la presso o tenso flessione biassiale e l'interazione coi tagli, ma non si considera la torsione. Si usa quindi una quintupla di azioni interne e non la terna prevista (in modo secondo noi eccessivamente semplicistico) dalla normativa. Dato che la verifica è solo di resistenza e solo relativa a una sezione, occorrerà cautelarsi eseguendo verifiche complete con un combiset opportunamente creato (se ne parla dopo). Dopo aver eseguito il ciclo su tutte le combinazioni, si stampa il massimo coefficiente di sfruttamento per quell'elemento non dissipativo di quel node dissipativo.

7. Si fa ora un ciclo su tutti gli elementi truss connessi al node dissipativo. Questi vengono divisi in truss dissipativi (nel node) e truss non dissipativi (nel node). Per ogni elemento truss (dissipativo o no) si calcola il fattore di sovrarresistenza per il suo materiale e si memorizza per compararlo con il massimo al variare degli elementi strutturali dissipativi ($\gamma_{ov,max}$). Si calcolano i massimi della azione assiale, in quell'estremo di quell'elemento, al variare delle combinazioni sismiche. Si fa lo stesso per tutte le combinazioni sismiche, ma trascurando gli effetti del sisma e considerando solo gli altri carichi, al variare delle combinazioni sismiche.

8. Elemento truss dissipativo. Si calcola e dichiara stampandolo il valore plastico senza riduzioni di sorta di N . Nel caso in cui l'elemento dissipativo sia dei tipi previsti (H, O, box), si fa la classificazione della sezione dell'elemento dissipativo per la N , e si verifica nei riguardi del massimo previsto per gli elementi dissipativi. Il massimo

previsto è 2. Si verifica che la massima azione assiale complessiva, per tutte le combinazioni sismiche, precedentemente calcolata, rispetti la limitazione $N_{Ed} < N_{pl}$. Si verifica la limitazione di snellezza dell'elemento truss dissipativo. Se la zona dissipativa dell'elemento dissipativo non soddisfa qualcuna di queste verifiche, la zona dissipativa viene marcata come non verificata.

9. Elemento truss non dissipativo. Si esegue, sull'elemento truss non dissipativo affluente al node dissipativo, una verifica di resistenza fatta in questo modo. Si esegue un ciclo sulle combinazioni sismiche. Si calcolano le sollecitazioni non sismiche N_G e quelle totali N_{Ed} affluenti alla sezione non dissipativa nella generica combinazione sismica. Per differenza si calcolano quelle sismiche N_E . Dato il fattore di sovrarresistenza γ_{ov} per il materiale dell'elemento non dissipativo, e dato il fattore di sovraresistenza Ω della combinazione, si calcola la sollecitazione: $N'_{Ed} = N_G + 1,1\gamma_{ov}\Omega N_E$. Si esegue una verifica sezionale di resistenza calcolando il seguente sfruttamento E : $E = (N'_{Ed}/N_{pl})$. Dato che la verifica è solo di resistenza, occorrerà cautelarsi eseguendo verifiche complete con un combiset opportunamente creato (se ne parla dopo). Dopo aver eseguito il ciclo su tutte le combinazioni, si stampa il massimo coefficiente di sfruttamento per quell'elemento non dissipativo di quel node dissipativo.

10. Terminato il ciclo sugli elementi affluenti al node, si verifica se qualche elemento non dissipativo affluente al node è risultato non verificato. Se sì, allora tutte le zone dissipative degli elementi dissipativi affluenti al node vengono marcate come non verificate. La verifica dei singoli elementi dissipativi è già stata fatta nel corso del ciclo. In questo modo, è possibile che alcuni elementi risultino verificati ed altri no, se ad essere non verificati sono elementi non dissipativi. Invece, se non sono verificati elementi non dissipativi, tutte le zone dissipative degli elementi affluenti al node, nel node, sono marcate non verificate (rosse).

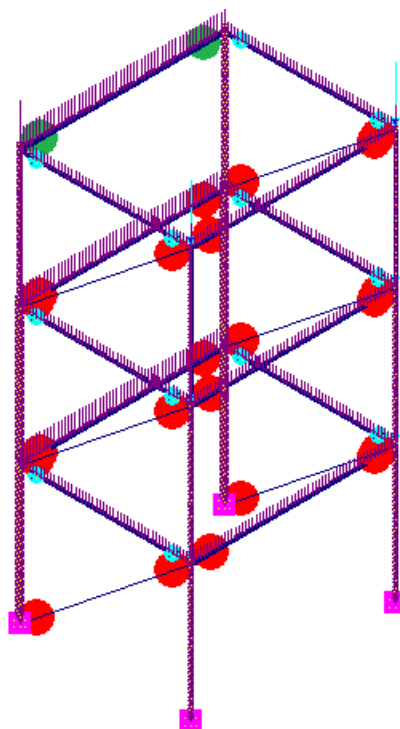
11. Terminato il loop sugli elementi affluenti al node si stampano dei dati relativi al node dissipativo (quanti elementi dissipativi, quanti no, e di che tipo).

12. Infine, viene eseguita una verifica sui momenti nel seguente modo. Se gli elementi beam (dissipativi o no) hanno un asse principale parallelo con l'asse X, viene calcolato

il loro momento di riferimento e sommato o a uno o all'altro di due addendi, a seconda che l'elemento sia dissipativo o no: quello degli elementi dissipativi e quello degli elementi non dissipativi. Il momento di riferimento è così calcolato. Per gli elementi dissipativi, è $W_{pl} \times f_y / \gamma_{M0}$, prendendo il W_{pl} del pertinente asse principale (2 se è l'asse 2 ad essere parallelo ad X, 3 se è il 3, nulla altrimenti). Per gli elementi non dissipativi, prendendo il pertinente momento elastico ridotto $K_{red} W_{el} \times f_y / \gamma_{M0}$ (2 se è l'asse 2 ad essere parallelo, 3 se è l'asse 3, nulla altrimenti). La stessa operazione viene compiuta per l'asse globale Y e per l'asse globale Z. Se avviene, per una certa direzione, che tutti gli elementi beam connessi al node dissipativo hanno almeno un asse principale parallelo a quell'asse (e dunque le somme non trascurano alcun elemento beam) allora si esegue la verifica che il momento totale elastico ridotto degli elementi beam non dissipativi, superiori di F volte il momento totale (plastico) degli elementi beam dissipativi. Il fattore F vale 1.1 in classe di duttilità bassa e 1.3 in classe di duttilità alta. La verifica tiene conto della riduzione di momento elastico dovuta alla azione assiale negli elementi non dissipativi, ma non tiene conto di una loro flessione biassiale, come del resto previsto dalla normativa. Per quanto riguarda gli elementi dissipativi, considerare il loro momento plastico privo di riduzioni è a favore di sicurezza. La verifica in questione è una generalizzazione della formula 7.5.11 di NTC 2008 (gerarchia delle resistenze beam-colonna):

$$\Sigma M_{C,pI,Rd} \leq \gamma_{ov} \Sigma M_{b,pI,Rd}$$

13 Al termine delle verifiche di tutti i nodi dissipativi, viene chiesto se creare un nuovo combiset, che si potrà convenientemente usare per le verifiche di resistenza e stabilità degli elementi NON dissipativi. Il combiset viene creato (e la domanda proposta) solo se c'è un combiset libero (ovvero uno dei 5 combiset è vuoto). Se il combiset viene creato, esso viene generato con queste regole. Si chiama "OVS" (OVER Strength). E' identico al combiset di partenza in tutte le combinazioni non sismiche. Nelle combinazioni sismiche, i fattori C associati ai casi sismici vengono amplificati del fattore $1.1 \gamma_{ov,max} \Omega$, dove $\gamma_{ov,max}$ è il massimo fattore di sovraresistenza dei materiali presenti nel modello, e Ω è il fattore di sovraresistenza della combinazione presa in esame, calcolato al punto 1.



Sargon® - by Castalia srl - www.castaliaweb.com - ver. 11.00.11-2014 - s1.100.101

Al termine delle verifiche si può vedere una mappa a colori, con le zone dissipative colorate in funzione della verifica: verde per verifica soddisfatta, e rosso per verifica non soddisfatta. Il command da usare è [Structure-Gerarchia-View Risultati](#)^[805]. Il command è un flag e può essere attivato o meno.

3.5 Verifiche: il tabulato

Il tabulato è un file TXT che si chiama "MODELLO.CAPACITY.TXT", dove "MODELLO" è il nome del modello. Di seguito si commentano i tipici blocchi di stampa reperibili nel tabulato. Si fa presente che i numeri di questo esempio sono del tutto casuali.

Questo blocco enumera le scelte fatte prima di lanciare le verifiche:

```
Gamma,M0 = 1.00
Gamma,M2 = 1.25
Dissipative beam elements will be checked for maximum cross-section class
Ductility class: LOW
Assumed fixed length of dissipative beams:      2000.00 mm
Minimum non dimensional slenderness for dissipative truss elements:    1.30
Maximum non dimensional slenderness for dissipative truss elements:    2.00
```

Questo blocco dice per una certa combinazione sismica quale sia il suo fattore Ω (Omega), ed a causa di quale elemento dissipativo affluente a quale node:

```
Computed Omega (min{Npl,Rdi / NEd,i}) to apply to seismic combination 4, is 4.35 (node 7, truss 4)
```

Qui viene data l'informazione relativa al massimo e minimo coefficiente Ω per una certa combinazione sismica, sugli elementi truss dissipativi:

```
Combi      4.Omega,Truss,Min=      4.35 Truss,Min=      4 Omega,Truss,Max=      7.64 Truss,Max
=      6 WARNING!!! CHECK NOT PASSED!!
```

Questo blocco segnala l'inizio di un nuovo node dissipativo:

```
*****
Node number 12 is connected to dissipative elements.
*****
```

Questo blocco si riferisce a un beam dissipativo:

```
Beam #      5 is      dissipative. IPE 200-S235: Mpl2= 51850295.63 Mpl3= 10483328.9
Class is ok. (Class Max = 1 )
Maximum seismic axial force NEd is lower than 0.15 Npl,Rd (NEd = 1411.11,
Npl,Rd= 669278.65 )
Maximum seismic bending moment M2Ed is higher than Mpl,Rd (M2Ed = 88182838.52,
Mpl,Rd= 51850295.63 )
Maximum seismic bending moment M3Ed is lower than Mpl,Rd (M3Ed = 238.70,
Mpl,Rd= 10483328.90 )
Maximum capacity shear V3 is lower than 0.5 V3pl,Rd (V3 = 67566.22,
V3pl,Rd= 189893.59 )
Maximum capacity shear V2 is lower than 0.5 V2pl,Rd (V2 = 10483.33,
V2pl,Rd= 196514.63 )
```

Questo blocco si riferisce a un beam NON dissipativo:

```
Beam #      4 is NOT-dissipative. HE 220 B-S235: maxN,Ed= 36852.74 redf= 0.98 Mel2=
169874106.43 Mel3= 59696361.4
This beam maximum capacity expl is 1.29, in combi 6, gov = 1.20 WARNING EXPL
> 1 !!!
```

Questo blocco si riferisce a un truss dissipativo:

```
Truss #      6 is      dissipative. O 33.7x3-S235: Npl= 67994.93
Class is ok. (Class N = 1 )
Slenderness check NOT PASSED: lam,s = 6.25
```

Maximum seismic axial force NEd is lower than Npl,Rd (NEd = 44480.02, Npl,Rd= 67994.93)

Questo blocco si riferisce ai dati riepilogativi sugli elementi affluenti al node dissipativo:

Number of column (z) dissipative elements:	0
Number of horizontal (xy) beam dissipative elements:	1
Number of truss dissipative elements:	1
Number of other dissipative elements:	0
Total number of dissipative elements:	2
Number of column (z) NOT-dissipative elements:	2
Number of horizontal (xy) beam NOT-dissipative elements:	1
Number of truss NOT-dissipative elements:	0
Number of other NOT-dissipative elements:	0
Total number of NOT-dissipative elements:	3

Questo blocco si riferisce al controllo sul bilanciamento tra momenti elastici e plastici afferenti al node. Il controllo viene eseguito in tutte le direzioni, ma spesso ha senso solo per una direzione soltanto (in questo caso, momento diretto come Y, sismi diretti come X). Il controllo su Z è messo per completezza, ma normalmente non ha significato.

X dir moment capacity check: MelX=	118426932 (Nmm)	MplX=	0 (Nmm)	gRD= 1.1
Expl = 0.00				
Y dir moment capacity check: MelY=	336999923 (Nmm)	MplY=	51850296 (Nmm)	gRD= 1.1
Expl = 0.15				
Z dir moment capacity check: MelZ=	0 (Nmm)	MplZ=	10483329 (Nmm)	gRD= 1.1
Expl = 99.00 !!!!!				

2.27 Manage ePUB format report

Come... gestire il report in formato ePUB

Sargon è in grado di creare automaticamente un report, ovvero un document che riassume i risultati più importanti opportunamente formattati con anche immagini tratte automaticamente dal programma, e spiegazioni. Il report è creato nel formato [ePUB](#), che è un nuovo formato molto utile per diverse ragioni che saranno ora spiegate.

Prima di tutto ePUB è un formato aperto non proprietario, che può essenzialmente essere visto come HTML+JPG+ZIP. Se un file .ePUB è rinominato cambiando la estensione in .ZIP sarà possibile strarre i file e dare uno sguardo alla struttura interna. Idealmente si possono modificare i file html e poi ri-zippare

il contenuto, rinominare lo ZIP ePUB, ed ottenere così il file aggiornato. Ci sono anche diversi programmi gratuiti che possono essere usati per aprire un file ePUB, scorrendo il suo contenuto (uno particolarmente rapido è Adobe Digital Editions, gratuito; altri sono SIGIL, CALIBRE, ed altri ancora, tutti gratuiti). Dato che il formato ePUB è stato concepito per piccoli dispositivi come smart phone, o tablet, le pagine non hanno margini, o hanno margini ridotti a seconda del lettore utilizzato. I file EPUB sono molto compatti e possono essere letti usando tablets, nonché facilmente spediti via email.

Se il file ePUB deve essere modificato, o aggiornato dall'utente al fine di completarlo, il modo migliore è convertire il file ePUB in un file .DOC o .DOCX, o anche un .RTF, e poi aprirlo con l'editor preferito. Al fine di eseguire tale conversione dal formato di file ePUB ad altri formati (incluso PDF), raccomandiamo caldamente lo strumento AVS converter, che può essere acquistato ad un costo molto basso (39€ in Europa) e che sarà certamente utile anche per altre ragioni (conversioni da PDF a DOC, ad esempio). Per acquistare il prodotto di possono usare i seguenti link:

Descrizione del prodotto: <http://www.avs4you.com/AVS-Document-Converter.aspx?sct=aff&ct=avangate&cid=40144>

Demo download: http://www.avs4you.com/download_product_direct.aspx?product=AVSDocumentConverter&sct=aff&ct=avangate&cid=40144

Acquisto: <http://www.avs4you.com/Register.aspx?sct=aff&ct=avangate&cid=40144>

Il convertitore che abbiamo estensivamente usato per i nostri test si chiama "Document Converter". Si può aprire il file ePUB usando il convertitore, scegliere la cartella ove scrivere il file convertito a un altro formato, scegliere il formato preferito e poi, premendo un tasto, avviare la conversione. E' molto facile.

Se si usa il formato DOC e DOCX, la prima cosa che si vorrà fare è applicare i margini alle pagine (menu: Layout di pagina-Margini in Word™). Si sarà quindi in grado di stampare il report in modo adeguato.

Se non si vogliono spendere i soldi del convertitore, si può usare il programma gratuito Sigil per editare e stampare con i margini desiderati. I margini possono essere aggiunti usando la anteprima di stampa. Sigil può essere gratuitamente scaricato qui:

Sigil: <http://code.google.com/p/sigil/downloads/list>

Quando viene eseguito il command [File - Report EPub](#)^[372], il programma crea una sottocartella nella cartella dove si trova il modello .CSE, ed in quella cartella scrive il contenuto unzippato del file ePUB.

Se il modello si chiama "MICKEY", la cartella si chiamerà "MICKEY.EPUBDIR". Il report in ePUB format, già zippato e pronto all'uso, si chiamerà "MICKEY.EPUB" e si troverà nella cartella del modello. Quindi alla fine della creazione del report si avrà:

MIKEY.EPUB il file con il report pronto all'uso nella cartella del modello.

MIKEY.EPUBDIR una sottocartella con una **copia** del file con il report, già unzippato per comodità

Tutta la informazione è contenuta nel file ePUB, la sottocartella contiene invece una copia del file in formato unzippato..

Nella sottocartella si potranno trovare i file che, una volta zippati, danno luogo al file ePUB stesso. Ciò può essere utile al fine di scorrere rapidamente le immagini ed i file html. La struttura del file ePUB è questa:

CARTELLA RADICE DELL' EPUB

content.opf	una lista di tutti i file che sono contenuti dentro l'ePUB
mimetype	un file che specifica il formato, non deve essere modificato
toc.ncx	sommario ed istruzioni di navigazione

META-INF (SOTTOCARTELLA)

com.apple.ibooks.display-options.xml	non modificare
container.xml	non modificare

OPF (SOTTOCARTELLA)

tutti i file html e jpeg che sono usati dal file ePUB, *più altre immagini che sono create automaticamente e non usate*

La prima pagina del file ePUB è la copertina, con una tabella di dati.

Il report ePUB è attualmente alla prima release e sarà ulteriormente migliorato nelle prossime versioni del programma.

Il command per creare il report ePUB è [File-Crea Report EPUB](#)^[372].

Part



3 Menu Commands

3.1 File

3.1.1 New

COMMAND: File-New

This command starts a new blank model.

3.1.2 Open

COMMAND: File-Open

Open an existing Sargon file (.wsr) stored onto disk, cd or network.

3.1.3 Save

COMMAND: File-Save

The document (file .wsr) is saved onto disk.

3.1.4 Save As

COMMAND: File-Save As

This command is used to save the current model with a new name. The user chooses the folder, the drive, and the name to assign to the model. The file is saved with the extension .wsr.

Type:modal

Destination: document-application.

3.1.5 Settings

Command: File-Settings

This command is used to input, thanks to a proper [dialog](#)^[345], the general start up settings regarding the interface language, the active standard, and the preferred units. These settings will be used at next start up of the program.

Type: modal

3.1.5.1 General settings at start (Dialog)

IMPOSTAZIONI GENERALI ALL'AVVIO (DIALOGO)

In questo dialog é possibile scegliere le seguenti impostazioni all'avvio di Sargon:

- lingua dell'interfaccia
- norma attiva
- unità di misura (spuntando la casella e premendo OK vengono memorizzate le unità correnti)
- [priming](#)^[292] attivato o disattivato

Tali impostazioni saranno effettive alla riesecuzione di Sargon. Le prime due impostazioni si ritrovano sia che si inizi un nuovo modello sia che se ne apra uno esistente; le unità di misura all'apertura di un modello esistente sono invece quelle correnti al momento dell'ultimo salvataggio di quello stesso modello, e le unità definite come impostazioni all'avvio sono valide solo per un nuovo modello.

3.1.6 Save Configuration

COMMAND: File-Save Configuration

This command is used to save in a file (with .sts extension and named wsargon.sts, placed in the program folder) the active view configuration, as it is when the command is executed. By using this command every user can customize the Sargon interface. All data

available in the View menu are saved in the configuration file.

Type:modal

Destination: application.

3.1.7 Print

COMMAND: File-Print

This command sends to the printer the active window content. Albeit not in a total way, the working of this command is WYSIWYG (what you see is what you get). The printing window is not the same of the screen. Therefore, it is suggested using [Print preview](#)³⁴⁶.

Type:modal

Destination: active view.

3.1.8 Print preview

COMMAND: File-Print Preview

Depending on printer setup, that is of the available printer, this command displays a preview of what will be the printing results on paper.

Type:modal

Destination: view.


3.1.9 Printer setup

COMMAND: File-Print Setup

This command is used to set print options.

3.1.10 Title

COMMAND: File-Title

By this command a printing title can be set. The string input by the dialog ([Printing Title](#) ) to which the command is linked, will be added to the future printings. Each open window might receive a different printing title. The title string is displayed as second row from the top, in the printing legend.

Type:modal

Destination: view.

3.1.10.1 Printing title (Dialog)

PRINT TITLE (DIALOG)

This dialog is used to set the title to be added to prints of the active view. Once a title is defined, it will be used for all subsequent printings.

3.1.11 Comment

COMMAND: File-Comment

This command is used to store comments about the model. The text will be saved with the model, and can be used to later recall the main model features.

Once the command is executed a proper dialog opens ([Comments to the model](#) ) which is used to write or modify the model comment.

3.1.11.1 Comments to the model (Dialog)

COMMENTS TO THE MODEL (DIALOGO)

This dialog is used to set or modify the comment to current model.

3.1.12 Analyze

COMMAND: File-Analyze

This command is used to set and run Sargon solvers: CLEVER for static analysis; LEDA for modal analysis; SPECTRUM for response spectrum analysis; SOCLEVER for second order non linear analysis (beam and truss elements); FREQUENCY for frequency response analysis, after modal analysis; CURAN for nonlinear analysis (material, geometric, contact non linearities) and BUCKL for buckling analysis. When the command is executed a proper [dialog](#)^[348] is opened, which is used to decide the solvers to be run, and set their working mode. To get more information on using the solvers see "How to Prepare and Execute Solving".

In the particular case of response spectrum analysis, a loop over the 5 possible spectra is started, to see which are referenced in the model. If an earthquake is referenced in the model (that is if load cases of the type EARTHQUAKE-MODAL do exist, having their names starting by XYZ_ where XYZ is the identifier of one of the available earthquakes), it will be executed a response spectrum analysis using the spectra (X, Y, Z) of that earthquake. The command may then lead to up to five different runs of the program WSPECTRM.EXE.

Type:modal

Destination: document.

3.1.12.1 Analyze (Dialog)

ANALIZZA (DIALOGO)

Questo dialog consente di lanciare i solutori di Castalia: CLEVER, LEDA, SPECTRUM, BUCKLING, SOCLEVER, CURAN e FREQUENCY.

Si può fare eseguire solo la analisi statica, la statica più la modal, la statica più la modal più la spettrale o la modal e la spettrale, a scelta. Se la corrispondente casella presenta il segno di spunta, l'analisi verrà eseguita.

I pulsanti **Imposta** danno accesso ai dialoghi che fanno impostare la analisi relativa al pulsante in questione:

[Analisi modal](#)^[355]

[Analisi a spettro di risposta](#)^[356]

[Analisi di buckling](#)^[362]

[Analisi nonlineare \(geometrica\)](#)^[351]

[Analisi nonlineare \(materiale\)](#)^[351]

[Frequency response](#)^[363]

Il flag "**aggiungi se definite**" serve ad aggiungere le aree di taglio ai file dei solutori. Questo flag ha effetto anche sui solutori esterni.

Sotto "altre impostazioni" sono riepilogate ulteriori impostazioni utili a far funzionare i solutori in modo particolare, e/o per risolvere problemi specifici.

Il pulsante **Rinumerazione** dà accesso al [dialog](#)^[364] che consente di scegliere il rinumeratore tra un insieme di rinumeratori possibili. Mentre prima della versione 4.44 veniva sempre usato il rinumeratore PRM, a partire dalla 4.44 il rinumeratore usato per default è il RCM (Reverse Cuthill McKee), ferma restando la possibilità di scegliere e, al limite, di non rinumerare. Quest'ultimo rinumeratore, RCM, si dimostra nettamente più veloce su problemi medio grandi.

Il pulsante **Memoria** dà accesso ad un opportuno [dialog](#)^[365] che consente di decidere quanta memoria il solutore potrà allocare.

Se viene spuntata la casella **Sparse matrix**, viene lanciato lo sparse solver, altrimenti lo skyline (per i solutori che prevedono questa scelta).

Il flag "**Dof inattivi: Kii!=0**" comporta una scelta che può essere utile in molti casi. Se il flag è spento (manca il segno di spunta) il programma non fa nulla di particolare. Se invece è acceso il programma fa quanto segue. Se nel corso della soluzione viene trovata una riga ove $K_{ii}=0$ (pseudo labilità), un grado di libertà cioè, al quale non sono associate rigidezze, allora il programma si comporta nel seguente modo.

In campo statico se a quel dof non sono associate forze (pseudolabilità non attivata), allora viene posto $K_{ii}=0$, ovvero si pone K_{ii} eguale ad un valore positivo non nullo. Questo non comporta alcun problema per il solving, il dof corrispondente verrà posto eguale a 0 nei calcoli. Se invece ci sono forze (pseudolabilità attivata) la correzione non viene eseguita ed il problema resta irrisolvibile.

In campo dinamico (analisi modal) la correzione viene eseguita se e solo se a quel dof non

sono associate masse. La singolarità viene risolta ponendo $k_{ii} \neq 0$ e dunque andando a calcolare un periodo eguale a zero per il modo associato al dof in esame.

Questo flag consente di non vincolare tutti i dof inattivi (e di porre a zero i corrispondenti spostamenti). Per esempio, in un problema di membrana si potrà evitare di vincolare tutte le rotazioni dei nodi, se questo flag è attivato. In presenza di una labilità, è possibile tentare di rimuoverla attivando questo flag. Se la labilità è una pseudo labilità (nel senso sopra chiarito), allora questa verrà rimossa. Grazie a questo flag è anche possibile porre il drilling factor a zero, evitando così di perturbare la matrice di rigidezza: i dof inattivi verranno riconosciuti ed eliminati con il procedimento descritto.

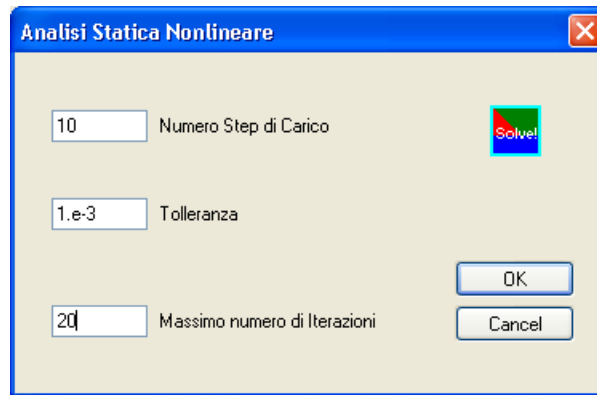
Il flag **Stop dopo assemblaggio** serve ad interrompere l'esecuzione appena dopo la formazione della matrice di rigidezza. Può essere utile su modelli molto grandi, al fine di scegliere il rinumeratore ottimale per il problema in esame.

La quantità **Drilling factor** specifica la frazione della massima rigidezza diagonale che viene messa sul drilling dof dell'elemento plate-shell (rotazione dei nodi nel piano dell'elemento, vettore rotazione perpendicolare al piano dell'elemento). L'aggiunta di termini molto piccoli evita di avere dof rotazionali liberi, e quindi di interrompere la riduzione della matrice di rigidezza. In compenso la presenza di termini diagonali molto piccoli (e dummy) sulla matrice di rigidezza può generare instabilità numerica, allorché il rapporto tra il massimo ed il minimo termine tende a divenire molto grande. La possibilità di eliminare automaticamente i dof liberi consente di evitare l'uso del drilling factor (ponendo questo eguale a zero).

Il pulsante **Elementi Finiti** dà accesso ad un [dialog](#)³⁶⁴ che consente di scegliere il desiderato tipo di formulazione per gli elementi finiti.

Il parametro **Numero di cifre**, che ha effetto per tutti i solutori tranne CURAN, consente di stabilire il numero di cifre significative con cui devono essere stampati i risultati (spostamenti, azioni interne, reazioni vincolari, ecc.). Se non si vuole imporre un numero di cifre definito, è sufficiente lasciare il valore 0.

3.1.12.1.1 Nonlinear static analysis (Dialog)

NONLINEAR STATIC ANALYSIS (DIALOGO)

This dialog is used to set some solver settings, for the non linear solver SOCLEVER.

The **number of load steps** is the number of intervals in which a total load is divided, for each load case.

The **tolerance** is the norm of the relative error which is considered acceptable in order to stop an iteration.

The **maximum number of iterations** is the number of iterations after which, no matter the requested tolerance has been reached or not, the solver stops.

3.1.12.1.2 Nonlinear analysis settings (Dialog)

ACQUISIZIONE DATI PER ANALISI NON LINEARE (DIALOGO)

Questo dialog consente di impostare alcuni parametri di funzionamento del solutore non lineare CURAN.

Di seguito sono spiegate le varie sezioni del dialog; per la definizione e il significato dei vari termini si rimanda alla [terminologia](#)^[182].

Modalità gestione casi di carico (stazioni)

Se si attivano le stazioni ([load path](#)^[182]) i casi di carico non vengono trattati [singolarmente](#)^[182], ma il punto di partenza del caso $n+1$ è la condizione finale del caso n .

Convergenza

Come **norma** dell'errore può essere utilizzata la radice quadrata della somma dei quadrati (SRSS) o la norma infinito (max abs).

Nella sezione **indicatori** possono essere modificate le tolleranze sullo spostamento, sul

residuo, sul lavoro e sulla divergenza. I singoli controlli su spostamento, residuo e lavoro possono essere attivati o meno.

Strategia analisi

L'utente può indicare il *massimo numero di iterazioni*^[182] possibile, raggiunto il quale l'analisi viene interrotta.

L'ampiezza del *passo di carico*^[182] può essere definita a priori dall'utente (ampiezza fissa) oppure possono essere impostati i parametri che governano il controllo e il calcolo del passo a ogni iterazione.

Se si sceglie la prima opzione e si indica, ad esempio, un passo pari a 2, al primo step verrà applicata la metà del carico totale e al secondo step l'altra metà.

Se si sceglie il *controllo automatico dell'ampiezza del passo*^[187], vanno indicati un numero desiderato di iterazioni, l'esponente per la scelta dell'incremento e i valori di incremento massimo e minimo.

Infine è possibile attivare o disattivare la diminuzione automatica dell'ampiezza del passo quando non viene raggiunta la convergenza.

Metodo analisi

Sono attualmente disponibili il metodo di Newton-Raphson completo e quello modificato.

Nonlinearità

Le tre nonlinearità disponibili sono:

- nonlinearità di **materiale**;
- nonlinearità **geometrica**;
- nonlinearità di **contatto**.

Le tre nonlinearità possono essere attivate o disattivate le une **indipendentemente** dalle altre.

La nonlinearità geometrica e quella di contatto hanno validità nel campo dei piccoli spostamenti.

Altri

Si possono attivare o inibire i messaggi informativi durante l'analisi e si può attivare o meno l'interpolazione degli sforzi ai nodi degli elementi bidimensionali e tridimensionali.

Numero punti di integrazione Lobatto (piastre e travi)

Può essere richiesto un numero di punti di Lobatto compreso tra 3 e 12 oppure pari a 20.

Numero di fibre (elementi beam)

Si imposta il numero desiderato di fibre in cui verranno suddivise le sezioni.

Ritorno sul luogo plastico

Si possono definire la tolleranza e il massimo numero di iterazioni.

Arc length

Di default, il controllo sull'[arc length](#)^[172] non è attivato. Per attivarlo occorre spuntare la casella **Passa all'arc length se**, dopodichè si deve scegliere il criterio secondo il quale passare o meno all'arc length. I criteri disponibili sono due:

- CSP: si passa all'arc length quando il *current stiffness parameter* è inferiore al valore limite indicato dall'utente nella relativa casella (CSP,lim);
- STEP: si passa all'arc length dopo il numero di step indicato dall'utente nella relativa casella (STEP,lim).

Sono disponibili 4 tipi di controllo arc length:

- sferico (Crisfield)
- cilindrico (Crisfield)
- Ramm
- Fried

I diversi tipi di controllo di arc-length differiscono per la misura dell'arco e per il criterio con cui viene calcolata la correzione iterativa. Il metodo più frequentemente usato è quello cilindrico, che usa solo il vettore degli spostamenti nodali per misurare l'arc length. Il metodo sferico è simile, ma la misura dell'arco è fatta usando oltre agli spostamenti anche i residui.

L'argomento è specialistico. Si rimanda ai testi seguenti per i necessari approfondimenti:

- [1] M.A. Crisfield, Non-linear Finite Element Analysis of Solids and Structures, Volume 1, Wiley, 2003
- [2] M.A. Crisfield, Non-linear Finite Element Analysis of Solids and Structures, Volume 2 - Advanced Topics, Wiley, 1997
- [3] Daniele Ferretti, Ivo Mori, Marco Morini, La stabilità delle strutture, McGraw-Hill, 2002

Altri parametri

Si possono impostare il valore sotto al quale un pivot viene considerato nullo e la precisione del moltiplicatore limite. Inoltre é possibile chiedere la stampa degli spostamenti ad ogni iterazione.

3.1.12.1.3 Modal analysis (Dialog)

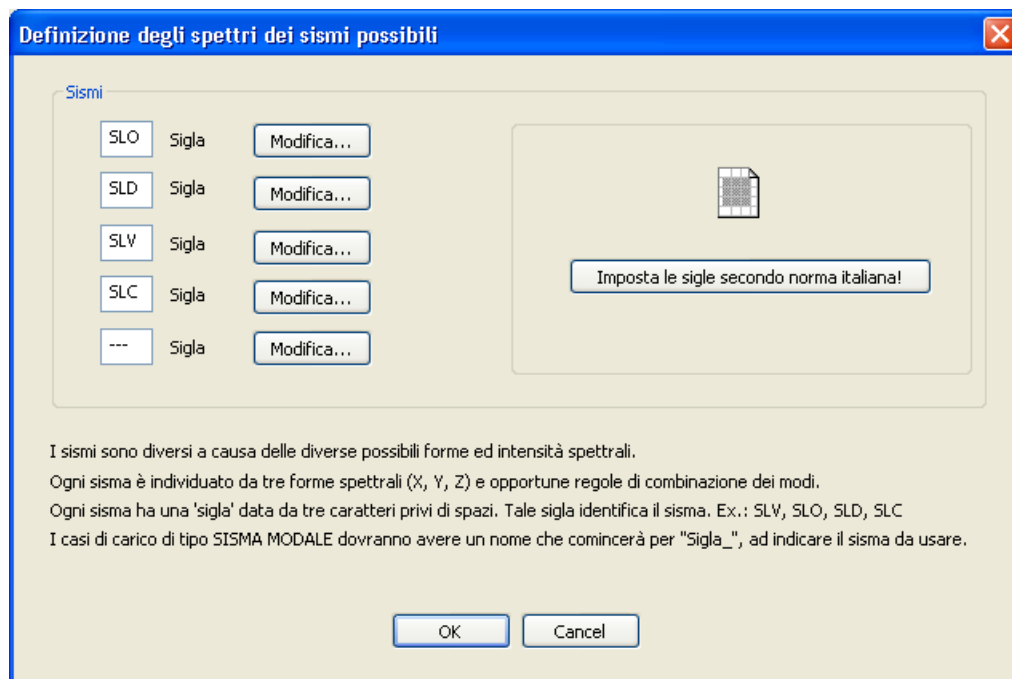
MODAL ANALYSIS (DIALOG)

This dialog is used to set the modal analysis (see [Modal analysis with LEDA](#)^[148]).

The flag **Gravity** is used to decide if the masses due to elements self-weight will be automatically added (x), or not, to the model masses.

3.1.12.1.4 Response Spectrum Analysis (Property sheet)

3.1.12.1.4.1 Possible earthquakes spectra definition (dialog)



This dialog is used to define the earthquakes acting over the structure in several possible load cases of the kind EARTHQUAKE_MODAL. There are always five possible sets of three spectra that can be used, or not. The user must assign to each earthquake (i.e. to each set of three spectra, one for X direction, one for Y direction, and one for Z direction) a string with three characters, an identifier, that will be later used by the load cases of the EARTHQUAKE_MODAL kind that will apply that earthquake (the name of these load cases will begin with the earthquake identifier. For instance, using the data of the picture, earthquake SLV will be used by the load cases of the EARTHQUAKE_MODAL kind, having a name that begins with "SLV_").

Once the identifiers has been set (possibly also using the button **Set the IDs according to Italian standard!**), the set of the three spectra, one for each direction, and the modal-effects combination rules are specified, by pressing the proper button **Modify**. This gives access to a [property sheet](#)³⁵⁷ that is used to define the spectra and the modal-effects combination rules.

3.1.12.1.4.2 Spectrum X, Y, Z (Property pages)

SPECTRUM X, Y, Z (PROPERTY PAGES)

These property pages are used to choose among six possible spectrum types: the Italian D.M. (1996 e 2008), the Eurocode 8 (EC8), the spectrum defined in Ordinance 3274 PCM issued March, 20, 2003, the ASCE-7 (2005) spectrum, and a spectrum defined by points.

The spectrum type is decided by the chosen **Activate** radio button.

These three property pages are followed by a [property page](#)^[357] related to modal combination methods.

To get more information see [Response Spectrum Analysis by SPECTRUM](#)^[155].

3.1.12.1.4.3 Mode combinations and error factors (Property page)

COMBINAZIONE DEI MODI E FATTORE DI ERRORE (PROPERTY PAGE)

Questa property page fa decidere in che modo l'effetto dei vari modi verrà combinato per dare il risultato complessivo (cfr. anche [Analisi a spettro di risposta con SPECTRUM](#)^[155]).

I metodi possibili sono tre: il **metodo NRC**, il metodo dell'**amplificazione modal** ed il metodo della Complete Quadratic Combination (CQC) . Il metodo desiderato viene scelto accendendo il flag **attiva** corrispondente.

Per ogni caso di carico di tipo sisma modal è possibile indicare un **modo di riferimento**. Tale modo di riferimento, se indicato, sarà impiegato per determinare i segni degli spostamenti, delle reazioni e delle azioni interne. Se invece il modo di riferimento è 0, allora non sarà inizialmente eseguita alcuna correzione.

Una ulteriore correzione è poi eseguita opzionalmente e dipende dai valori dei parametri n, mt, m2 ed m3. Se essi sono nulli i segni corrispondenti non saranno modificati (e rimarranno o indisturbati, se per quel caso di carico non è stato specificato alcun modo di

riferimento, o eguali a quelli del modo di riferimento se questo è stato indicato).

n indica se dare o meno correzione al segno dell'azione assiale: 0 indica nessuna correzione, un numero negativo indica che le azioni assiali saranno negative, un numero positivo indica che le azioni assiali saranno positive. Tutti gli elementi saranno dunque tesi ($n > 0$) o compressi ($n < 0$).

mt indica se dare o meno correzione al segno del momento torcente: 0 indica nessuna correzione, un numero negativo indica che i momenti torcenti saranno negativi, un numero positivo indica che i momenti torcenti saranno positivi.

m2 indica se correggere o meno il momento flettente secondo l'asse locale 2. 0 indica nessuna correzione, un numero positivo corrisponde a un diagramma in cui il momento ha sempre lo stesso segno. Un numero negativo corrisponde a un diagramma “a farfalla”. In entrambi i casi il taglio T3 verrà ricalcolato in modo da far equilibrio ai momenti ottenuti combinando i modi. Se non si vuole questa correzione occorre dare il valore 0 (e in questo caso tagli e momenti non saranno più in equilibrio).

m3 indica se correggere o meno il momento flettente secondo l'asse locale 3. 0 indica nessuna correzione, un numero positivo corrisponde a un diagramma in cui il momento ha sempre lo stesso segno. Un numero negativo corrisponde a un diagramma “a farfalla”. In entrambi i casi il taglio T2 verrà ricalcolato in modo da far equilibrio ai momenti ottenuti combinando i modi. Se non si vuole questa correzione occorre dare il valore 0 (e in questo caso tagli e momenti non saranno più in equilibrio).

cluster indica il fattore di cluster ($0.1 = 10\%$).

mantieni i segni dei modi è un flag che se attivato comporta il fatto che nella CQC gli effetti dei singoli modi siano presi col segno. Ciò comporta il fatto che i doppi prodotti pesati dal coefficiente di correlazione possano anche essere negativi. Se invece il flag è spento, allora verranno usati i valori assoluti, il che dà sempre luogo a doppi prodotti positivi.

Coefficiente di smorzamento viscoso equivalente: è un numero puro in genere pari a qualche percento. E' usato nel metodo della CQC per calcolare il coefficiente di correlazione modale.

Modo indica quale modo amplificare per il caso di carico selezionato nella lista posta immediatamente a sinistra.

Fattori di errore

A partire dalle versione 7.1 la soluzione mediante il metodo dello spettro di risposta viene eseguita – a richiesta – anche secondo il metodo dello spettro di risposta con fattore di errore. Per una estesa trattazione del tema, si rimanda all’articolo allegato: [Spettro di risposta con fattore di errore](#)¹⁰⁶⁶.

Il fattore di errore è un numero che è considerato in genere maggiore di 1 e dà conto del fatto che una certa grandezza al valore nominale, d^* , possa invece assumere un valore da questo diverso. Pertanto il programma indaga cosa succede se il valore “reale” d è più basso (d^*/f) oppure più alto ($d*f$) di quello nominale d^* .

Il fattore di errore non è né potrebbe essere un numero “rigoroso”, probabilistico o “esatto”, ma solo una (peraltro fondamentale) stima ingegneristica, motivata da considerazioni che dipendono dal singolo problema in esame. Il fattore di errore è un grado di libertà che il progettista mantiene per sé e che serve ad indagare situazioni prossime, ma non simili, a quelle allo studio.

Vengono definiti i seguenti fattori di errore:

Sul fattore di struttura (f_{eq}). Ovviamente il fattore di struttura “di calcolo” risulterà pari a q^*/f , essendo a favore di sicurezza il numero minore. Porre $f_q=1$ significa non variare il coefficiente di struttura nominale.

Sulla intensità di massa a parità di distribuzione (f_{eM}). In genere spostamenti e sollecitazioni aumentano con la massa, e quindi generalmente il programma finirà con l’adottare una risposta con un livello di massa pari a $M*f_{eM}$. Porre $f_{eM}=1$ significa non variare la intensità di massa. Questo fattore di errore è a parità di distribuzione, e quindi non c’entra nulla con l’eccentricità accidentale, che dovrà essere studiata a parte.

Sulla intensità del modulo elastico (f_{eE}). In pratica la rigidità viene variata in modo omogeneo a parità di distribuzione. Ciò viene fatto anche quando nel modello compare più di

un materiale. Non esiste un caso valido in generale. Gli spostamenti tendono a diminuire all'aumentare di E, ma le azioni interne restano invariate o aumentano. Porre $f_{eE}=1$ significa non variare il modulo di elasticità e quindi non variare la rigidezza.

Sul periodo (f_{eT}) a causa di errori non dipendenti dalla intensità di massa o di rigidezza. Tale fattore di errore tiene in conto le incertezze sul periodo di calcolo dovute alla discretizzazione alle dimensioni geometriche, ecc..

In generale, detto T il periodo di un modo, C il suo coefficiente di risposta, X lo spostamento ad esso associato, e F la azione interna ad esso associata, valgono le seguenti espressioni per i fattori di errori derivati:

$$f_{eT} = f_{e2T} \sqrt{\frac{f_{eM}}{f_{eE}}} \quad (*)$$

$f_{eC}=f_{eC}(T, f_{eT}, f_{eM}, f_{eE}, f_{eq})$ una funzione che dipende dallo spettro adottato

$$f_{eX}=f_{eC}f_{eT}^2$$

$$f_{eF}=f_{eM}f_{eC}$$

Il programma calcola dapprima dei periodi « lower bound » ed « upper bound » grazie alla (*). Da questi può valutare dei coefficienti di risposta “lower bound” e “upper bound” e quindi dei fattori di errore su C, f_{eC} . Fatto ciò, il programma indaga sugli spostamenti e sulle azioni interne mediante le due formule indicate, e quindi perviene ai massimi valori (>1) per f_{eX} ed f_{eF} . A questo punto i valori “nominali” degli spostamenti saranno amplificati da f_{eX} , mentre i valori nominali degli sforzi saranno amplificati da f_{eF} . Il risultato è una sovrastima a favore di sicurezza, tenendo in conto possibili variazioni di fattore di struttura, della intensità di massa a parità di distribuzione, della intensità di rigidezza a parità di distribuzione, del periodo a causa di errori diversi da quelli indicati.

Poiché in generale f_{eX} ed f_{eF} saranno diversi, è normale che gli spostamenti in uscita non siano “coerenti” con le azioni interne calcolate sul modo. Il programma prende le variazioni che

comportano, separatamente, il caso peggiore (spostamenti maggiori, azioni interne maggiori).

Un volta calcolati gli effetti modali in questo modo, questi vengono poi combinati per le vie normali.

Valori da adottare per i fattori di errore

Ovviamente dipende dalle circostanze, dal tipo di struttura ecc. Si possono comunque dare le seguenti indicazioni di larga massima.

Fattore si struttura.

Nei casi più fortunati, ovvero strutture simili a quelle studiate in letteratura, regolari, normate, un 10% di errore sul fattore di struttura sembra il minimo, pertanto nei casi più fortunati 1.1 per f_q .

Massa

Se la struttura è stata accuratamente modellata (anche per le masse non strutturali), e i variabili sono modesti ci si può limitare a un 5% ($f_m=1.05$). Nel caso in cui le masse siano state valutate grossolanamente e/o i variabili siano molto importanti, $f_m=1.1-1.2$. Errori maggiori suggeriscono di migliorare il modello o di indagare varie possibili configurazioni di variabili.

Rigidezza

Per strutture in acciaio nelle parti rilevanti, $f_{eE}=1.02-1.05$. Nel caso del calcestruzzo almeno $f_{eE}=1.1$, ma anche $f_{eE}=1.3$ dipendentemente dal tipo di garanzia sulla qualità del calcestruzzo che si può pensare di ottenere.

Periodo (errori aggiuntivi)

Del tutto ineluttabile appare un $f_{eT}=1.05$. Nel caso di strutture rozzamente modellate, o prive di estremi rigidi benchè funzionanti a telaio, anche $f_{eT}=1.1-1.2$.

Calcolo spostamenti

Nei casi in cui sia definito un fattore di struttura, il calcolo degli spostamenti e delle azioni interne avviene in coerenza con uno spettro di risposta elastico ridotto mediante il fattore di struttura q . Mentre le azioni interne sono "corrette" nel senso che tengono conto della duttilità, gli spostamenti non sono coerenti con quanto si otterrebbe sull'oscillatore semplice, dato che gli spostamenti effettivi sono molto maggiori di quelli ottenuti con lo spettro di progetto (ovvero lo spettro elastico ridotto dal fattore di struttura q). Essi si ottengono moltiplicando gli spostamenti coerenti con lo spettro di progetto per un fattore μ . Normalmente gli spostamenti "plastici" sono coerenti con quelli dello spettro elastico (regola di egual spostamento, posto T_1 come periodo del modo considerato, se $T_1 > T_C$ e allora $\mu=q$, ma in certi casi il fattore μ può essere maggiore di q (quando $T_1 < T_C$). Se gli spostamenti "effettivi" (ovvero quelli plastici) devono essere utilizzati per le verifiche si hanno due possibilità.

- 1) Si calcolano gli spostamenti ridotti dal fattore di struttura q e poi ci si ricorda di moltiplicare tali spostamenti per μ ogni volta che vengono utilizzati.
- 2) Si calcolano gli spostamenti senza ridurli per il fattore q e si usano direttamente per le verifiche.

Per default il programma segue l'approccio 1), ovvero utilizza lo spettro di progetto sia per le azioni interne che per gli spostamenti. In questo modo gli spostamenti danno luogo alle azioni interne calcolate, con l'ordinario legame sforzi-deformazioni. E' tuttavia possibile attivare l'approccio 2, ed in tal caso le azioni interne e le reazioni vincolari saranno calcolate con lo spettro di progetto, mentre gli spostamenti con lo spettro elastico. Per attivare l'opzione 2) occorre porre un segno di spunta nella casella "**escursione plastica**".

3.1.12.1.5 Buckling analysis (Dialog)

BUCKLING ANALYSIS (DIALOG)

This dialog is used to set the modal analysis (see [Buckling Analysis with BUCKLING](#)



3.1.12.1.6 Frequency response (Dialog)

FREQUENCY RESPONSE (DIALOGO)

Frequency Response

Frequenze delle forzanti caso per caso (hz)

Caso	Freq. (hz)
1	1.000
2	1.000
3	1.000
4	1.000
5	1.000
6	1.000
7	1.000
8	1.000

esempio:
1 5.3
2 1.2

Combinazione casi

☒ SRSS

☐ Valore efficace

☐ Somma dei moduli

Smorzamento modale

Numero punti:

Freq. (hz)	Smorz. (nu)
0.000e+000	0.000e+000
1.000e+002	5.000e-002

esempio:
2.5 0.05
10.0 0.10

Modi da tenere in conto

<input checked="" type="checkbox"/>	# 1
<input checked="" type="checkbox"/>	# 2
<input checked="" type="checkbox"/>	# 3
<input checked="" type="checkbox"/>	# 4
<input checked="" type="checkbox"/>	# 5
<input checked="" type="checkbox"/>	# 6
<input checked="" type="checkbox"/>	# 7
<input checked="" type="checkbox"/>	# 8

Questo dialog consente di impostare il funzionamento del solutore per l'analisi di risposta in frequenza.

Nel riquadro in alto a sinistra **“Frequenza delle forzanti caso per caso (hz)”** vengono stabiliti i valori di frequenza delle forzanti caso per caso a partire dal primo. Se il numero di casi di carico è maggiore di 1 l'ultimo caso di carico non compare, essendo riservato alla combinazione degli effetti.

Nel riquadro in basso a sinistra (**Smorzamento modale**) vengono definiti i punti che individuano la curva che dà lo smorzamento in funzione della frequenza. Se il numero di punti cambia occorre specificare il nuovo valore e poi premere il tasto **Aggiorna**. Per ogni punto occorre fornire prima la frequenza (in hertz) e poi lo smorzamento relativo al critico.

Nel riquadro in basso a sinistra (**Modi da tenere in conto**) si selezionano o deselectano i modi a seconda che si desideri o meno tenerne conto nei calcoli. Il pulsante **Tutti** consente di specificare che si vogliono tenere in conto tutti i modi, nessuno escluso.

Il riquadro in alto a destra (**Combinazione Casi**) consente di specificare il metodo da impiegare per combinare gli effetti di diversi insieme di forze agenti a frequenze differenti. Sono possibili tre sistemi: SRSS (radice quadrata della somma dei quadrati), valore efficace e somma dei moduli.

3.1.12.1.7 Type of finite element (Dialog)

TIPO DI ELEMENTI FINITI (DIALOGO)

Questo dialog consente di scegliere il tipo di formulazione per gli elementi finiti, disponibile nei vari solutori. Per una discussione sui vari elementi finiti disponibili si veda [Come scegliere gli elementi finiti](#)^[214].

CST	elemento triangolare a deformazione costante
QUAD4	elemento isoparametrico bilineare integrazione piena
QUAD4SRI	elemento isoparametrico bilineare integrazione selettiva (2x2+1x1).
QM6WI	elemento a 4 nodi non compatibile modificato alla Wilson-Ibrahimbegovic
TETRA	elemento tetraedrico a deformazione costante
PENTA	elemento pentaedrico
BRICK	elemento isoparametrico trilineare
BRICKSRI	elemento isoparametrico trilineare a integrazione ridotta (2x2x2 per la parte flessionale, 1x1x1 per la parte tagliante)
BRICKWI	elemento isoparametrico con correzione di Wilson Ibrahimbegovic.

3.1.12.1.8 Renumbering (Dialog)

RINUMERAZIONE (DIALOGO)

Questo dialog consente di scegliere uno dei rinumeratori disponibili, o anche di evitare la rinumerazione. Il problema della rinumerazione ha un suo peso esclusivamente su modelli grandi (> 10.000 equazioni).

Se impiegando il command che consente di riordinare i nodi si è giunti ad una ampiezza di banda soddisfacente, si può evitare di far eseguire la rinumerazione, risparmiando tempo di

calcolo. Se invece la base di partenza è un modello con banda elevata (> 10% dell'ordine del problema), allora è consigliabile rinumerare.

I metodi disponibili sono:

RCM Reverse Cuthill Mc Kee, è un CM con l'ordine invertito.

CM Cuthill Mc Kee

PFM Profile Front Minimization (da un lavoro di Wilson)

PRM, ovvero PFM modificato con un maggior numero di passaggi per valutare la gerarchia dei nodi, secondo un suggerimento dato dallo stesso Wilson nel suo lavoro.

Su modelli molto grandi RCM si mostra nettamente più veloce di PRM e PFM, ed inoltre il profilo è minore di quello ottenibile con il semplice CM. Pertanto RCM è la scelta consigliata ed attuata per default.

3.1.12.1.9 Memory (Dialog)

MEMORIA DA ALLOCARE

Questo dialog consente di scegliere la quantità di memoria che i solutori andranno ad allocare.

Il dialog è diviso in due parti.

Nella parte di destra sono riepilogati alcuni dati utili per fare la scelta.

Memoria fisica

E' la memoria RAM totalmente esistente sul computer.

Memoria disponibile

È la quantità di memoria RAM libera, ovvero non impegnata dal sistema operativo o da altri processi, nel momento attuale..

Page file totale

E' la quantità totale di memoria virtuale. E' una memoria ad accesso più lento.

Page file disponibile

E' la quantità di memoria virtuale disponibile nel momento attuale.

Nella parte di sinistra si può scegliere tra due opzioni. L'opzione standard prevede che

il programma allochi tutta la **memoria disponibile**. Questa è in linea di principio la scelta ottima, in quanto sfrutta la RAM (e non la memoria virtuale) e non interferisce con gli altri processi attivi. Sotto W95, e peggio ancora sotto W98, tuttavia, la quantità di memoria disponibile può essere così bassa (<1Mb) da risultare decisamente troppo esigua. Il problema può essere eliminato o ridotto chiudendo le applicazioni attive ed eliminando dalla *esecuzione automatica* programmi tipo office che risultano particolarmente avidi di memoria. Se necessario si può specificare una quantità di memoria ben definita anzichè quella libera. Questa memoria può essere una frazione della memoria RAM totale (per esempio 1/3, 1/2) oppure può essere pari o superiore alla RAM totale. Se la memoria è una frazione della RAM disponibile si hanno ottime probabilità (crescenti con il ridursi della frazione) che il s.o. allochi questa memoria come memoria fisica, eventualmente penalizzando (rallentando) le altre applicazioni correntemente eseguite (e cioè scaricandone la RAM su disco). Se invece la memoria si avvicina o supera drasticamente la memoria RAM esistente, allora si farà certamente uso della memoria virtuale, ragion per cui si avrà un rallentamento generale delle operazioni, dovuto al continuo swap su disco.

Tutti i solutori di Castalia hanno una loro strategia di swap su disco, per cui potendo scegliere è meglio evitare l'uso della memoria virtuale. In certi casi tuttavia, è possibile che il fatto di vedere la matrice di rigidezza divisa in pochi blocchi sia globalmente più favorevole, ancorchè venga usata la memoria virtuale. Su problemi grossi rispetto all'hardware disponibile la scelta ottima deve essere raggiunta sperimentalmente.

Si tenga presente che la sola matrice di rigidezza occupa uno spazio in bytes ottenibile dalla seguente formula:

$$S = \text{ndof} * \text{avb} * 8$$

Dove ndof è il numero di gradi di libertà, avb è la banda media (average bandwidth). L'ideale sarebbe avere una RAM allocata ALLRAM tale che

$$\text{ALLRAM} > S$$

3.1.13 Create Input

COMMAND: File-Crea Input

Questo command consente di creare in automatico un file di input formattato adatto ad

uno dei solutori con i quali Sargon è interfacciato. Al command corrisponde un [Dialog](#)^[367], che fa scegliere il solutore desiderato. Al termine del command, nel direttorio del modello sarà presente un file avente le caratteristiche richieste. Il file può essere senza estensione, in funzione del solutore scelto.

Note: per creare il file di input per Sap2000 è necessario che nel modello non vi siano casi di carico o combinazioni con nomi uguali.

Type: modal

Destination: document.

3.1.13.1 Writing of Input file (Dialog)

WRITING OF INPUT FILE (DIALOG)

This dialog is used to choose a solver, so that the program will prepare an input file for it.

3.1.14 Import results

COMMAND: File-Importa Risultati

Questo command consente di caricare in Sargon i risultati ottenuti con uno dei solutori con i quali Sargon è interfacciato. In pratica il command lancia un eseguibile che legge i file di output del solutore scelto e scrive i file binari con sforzi e spostamenti nel formato di Sargon. I file di output del solutore devono essere nello stesso direttorio del file .wsr corrispondente al modello. Alla esecuzione del command corrisponde un [Dialog](#)^[370] che fa scegliere il solutore.

Nota per gli utenti di SAP80[©]

Sap80[©] non produce file binari utilizzabili da SARGON in fase di lettura dei risultati.

Per tale ragione l'interfacciamento tra Sap80[©] e SARGON viene ottenuto leggendo i tabulati prodotti dal solutore sotto forma di file ASCII.

I criteri un pò bizzarri impiegati da Sap80[©] nella generazione dei campi numerici fanno sì che alcune tra le possibili scelte di unità di misura penalizzino fortemente la precisione dei risultati scritti da Sap80[©] in forma tabulare. Per esempio, se i tagli T2 o T3 sono nulli nel tabulato mentre nulli non sono (ciò può avvenire in SAP80[©] a causa dell'impiego di un formato fisso non esponenziale), i diagrammi di momento e di taglio calcolati di conseguenza saranno scorretti.

In linea generale si ottiene la massima precisione in output scegliendo unità di misura "piccole" quando si genera il file di input del solutore (ad esempio, [mm] piuttosto che [m] per le lunghezze, [N] piuttosto che [t] per le forze ecc.).

Una volta caricati i risultati l'utente è poi libero di impiegare il sistema di unità di misura a lui più comodo.

Nota per gli utenti di SAP90[©]

Dalla versione 2.26 in poi, SARGON gestisce sia la versione 5.01 che le versioni 5.10 e 5.20 di Sap90[©]. Le versioni di Sap90[©] in questione sono infatti differenti relativamente ai file binari di output (segnatamente il .s3). Per decidere quale versione di Sap90[©] è stata adottata SARGON usa il seguente criterio:

- se esistono i file .ERR, .PL, .LDS, nessuno escluso, la versione è la 5.01.
- se esiste il file .P1 la versione è la 5.10 o la 5.20 (è indifferente quale delle due).
- se la versione non è nè la 5.01, nè la 5.10 nè la 5.20 la versione è sconosciuta:

in tal caso viene stampato un messaggio d'errore in fase di caricamento dei risultati Sap90.

Poichè la Casa Madre non garantisce l'uniformità dei formati, si raccomanda l'utenza Sap90[©] di prestare particolare attenzione ad ogni cambio di versione, verificando, nelle prime esecuzioni, la bontà dei risultati letti e avvisando Castalia di ogni malfunzionamento. In ogni caso Castalia non garantisce la bontà dei risultati per versioni diverse dalla 5.01, 5.10, 5.20.

Nota per gli utenti di SAP2000[©]

L'interfacciamento con sap2000 è stato realizzato a partire dalla versione 7.1 di Sap2000, e dalla versione 4.45 di Sargon. Nelle sue linee generali, l'interfacciamento con Sap2000 segue le regole generali già descritte per Sap90, la differenza è che il file di input non può essere fatto girare direttamente, ma deve prima essere importato in Sap2000. In effetti il file che viene scritto non è altro che un file di input per Sap90, il quale può essere importato in Sap2000 (command File-Import).

Una volta importato il file in Sap2000, si può eseguire il solving producendo i due file binari di output, che sono il file *modello.u* e *modello.u3*. Il primo file contiene gli spostamenti, il secondo file contiene le azioni interne negli elementi. Il primo file ha un numero di bytes eguale a

$$Nd*6*8*Nl$$

Dove Nd è il numero di nodi, Nl il numero di casi di carico base. Il file .u3 ha invece un numero di bytes eguale a:

$$(Nb+Nt)*6*5*8*Nl$$

dove Nb è il numero di elementi beam, Nt il numero di elementi truss, Nl il numero di casi di carico. *Il numero 5 indica che le azioni interne sono campionate in cinque punti lungo l'elemento.* Ogni eventuale modifica, facilmente riscontrabile controllando il numero di bytes del file, porterebbe alla errata lettura dei risultati.

Per importare i risultati da Sap2000 conviene seguire questa procedura:

- Creare in file di input per sap90/sap2000 con sargon;
- Spostare il file creato in un'altra cartella di servizio
- Avviare sap2000 ed importare il file nella cartella di servizio;
- Eseguire l'analisi
- Spostare i file modello.u e modello.u3 nella cartella originaria
- Importare i risultati con il command sargon File-Importa risultati

Lo spostamento di cartella è necessario in quanto anche sap2000 usa l'estensione .sdb.

Type:modal

Destination: document.

3.1.14.1 Loading of solve results (Dialog)

READING OF THE SOLVING RESULTS (DIALOG)

This dialog is used to choose the solver whose results must be imported.

3.1.15 Create listing

COMMAND: File-Crea Listato

Questo command consente di creare un file ASCII corrispondente al tabulato di output del programma. Il tabulato è organizzato in capitoli, che possono essere inclusi o meno nel tabulato. In generale vengono stampate le informazioni relative agli oggetti selezionati. I risultati delle verifiche vengono sempre stampati su tutti gli elementi. Alla esecuzione del command corrisponde un opportuno [property sheet](#)^[371] composto da cinque fogli ([Lingua](#)^[371], [Geometria e Proprietà](#)^[371], [Casi Combinazioni e Azioni](#)^[372], [Risposta Structurele](#)^[372], [Verifiche](#)^[372]), ognuno dei quali corrisponde ad un certo insieme di capitoli.

Il tabulato ha un'estensione di tre lettere. La prima lettera indica la norma attiva al momento di esecuzione del command (A, C, E, B per CNR, AISC, EC3, BS); la seconda e la terza lettera dipendono dalla lingua scelta: IT per italiano, EN per inglese. Così un tabulato

.CEN indica norme CNR ed è scritto in inglese (gli altri CIT, EIT, EEN, AIT, AEN di conseguenza). Nel caso della norma CNR SL le estensioni differiscono da questa regola, e sono: C2I (italiano), C2E (inglese), C2S (spagnolo).

Una volta eseguito il command si può scegliere di aprire automaticamente il file usando blocco note.

Type:modal

Destination: document.

3.1.15.1 Listing creation (Property sheet)

LISTING CREATION (PROPERTY SHEET)

This property sheet embeds the following property pages:

[Language](#)^[371]

[Geometry and Properties](#)^[371]

[Load cases and combinations](#)^[372]

[Structural Response](#)^[372]

[Checks](#)^[372]

3.1.15.1.1 Language (Property page)

LANGUAGE (PROPERTY PAGE)

This property page is used to choose the language used to create the output listing.

3.1.15.1.2 Geometry and properties (Property page)

GEOMETRY AND PROPERTIES (PROPERTY PAGE)

This property page is used to choose the chapters of the listing to be added.

3.1.15.1.3 Load cases and combinations (Property page)

LOAD CASES COMBINATIONS AND ACTIONS (PROPERTY PAGE)

This property page is used to set the chapters of the output listing to be added.

3.1.15.1.4 Structural response (Property page)

STRUCTURAL RESPONSE (PROPERTY PAGE)

This property page is used to choose the chapters of the listing to be added or not.

3.1.15.1.5 Checks (Property page)

CHECKS (PROPERTY PAGE)

This property page is used to choose the chapters of the listing to be added or not.

3.1.16 Create ePUB report

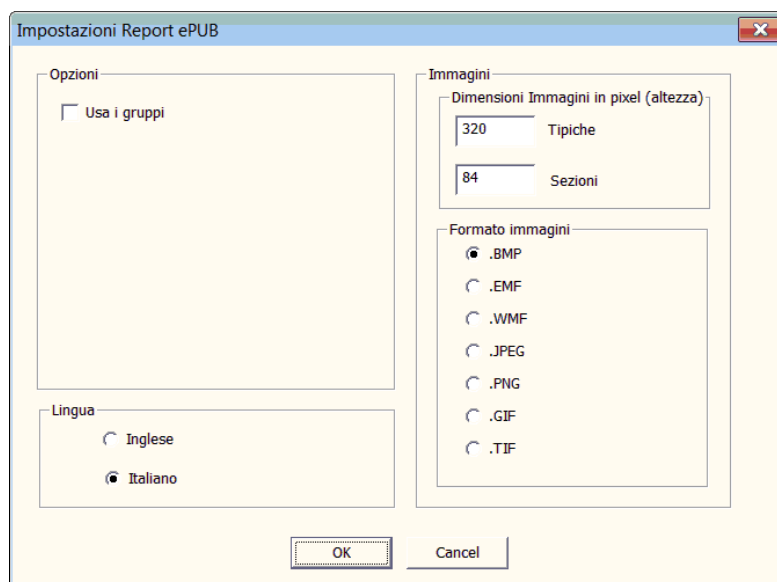
COMMAND: File-Report Epub

When this command is executed, a proper dialog appears, which is used to input the settings related to ePUB report creation.

It must be kept into account that also comments can be added to report ePUB, by storing these comments in texts thanks to the commands placed in the menu Structure-Texts.

3.1.16.1 Report ePUB settings (Dialog)

EPUB REPORT SETTINGS (DIALOG)



This dialog is used to input the settings to be used for ePUB report file creation: the language, the size in pixels of the images (those referring to the view of the structure: "Typical") or of the cross-sections (those referring to cross-sections "Cross-Sections"). You can also choose the format of the images (suggested: .PNG) and therefore set the file-size and the quality of the images.

The flag "Use Groups" is used to add to the table of results, also the rows referring to the groups. It is specially useful in order to divide the results of plates and membranes, depending on the group to which they belong. If no group has been defined, then it's better to avoid using this option.

It is recalled that some customized strings can be added to the report, by using the commands placed in the menu Structure-Text.

3.1.17 Export

COMMAND: File-Esporta

Questo command consente di esportare informazioni (sotto forma di file) da Sargon. Alla sua esecuzione corrisponde la creazione di un file del tipo scelto dall'utente, e con il nome del modello. Scelto il tipo sono anche scelte le informazioni contenute. Ad esempio, il tipo .dxf indica la creazione di un file in formato .dxf contenente il disegno tridimensionale della struttura. Il tipo .arf indica informazioni di rimando per Strucad, e così via. I tipi disponibili sono:

.dxf	per AUTOCAD
.arf	per STRUCAD

A partire dalla versione 9.00 il command relativo alla esportazione di primitive grafiche in formato dxf è stato potenziato in modo da assorbire le funzionalità precedentemente incluse nei moduli ARX, non più supportati. In particolare è possibile esportare sia travi e bielle che piastre e membrane. Alla esecuzione del command compare un opportuno [dialog](#)³⁷⁴ che consente di stabilire i criteri con i quali il file DXF viene creato.

Type:modal

Destination: document.

3.1.17.1 File creation (Dialog)

CREAZIONE DI UN FILE (DIALOGO)

Questo dialog serve a stabilire l'estensione del file di esportazione e, nel caso del file DXF, a decidere in che modo il file debba essere creato.

Se si sceglie come estensione “.arf” si crea un file di collegamento con STRUCAD.

Se si sceglie “.dxf” si crea un file di collegamento per tutti i CAD DXF compatibili. In questo ultimo caso sono presenti alcune caselle di scelta che consentono di stabilire in che modo venga creato il file.

Travi e bielle: sono contenute in questo riquadro le scelte in merito agli elementi finiti beam e truss.

Piastre e membrane: sono contenute in questo riquadro le scelte in merito agli elementi finiti

piastra e membrana.

Travi e bielle

Come wireframe: ogni beam o truss (o membratura) viene esportata come una linea.

Come solidi (linee e polilinee): ogni beam o truss viene trasformata in solido descritto per mezzo di linee

Come solidi (facce 3d): ogni beam o truss o membratura viene trasformata in solido descritto per mezzo di facce 3d. Questa scelta è consigliabile per il rendering e lo shading.

Non esportare: in questo caso gli elementi non verranno eportati

Solo selezionate: in questo caso verranno esportati solo gli elementi selezionati (travi o bielle)

Con eccentricità: in questo caso nella creazione del file si terrà conto della presenza di eventuali eccentricità

Come membrature e non come fem: in questo caso il programma ricerca automaticamente le membrature (usando il segno di connessione e le informazioni sulla giacitura e sulle forme sezionali) ed esporta quelle. Ciò vuol dire che un pezzo spezzato in più elementi finiti viene di fatto ad essere esportato come un elemento unico.

Piastre e membrane

Come facce 3d: ad ogni elemento corrisponde una sola faccia 3d

Come solidi (tutte linee): in questo caso si restituiscono i solidi tenendo conto dello spessore, ma restituendo i solidi mediante linee.

Come solidi (facce 3d): in questo caso si restituiscono i solidi tenendo conto dello spessore e mediante 5 (elementi triangolari) o 6 (elementi quadrangolari) facce 3d.

Non esportare: in questo caso questi elementi non vengono esportati

Solo selezionate: in questo caso vengono esportati solo gli elementi selezionati

Le funzionalità servite da questo dialog sostituiscono quelle servite dal modulo WSR.ARX e dal command WSRIN, descritto in precedenti versioni del programma.

3.1.18 Import

COMMAND: File-Importa

Questo command importa in Sargon informazioni contenute in file esterni aventi un certo formato. I formati possibili sono:

.anf	mesh in formato STRUCAD di ACECAD.
.bed	ALGOR BEDIT
.csv	ALGOR
.dat	STRAP (file geomX.dat)
.dxf	mesh in formato AUTOCAD di AUTODESK.
.esd	mesh in formato SuperDrawII della ALGOR.
.mct	midas
.r3d	risa3d
.sdb	Sap 2000 (deve risiedere sul computer in uso)
.shl	SICS
.sr2	modello Sargon Windows, file binario interno di scambio
.sr3	modello Sargon Windows, file binario esterno di scambio
.sr4	modello Sargon Windows, file ASCII di scambio
.srg	modello Sargon in versione DOS.
.std.txt	STAAD (file creato usando la macro STD2STX.VBS da dentro STAAD PRO)

Per eseguire questo command è necessario che il modello sia nuovo. Per informazioni su come importare file in formato .dxf, .esd o .anf si veda [Come creare la mesh](#)^[37].

Type:modal

Destination: document.

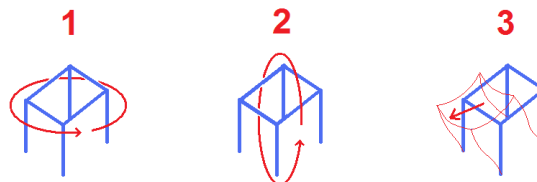
3.1.19 Create file avi...

COMMAND: File-Crea file avi

Questo command consente la creazione di video in formato *avi* del modello Sargon corrente. I video sono costituiti da una successione di immagini statiche opportunamente create e disposte da Sargon, in accordo ai parametri definiti dall'utente nel [dialog^{\[379\]}](#) proposto all'esecuzione del command.

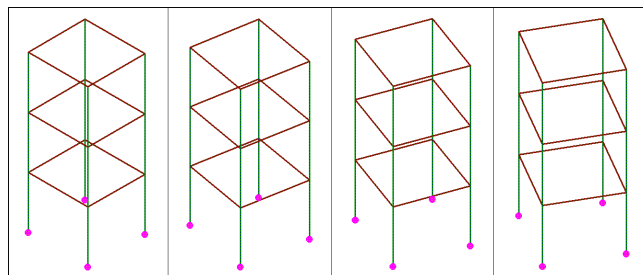
E' possibile creare 3 tipi di filmato:

1. **Volo uccello su parallelo:** a partire dalla vista corrente, viene effettuata una rotazione di 360° della vista, come se una telecamera ruotasse attorno alla struttura su un piano parallelo. Se è attivo un command di post-processing, i risultati corrispondenti verranno inclusi nella vista (ad esempio se è attiva la visualizzazione degli sforzi assiali negli elementi beam e truss in un dato caso di carico, tali sforzi saranno visibili anche nel video).
2. **Volo uccello su meridiano:** simile al precedente, con la differenza che la rotazione avviene su un piano verticale.
3. **Deformata corrente:** in caso di analisi statica, a partire dalla vista indeformata corrente si raggiunge vista deformata nel caso di carico attuale. Se non si tratta di una deformata statica ma di una deformata modal o critica, il video va dalla vista indeformata a quella deformata, quindi ritorna alla vista indeformata ed infine mostra la deformata negativa per tornare di nuovo all'indeformata.

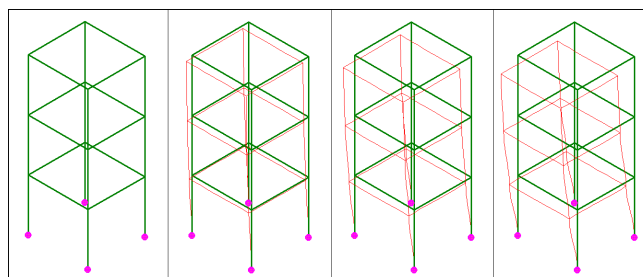


Le 3 modalità disponibili

Le immagini seguenti mostrano due esempi indicativi di frame successivi che costituiscono un video a volo d'uccello (su parallelo) e un video con deformata animata.



Esempio: volo uccello su parallelo



Esempio: deformata animata

Il file AVI creato dal programma, per ragioni di compatibilità, è privo di CODEC. Ciò vuol dire che la sua dimensione può essere molto grande. Per ridurre la dimensione di questi file AVI creati in modo automatico da Sargon, è sufficiente editare e poi salvare il file AVI originario in uno dei numerosi programmi per la gestione e la conversione dei file AVI disponibili in rete, o gratuitamente o al prezzo di pochi euro.

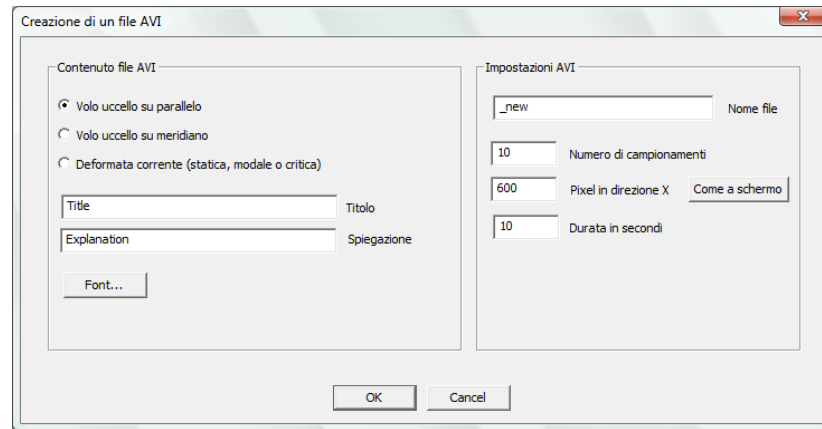
Per i dettagli sulle impostazioni e sui parametri del video si veda la descrizione del [dialog](#)³⁷⁹.

Type:modal

Destination: cartella del modello.

3.1.19.1 Creation of an AVI file

CREAZIONE DI UN FILE AVI (DIALOGO)



In questo dialog si definiscono le impostazioni per la creazione di un file avi.

Innanzitutto, si sceglie il [tipo](#)^[377] di filmato che si vuole ottenere:

1. Volo uccello su parallelo
2. Volo uccello su meridiano
3. Deformata corrente

Si possono definire un **titolo** e una **spiegazione** opzionali.

Occorre quindi definire il **nome** che si vuole assegnare al video. Il nome completo del file avi creato sarà così definiti:

[nome modello] + [nome video] .avi

Il file verrà creato nella stessa cartella in cui si trova il modello Sargon.

Atbeamrso il button *Font* è possibile scegliere il font delle scritte che verranno aggiunte nel video (titolo e spiegazione).

Vanno infine definiti i parametri relativi a:

- **Numero di campionamenti:** è il numero di step in cui viene suddivisa una rotazione completa o il passaggio dalla vista deformata a quella indeformata. Maggiore è il numero di campionamenti, maggiori sono la "fluidità" del video ma anche le sue dimensioni su disco.
- **Pixel in direzione X:** le dimensioni del video possono essere diverse da quelle della finestra corrente (o meglio, della sola vista grafica, al netto dell'ingombro delle barre dei bottoni, dei menu, ecc.). Se si preme *Come a schermo*, il numero di pixel in direzione X (larghezza della vista) verrà posto uguale alla larghezza in pixel della vista corrente; se si specifica un numero diverso, il video verrà riscalato. La dimensione in direzione Y (altezza della vista) è calcolata automaticamente per mantenere inalterato l'aspect ratio (rapporto altezza-larghezza) della vista corrente. Maggiori dimensioni in pixel comportano dimensioni maggiori del file su disco.
- **Durata in secondi:** determina la durata del video. Si tenga presente che la durata massima di un'immagine è limitata a 1 secondo, per evitare di avere video troppo lenti: la durata in secondi di un filmato, quindi, può essere al massimo pari al numero di immagini totali (dipendente dal numero di campionamenti). Per una maggior scorrevolezza del video, è consigliabile che i secondi di durata del video siano sensibilmente maggiori del numero totale di immagini. **Nota:** la durata effettiva del video potrebbe differire lievemente da quella richiesta, in quanto la durata delle immagini viene arrotondata.

Nota: uno zoom della struttura viene effettuato automaticamente, in base alle dimensioni definite per il video, in modo che l'intera struttura sia sempre [inclusa](#)^[442] interamente in tutte le immagini. C'è una sola eccezione a questa regola: se si crea un video in modalità "deformata corrente", definendo la dimensione X del video pari a quella dello schermo, lo zoom della vista corrente viene mantenuto. In questo modo si può creare un video che mostra un dettaglio della deformata animata.

3.1.20 Merge

COMMAND: File-Fondi

Questo command fonde nel modello corrente un altro modello, presente su file. La

fusione tra i due modelli avviene seguendo certe regole, che verranno qui riepilogate.

Sia detto padre il modello attivo al momento della esecuzione del command, e figlio il modello il cui file viene specificato dall'utente.

- il modello padre determina i casi e le combinazioni, in numero e tipo;
- i nodi vengono fusi (considerati coincidenti) se distano tra loro meno della tolleranza specificata nel modello padre;
- gli elementi del modello figlio vengono aggiunti agli elementi del modello padre;
- il modello risultante perde la possibilità di leggere sforzi e deformazioni precedentemente calcolati;
- tutte le azioni del modello figlio vengono aggiunte al modello padre, ordinatamente caso per caso. I casi del modello figlio aventi numero d'ordine maggiore al numero totale di casi del modello padre vengono scartati, e con essi le azioni in essi contenute. Si noti che è sempre possibile organizzare i casi in modo che non vi siano casi scartati (è sufficiente aggiungere casi vuoti al modello padre, sino a raggiungere il numero di casi del modello figlio).
- I superelementi del modello figlio vengono aggiunti al modello padre.
- Tutte le caratteristiche degli elementi, inclusi i coefficienti di libera inflessione, i fattori di riduzione dell'area, le sezioni ed i materiali, vengono copiate nel modello padre.

Type:modal

Destination: document.

3.1.21 Update

COMMAND: File-Aggiorna

Questo command aggiorna il modello corrente sulla base delle informazioni fornite in un file esterno. I formati gestiti sono:

.anf Strucad

Type:modal

Destination: document.

Note sull'aggiornamento con file .anf

Questo command legge un file **.anf** salvando tutto quanto è possibile del modello corrente. Il nome del modello finale è quello del file **.anf**. Se i nodi descritti nel file **.anf** hanno la stessa posizione (a meno della tolleranza) di quelli del modello corrente essi verranno identificati, e le forze ed i vincoli applicati ad essi non verranno perse. Lo stesso dicasi per gli elementi. Due elementi sono reputati eguali se sono attaccati agli stessi nodi dell'unifilare e se sono dello stesso tipo (truss in Sargon e dichiarati truss nell' **.anf**, beam in Sargon e dichiarati beam nell' **.anf**). Sono possibili i seguenti casi:

a) Nodo di Sargon presente in Strucad

Conserva i vincoli e le forze applicate.

b) Nodo di Sargon non presente in Strucad

Viene cancellato, e con esso i suoi vincoli e le forze ad esso applicate.

c) Nodo di Strucad non presente in Sargon

Viene aggiunto, ma su di esso non ci sono nè vincoli nè forze.

d) Elemento di Sargon presente in Strucad

Acquisisce la sezione e le eccentricità di quello in Strucad. Conserva i coefficienti di libera inflessione, i carichi, i coefficienti di riduzione dell'area presenti in Sargon.

e) Elemento di Sargon assente in Strucad (ovvero anche se di tipo diverso)

Viene cancellato, e con esso tutti i dati Sargon ad esso associati, inclusi i carichi.

f) Elemento di Strucad assente in Sargon

Viene aggiunto, ma senza carichi e con tutti i default.

Questo command è molto potente. Esso consente di non perdere che un minimo di informazione dopo aver fatto un modello in Sargon che debba essere modificato in Strucad.

3.1.22 Commands

COMMAND: File-Comandi

Questo command consente di leggere un insieme di comandi contenuti in un file. I comandi devono seguire una certa sintassi, ed il file, ASCII, deve essere costruito seguendo certe regole.

La possibilità di eseguire comandi contenuti in un file può essere molto utile in contesti nei quali si debba eseguire un gran numero di operazioni simili, oppure quando si debbano generare modelli o sotto modelli in modo parametrico.

Qui di seguito viene accluso un esempio di file di comandi (estensione .scm):

```
$ combinazioni per AFS 2000
_ADDDCOMBI Permanenti + accidentali
_COMBI 1 1 1.00
_COMBI 1 2 0.70
_COMBI 1 3 0.90
_ADDDCOMBI Permanenti + sisma x
_COMBI 2 1 1.00
_COMBI 2 4 1.00
```

Il file .scm è costituito da un certo numero di linee. Ogni linea può essere un commento o un'istruzione. Se la linea è un commento essa deve cominciare con il carattere "\$". Se la linea è un command deve cominciare con un identificatore di command. Tutti gli identificatori

cominciano con il carattere “_”. Le linee che non cominciano con “\$” nè con “_” devono essere continuazioni di command (per i comandi che ammettono continuazione su linee successive).

Qui di seguito viene indicata la sintassi dei comandi che si possono eseguire da file. Nelle spiegazioni di seguito elencate si tengano presenti le seguenti regole convenzionali:

Ciò che è tra parentesi quadre è opzionale.

Ciò che è tra parentesi graffe può essere un numero o una variabile precedentemente definita.

Sono ammesse le operazioni tra variabili (+, -, *, /) e l'uso delle parentesi tonde anche annidate nelle espressioni. Sono inoltre ammesse le funzioni sin(), cos(), tan(), atan(), asin(), acos(). Per familiarizzarsi con le macro si vedano i file .scm contenuti nel direttorio di installazione.

[ADDCOMBI](#)^[385]

[ADDELE](#)^[388]

[ADDPM](#)^[389]

[ADDLCASE](#)^[385]

[ADDNODE](#)^[387]

[ADDVAR](#)^[387]

[COMBI](#)^[386]

[CONSTRNODE](#)^[391]

[CURPROP](#)^[391]

[DELNOD](#)^[391]

[ENDLOOP](#)^[390]

[ENDNEWSTRUC](#)^[392]

[FORCENODE](#)^[393]

[MOMENTNODE](#)^[393]

[LOOP](#)^[390]

[NEWBLOCK](#)^[392]

[NEWSTRUC](#)^[392]

[PBEAM](#)^[394]

[POSITION](#)^[392]

[POSTIMPORT](#)^[393]

[REMOVE](#)^[386][UNIT](#)^[394]

_ADDCOMBI name

name nome da dare alla combinazione (può contenere spazi e va fino alla fine della linea)

Aggiunge una combinazione a quelle esistenti.

Questo command è molto utile quando si debbano assegnare parecchie combinazioni. Usato in combinazione con il command [COMBI](#)^[386] consente di rendere molto molto rapida l'aggiunta e la modifica delle combinazioni. Conviene usare questo command quando le combinazioni sono molte.

_ADDLCASE kind psi0 psi1 psi2 name

kind indica il tipo del caso di carico e può assumere uno dei valori seguenti:

GRAVITY

DEAD

LIVE

SNOW

WIND

EARTHSTATIC

THERMAL

EARTHMODAL

Psi0 coefficiente di combinazione

Psi1 coefficiente di combinazione (valore frequente)

Psi2 coefficiente di combinazione (valore quasi permanente)

name nome da dare al caso di carico (può contenere spazi e va fino alla fine della linea)

Aggiunge un caso di carico a quelli esistenti.

Questo command è molto utile quando si debbano assegnare parecchi casi di carico. Esempio:

```
_ADDCASE SNOW 0.7 0.2 0.0 Neve sulla copertura
```

_COMBI nc nl fact

nc	numero della combinazione
nl	numero del caso di carico
fact	fattore che il caso nl ha nella combinazione nc

Assegna il fattore di un caso in una combinazione.

Questo command è molto utile quando si debbano assegnare parecchie combinazioni. Usato in combinazione con il command [_ADDCOMBI](#)^[385] consente di rendere molto molto rapida l'aggiunta e la modifica delle combinazioni. Conviene usare questo command quando le combinazioni sono molte.

_REMOVE what num

what indica cosa si vuole cancellare e può assumere uno dei valori seguenti:

COMBI per rimuovere una combinazione

LCASE per rimuovere un caso di carico

num indica il numero che individua l'oggetto da cancellare

Cancella casi o combinazioni di carico. Si noti che ad ogni cancellazione è prima di eseguire ogni

altro command, i casi e le combinazioni vengono rinumerati in modo da mantenere una numerazione sequenziale. Ad esempio, se si hanno i casi 1, 2, 3, 4, 5 e si cancella il caso 2, si avranno i casi **1, 2, 3, 4**, i quali, prima della cancellazione avevano ordinatamente i seguenti numeri (1, 3, 4, 5).

_ADDVAR type name explain

type indica se il parametro è reale o intero e può assumere uno dei valori seguenti:

REAL perchè il parametro sia un numero reale

INT perchè il parametro sia un numero intero

Name indica il nome che individua il parametro (max 19 caratteri)

Explain è la spiegazione da dare a chi deve fornire il parametro (l'utente): max 100 caratteri

Consente di aggiungere un parametro, del quale si dà il nome ed il valore.

_ADDNODE {suffix1} {x} {y} {z} [to {suffix2} {x2} {y2} {z2} {step}]

suffix1 indica il suffisso del primo node da aggiungere.

x indica l'ascissa del primo node da aggiungere

y indica l'ordinata del primo node da aggiungere

z indica la quota del primo node da aggiungere

step indica il passo di incremento del suffisso da suffix1 a suffix2

Consente di aggiungere nodi. Valgono le seguenti regole:

$$\text{suffix2} \geq \text{suffix1}$$

$$\text{suffix1} + n * \text{step} = \text{suffix2} \quad n \text{ è un intero che deve esistere}$$

_ADDELE **type** {**suffix1**} {**suff_n1**} {**suff_n2**} {**suff_n3**} [**to** {**suffix2**} {**stepe**} {**stepn**}]

type indica il tipo degli elementi e può assumere uno dei valori seguenti:

BEAM perchè gli elementi siano travi

TRUSS perchè gli elementi siano bielle

suffix1 indica il suffisso del primo elemento da aggiungere.

suff_n1 indica il suffisso del primo node del primo elemento

suff_n2 indica il suffisso del secondo node del primo elemento

suff_n3 indica il suffisso del terzo node del primo elemento. Se viene indicato "INFPX", "INFPY", "INFPZ", "INFMX", "INFMY", "INFMZ", verrà usato il terzo node posto all'infinito Positivo o Negativo specificato.

suffix2 indica il suffisso dell'ultimo elemento da aggiungere.

stepe indica il passo di incremento del suffisso dell'elemento

stepn indica il passo di incremento del suffisso del primo e del secondo node (il terzo non viene

incrementato).

Consente di aggiungere elementi beam o truss.

_ADDPM **type** {**suffix1**} {**suff_n1**} {**suff_n2**} {**suff_n3**} {**suff_n4**} [**to** {**suffix2**} {**stepe**} {**stepn**}]

type indica il tipo degli elementi e può assumere uno dei valori seguenti:

PLATE perchè gli elementi siano piastre

MEMBR perchè gli elementi siano membrane

suffix1 indica il suffisso del primo elemento da aggiungere.

suff_n1 indica il suffisso del primo node del primo elemento

suff_n2 indica il suffisso del secondo node del primo elemento

suff_n3 indica il suffisso del terzo node del primo elemento

suff_n4 indica il suffisso del quarto node del primo elemento (se = 0 l'elemento è triangolare)

suffix2 indica il suffisso dell'ultimo elemento da aggiungere.

stepe indica il passo di incremento del suffisso dell'elemento

stepn indica il passo di incremento del suffisso del primo, del secondo node, del terzo e (se diverso da zero) del quarto node

Consente di aggiungere elementi piastra o membrana.

_PREFIX type string

type indica il tipo degli oggetti dei quali viene stabilito il prefisso e può assumere uno dei valori seguenti:

BEAM, TRUSS, NODE, PLATE, MEMBR, SPRING

string indica la stringa che, da ora in poi costituirà il prefisso per gli oggetti del tipo specificato (max 15 caratteri)

Consente di specificare un prefisso diverso da aggiungere al suffisso. In questo modo si possono usare numerazioni di suffisso identiche avendo nomi diversi.

_LOOP var {start} {end}

var nome della variabile (anche nuova) da iterare nel ciclo

start valore iniziale

end valore finale

Esegue le istruzioni contenute sino al prossimo [ENDLOOP](#)^[390] un numero di volte pari a (end-start +1). I loop possono essere annidati.

_ENDLOOP

marca la fine delle istruzioni contenute in un blocco di [LOOP](#)^[390]

_CURPROP {prop}

prop numero della proprietà di sezione da assegnare ai successivi elementi beam e truss aggiunti

Stabilisce il valore corrente del numero di sezione. Tale numero viene usato nel command [ADDELE](#)^[388] come numero da attribuire agli elementi aggiunti.

_DELNODE

Elimina i nodi non referenziati dalla struttura corrente.

_CONSTRNODE {suffix1} to {suffix2} {step} [TX] [TY] [TZ] [RX] [RY] [RZ]

suffix1	suffisso del primo node
suffix2	suffisso dell'ultimo node
step	incremento del suffisso
TX	la traslazione x è vincolata
TY	la traslazione y è vincolata
TZ	la traslazione z è vincolata
RX	la rotazione x è vincolata
RY	la rotazione y è vincolata
RZ	la rotazione z è vincolata

Applica la maschera di vincolo specificata ai nodi specificati, da suffix1 a suffix2 (con il prefisso

corrente). Se il grado di libertà è libero non mettere il corrispondente codice: ad esempio una cerniera sferica sarà "TX TY TZ".

NEWSTRUC

indica che le istruzioni fino al successivo [_ENDNEWSTRUC](#)^[392] si riferiscono ad una nuova struttura locale, che diventa la struttura corrente. Appena raggiunta l'istruzione ENDNEWSTRUC, la struttura locale viene fusa automaticamente con le regole del command "Fondi", nella struttura principale. Le istruzioni [_NEWSTRUC](#)^[392] non possono essere annidate.

Se il contenuto di un file di macro viene avvolto tra due istruzioni NEWSTRUC ed ENDNEWSTRUC, questo può poi essere richiamato da un altro file senza problemi di interferenza. Si veda il file di esempio "prattXZ.scm".

ENDNEWSTRUC

termina un blocco [_NEWSTRUC](#)^[392] ed ordina che la struttura locale venga fusa con quella principale.

NEWBLOCK {x} {y} {z} **filename**

x Traslazione x da applicare al nuovo blocco

y Traslazione y da applicare al nuovo blocco

x Traslazione z da applicare al nuovo blocco

filename nome del file di comandi da eseguire

Consente di eseguire una macro contenuta in un altro file. I nodi e gli oggetti definiti nel nuovo blocco vengono inseriti in una struttura a parte, che, alla fine del blocco, viene fusa con la struttura corrente. Prima di essere fusa la struttura locale viene tralata di (x, y, z).

POSITION

Chiede all'utente una traslazione globale della intera struttura corrente. Se questa istruzione viene eseguita come parte di un blocco richiamato da un command `_NEWBLOCK` non viene materialmente eseguita, in quanto lo shift è già precedentemente stato specificato (se un file è usato direttamente il command consente di posizionare la struttura corrente, se è usato indirettamente con una chiamata a [_NEWBLOCK](#)^[392] la istruzione `_POSITION` diviene superflua).

`_POSTIMPORT fatherlcase sonlcase file_path`

Vengono importati nel modello corrente, e sovrascritti, gli spostamenti, gli sforzi e le reazioni vincolari calcolati in un altro modello, che deve avere lo stesso numero di nodi e di elementi. **fatherlcase** è il caso di carico del modello corrente. **sonlcase** è il caso di carico da cui trarre i risultati nel modello "son", di appoggio. **file_path** è l'intero percorso del file di appoggio da cui trarre i risultati (c:\pluto\paperino.wsr). Il command è utile per automatizzare la sovrascrittura dei risultati da un altro modello nel modello corrente. Automatizza il command **Post-Importa**.

`_FORCENODE {suffix1} to {suffix2} {step} {lcase} {Fx} {Fy} {Fz}`

suffix1	suffisso del primo node
suffix2	suffisso dell'ultimo node
step	incremento del suffisso
lcase	caso di carico
Fx	componente in direzione x della forza
Fy	componente in direzione y della forza
Fz	componente in direzione z della forza

Applica la forza specificata ai nodi specificati, da suffix1 a suffix2 (con il prefisso corrente). Quando il command viene eseguito il caso di carico **lcase** deve esistere.

`_MOMENTNODE {suffix1} to {suffix2} {step} {lcase} {Mx} {My} {Mz}`

suffix1	suffisso del primo node
---------	-------------------------

suffix2	suffisso dell'ultimo node
step	incremento del suffisso
lcase	caso di carico
Mx	componente in direzione x della coppia
My	componente in direzione y della coppia
Mz	componente in direzione z della coppia

Applica la forza specificata ai nodi specificati, da suffix1 a suffix2 (con il prefisso corrente). Quando il command viene eseguito il caso di carico **lcase** deve esistere.

_pBEAM {suffix1} to {suffix2} {step} {lcase} {px} {py} {pz}

suffix1	suffisso del primo node
suffix2	suffisso dell'ultimo node
step	incremento del suffisso
lcase	caso di carico
px	componente in direzione x del carico uniformemente distribuito
py	componente in direzione y del carico uniformemente distribuito
pz	componente in direzione z del carico uniformemente distribuito

Applica il carico uniformemente distribuito specificato agli elementi beam specificati, da suffix1 a suffix2 (con il prefisso corrente). Quando il command viene eseguito il caso di carico **lcase** deve esistere.

_UNIT unit

unit	nuova unità di misura da adottare, può assumere i seguenti valori:
mm	millimetri

cm centimetri

mt metri

in pollici

ft piedi

yd iarde

N Newton

DAN Deca Newton

KN Kilo Newton

GR Grammi

KG Kilogrammi

ton Tonnellate

p libbre

kip migliaia di libbre

sec secondi

min minuti

hou ore

°C gradi centigradi

°F gradi Farenheit

Assume l'unità di misura specificata come unità con la quale interpretare i successivi dati di input.

Type: immediato.

Destination: document.

3.1.23 Calculator

COMMAND: File-Calculator

This command runs the Windows calculator.

Type: immediate

3.1.24 Exit

COMMAND: File-Exit

This command is used to exit from Sargon. If the documents open have been modified, you are requested whether to save them or not.

Type: modal

Destination: application.

3.2 View

3.2.1 Customize interface

COMMAND: View-Personalizza interfaccia

Questo command ha come scopo quello di consentire all'utente di personalizzare l'interfaccia. Tale attività può consistere:

- nel modificare le barre dei bottoni predefinite
- nell'aggiungere nuove barre di bottoni, il cui contenuto è liberamente scelto dall'utente
- nel modificare l'aspetto dei bottoni e la eventuale presenza di scritte
- nell'assegnare opportune sequenze di tasti alla esecuzione di un command

Il funzionamento del command

All'esecuzione del command compare un dialog di sistema, ed alla sua uscita i cambiamenti richiesti vengono applicati.

Il dialog di sistema è composto da diversi pannelli:

Pannello Comandi

Pannello Barre degli strumenti

Pannello Tastiera

Pannello Menu

Pannello Opzioni



Il Pannello Comandi elenca tutti i comandi disponibili, sia in ciascun menu sia come lista complessiva. Se si sceglie "Nuovo menu" e si trascina la freccia in una posizione plausibile, ad esempio in coda al menu principale, si crea lo spazio per trascinare ivi nuovi comandi, definendo un menu aggiuntivo. Se, nel corso della esecuzione del command Personalizza Interfaccia, si clicca il tasto destro del mouse sul nuovo menu, è possibile mutarne il nome ed anche eliminarlo.



Il Pannello Barre degli strumenti elenca le barre dei bottoni disponibili e consente di decidere se si devono vedere o no. Esso, tramite il button "Nuovo" consente anche di aggiungere nuove barre dei bottoni, che verranno definite trascinando i bottoni desiderati all'interno della barra stessa. Infatti alla pressione del button "Nuovo" si crea una barra vuota all'interno della quale è possibile trascinare nuovi bottoni presi tra tutti quelli disponibili.



Il Pannello Tastiera consente di associare a ciascun command una opportuna sequenza di tasti, per consentire maggiore rapidità di esecuzione. Scelto un command, ed introdotta una sequenza

di tasti (ad esempio Ctrl+L) si preme il button "Assegna" per assegnare la sequenza di tasti al command.



Il Pannello Menu consente di fare scelte sul modo di rappresentare il Menu.



Il Pannello Opzioni consente di fare alcune scelte: se usare icone grandi o piccole per i bottoni, se aggiungere o no le scritte esplicative (tool tip).

Tutte queste opzioni consentono di creare una interfaccia davvero personalizzata.

Le impostazioni vengono salvate nel registro alla voce HKEY_CURRENT_USER \Software\Castalia\Sargon, così che alle successive sessioni l'interfaccia resti come l'utente ha scelto.

Nel caso in cui si adotti uno schermo a 14", i settaggi di default non sono accettabili perchè ci sono troppi bottoni. L'utente potrà scegliere di ridurre il numero dei bottoni a proprio piacimento, in modo da adattare la lunghezza delle barre allo schermo disponibile.

Le barre predefinite

Le barre sono spostabili e possono essere messe anche altrove. Non è necessario che tutte le barre siano contemporaneamente presenti sullo schermo. Esse sono tematiche, ovvero ad ogni barra corrisponde un gruppo di comandi affini.



La barra "principale" racchiude comandi usati frequentemente in ogni fase del lavoro

(meshing, definizione di carichi, proprietà e vincoli, postprocessing).

Le altre barre sono:



La barra Draw, per i comandi sotto il menu Draw.



La barra Mesh, per i comandi sotto il menu Mesh.



La barra Edit, per i comandi sotto il menu Edit.



La barra Post, per i comandi di post-processing.



La barra Post2, per i comandi di post-processing.



La barra Inquire, per i comandi di interrogazione.

Type: modal

Destination: applicazione.

3.2.2 Status bar

COMMAND: View-Status bar

This command is used to show or hide the status bar of the active view.

Type:modal

Destination: view.

3.2.3 Application look

3.2.3.1 Win 2000

This command is used to modify the look of the interface, according to the choice specified by the command name. The change is immediate and is stored for future sessions (storing is in the registry key HKEY_CURRENT_USER\Software\Castalia\CSE).

3.2.3.2 Office XP

This command is used to modify the interface, according to the type specified by the name of the command itself. The change has immediate effect, and is stored for the subsequent sessions (saving of the choice is done by the registry key HKEY_CURRENT_USER\Software\Castalia\CSE).

3.2.3.3 Windows XP

This command is used to modify the interface, according to the type specified by the name of the command itself. The change has immediate effect, and is stored for the subsequent sessions (saving of the choice is done by the registry key HKEY_CURRENT_USER\Software\Castalia\CSE).

3.2.3.4 Office 2003

This command is used to modify the interface, according to the type specified by the name of the command itself. The change has immediate effect, and is stored for the subsequent sessions (saving of the choice is done by the registry key HKEY_CURRENT_USER\Software\Castalia\CSE).

3.2.3.5 Visual Studio 2005

This command is used to modify the interface, according to the type specified by the name of the command itself. The change has immediate effect, and is stored for the subsequent sessions (saving of the choice is done by the registry key HKEY_CURRENT_USER\Software\Castalia\CSE).

3.2.3.6 Visual Studio 2008

This command is used to modify the interface, according to the type specified by the name of the command itself. The change has immediate effect, and is stored for the subsequent sessions (saving of the choice is done by the registry key HKEY_CURRENT_USER\Software\Castalia\CSE).

3.2.3.7 Office 2007

3.2.3.7.1 Blu style

This command is used to modify the interface, according to the type specified by the name of the command itself. The change has immediate effect, and is stored for the subsequent sessions (saving of the choice is done by the registry key HKEY_CURRENT_USER\Software\Castalia\CSE).

3.2.3.7.2 Black style

This command is used to modify the interface, according to the type specified by the name of the command itself. The change has immediate effect, and is stored for the subsequent sessions (saving of the choice is done by the registry key HKEY_CURRENT_USER\Software\Castalia\CSE).

3.2.3.7.3 Silver style

This command is used to modify the interface, according to the type specified by the name of the command itself. The change has immediate effect, and is stored for the subsequent sessions

(saving of the choice is done by the registry key HKEY_CURRENT_USER\Software\Castalia\CSE).

3.2.3.7.4 Aqua style

This command is used to modify the interface, according to the type specified by the name of the command itself. The change has immediate effect, and is stored for the subsequent sessions (saving of the choice is done by the registry key HKEY_CURRENT_USER\Software\Castalia\CSE).

3.2.3.8 Windows 7

This command is used to modify the interface, according to the type specified by the name of the command itself. The change has immediate effect, and is stored for the subsequent sessions (saving of the choice is done by the registry key HKEY_CURRENT_USER\Software\Castalia\CSE).

3.2.4 Reference axes

COMMAND: View-Reference Axes

This command is used to decide how the global reference axes are displayed in the active window. The user chooses by a proper [dialog](#)⁴⁰².

Type:modal

Destination: view.

3.2.4.1 Reference axes size and position (Dialog)

REFERENCE AXES SIZE AND POSITION (DIALOGO)

This dialog drives the way global reference axes are displayed. The standard position is top right.

Standard means that the axes will be displayed in a box placed at the top-right corner of the window.

Hidden means that the global axes will not be displayed.

Origin means that the axes will be placed at the origin.

Size defines the size of the axes.

3.2.5 Objects

COMMAND: View-Oggetti

Questo command chiama un [property sheet](#)^[403] composto da cinque fogli ([Oggetti](#)^[404], [Numerazioni](#)^[405], [Etichette](#)^[405], [Nomi](#)^[405], [Dati Numerici](#)^[406]) ognuno dei quali governa la visualizzazione di un gruppo affine di entità. Per ognuna di tali entità il command consente di decidere se si l'entità si vedrà o meno. Le etichette di materiale e di sezione e i dati numerici verranno visualizzati comunque solo sugli elementi selezionati nel serbatoio 3 o, se si è in modalità estrai, nel serbatoio 13 (si veda [Serbatoi di selezione](#)^[125]).

Type:modal

Destination: vista.

3.2.5.1 Objects (Property sheet)

OBJECTS (PROPERTY SHEET)

This property sheet has the following property pages:

[Objects](#)^[404]

[Numbering](#)^[405]

[Labels](#)^[405]
[Names](#)^[405]
[Numerical Data](#)^[406]

3.2.5.1.1 Objects (Property page)

OGGETTI (PROPERTY PAGE)

Questa property page fa scegliere se si vogliono vedere (croce applicata) oppure no certi oggetti. Gli oggetti sono:

- * i vincoli
- * gli svincoli
- * masse
- * nodi
- * le molle
- * le azioni (forze nodali, carichi distribuiti, ecc). I carichi distribuiti possono essere mostrati in modalità estesa o in modalità sintetica, spuntando la relativa casella.
- * le [zone dissipative](#)^[318]

Nell'immagine seguente si mostra come vengono rappresentati i carichi uniformi, quelli lineari e quelli lineari generali, rispettivamente nella modalità di rappresentazione estesa e in quella sintetica. La rappresentazione sintetica può essere utile in caso di discretizzazioni fitte della mesh, al fine di non appesantire troppo la vista.

		CARICO UNIFORME	CARICO LINEARE	CARICO LINEARE GENERALE
RAPPRESENTAZIONE	ESTESA			
	SINETICA			

3.2.5.1.2 Numberings (Property page)

NUMBERINGS (PROPERTY PAGE)

This property page is used to decide if the numberings have to be displayed, or not, referring to:

- * Nodes
- * Trusses
- * Beams
- * Plates
- * Membranes
- * Superelements
- * Springs

3.2.5.1.3 Labels (Property page)

LABELS (PROPERTY PAGE)

This property page is used to decide if the cross-section and material labels will be displayed, or not. The labels will however be displayed only for the elements which are selected in selection-tank number 3 (3 for normal display, 13 for extraction mode), and this in order to avoid that the screen gets unreadable or confused.

3.2.5.1.4 Names (Property page)

NAMES (PROPERTY PAGE)

This property page is used to choose the type of objects whose names will be displayed.

3.2.5.1.5 Numerical data (Property page)

DATI NUMERICI (PROPERTY PAGE)

Questa property page consente di stabilire quali dati verranno stampati ed il formato con il quale verranno stampati. I dati disponibili sono:

- Lunghezza degli elementi
- Valore del modulo delle azioni
- Coordinate dei nodi
- Coefficienti di libera inflessione beta
- Fattori di riduzione dell'area
- Spostamenti nodali
- Azione interna
- Reazioni vincolari

I numeri verranno stampati solo se l'oggetto corrispondente (node o elemento) è selezionato nel serbatoio 3 se si è in modalità normale, nel serbatoio 13 se si è in modalità estrai. In questo modo è possibile scegliere cosa vedere e cosa no.

I valori di azione interna e di spostamento si possono vedere solo se si stanno correntemente vedendo i diagrammi o la spostata.

I valori di reazione vincolare verranno mostrati solo sui nodi sui quali è presente almeno un vincolo.

Se un dato ha una dimensione fisica in coda al numero è stampata l'unità di misura con la quale interpretarlo (l'unità corrente).

3.2.6 Sizes**COMMAND: View-Dimensioni**

Scopo di questo command è consentire di variare la dimensione a schermo dei simboli rappresentati dal programma. Il command è connesso ad un opportuno [dialog](#)^[407].

La dimensione indicata con questo command è rigorosamente rispettata in fase di stampa, mentre a schermo è solo indicativa. Ciò dipende dal sistema operativo Win32, che adatta le dimensioni sulla base del settaggio della scheda grafica in uso.

Type:modal

Destination: vista.

3.2.6.1 Object sizes (Dialog)

SIZE OF OBJECTS (DIALOG)

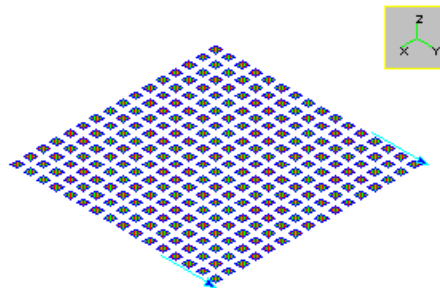
This dialog is used to set the size used to display the objects listed.

To change the size it is necessary to select what is needed and to write its new size.

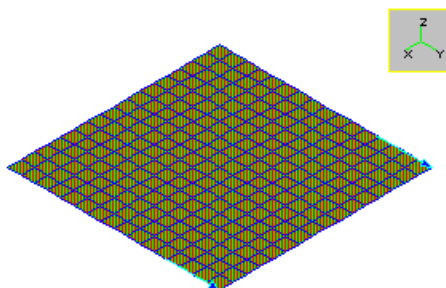
The flag “load scale” is used to decide if the loads displayed size will be scaled or not.

If the loads are scaled the size specified is that of the maximum load.

The shrink value is applied to plates and membranes.



Here the shrink is 0.5



Here the shrink is 1

3.2.7 Colors

COMMAND: View-Colors

This command is used to change the color of the symbols displayed. The command is linked to a proper [dialog](#)⁴⁰⁸.

Type: modal

Destination: view.

3.2.7.1 Object colors (Dialog)

OBJECT COLOR (DIALOG)

This dialog is used to set, for each of the objects selected on the left, one of the colors shown on the buttons-set on the right. The color can be one of the sixteen predefined colors, or a color chosen freely by the user. If the last bottom-button has the letter "C" (custom), this means that the color currently chosen is one of the standard colors. Otherwise, inside the last bottom-button, the custom color chosen by the user is shown.

3.2.8 Elements

COMMAND: View-Elements

This command changes the way that finite elements are displayed. The colour of the elements can be changed to match the material, shape and type, or colours can be freely attributed by the user.

This command is also used to set if 2D elements (plates and membranes) should be filled, or not.

This effetto is obtained by means of an appropriate [dialog](#)^[409].

Type: modal

Destination: view.

3.2.8.1 Element display (Dialog)

RAPPRESENTAZIONE ELEMENTI (DIALOGO)

Questo dialog è importante perchè stabilisce il criterio con cui verranno colorati gli elementi, sulla base cioè di cosa verranno colorati. Essi possono essere colorati per:

- * sezione
- * materiale
- * tipo (travi o bielle, piastre o membrane)
- * sulla base di un colore attribuito precedentemente (vedi [Associa colore](#)^[412]).

In questo dialog è inoltre possibile stabilire se i superelementi verranno rappresentati o meno e se gli elementi bidimensionali saranno rappresentati con il solo contorno, ovvero se verranno riempiti.

3.2.9 Font

COMMAND: View-Font

Questo command è collegato ad un [property sheet](#)^[410] composto da più pagine ([Numerazioni, Nomi](#)^[410], [Materiale](#)^[411], [Sezione](#)^[411]), ognuna delle quali governa il font di un gruppo affine di proprietà. Variato il font, nella vista corrente all'atto dell'esecuzione del command si vedrà il nuovo font. Si può variare il corpo, il colore ed il tipo di font. I settaggi possono essere conservati con il command [Salva Configurazione](#)^[345].

Type: modal

Destination: vista.

3.2.9.1 Font (Property sheet)

FONT (PROPERTY SHEET)

Questo property sheet contiene i seguenti fogli:

[Numerazioni/Nomi](#)^[410]

[Materiale](#)^[411]

[Sezione](#)^[411]

3.2.9.1.1 Numberings/Names (Property page)

NUMERAZIONI/NOMI (PROPERTY PAGE)

Questa property page fa settare il font desiderato per le numerazioni o per i nomi. A ciascun button corrisponde il dialog standard usato per fissare un font.

Nodi	fissa il font per la numerazione/nome dei nodi.
Travi	fissa il font per la numerazione/nome delle travi.
Bielle	fissa il font per la numerazione/nome delle bielle.
Piastre	fissa il font per la numerazione/nome delle piastre.
Membrane	fissa il font per la numerazione/nome delle membrane.

Molle	fissa il font per la numerazione/nome delle molle.
Solidi	fissa il font per la numerazione/nome degli elementi solidi.
Superelementi	fissa il font per la numerazione/nome dei superelementi.

E' quindi possibile diversificare le numerazioni secondo il proprio gradimento.

3.2.9.1.2 Material (Property page)

MATERIAL (PROPERTY PAGE)

This property page is used to set the font used to display the material identifier. A different font is used for each type of element (Beams, Trusses, Plates, Membranes, Solids).

3.2.9.1.3 Section (Property page)

SECTION (PROPERTY PAGE)

This property page is used to set the font to be used to display the cross-section identifiers. Each type of element (Beams, Trusses, Plates, Membranes) has a different font, and its font is set by pressing a different button.

3.2.10 Orientation

COMMAND: View-Orientation

This command is used to decide if the orientation will be displayed, or not, and how it will be displayed. The command affects the display of beams, trusses, plates and membranes. When the command is executed a [dialog](#)^[412] is opened.

Type:modal

Destination: view.

3.2.10.1 Local axes display (Dialog)

RAPPRESENTAZIONE DEL SISTEMA LOCALE (DIALOGO)

Questo dialog serve a stabilire in che modo vedere l'orientazione (terna locale) degli elementi.

La rappresentazione è **dettagliata** se viene disegnata la sezione sull'asse dell'elemento.

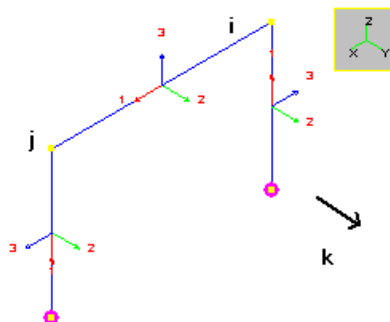
La rappresentazione **completa** comporta il tracciamento dei tre assi locali.

La rappresentazione **sintetica** comporta il tracciamento del solo asse 2.

Se si sceglie **nessuna** non si vedrà alcuna terna.

La terna può esser fatta vedere su **tutti** gli elementi o solo su quelli **selezionati**.

La **dimensione** in mm di ciascun asse può essere fissata dall'utente.



3.2.11 Assign color

COMMAND: View-Assign Color

This command is used to assign a color to the selected elements.

The color defined by the user will later be used to display the elements when “Monocolor” mode is active([Elements](#)^[409]).

The user may change this color as many times as he/she wishes. The color is assigned to the selected elements when the command is executed.

Type: modal

Destination: document.

3.2.12 Solids

COMMAND: View-Solids

Questo command mostra la vista solida del modello, in base alle forme sezionali assegnate agli elementi beam e truss e agli spessori assegnati agli elementi piastra e membrana, oltre alle dimensioni degli elementi solidi.

Se un elemento beam o truss non ha sezione assegnata, o se ha una [sezione generica](#)^[654], esso non verrà visualizzato nella vista solida. Se un elemento piastra o membrana non ha uno spessore assegnato non verrà visualizzato nella vista solida.

Se ci sono forme sezionali che presentano cuspidi o altri problemi che le rendono impossibili da un punto di vista fisico, la restituzione della vista solida può venire interrotta. In questo caso si controllino le forme sezionali applicate e si [modifichino](#)^[656] quelle che danno problemi.

NOTA: se il numero di elementi del modello é molto elevato, la restituzione della vista solida può richiedere del tempo.

Type: immediato

Destination: vista

3.2.13 Thicknesses

COMMAND: View-Thicknesses

This command is used to display a colour map referring to the thickness of the plate and membrane elements of the model.

Type: immediate

Destination: view

3.3 Inquire

3.3.1 General

COMMAND: Inquire-General Data

This command displays a [dialog](#)⁴¹⁴ which summarizes some general information about the model. The command effect does not depend on the selected entities.

Type: modal

Destination: document.

3.3.1.1 General Inquire (Dialog)

INTERROGA GENERALE

Questo dialog riepiloga numerosi dati di carattere generale. Procedendo dall'alto verso il basso, e da sinistra verso destra, essi sono:

- il numero dei nodi;**
- il numero delle bielle;**
- il numero delle travi;**
- il numero delle piastre;**
- il numero delle membrane;**

il numero delle molle;
il numero dei superelementi;
il numero dei casi di carico;
il numero delle combinazioni;
il numero dei gradi di libertà;
la lunghezza delle bielle;
la lunghezza delle travi.

3.3.2 Geometry

COMMAND: Inquire-Geometry

This command is modeless, and this means that it stops by pressing the right mouse button or by pressing the ESC key.

The user chooses first a node, then a second node. In real time, using the active units, the coordinates of the two nodes, and their distance are output. At the third mouse click the command stops, always.

Type: modeless

Destination: view.

3.3.3 Nodes

COMMAND: Inquire-Nodi

Questo command serve ad avere informazioni sui nodi. Quando il command viene eseguito si apre un property sheet composto da più pagine. Muovendo il mouse verrà indicato il node più vicino con un pallino rosso. In tempo reale il property sheet riporterà i dati relativi al node in questione. Cliccando a sinistra col mouse i dati vengono fissati nel property sheet ed è possibile passare da un foglio all'altro senza che il node cambi. I fogli del property sheet sono i seguenti:

[Geometria](#)⁴¹⁶[Vincoli](#)⁴¹⁶[Masse](#)⁴¹⁷[Altri](#)⁴¹⁷

Per uscire dal command occorre premere il tasto destro del mouse (o il tasto ESC).

Type: modeless

Destination: active view

3.3.3.1 Nodes inquire (Property sheet)

NODE INQUIRE (PROPERTY SHEET)

This property sheet is made up of different property pages, each related to information referring to the chosen node.

3.3.3.1.1 Geometry (Property page)

GEOMETRY (PROPERTY PAGE)

This property page lists the number and coordinates of a node. The coordinates are listed using the active length unit.

3.3.3.1.2 Constraints (Property page)

CONSTRAINTS (PROPERTY PAGE)

This property page lists, for each of the six displacement components, if a fixed constraint is applied or not.

3.3.3.1.3 Masses (Property page)

MASSES (PROPERTY PAGE)

This property page outputs the translational masses(**TX**, **TY**, **TZ**) and the rotational masses (**RX**, **RY**, **RZ**) applied to a node.

3.3.3.1.4 Others (Property page)

OTHERS (PROPERTY PAGE)

This property page lists the name and the number of group.

3.3.4 Beams

COMMAND: Inquire-Travi

Questo command serve ad avere informazioni sulle travi. Quando il command viene eseguito si apre un property sheet composto da più pagine. Muovendo il mouse verrà indicata la beam più vicina con un pallino rosso. In tempo reale il property sheet riporterà i dati relativi alla beam in questione. Cliccando a sinistra col mouse i dati vengono fissati nel property sheet ed è possibile passare da un foglio all'altro senza che la beam cambi. I fogli del property sheet sono i seguenti:

[Incidenze](#)⁴¹⁸

[Estremo 1](#)⁴¹⁸

[Estremo 2](#)⁴¹⁹

[Beta](#)⁴¹⁹

[Snellezze](#)⁴¹⁹

[Proprietà](#)⁴¹⁹

[Molle](#)⁴¹⁹

[Eccentricità](#)⁴²⁰

[Orientazione](#)⁴²⁰[Altri](#)⁴²⁰[Suolo](#)⁴²¹

Per uscire dal command occorre premere il tasto destro del mouse (o il tasto ESC).

Type: modeless

Destination: active view

3.3.4.1 Inquire beams (Property sheet)

INQUIRE BEAMS (PROPERTY SHEET)

This property sheet is made up of different property pages, displaying info on the chosen beam.

3.3.4.1.1 Connectivity (Property page)

CONNECTIVITY (PROPERTY PAGE)

This property page lists the beam element number and its connectivity nodes. The nodes **n5** and **n6** are used for backward compatibility with old versions of the program, and once were needed to identify rigid offsets. Currently they are 0.

3.3.4.1.2 Extremity 1 (Property page)

EXTREMITY 1 (PROPERTY PAGE)

This property page lists the six end release components at the first extremity.

3.3.4.1.3 Extremity 2 (Property page)

EXTREMITY 2 (PROPERTY PAGE)

This property page lists the six end release components at the second extremity.

3.3.4.1.4 Kappas (Property page)

Kappas (PROPERTY PAGE)

This property page prints the three slenderness coefficients and the length of the wireframe element. K1 refers to lateral sway, K2 and K3 to flexural bending.

By default Ks are set equal to 1, but they can be changed by the command [Kappa](#)^[674].

3.3.4.1.5 Slenderness (Property page)

SLENDERNESS (PROPERTY PAGE)

This property page is used to list the three slendernesses according to local axis 1 (lateral sway), 2 (flexural buckling principal axis 2), and 3 (flexural buckling principal axis 3).

3.3.4.1.6 Properties (Property page)

PROPERTIES (PROPERTY PAGE)

This property page outputs the weight, the cross-section, the number of the cross-section in the cross-section array, the material and the material number in the cross-section array.

3.3.4.1.7 Springs (Property page)

SPRINGS (PROPERTY PAGE)

This property page outputs the names of the [rotational springs](#)^[67] related to the first extremity (**K12, K13**) and to the second extremity (**K22 K23**) of the beam element.

3.3.4.1.8 Eccentricities (Property page)

ECCENTRICITIES (PROPERTY PAGE)

This property page outputs the components of two vectors defining the eccentricities at the two extremities of the beam element. The eccentricities are defined in the global reference system, go from node to extremity, and are output using the current length unit.

3.3.4.1.9 Orientation (Property page)

ORIENTATION (PROPERTY PAGE)

This property page is used to get info about the orientation of beam and truss elements. The number of the third node is output, and the three components of the vector v . Then it is specified if the orientation is defined using the third node to define plane 1-2, or if the vector is used to define plane 1-2, or if the vector is used to define plane 1-3. The vector components are referred to global axes.

3.3.4.1.10 Others (Property page)

OTHER (PROPERTY PAGE)

This property page outputs the gross area reduction factor used to keep into account the holes, the value of the initial axial force of the element, the name and the group.

3.3.4.1.11 Soil (Property page)

SOIL (PROPERTY PAGE)

This property page lists the elastic soil constants for flexure about local axis 2 (k_2 , $k_{1,2}$) and about local axis 3 (k_3 , $k_{1,3}$). Null values imply no elastic soil.

The terms k_2 and k_3 have the dimension of a force per unit surface. The terms $k_{1,2}$ e $k_{1,3}$ have the dimension of a force.

3.3.4.1.12 Kred (Property page)

KRED (PROPERTY PAGE)

This property page is used to get information about the possible [reductions or amplifications](#)^[479] of the cross-section area, shear areas, and second area moment. The change will only affect solving stiffnesses, i.e. they will affect the stiffness matrix of the element, but they will not affect the stresses computation or the checks, but indirectly, as the internal forces will have changed.

3.3.5 Trusses**COMMAND: Inquire-Bielle**

Questo command serve ad avere informazioni sulle bielle. Quando il command viene eseguito si apre un property sheet composto da più pagine. Muovendo il mouse verrà indicata la truss più vicina con un pallino rosso. In tempo reale il property sheet riporterà i dati relativi alla truss in questione. Cliccando a sinistra col mouse i dati vengono fissati nel property sheet ed è possibile passare da un foglio all'altro senza che la truss cambi. I fogli del property sheet sono i seguenti:

[Incidenze](#)^[422]

[Beta](#)^[422]

[Snellezze](#)[Proprietà](#)[Orientazione](#)[Altri](#)

Per uscire dal command occorre premere il tasto destro del mouse (o il tasto ESC).

Type: modeless

Destination: active view

3.3.5.1 Trusses (Property sheet)

INQUIRE TRUSSES (PROPERTY SHEET)

This property sheet is made up of several property pages, displaying info about the trusse element chosen.

3.3.5.1.1 Connectivity, gap and friction (Property page)

CONNECTIVITY, GAP AND FRICTION (PROPERTY PAGE)

This property page outputs the truss-element number and its connectivity nodes. The node **n3** is only used for compatibility with the drawings software.

Besides, the data referring to gap and friction coefficient are also output.

3.3.5.1.2 Kappas (Property page)

KAPPAS (PROPERTY PAGE)

This property page lists the three slenderness coefficients and the length of the wireframe element. Kappa 1 is related to lateral sway.

By definition, kappas are set equal to 1, but they can be changed by the command [Kappa](#)⁶⁷⁴.

3.3.5.1.3 Slenderness (Property page)

SLENDERNESS (PROPERTY PAGE)

This property page is used to list the three slendernesses: to local axis 1 (lateral sway), 2 (flexural buckling) and 3 (flexural buckling).

3.3.5.1.4 Properties (Property page)

PROPERTIES (PROPERTY PAGE)

This property page outputs the weight, the cross-section, the number of cross-section in the cross-section array, the material and the material number in the cross-section array.

3.3.5.1.5 Orientation (Property page)

ORIENTATION (PROPERTY PAGE)

This property page is used to get information about how beam or truss elements orientation is defined. It is output the number of the third node, and the three components of the vector v . It is then specified if the orientation uses third node to define plane 1-2, or if it uses vector v to define plane 1-2, or if it uses vector v to define plane 1-3. The vector components are defined with reference to global axes.

3.3.5.1.6 Others (Property page)

OTHER(PROPERTY PAGE)

This property page lists the area reduction factor that is used by external checking modules to keep into account holes, the axial force initial value, the name and the group, of the chosen element.

3.3.6 Plates

COMMAND: Inquire-Plates

This command is used to get information about the plates. When the command is executed, a property sheet made up by several pages is opened. By moving the mouse, the nearest plate will be highlighted by a red dot. In real time the property sheet will list the data referring to the plate at hand. Clicking left the data will be fixed in the property sheet, and it is possible to switch from one page to the others, with no change of the plate element. The pages of the property sheets are:

[Connectivities](#)^[424]

[Properties](#)^[425]

[Other](#)^[425]

To exit from the command you must click the right mouse button or the ESC key.

Type: modeless

Destination: active view

3.3.6.1 Plates (Property sheet)

INQUIRE PLATES (PROPERTY SHEET)

This property sheet is made up by different panes, listing information about the plate-shell element chosen.

3.3.6.1.1 Connectivity (Property page)

CONNECTIVITY (PROPERTY PAGE)

This property page lists the element number (plate or membrane) and its connectivity nodes. If **n4** is 0 the element is triangular.

3.3.6.1.2 Properties (Property page)

PROPERTIES (PROPERTY PAGE)

This property page outputs the weight, the cross-section, the number of cross-section in the cross-section array, the material and the material-number.

3.3.6.1.3 Other (Property page)

ALTRI (PROPERTY PAGE)

Questa property page dà le seguenti informazioni:

- il nome;
- il gruppo;
- la costante di Winkler;
- il tipo dell'elemento selezionato;
- il numero di superficie di tipo contact;
- il numero di superficie di tipo target;
- il valore di penalty;
- il coefficiente di attrito;
- il gap.

3.3.7 Membrane

COMMAND: Inquire-Membrane

This command is used to get information about membrane elements. When the command is executed, a property sheet made up by several pages is opened. Moving the mouse, the nearest membrane element will be highlighted by a red dot. In real time, the property sheet will list the data referring to the memberane at hand. By clicking the mouse left, the data are fixed in the property sheet, and it is possible to switch from a page to the other, with no change of the membrane element. The pages of the property sheets are:

[Connectivities](#)^[426]

[Properties](#)^[427]

[Other](#)^[427]

To exit from the command click right the mouse or press the ESC key.

Type: modeless

Destination: active view

3.3.7.1 Membrane (Property sheet)

INQUIRE MEMBRANES (PROPERTY SHEET)

This property sheet embeds several panes displaying information about the membrane element chosen.

3.3.7.1.1 Connectivity (Property page)

CONNECTIVITY (PROPERTY PAGE)

This property lists the number of the plate or membrane element and its connectivity nodes. If **n4** is nulla the element is triangular.

3.3.7.1.2 Properties (Property page)

PROPERTIES (PROPERTY PAGE)

This property page outputs the weight, the cross-section, the number of cross-section, the material and the material number.

3.3.7.1.3 Other (Property page)

OTHER (PROPERTY PAGE)

This property page lists the name, the group, the Winkler's constant and the type of the selected element.

3.3.8 Solids**COMMAND: Inquire-Solids**

This command is used to get information about the solids. When the command is executed, a property sheet made up by several pages is opened. By moving the mouse, the nearest solid will be highlighted by a red dot. In real time the property sheet will list the data referring to the solid at hand. Clicking left the data will be fixed in the property sheet, and it is possible to switch from one page to the others, with no change of the solid element. The pages of the property sheets are:

[Connectivities](#)^[428]

[Properties](#)^[428]

[Other](#)^[428]

To exit from the command you must click the right mouse button or the ESC key.

Type: modeless

Destination: active view

3.3.8.1 Solids (Property sheet)

SOLID INQUIRE (PROPERTY SHEET)

This property sheet is made up of different property pages, each related to information referring to the chosen solid element.

3.3.8.1.1 Connectivity (Property page)

CONNECTIVITIES (PROPERTY PAGE)

This property page lists the number of the solid element, and its connectivity nodes.

3.3.8.1.2 Properties (Property page)

PROPERTIES (PROPERTY PAGE)

This property page lists the volume, the weight and the material of a solid element.

3.3.8.1.3 Other (Property page)

OTHERS (PROPERTY PAGE)

This property page lists the group name and number.

3.3.9 Spring

COMMAND: Inquire-Springs

This command is used to get information about the springs. When the command is executed, a property sheet made up by several pages is opened. By moving the mouse, the nearest spring will be highlighted by a red dot. In real time the property sheet will list the data referring to the spring at hand. Clicking left the data will be fixed in the property sheet, and it is possible to switch from one page to the others, with no change of the spring element. The pages of the property sheets are:

[Connectivities and Direction](#)^[429]
[Properties](#)^[429]
[Other](#)^[430]

To exit from the command you must click right or press the ESC key.

Type: modeless

Destination: active view

3.3.9.1 Spring (Property sheet)

SPRING INQUIRE (PROPERTY SHEET)

This property sheet is made up of different property pages, each related to information referring to the chosen spring.

3.3.9.1.1 Connectivity and direction (Property page)

CONNECTIVITIES AND DIRECTION (PROPERTY PAGE)

This property page lists the direction and the number of a spring element.

3.3.9.1.2 Properties (Property page)

PROPRIETÁ (PROPERTY PAGE)

Questa property page dà il tipo e le proprietà di un elemento molla. Una molla può simulare un cedimento se ad essa viene associata una forza.

Oltre al tipo, le proprietà fornite in questa sezione sono:

- le rigidezze K1 e K2;
- lo snervamento;
- il cedimento;
- il beta;
- il gap;
- il coefficiente di attrito;
- i limiti di rottura;
- la completezza della legge costitutiva.

3.3.9.1.3 Other (Property page)

OTHERS (PROPERTY PAGE)

This property page lists the group name and number.

3.3.10 Superelements

COMMAND: Inquire-Superelements

This command is used to get information about superelements. When the command is executed, a property sheet made up by several property pages opens. Moving the mouse it will be highlighted the nearest superelement, by a red dot. In real time, the property sheet will list the data referring to the superelement at hand. Clicking the mouse left, the data are fixed in the property sheet and it is possible to switch from one property page, to another, with no

superelement change. The pages of the property sheet are:

[Connectivities](#)^[431]

[Kappas](#)^[431]

[Others](#)^[432]

To exit from the command you can click the right mouse button or press the ESC key.

Type: modeless

Destination: active view

3.3.10.1 Superelements (Property sheet)

SUPERELEMENT INQUIRE (PROPERTY SHEET)

This property sheet is made up of different property pages, each related to information referring to the chosen superelement.

3.3.10.1.1 Connectivity (Property page)

CONNECTIVITY (PROPERTY PAGE)

This property page is used to output the superelement number and its connectivity nodes.

3.3.10.1.2 Kappas (Property page)

KAPPAS (PROPERTY PAGE)

This property page outputs the three slenderness factors and the length of the wireframe element. KAPPA1 refers to lateral sway.

By default the kappas are set to 1, but they can be changed by the command [Kappa](#)^[674].

OTHERS (PROPERTY PAGE)

This property page lists the group name and number.

3.3.11 Loads

COMMAND: Inquire-Azioni

Questo command serve ad avere informazioni sulle azioni presenti su nodi, travi, bielle, piastre e membrane.

Una volta avviato il command si entra in una situazione modeless, simile ad una interrogazione, che consente di scegliere l'oggetto che interessa (node, beam, truss, piastra o membrana a seconda della posizione del cursore. Per selezionare travi o bielle avvicinarsi all'asse della beam o truss lontano dai suoi estremi). In questa fase la pressione del tasto destro del mouse porta alla fine del command. Muovendo il mouse si muove un pallino rosso che indica l'oggetto più vicino. Cliccando a sinistra si sceglie un oggetto (quello indicato dal pallino rosso). Se si vedono due pallini anzichè uno, o nessun pallino, occorre dare il command [Ridisegna](#)^[442], preferibilmente cliccando sulla sua icona nella barra principale. Non occorre in tal caso interrompere il command: questo resta in background.

Scelto l'oggetto si apre il dialog [Azioni Presenti](#)^[433], che lista le azioni presenti sull'oggetto scelto nel caso scelto. Il caso scelto è quello correntemente attivo e può essere modificato nel corso del command (quando si muove il mouse). Se è attiva una combinazione compare un messaggio che chiede di scegliere un caso di carico. Se al momento di eseguire il command è attiva una combinazione il command non è accessibile.

Chiudendo il dialog il command non finisce: ci si ritrova nella fase modeless del command. E' così possibile scegliere un altro oggetto, cambiare caso di carico oppure finire il command. Per far ciò è necessario premere il tasto destro del mouse oppure il tasto ESC.

Type: modeless

Destination: active view

3.3.11.1 Load(s) applied (Dialog)

LOAD(S) APPLIED (DIALOG)

This dialog is used to list the loads applied to a node or to an element, in the active load case.

3.3.12 Seismic actions resultant

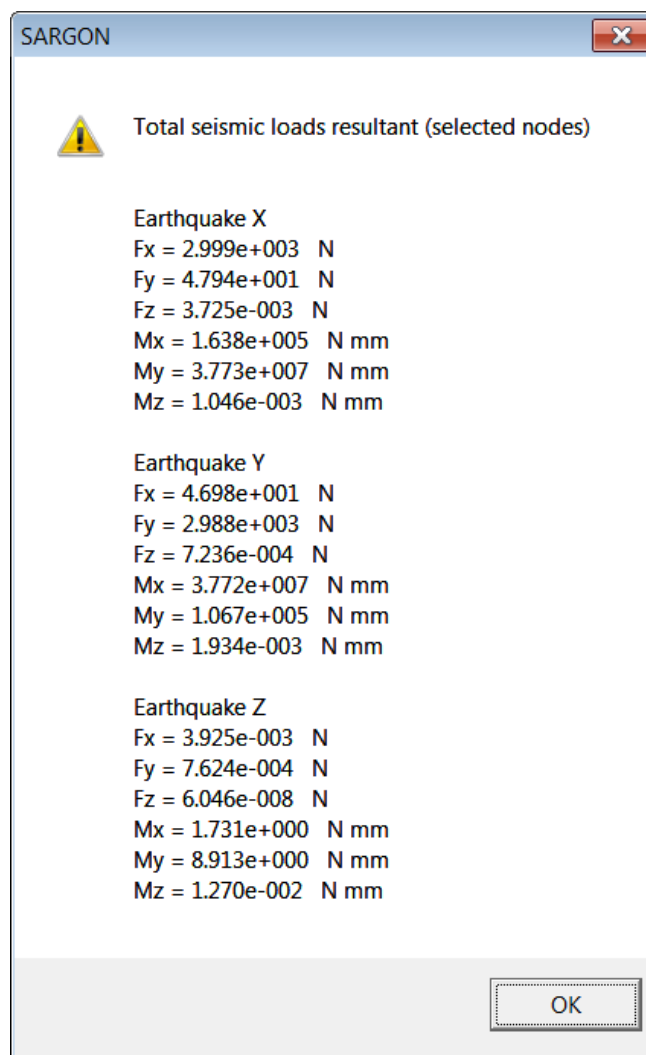
COMMAND: Inquire-Risultanti Azioni Sismiche

Perchè questo command possa funzionare devono essere selezionati dei nodi e deve preventivamente essere stata eseguita una analisi modal. Il command considera le forze derivanti da una analisi a spettro di risposta (che può anche non essere stata materialmente eseguita), ottenuta considerando un certo spettro e tutti i modi, in tutte e tre le possibili direzioni del sisma (X, Y o Z).

Alla esecuzione del command compare un opportuno [dialog](#)^[699] (lo stesso usato dal command [Edit-Azioni-Da spettro](#)^[698]), che, in questo ambito, serve meramente a introdurre lo spettro da utilizzare.

Il command calcola la risultante delle azioni ed i momenti ribaltanti rispetto agli assi globali dovuti alla analisi a spettro di risposta *sui nodi selezionati* (al limite: tutti i nodi della struttura). E' molto utile per conoscere i tagli globali sismici alle varie quote, associati alla tre possibili direzioni del sisma. Viene eseguita la CQC (Complete Quadratic Combination) o la SRSS con cluster, a seconda di come sia definito lo spettro.

Il risultato del command è un dialog informativo di questo tipo:



Type: modal

Destination: active view

3.3.13 Mass

COMMAND: Inquire-Masses

This command is linked to a dialog ([Total Mass on Selected Nodes](#)^[439]). It is used to get information on the overall mass of selected nodes, and so it is very useful during the input stage of the modal analysis. The use of this command helps to keep under control the masses added to the model.

The command lists the resultant of the masses in each direction, and the position of the center of mass, useful to check the required levels of accidental eccentricity.

For X direction masses, it is printed the Y and Z of the center; for the Y direction masses the X and Z; for those in Z direction the X and Y.

Type:modal

Destination: document

3.3.13.1 Total mass on selected nodes (Dialog)

TOTALE MASSA SUI NODI SELEZIONATI

Questo dialog dà il totale della massa dei nodi selezionati, nell'unità di forza attiva.

MTX: massa traslazionale X

MTY: massa traslazionale Y

MTZ: massa traslazionale Z

MRX: massa rotazionale X

MRY: massa rotazionale Y

MRZ: massa rotazionale Z

3.3.14 Cases

COMMAND: Inquire-Casi

Questo command serve a conoscere quanti casi di carico sono stati definiti, il loro nome e la loro etichetta. Alla esecuzione del command viene proposto un dialog ([Casi di Carico](#)^[436]), dal quale è possibile accedere (tasto **Modifica**), una volta scelto uno dei casi di carico, ad un dialog successivo ([Caso di Carico](#)^[436]) che consente di modificare i dati relativi al caso di carico prescelto. Lo stesso risultato si ottiene facendo doppio click sulla riga che corrisponde al caso di carico di interesse. Questo command ha anche la funzione, quindi, di modificare i dati (nome ed etichetta) di un caso di carico.

La terza funzione svolta da questo command è quella di consentire il posizionamento su un caso di carico diverso da quello attivo al momento della esecuzione del command stesso. Infatti, alla chiusura del dialog, sarà reso attivo, nella vista corrente, il caso di carico selezionato nel dialog Casi di Carico. Per cambiare caso di carico è quindi sufficiente eseguire questo command e selezionare un caso diverso nel dialog [Casi di Carico](#)^[436].

La quarta ed ultima funzione svolta da questo command è quella di consentire la cancellazione di casi di carico. La cancellazione di casi di carico (uno per volta) avviene selezionando il caso di carico che interessa e premendo il tasto **Elimina**. Non è possibile cancellare un caso di carico se sono presenti combinazioni.

Type:modal

Destination: document, vista (per la modifica del caso corrente).

3.3.14.1 Load cases (Dialog)

LOAD CASES (DIALOG)

This dialog outputs a summarizing table referring to load cases. For each load case, the number, the type and the name of the load case is listed. To modify, double click the load case to be modified, or select it and choose **Modify....** This opens the dialog [Load Case](#)^[436].

3.3.14.1.1 Load case (Dialog)

CASO DI CARICO (DIALOGO)

Questo dialog viene presentato in seguito alla richiesta di un nuovo caso di carico, o in seguito alla richiesta di modificare un caso esistente.

Occorre stabilire il tipo dal nuovo caso di carico e dare ad esso un nome, che verrà poi utilizzato per identificarlo.

Ad ogni caso di carico devono essere associati tre moltiplicatori, relativi ai valori rari (Psi0), frequenti (Psi1) e quasi permanenti (Psi2) del caso di carico in esame. A seconda della

etichetta del caso i valori possono essere diversi. La pressione dei tasti **Italia?** Ed **EC3?** Dà una serie di valori che sono i valori previsti dalle normative per il tipo di carico in quel momento attivo (**vento** o **variabile** o **neve**). Se cambia il tipo cambiano anche i valori suggeriti. Nulla vieta di dare dei valori diversi da quelli suggeriti. I coefficienti qui determinati saranno impiegati dal command per la generazione automatica delle combinazioni (vedi il [dialog opportuno](#)^[713]).

3.3.15 Combinations

COMMAND: Inquire-Combinazioni

Questo command serve a conoscere quante combinazioni di carico sono stati definite, il loro nome e i moltiplicatori. Alla esecuzione del command viene proposto un dialog ([Combinazioni](#)^[438]), dal quale è possibile accedere (tasto **Modifica**), una volta scelto uno dei casi di carico, ad un dialog successivo ([Combinazione](#)^[438]) che consente di modificare i dati relativi alla combinazione prescelta. Lo stesso risultato si ottiene facendo doppio click sulla riga che corrisponde alla combinazione di interesse. Questo command ha anche la funzione, quindi, di modificare i dati (nome e moltiplicatori) di una combinazione di carico.

La terza funzione svolta da questo command è quella di consentire il posizionamento su una combinazione diversa da quella attiva al momento della esecuzione del command stesso. Infatti, alla chiusura del dialog, sarà reso attiva, nella vista corrente, la combinazione selezionata nel dialog [Combinazioni](#)^[438]. Per cambiare combinazione è quindi sufficiente eseguire questo command e selezionare una combinazione diversa nel dialog [Combinazioni](#)^[438].

La quarta ed ultima funzione svolta da questo command è quella di consentire la cancellazione di combinazioni. La cancellazione di combinazioni (una per volta) avviene selezionando la combinazione che interessa e premendo il tasto **Elimina**.

Type:modal

Destination: document, vista (per la modifica della combinazione corrente).

3.3.15.1 Combinations (Dialog)

COMBINATIONS (DIALOG)

This dialog prints out a summarizing table referring to load combinations. It is the same dialog used to [modify combinations](#)^[719], and more info may be got there.

For each combination it is printed the number and the name. To have more information you may double click over the desired combination, or select it and choose **Modify...**

This action opens the dialog [Combination](#)^[438].

3.3.15.1.1 Combinations (Dialog)

COMBINATION (DIALOG)

This dialog gives information about the combination being inquired. It is the same dialog used for the [addition of a combination](#)^[708]: use the link to have more info.

3.3.16 Selected objects

3.3.16.1 General

COMMAND: Inquire-Selected Object-General

This command outputs general information only about the objects selected when the command is executed. The command is linked to a proper dialog ([Selected Objects](#)^[439]).

Type: modal

Destination: document.

3.3.16.1.1 Selected objects (Dialog)

OGGETTI SELEZIONATI

Questo dialog dà informazioni sugli oggetti selezionati. Procedendo dall'alto verso il basso e da sinistra verso destra, esso dà:

- il numero dei nodi selezionati;**
- il numero delle bielle selezionate;**
- il numero delle travi selezionate;**
- il numero delle piastre selezionate;**
- il numero delle membrane selezionate;**
- il numero delle molle selezionate;**
- il numero dei superelementi selezionati;**
- il peso delle bielle selezionate;**
- il peso delle travi selezionate;**
- la lunghezza delle bielle selezionate;**
- la lunghezza delle travi selezionate.**

3.3.16.2 Loads**COMMAND: Inquire-Selected Objects-Loads**


This command is very important to check data. It is used to get information about the resultant of the loads applied on the selected entities. When the command is executed a proper dialog ([Load Cases](#)^[440]) is opened, to input the load case of interest. Then a modal [property sheet](#)^[440] is opened, made up by several property pages. Each page is related to a type of loads. The last page prints the resultant of all the types of loads. Once the property sheet is closed, you will be back to the initial dialog.

Type: modal

Destination: document.

3.3.16.2.1 Load cases (Dialog)

LOAD CASES (DIALOG)

This dialog is used to choose one of the load cases before further action. The choice is done or by double-clicking over the load case of interest, or by selecting the load case and, then, pressing the button .

3.3.16.2.1.1 Loads on selected objects (Property sheet)

LOADS ON SELECTED OBJECTS (PROPERTY SHEET)

NODAL UNIFORM CONCENTRATED LINEAR GENERALI TOTAL

This property sheet is used in six different ways by the command used to inquire the resultant of the loads applied to the selected entities. The forces and moments resultant of the loads applied to the selected entities are listed, and the point of application of the resultant. The loads used for the computation are those whose type (**Nodal**, etc.) is summarized in the dialog title. **Total** is the overall resultant.

3.3.17 Display slenderness

3.3.17.1 A Slend 2

COMMAND: Inquire-Slenderness-Slend 2

This command is used to display a colour map of the slenderness about principal local axis 2.

Type: flag

Destination: active view.

3.3.17.2 B Slend 3

COMMAND: Inquire-Slenderness-Slend 3

This command is used to display a colour map of the slenderness about principal local axis 3.

Type: flag

Destination: active view.

3.3.17.3 C Slend Max

COMMAND: Inquire-Slenderness-Slend Max

This command is used to display a colour map of the maximum slenderness about local principal axes 2 and 3.

Type: flag

Destination: active view.

3.3.18 Find

COMMAND: Inquire-Find

This command is used to find objects whose progressive number is known. When the command is executed a dialog opens ([Find](#)⁴⁴²¹) asking the necessary information. The entity will

be highlighted in the active view.

Type:modal

Destination: active view.

3.3.18.1 Find (Dialog)

FIND

This dialog is used to input two data: a number and a type. After pressing OK, the object of the requested type, having the requested number, will be highlighted and selected.

3.4 Draw

3.4.1 Redraw

COMMAND: Draw-Redraw

This command invalidates active view, which is immediately refreshed.

Type:immediate

Destination: view.

3.4.2 Enclose

COMMAND: Draw-Enclose

This command is used to see the whole model in the active view window.

Type:immediate

Destination: view.

3.4.3 Pan

COMMAND: Draw-Pan

This command is used to move the viewport by a vector input by the user. Once the command is executed, two points are asked, inside the active view. Points can be chosen by the mouse or by the keyboard. Once the second point is chosen, the viewport will be translated by the vector required. Now the command will wait for the first point of the second vector, and so on.

The command is cyclic, meaning that the request of a vector continues until the command is explicitly stopped by clicking the right mouse button or ESC key. As the command is cyclic, it is easy to adjust to the desired view.

Type: modeless

Destination: active view.

3.4.4 Pan up

COMMAND: Draw-Pan su

Questo command viene impiegato per spostare il riquadro di vista di uno scatto in su.

Type: immediato

Destination: active view.

3.4.5 Pan down

COMMAND: Draw-Pan down

This command is used to move the view-frame a tick downward.

Type: immediate

Destination: active view.

3.4.6 Pan right

COMMAND: Draw-Pan right

This command is used to move the view-frame a tick rightward.

Type: immediate

Destination: active view.

3.4.7 Pan left

COMMAND: Draw-Pan left

This command is used to move the view-frame a tick leftward.

Type: immediate

Destination: active view.

3.4.8 Zoom In

COMMAND: Draw-Zoom In

This command is used to enlarge a detail of the model. The command needs a box input by the user: [Input a box](#)^[33]), that will be remapped depending on the window size.

Type: modeless

Destination: view.

3.4.9 Zoom In Click

COMMAND: Draw-Zoom In Scatto

Questo command consente di ingrandire di uno scatto il disegno.

Type: immediato

Destination: vista.

3.4.10 Zoom Out

COMMAND: Draw-Zoom Out

This command is used to see the model smaller. The command waits for the input of a frame (that is a box: [Input a box](#)^[33]), that will be remapped depending on window size.

Type: modeless

Destination: view.

3.4.11 Zoom Out Click

COMMAND: Draw-Zoom Out Scatto

Questo command consente di rimpicciolire di uno scatto il disegno.

Type: immediato

Destination: vista.

3.4.12 Last Zoom

COMMAND: Draw-Last Zoom

This command repeats last zoom.

Type: immediate

Destination: view.

3.4.13 Standard View

COMMAND: Draw-Standard Views

This command opens a dialog ([Standard Views](#)⁴⁴⁶) which is used to choose one of the standard views (x, y, z, -x, -y, -z, several possible isometric views) by clicking a bitmap button.

Type: modal

Destination: view.

3.4.13.1 Standard views (Dialog)

STANDARD VIEWS (DIALOG)

This dialog is used to change view, choosing one of the standard views. Each view is mapped to a bitmap button. After the view changes, the model will be displayed with all its content.

3.4.14 Remap

COMMAND: Draw-Rimappa

Questo command consente di cambiare la direzione della vista nella active view. Tramite il mouse è possibile definire lo spostamento angolare, relativo alla direzione di vista corrente, della nuova direzione di vista.

Il versore della nuova vista è rappresentato dal raggio della sfera che compare sullo schermo ([dialog](#)^[447]): in particolare, la vista corrente è sempre rappresentata dal raggio che congiunge il centro della sfera con il punto del parallelo maggiore (equatore) posto più in basso sullo schermo; la scelta di tale raggio non produce alcuna variazione nel disegno. Segnali rossi rimarkano gli angoli notevoli misurati sui meridiani e sui paralleli. Tali angoli notevoli sono 0, 30, 45, 60, e 90 gradi.

La vista è aggiornata in tempo reale mentre il mouse viene mosso.

La pressione del tasto sinistro fa scegliere la nuova vista. La pressione del tasto destro del mouse fa interrompere il command.

Premendo un tasto qualsiasi della tastiera anzichè il tasto sinistro del mouse, è possibile dare le tre componenti del vettore della vista in modo numerico (avendo indicati i valori attuali di tale vettore di vista). Infatti, premendo un tasto qualsiasi della tastiera compare un opportuno dialog ([Cambia Vista](#)^[448]) che chiede di fornire i dati necessari.

Type: modal

Destination: active view.

3.4.14.1 Worldmap (Dialog)

WORLD MAP (DIALOG)

This dialog is used to change view in two different ways.

A first mode is by left-clicking with the mouse, so as to choose a different view-vector.

A second mode is to press any keyboard key, opening the dialog [Change View](#)^[448] and then

setting the components of the new view-vector by using the keyboard.

3.4.14.1.1 Change view (Dialog)

CHANGE VIEW

This dialog is used to reset the view-vector, setting its three components. It is not necessary that the vector has unit norm.

3.4.15 Turn anticlockwise

COMMAND: Draw-Turn anticlockwise

This command turns the view-vector by 5° counterclockwise, in an horizontal plane.

Type: immediate

Destination: view.

3.4.16 Turn clockwise

COMMAND: Draw-Turn clockwise

This command turns the view-vector of 5° degrees clockwise, in an horizontal plane.

Type: immediate

Destination: view.

3.4.17 Turn up

COMMAND: Draw-Turn up

This command turns the view-vector of 5° upward, in a vertical plane.

Type: immediate

Destination: view.

3.4.18 Turn down

COMMAND: Draw-Turn down

This command turns the view-vector of 5° degrees downward, in a vertical plane.

Type: immediate

Destination: view.

3.4.19 Three points

COMMAND: Draw-3 Points

This command is used to change the view vector. The new view will be defined by the vector normal to a plane, passing through 3 points selected by the user (and not aligned). The three points must also be existing nodes of the structure. Therefore, three nodes must be chosen, pressing the left mouse button (or the ENTER key). The command may be aborted by pressing the right mouse button, or the ESC key.

Type: modeless

Destination: active view.

3.4.20 Extract

COMMAND: Draw-Estrai

Questo command serve a estrarre alcuni elementi dal modello vedendo solo loro. Tutti gli elementi non estratti verranno nascosti. Gli elementi non estratti sono gli elementi che non figurano selezionati nel serbatoio estrai ([Serbatoi di Selezione](#)^[125]) al momento della esecuzione del command.

Un segno di spunta sulla riga del menù corrispondente al command indica la modalità estrai. Se il segno di spunta manca vuol dire che la modalità è quella normale.

Se una parte della struttura è stata estratta, le verifiche, la deformata e i diagrammi di azioni interne vengono visualizzati per i soli elementi estratti.

Nel caso in cui si sia fatta un'estrazione, è conveniente porre come serbatoio di selezione corrente il serbatoio 1, 2 o 3 onde non interferire con quanto contenuto nel serbatoio di estrazione in modo accidentale. Eventuali modifiche del contenuto del serbatoio *estrai*, infatti, hanno effetto immediato.

Se si vuole cambiare il sottoinsieme di oggetti estratti, è sufficiente deselezionare parte degli oggetti selezionati nel serbatoio *estrai* o, viceversa, aggiungerne di nuovi.

Es: se si vogliono visualizzare solo due sottoinsiemi distinti in modo rapido, basta conservare i due sottoinsiemi in due serbatoi, per esempio 2 e 3, e selezionare tutti gli oggetti (posizionandoli nel serbatoio di estrazione) con un filtro sul serbatoio ([Filtri di Selezione](#)^[123]). In questo modo tutto ciò che era selezionato, per esempio nel serbatoio 2, viene immediatamente selezionato nel serbatoio *estrai*.

Type: immediato

Destination: active view.

3.4.21 Define view

COMMAND: Draw-Define View

This command, stores the active view in the position specified, thanks to a proper dialog ([User View Definition](#)^[451]). Later, the recorder view can be activated by the command [User View](#)^[451].

Type: modal

Destination: active view.

3.4.21.1 User's view definition (Dialog)

DEFINITION OF A USER'S VIEW (DIALOG)

The current view will be stored as View 1, 2 o 3 depending on the pressed button.

3.4.22 User view

COMMAND: Draw-User View

This command is used to recall a user view previously recorded by the command [Define View](#)^[450]. When the command is executed a proper dialog opens ([Richiamo di una User View](#)^[451]) letting the user choose the user view.

Type: modal

Destination: active view.

3.4.22.1 User's view recall (Dialog)

USER VIEW RECALL (DIALOG)

The new view will be the User View 1, 2 or 3 depending on the button pressed (View

1, 2 or 3).

3.4.23 Generate members!

COMMAND: Draw-Generate members!

This command must necessarily be executed before the automatic creation of the drawings, as by the command [Drawings...](#)^[455].

The command transforms a beam and truss model in a member model (beams and trusses are obviously kept, the member model is added and later used). This means that if a member has been modelled by more than one finite element, in the drawing it will be displayed as one element only, and not as made up by several elements. When defining the members the program keeps into account the end releases (which break the continuity of a member) the connection codes (which have the same use, breaking the geometric continuity without breaking the static continuity), and the cross-section assignment, their orientation, et cetera. This functionality has been transferred from CSE to Sargon in order to allow better drawings creation.

Type: immediate

Destination: document, but member model is not serialized, i.e. is not saved onto disk.

3.4.24 Alignments...

COMMAND: Draw-Alignments...

This command is used to manage the fixed alignments defined in the model. When the command is executed a proper [dialog](#)^[453] opens, allowing to add, delete or modify fixed alignments.

Type: modal

Destination: document

3.4.24.1 Alignments management (Dialog)

GESTIONE ALLINEAMENTI (FILI FISSI) (DIALOGO)

Questo dialog consente di fare tutte le scelte necessarie al fine di gestire l'insieme dei fili fissi presenti all'interno del modello. Per "filo fisso" si intende un piano di equazione nota. I fili fissi sono descritti mediante "nomi" organizzati secondo criteri logici.

Il riquadro alla sinistra del dialog lista tutti i fili fissi presenti nel modello. Ogni riga rappresenta un filo fisso, con il suo nome e l'equazione del piano corrispondente (tenendo conto delle unità di misura attive). Le righe sono singolarmente selezionabili e alcuni bottoni sulla destra consentono di fare scelte sul luogo selezionato. I bottoni sono i seguenti:

Aggiungi via equazione

Consente di aggiungere un nuovo luogo specificandone l'equazione. Alla pressione del button compare un nuovo [dialog](#)⁴⁵⁵ che consente di descrivere il nuovo luogo. Il luogo verrà aggiunto a quelli esistenti.

Aggiungi via selezione

Consente di aggiungere molti luoghi a quelli esistenti esaminando gli elementi beam e truss selezionati. Se esiste una e una sola terna di nodi non allineati selezionati anche il piano da loro definito sarà aggiunto da questo command. Per ogni coppia di elementi congiunti selezionati, non allineati, è definibile l'equazione di un piano. L'equazione di questo piano è raffrontata con quella dei piani esistenti e, se il piano non esiste, esso viene aggiunto e gli elementi deselezionati. Se il button viene premuto a partire da una situazione di assenza di fili fissi, come avviene di solito, i fili fissi vengono nominati automaticamente, in caso contrario gli viene dato un nome temporaneo "???" che sarà poi l'utente a modificare.

L'assegnazione automatica del nome ai luoghi segue queste regole:

- Piani del tipo “ $x=\text{costante}$ ”: 1, 2, 3, 4, ...ecc.
- Piani del tipo “ $y=\text{costante}$ ”: A, B, C, D, ecc.
- Piani del tipo “ $z=\text{costante}$ ”: L1, L2, L3, L4

Questo button è molto utile per inizializzare i luoghi di un modello. Il command può trovare luoghi indesiderati (se per facilità sono stati selezionati tutti gli elementi) oppure mancare di aggiungere luoghi desiderati (se esistono luoghi privi di coppie di elementi selezionati). Nel primo caso i luoghi indesiderati si possono facilmente rimuovere. Nel secondo caso i luoghi si possono aggiungere manualmente, oppure, prima della esecuzione del command, è possibile aggiungere selezionandoli degli elementi fittizi al solo scopo di far trovare i luoghi desiderati al command.

Rimuovi

Rimuove il luogo selezionato.

Rimuovi tutti

Rimuove tutti i luoghi.

Modifica

Dà accesso ad un opportuno [dialog](#)⁴⁵⁵ che consente di modificare il nome o l'equazione del luogo.

Ordina!

Riordina i luoghi sulla base delle loro equazioni.

3.4.24.1.1 Addition of a fixed alignment (Dialog)

ADDITION OF A FIXED ALIGNMENT (DIALOG)

This command is used both to input the data identifying a new fixed alignment, both to modify an existing fixed alignment.

The following data must be input:

1. The alignment identifier. It is strongly suggested to use short identifiers, because the automatic marking system uses the fixed alignments identifiers. The following identifiers may be valid examples: “1”, “7”, “A”, “M”, “AA”, “A1”, “1A”, “L1”, etc.
2. The equation of the locus (a plane), in the form $ax+by+cz=d$, where you must input a, b, c (nondimensional numbers) and d (using active length unit).

3.4.25 Drawings...

COMMAND: Draw-Drawings...

This command is used to automatically create the drawings in DXF format, referring to one or more fixed alignments among those defined in the structure. When the command is executed a proper [dialog](#)^[455] is opened, and this enables the user to choose which drawings to create and with which settings (see also [How to generate drawings](#)^[261]). Before executing this command, the command [Generate Members!](#)^[452] must have been executed.

Type: modal

Destination: document

3.4.25.1 Drawings creation (Dialog)

CREAZIONE DISEGNI (DIALOGO)

Questo dialog consente di decidere quali tavole creare e con quali impostazioni. Alla sinistra del dialog c'è un riquadro con la lista di tutti gli allineamenti (fili fissi) presenti nel modello.

I fili fissi possono essere aggiunti mediante il command [Draw-Fili fissi](#)^[452]. Ciascun filo fisso può essere selezionato o meno. Se è selezionato la sua tavola verrà creata dal programma altrimenti no. Ad ogni filo fisso selezionato corrisponde un distinto file DXF, il cui nome è ottenuto aggiungendo al nome del modello il nome del luogo. Ad esempio per un modello denominato “pippo” nella cartella “c:\pluto”, al luogo denominato “A1” corrisponderà il file “c:\pluto\pippo.A1.dxf”. I bottoni **Tutti** e **Nessuno** servono a selezionare tutti i luoghi o a deselectarli, con effetto immediato.

Nel riquadro di destra sono presenti delle caselle di scelta che consentono di decidere cosa il disegno dovrà contenere e cosa no (si veda anche [Come generare i disegni](#)^[261]).

Membrature wireframe

Se la spunta è presente verranno aggiunte linee corrispondenti alla linea d'asse delle membrature.

Membrature solide proiettate

Se la spunta è presente verranno aggiunte le linee corrispondenti ad una vista solida proiettata della membratura. Le linee nascoste sono posizionate su un layer a parte.

Marche

Se la spunta è presente verranno aggiunte le marche delle membrature.

Etichette sezione

Se la spunta è presente verranno aggiunte le etichette di sezione a ciascuna membratura

Segni connessione

Se la spunta è presente verranno aggiunti i segni di connessione all'estremo delle membrature.

Azioni afferenti ai giunti

Se la spunta è presente verranno aggiunti i valori numerici delle sollecitazioni involuppo agli estremi delle membrature, con le forze in kN ed i momenti in kNm. Tale opzione è molto comoda se si vuole informare una terza parte mettendola in condizione di progettare i giunti.

Fili fissi

Se la spunta è presente verranno aggiunti i segni grafici che individuano tutti i fili fissi così come intersecano il luogo della generica tavola.

Elementi intersecati (sezioni)

Se la spunta è presente verranno aggiunte le sezioni degli elementi tagliati dal filo fisso della tavola corrente. Tale opzione è utile per rappresentare membrature non giacenti sul luogo e da questo intersecate.

3.5 Mesh

3.5.1 Nodes

3.5.1.1 Add...

COMMAND: Mesh-Nodes-Add...

This command is used to add a node to the model. The nodal coordinates must be input using the active length unit. The added node is not constrained at all. The command opens the dialog [Adding of a node](#)^[458].

Type: modal

Destination: document.

3.5.1.1.1 Adding of a Node (Dialog)

ADDING OF A NODE (DIALOG)

This dialog is used to input the three nodal coordinates, in the active length unit, of the node in for being added.

Note well: to create a mesh it is not necessary to use this command. The element addition automatically implies adding nodes.

3.5.1.2 Move...

COMMAND: Mesh-Nodes-Move...

This command is used to move the selected nodes of a proper vector. The vector is input by the dialog [Shift of Selected Nodes](#)^[458].

Note: the command **Validation-Change Coordinate System-Move**, that works in a very similar way: see [here](#)^[808].

Type: modal

Destination: document.

3.5.1.2.1 Shift of Selected Nodes (Dialog)

SHIFT OF SELECTED NODES (DIALOG)

This dialog is used to set, in the active length unit, the three components of a translation-vector to be applied to the selected nodes. The elements connected to the nodes being shifted, will be changed accordingly, they "follow".

3.5.1.3 Move 2...

COMMAND: Mesh-Nodi-Trasla 2

Questo command consente di traslare file di nodi allineati. Dapprima compare un opportuno [dialog](#)⁴⁵⁹, poi l'utente deve specificare il primo e l'ultimo node della fila cliccandovi sopra. Il primo node della fila è il primo node scelto dall'utente. L'ultimo node della fila è il secondo node scelto dall'utente. Sono possibili due modalità operative.

Nella prima modalità i nodi vengono traslati linearmente in funzione della loro distanza dal primo node della fila (modalità "/"). L'ultimo node della fila verrà spostato della quantità specificata dall'utente, i nodi intermedi della quantità (adx, ady, adz), dove (dx, dy, dz) è lo spostamento totale, a è una ascissa adimensionale compresa tra 0 (primo node della fila) ed 1 (ultimo node della fila).

Nella seconda modalità ("^") i nodi vengono traslati in modo lineare a tratti, secondo la regola

Se $a < 0.5$ $(2adx, 2ady, 2adz)$

Se $a > 0.5$ $(2(1-a)dx, 2(1-a)dy, 2(1-a)dz)$

In modo tale cioè che lo spostamento specificato dall'utente vada sul node di mezzo della fila, ed agli altri, allontanandosi dal centro, uno spostamento gradatamente decrescente. Non è necessario che il node centrale esista.

Type: modal e poi modeless

Destination: document.

3.5.1.3.1 Move 2 (Dialog)

MOVE 2 (DIALOG)

This dialog is used to specify part of the data necessary to the command that moves rows of aligned nodes.

The lengths $dx2$, $dy2$, $dz2$ are the components of the translation vector to be applied. They must be input with reference to the global system, and using active length unit.

The two buttons "/" and "\" are used to choose one of the operating modes of the command. If the first button is pressed the shift will be applied to the last node of the row, and then in a linearly decreasing amount to the others, up to a null shift assigned to the first node of the row..

If the second button is pressed the shift will be entirely applied to the center of the row of aligned nodes, and with a decreasing amount moving to the extremities, where it will be null.

Once the data are input, and the button "OK" is pressed, the user will have to ordinate specify the first and the last nodes of each row, by clicking them with the mouse.

3.5.1.4 Move over surface...

COMMAND: Mesh-Nodes-Move over surface

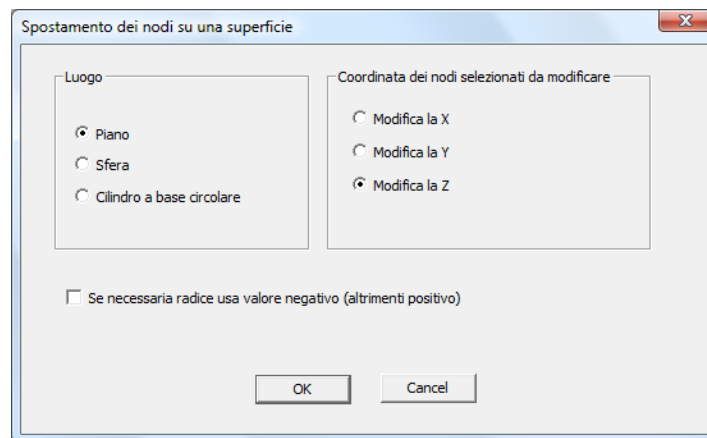
This command is used to translate the selected nodes over the desired surface. Once the nodes that are in for being moved have been selected, the command is executed so opening a proper [dialog](#)⁴⁶⁰ where the surface and the translation mode are set.

Type: modal

Destination: document

3.5.1.4.1 Shift of the Nodes Belonging to a Surface (Dialog)

SHIFT OF THE NODES BELONGING TO A SURFACE (DIALOGO)



It is possible to shift the selected nodes so as to match the following surfaces:

- plane
- sphere
- cylinder having circular base

In the right box the coordinate that must be modified is chosen (X, Y or Z; the other two will not be modified).

After pressing OK, the surface definition is asked, and this can be input numerically or clicking proper nodes.

3.5.1.5 Move from Displacements

COMMAND: Mesh-Nodi-Trasla come da spostamenti

Questo command consente di traslare i nodi selezionati in base agli spostamenti nodali calcolati precedentemente.

Dopo aver eseguito l'analisi del modello, ci si posiziona nel caso di carico (o nella combinazione) desiderato, si selezionano i nodi da traslare e si esegue il command: ognuno dei nodi selezionati subirà uno spostamento pari a quello calcolato in quel caso di carico (o in

quella combinazione).

Nota: la traslazione dei nodi comporta la perdita dei risultati delle analisi precedentemente svolte.

Type: immediato

Destination: document

3.5.1.6 Rotate...

COMMAND: Mesh-Nodi-Ruota...

Questo command serve a ruotare i nodi selezionati rispetto ad un asse. Se vi sono elementi attaccati ai nodi ruoteranno anch'essi.

Prima di eseguire il command occorre selezionare i nodi che si intende ruotare. Dopo, il command RUOTA fa specificare l'asse di rotazione, e l'angolo di rotazione (positivo secondo la regola classica del calcolo vettoriale). L'angolo va specificato in gradi.

Appena il command viene eseguito viene chiesto all'utente di chiarire con quale modalità fornirà i dati: se interamente via tastiera, oppure se fornendo prima il vettore che definisce l'asse di rotazione mediante la scelta di due nodi e poi, via tastiera, l'angolo di rotazione.

Se l'utente sceglie di usare la tastiera gli viene presentato un [dialog](#)^[463] in cui gli si chiedono i dati necessari.

Se l'utente sceglie la modalità mista, egli deve prima scegliere due nodi che danno, ordinatamente, il primo ed il secondo estremo del vettore rotazione (in questa fase il command è non-modal). Poi gli viene proposto un opportuno [dialog](#)^[463] che serve a specificare l'angolo di rotazione.

Type: modal se il vettore è definito via tastiera, modeless e poi modal se è definito con la scelta di nodi

Destination: document.

3.5.1.6.1 Rotation (Dialog)

ROTATION (DIALOGO)

This dialog is used to define the rotation axis (directed from point 1 toward point 2) and the rotation angle.

The angle is input using degrees, and is positive if counterclockwise.

3.5.1.6.2 Rotation (Dialog)

ROTATION (DIALOG)

This dialog is used to set the rotation angle (positive if counter-clockwise).

3.5.1.7 Reposition...

COMMAND: Mesh-Nodes-Reposition...

This command is used to reset selected nodes nodal position, in the new position specified by the user, or to change some of the nodal coordinates (the ones desired) to new values. The command opens a proper [dialog](#)⁴⁶³.

Type: modal

Destination: document.

3.5.1.7.1 Node Position (Dialog)

NODE POSITION (DIALOG)

This command is used to set a new position that will be applied to the selected node(s). Coordinates are in the active length units. It is also possible to activate or deactivate the change only of some coordinates, and not of others. This allows an easier change.

3.5.1.8 Clean

COMMAND: Mesh-Nodes-Cut

This command is used to remove unreferenced nodes from the model. If there are nodes which are not connected to any element, the so-called unreferenced nodes, and the nodes are not fully clamped, the model is not tied down enough and the stiffness matrix cannot be inverted. Third nodes of beam and truss elements are not unreferenced nodes. The first six nodes of the model, often used as third nodes, are all automatically clamped.

Type: immediate

Destination: document.

3.5.1.9 Display Double

COMMAND: Mesh-Nodes-Display Double

This command is used to display and so detect the possible double nodes. A node is double if there is another node at a distance lower than the tolerance ([Tolerance](#)⁴⁶⁴). It is recommended to use this command to avoid possible meshing problems.

Type: immediate

Destination: active view.

3.5.1.10 Tolerance...

COMMAND: Mesh-Nodes-Tolerance...

This command, linked to a proper [dialog](#)⁴⁶⁵, is used to modify the distance below which two nodes are considered as "double" by the program.

Type: modal

Destination: document.

3.5.1.10.1 Node Tolerance (Dialog)**NODE TOLERANCE (DIALOGO)**

This dialog is used to set a distance using active length unit. The program will consider as double, nodes whose distance is lower than the tolerance.

3.5.1.11 Numbering**3.5.1.11.1 Sort****COMMAND: Mesh-Nodes-Numbering-Sort...**

This command, linked to a proper [dialog](#)⁴⁶⁵, is used to modify the numbering order of the nodes. This command, if properly used, can considerably reduce the band width of the stiffness matrix of the system.

Type: modal

Destination: document.

3.5.1.11.1.1 Node Sorting (Dialog)**NODE SORTING (DIALOG)**

This dialog is used to define a criterion by which nodes will be renumbered. A different choice is mapped to each radio button. If, for instance, the button “X,Y,Z” is chosen, this means that the nodes will be renumbered first along X direction, then along Y direction, and finally along Z direction.

To decrease the band width it is usually useful to renumber first along shortest side, and then along the others. Shortest means, in this case, having the least number of nodes, not necessarily shortest dimension.

The command may be executed also if loads have been already applied.

3.5.2 Beams and Trusses

3.5.2.1 Add...

COMMAND: Mesh-Travi e bielle-Aggiungi...

Questo command ha per scopo l'aggiunta di travi o bielle. Esso è uno dei comandi più usati di Sargon, e ne va quindi compreso il funzionamento.

Supponiamo dapprima che i nodi che definiscono gli elementi che occorre aggiungere ci siano già. In tal caso il command consente di attaccarsi a questi nodi cliccando a sinistra con il mouse, o premendo il tasto INVIO. Il node scelto è quello indicato dal pallino mobile, ed è sempre il più vicino al cursore.

Il command prevede due modalità operative: nella prima (definita *singola*) l'utente aggiunge una serie di elementi che in generale non hanno in comune alcun node. Un elemento qui, uno lì, eccetera. Nella seconda modalità operativa (*multipla*) l'utente aggiunge una serie di travi che hanno questa proprietà: il primo node di ogni beam successiva alla prima coincide con il secondo node della beam precedente.

Ogni volta che si esegue il command occorre decidere se si vorranno dare travi oppure bielle. Inoltre occorre decidere quale sarà il terzo node delle travi che verranno aggiunte di lì a poco.

Il command così descritto richiederebbe la preliminare aggiunta dei nodi che interessano. In realtà, in qualunque momento durante l'esecuzione del command si può aggiungere un node, se questo non è presente: basta premere la barra spaziatrice o un tasto qualsiasi che non sia INVIO: compare subito un dialog modal ([Aggiunta di un node in coordinate relative](#)^[468] oppure [Aggiunta di un node](#)^[458], a seconda del momento in cui il node viene richiesto) che chiede le coordinate del node da aggiungere nella unità attiva. Se il node che viene richiesto è il primo node della fila (*multipla*), oppure se è il primo node di una delle travi (*singola*), le coordinate richieste sono assolute; altrimenti vengono chieste le coordinate relative all'ultimo node aggiunto.

Non è pertanto necessario aggiungere i nodi prima di eseguire il command: i nodi possono essere aggiunti in corso d'opera.

Se il node che viene aggiunto è già presente esso non viene duplicato, a meno che il flag [Nodi doppi](#)^[515] sia acceso.

Nel dare le travi è necessario fare in modo che nessun elemento abbia i due nodi allineati con il terzo node: in caso contrario il programma dà un messaggio d'errore e chiede di ripetere la scelta del node.

Da un punto di vista operativo la prima cosa che compare è un opportuno dialog modal ([Aggiunta di travi e Bielle](#)^[468]). Dopo il dialog modal il command diviene modeless: l'utente può cambiare vista, usare le barre di scorrimento, fare zoom, eccetera, nel corso del command. In questa fase può capitare che il pallino mobile scompaia o che se ne vedano due: basta eseguire il command [Ridisegna](#)^[442] perchè tutto torni normale.

Via via che si aggiungono gli elementi questi verranno assegnati al gruppo attivo al momento della pressione del tasto sinistro del mouse (o di CR). Il gruppo attivo può essere cambiato mentre si stanno aggiungendo gli elementi.

A partire dalla versione 7.20 è anche possibile generare nuovi elementi estrudendo i nodi precedentemente selezionati. Le modalità operative del command ricalcano quelle del command che genera elementi 2d a partire dalla estrusione di travi e bielle.

Type: modal eppoi, dopo il dialog, modeless.

Destination: document per le aggiunte, active view per il funzionamento.

3.5.2.1.1 Addition of beams and trusses (Dialog)

AGGIUNTA DI TRAVI E BIELLE (DIALOGO)

Questo importante dialog viene proposto all'utente prima di cominciare ad aggiungere travi e bielle, e serve a fissare le modalità operative del command e alcuni dati.

Prima di tutto si sceglie se si vogliono aggiungere travi o bielle.

Poi si specifica il numero di terzo node che le travi e le bielle che si stanno per aggiungere dovranno avere.

Il numero del terzo node può essere scritto direttamente oppure avvalendosi dell'aiuto (pulsante ?).

Prima di aggiungere gli elementi è possibile attribuire un certo numero di sezione.

Come ultima cosa si decide se gli elementi che si intende aggiungere sono connessi (**multipla**) o sconnessi (**singola**) tra loro. In modalità **multipla**, ogni asta (tranne la prima aggiunta) ha il suo primo node coincidente con il secondo node dell'asta precedente.

Infine, se si vuole eseguire l'aggiunta, si sceglie **OK**.

Una nuova modalità è stata aggiunta a partire dalla versione 7.20: la possibilità di estrarre i nodi selezionati in una certa direzione, generando dei nuovi elementi beam o truss, aventi la sezione e il terzo node specificati.

3.5.2.1.1.1 Addition of a node in relative coordinates (Dialog)

ADDITION OF A NODE IN RELATIVE COORDINATES (DIALOG)

This dialog is used to add a node. Nodal coordinates must be input relative, which is the one defined before this. So if the last node is in (100, 100, 100) and we wish a new node in (200, 100, 100), we must input (100, 0, 0)

3.5.2.2 Cut

COMMAND: Mesh-Beams and Trusses-Cut

This command removes the selected beam and truss elements, and all the loads applied to them. The unreferenced nodes will not be removed.

Type: immediate.

Destination: document.

3.5.2.3 Divide...

COMMAND: Mesh-Travi e bielle-Dividi...

Questo command consente di dividere in un numero arbitrario di parti eguali le travi e le bielle selezionate. Dopo la divisione il terzo node, il materiale e la sezione vengono conservati. Se sono presenti carichi distribuiti sull'elemento da suddividere questi perterranno ad uno solo degli elementi dopo la suddivisione. Occorre quindi prestare attenzione.

All'esecuzione del command corrisponde il dialog [Divisione di Bielle e Travi](#)⁴⁶⁹.

Type: modal.

Destination: document.

3.5.2.3.1 Divide Beams and Trusses (Dialog)

DIVIDE BEAMS OR TRUSSES (DIALOG)

This dialog is used to input the number of subdivisions to be applied to each selected element (beam or truss). If for instance the number input is 5, each selected element will be replaced by 5 equal (sub)elements. The command saves the loads applied in every load case, reassigning them properly to sub-elements.

3.5.2.4 Divide BT taper...

COMMAND: Mesh-Travi e bielle-Dividi BT rastremazione...

Questo command consente di dividere in un numero arbitrario di parti di eguale lunghezza le travi e le bielle selezionate, assumendo che al secondo estremo ci sia una sezione diversa da quella del primo estremo, in modo da definire una rastremazione. Viene applicato agli elementi selezionati considerando la sezione al primo estremo come data. La sezione al secondo estremo deve essere dello stesso tipo della sezione al primo estremo.

Il command incomincia chiedendo il numero di suddivisioni ([Divisione di Bielle e Travi](#)^[469]). Poi, viene chiesto di scegliere il tipo della sezione presente al secondo estremo, infine vengono chieste le quote della sezione assegnata al secondo estremo. A quel punto il command genera tante sezioni intermedie variando in modo lineare le quote della sezione dal primo al secondo estremo, e generando tanti elementi di lunghezza pari alla lunghezza originaria divisa per n , tutti aventi al loro interno una unica sezione trasversale, le cui quote sono state calcolate facendo variare linearmente le quote stesse tra il primo ed il secondo estremo.

Il command è molto utile ad esempio per definire pali rastremati, o portali ad altezza variabile: una unica applicazione del command consente di generare anche centinaia di elementini tutti aventi sezione differente.

Type: modal.

Destination: document.

3.5.2.5 Split...

COMMAND: Mesh-Travi e bielle-Splitta...

Questo command consente di dividere travi e bielle in due parti. Esistono due modi di far funzionare il command: il primo modo consente di dividere un elemento scelto con il

mouse. Il secondo modo divide le travi e le bielle selezionate.

Appena il command viene eseguito compare il dialog [Splitting di Travi e Bielle](#)^[471] che fa scegliere tra **Biella**, **Trave** o **Selezionati**. Alla ultima scelta corrisponde il secondo modo di funzionare del command. Ad una delle due scelte precedenti il primo modo.

Il primo modo è utile se si deve operare su un solo elemento o pochi elementi: in questo caso il command è più colloquiale (dialog [Splitting di Travi e Bielle](#)^[471]).

Il secondo modo (elementi selezionati) si usa quando gli elementi sono tanti, sono eguali, *ed egualmente orientati*. Il programma chiede infatti la ascissa adimensionale dal primo node (dialog [Splitting di Travi e Bielle](#)^[472]). In ogni caso, anche se gli elementi non sono eguali, oppure non sono egualmente orientati, il programma funziona e divide gli elementi in due alla distanza adimensionale dal primo node specificata dall'utente. Se gli elementi sono tutti lunghi egualmente, allora anche in questo caso viene utilizzata la prima modalità operativa (dialog [Splitting di Travi e Bielle](#)^[471]).

Type: modal.

Destination: document.

3.5.2.5.1 Splitting of beams and trusses (Dialog)

SPLITTING OF BEAMS AND TRUSSES (DIALOG)

This dialog is used to choose the mode that will be used to execute the splitting of beams and trusses. Choosing **beam** or **truss** you will have to select by the mouse the element to be splitted. Choosing **Selected** the command will be applied to all the currently selected elements.

3.5.2.5.1.1 Splitting of beams and trusses (Dialog)

SPLITTING OF BEAMS OR TRUSSES (DIALOG)

This dialog is used to set the distance used to divide the element. The available modes

are two: setting a non dimensional distance (comprised between 0 and 1), or setting a real distance. Both the first extremity and the second extremity can be used as reference.

3.5.2.5.1.2 Splitting of beams and trusses (Dialog)

SPLITTING OF BEAMS AND TRUSSES (DIALOG)

This dialog is used to set the splitting point distance of the selected elements. The distance is set by a nondimensional abscissa comprised between 0 (at first extremity) and 1 (at second extremity).

3.5.2.6 Split and/or load...

COMMAND: Mesh-Travi e bielle-Splitta e/o carica...

Si tratta di un command molto utile e potente, specialmente indicato nel caso in cui si debbano applicare carichi concentrati su travi di impalcato.

Il command consente in un colpo solo:

- di dividere una asta in un numero di intervalli diseguali variabili da 2 a 5.
- di applicare delle forze nei nodi (se la asta originaria è stata divisa) oppure all'interno della asta originaria (se non si vuole dividere l'asta).
- di aggiungere un superelemento se l'asta originaria è stata divisa in più parti.

I carichi sono diretti verticalmente (z).

Si possono aggiungere i carichi senza dividere l'asta

Si può dividere l'asta senza aggiungere i carichi.

I carichi vengono messi nel caso di carico attivo.

Con questo command in un sol colpo si fanno cose che prima richiedevano vari comandi in fila.

Il command è gestito da un opportuno [dialog](#)^[473].

3.5.2.6.1 Split and/or load (Dialog)

SPLITTA E/O CARICA (DIALOGO)

Questo dialog consente di fornire i dati che devono servire a suddividere una o più aste di identica lunghezza.

Per prima cosa si decide quanti intervalli o quante forze servono e si compilano i dati relativi ai carichi e/o alle lunghezze in cui dividere l'asta.

Poi si deve decidere se applicare i carichi come forze nodali, nel qual caso si dà implicitamente l'ordine di suddividere l'asta, oppure come carichi distribuiti applicati agli elementi (forze concentrate: in questo caso l'asta non viene suddivisa). La scelta si fa selezionando o meno l'opzione "non aggiungere nodi".

Se si sceglie di aggiungere i nodi è possibile chiedere che venga aggiunto un nuovo superelemento.

I carichi possono anche essere nulli, nel qual caso il command si limiterà a suddividere l'asta (se si è scelto di aggiungere i nodi) o a non far nulla (se non si è scelto di aggiungere i nodi).

Il command serve sia come command di meshing sia per aggiungere azioni.

I carichi vengono applicati al caso di carico attivo.

Le azioni (forze) sono dirette come l'asse Z globale.

Bisogna premere necessariamente il tasto "OK" corrispondente alla scelta fatta.

3.5.2.7 Third Node...

COMMAND: Mesh-Beams and Trusses-Third Node...

This command is used to re-define the third node ([Beams](#)^[40]) of the selected beams and trusses. Normally it is not necessary to add a new third node, but it is enough to use the

Predefined Nodes .

When the command is executed, a dialog opens, asking if a new node should be added, or not. Depending on the answer, a dialog [Change Third Node](#)^[474] or a dialog [Third Node](#)^[474] is opened.

Type: modal.

Destination: document.

3.5.2.7.1 Change Third Node (Dialog)

CHANGE THIRD NODE (DIALOGO)

This dialog is used to set the coordinates of a new node to be used as third node for the selected beams and trusses. The node is automatically clamped.

3.5.2.7.2 Third node (Dialog)

THIRD NODE

This dialog is used to set a third node number.

3.5.2.8 Orientation

COMMAND: Mesh-Beams and Trusses-Orientation...

This command is used to reset the orientation of selected beam and truss elements. When the command is executed a proper [dialog](#)^[475] is opened. The orientation can be defined by third node (local plane 1-2) or by a vector defining local plane (1-2) or local plane (1-3).

Type: modal.

Destination: document.

3.5.2.8.1 Orientation (Dialog)

ORIENTAZIONE (DIALOGO)

Questo dialog serve decidere le modalità operative del command che cambia la orientazione degli elementi beam e truss.

Il command si applica agli elementi correntemente selezionati. Le modalità di applicazione sono tre:

Usa il terzo node per definire il piano 1-2.

In questo caso se $\mathbf{v1}$ è il versore dell'asse 1 e $(\mathbf{N3-N1})$ è il vettore che va dal primo al terzo node definito in questo stesso dialog, il versore dell'asse 3, $\mathbf{v3}$, si ottiene versificando il prodotto vettore $\mathbf{v1} \times (\mathbf{N3-N1})$. Il versore dell'asse 2 si ottiene come $\mathbf{v3} \times \mathbf{v1}$.

Usa il vettore per definire il piano 1-2.

In questo caso se $\mathbf{v1}$ è il versore dell'asse 1 e \mathbf{v} è il vettore definito in questo stesso dialog, il versore dell'asse 3, $\mathbf{v3}$, si ottiene versificando il prodotto vettore $\mathbf{v1} \times \mathbf{v}$. Il versore dell'asse 2 si ottiene come $\mathbf{v3} \times \mathbf{v1}$.

Usa il vettore per definire il piano 1-3

In questo caso se $\mathbf{v1}$ è il versore dell'asse 1 e \mathbf{v} è il vettore definito in questo stesso dialog, il versore dell'asse 2, $\mathbf{v2}$, si ottiene versificando il prodotto vettore $\mathbf{v} \times \mathbf{v2}$. Il versore dell'asse 3 si ottiene come $\mathbf{v1} \times \mathbf{v2}$.

Terzo node

E' il numero di un node che definisce, per gli elementi selezionati, il terzo node. Questo viene utilizzato solo se si sceglie la modalità “usa il terzo node per definire il piano 1-2”.

vx, vy, vz

Sono le componenti del vettore v nel sistema di riferimento globale. Tale vettore viene utilizzato solo se si sono scelte le modalità operative “usa il vettore per definire il piano 1-2”, o “usa il vettore per definire il piano 1-3”.

3.5.2.9 Winkler

COMMAND: Mesh-Travi e bielle-Winkler...

[920]

Questo command consente di assegnare agli elementi beam selezionati un suolo elastico. Per maggiori ragguagli su come gestire elementi su suolo elastico si veda [Come gestire elementi su suolo elastico](#)^[267]. Alla esecuzione del command compare un opportuno [dialog](#)^[476] che consente di assegnare le proprietà del suolo elastico agli elementi beam selezionati.

Type: modal.

Destination: document.

3.5.2.9.1 Acquisizione parametri fondazione - trave su suolo elastico (Dialog)

ACQUISIZIONE PARAMETRI FONDAZIONE – TRAVE SU SUOLO ELASTICO (DIALOGO)

Questo dialog consente di specificare le quattro costanti che definiscono il comportamento del suolo elastico da assegnare agli elementi beam selezionati.

Se non si vuole assegnare alcun suolo elastico o se si vuole eliminare un suolo elastico esistente occorre specificare “0” per tutte e quattro le costanti.

Le prime due costanti, **k2**, **k1,2** si riferiscono alla flessione attorno all'asse locale 2 degli elementi beam selezionati. La prima costante, **k2**, ha le dimensioni fisiche di una forza per unità di superficie e si ottiene moltiplicando la costante di Winkler (forza per unità di volume) per la larghezza della beam. La seconda costante **k1,2**, ha le dimensioni fisiche di una forza e può essere nulla o positiva. Se è nulla il suolo è rigorosamente alla Winkler. Se non è nulla il suolo è del tipo “a due parametri” ovvero con una formulazione che corregge quella di Winkler. Per maggiori informazioni si rimanda a [Come gestire gli elementi su suolo elastico](#)^[267].

Le successive due costanti, **k3** e **k1,3**, hanno il medesimo significato delle prime due, ma si riferiscono alla flessione attorno all'asse locale 3 dell'elemento (spostamenti in direzione dell'asse locale 2).

Per maggiori informazioni si rimanda a:

[Come gestire gli elementi su suolo elastico](#)^[267].

3.5.2.10 Initial N

COMMAND: Mesh-Beams and Trusses-Initial N...

This command is used to define the initial axial force of selected beam and truss elements. The initial axial force affects the geometric stiffness of the system, which is a part of the overall stiffness. The geometric stiffness matrix is assembled by the LEDA solver (modal analysis), by the SOCLEVR solver (second order effects) and by the CURAN solver (non linear solver). When a modal analysis is run, initial axial force affects the natural frequencies (think about a guitar string: a greater tensile force leads to a higher sound). When a geometrically nonlinear static analysis is run the geometric stiffness directly modifies the structural response. The command re-assigns the initial axial force possibly applied (default value is 0).

When the command is executed a [dialog](#)^[478] is opened, to input the value of the initial axial force in the active force unit.

Type: modal.

Destination: document.

3.5.2.10.1 Initial Axial force (Dialog)

INITIAL AXIAL FORCE (DIALOGO)

This dialog is used to set the initial axial force of the selected beams and trusses. Axial force must be input using current force unit. Positive numbers are tensile forces.

Axial forces can also be read from a load case previously analyzed. This is done by [setting the load case number](#)^[478] which is needed.

3.5.2.10.1.1 Load Case (Dialog)

LOAD CASE (DIALOG)

This dialog is used to input the load case used to read the axial forces that will be assigned to the selected elements, as initial axial forces for a new (non linear) analysis.

3.5.2.11 Cross Section Reduction Factors...

COMMAND: Mesh-Travi e bielle-Fattori riduzione sezione...

Questo command consente di definire fattori riduttivi o amplificativi delle proprietà sezionali delle travi e/o delle bielle selezionate. La riduzione delle proprietà sezionali di un elemento può essere definita, ad esempio, per simulare la cedevolezza di un collegamento. Dopo l'esecuzione del command viene proposto un opportuno [dialog](#)^[479], dove si definiscono i fattori desiderati.

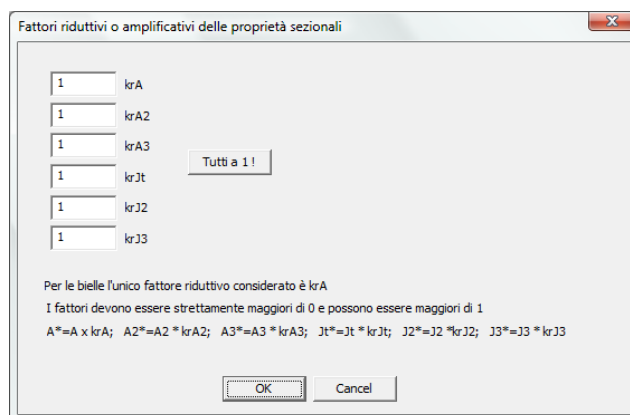
La modifica (riduzione o amplificazione) delle proprietà sezionali di uno o più elementi ha effetto sul calcolo delle sollecitazioni e degli spostamenti della struttura, ma NON sulle verifiche dei singoli elementi, che risultano invariate.

Type: modal.

Destination: document.

3.5.2.11.1 Cross-section properties reduction or amplification factors

FATTORI RIDUTTIVI O AMPLIFICATIVI DELLE PROPRIETA' SEZIONALI (DIALOGO)



Questo dialog consente di definire dei fattori riduttivi o amplificativi delle proprietà sezionali degli elementi selezionati. Questi fattori sono unicamente utilizzati dai solutori e non dai verificatori. Nel caso degli elementi beam calcolati a fibre, i fattori riduttivi non vengono impiegati.

Si possono definire 6 fattori distinti:

kr A riduzione/amplificazione dell'area (azione assiale)

kr A2 riduzione/amplificazione dell'area di taglio (taglio in direzione 2)

$kr A3$	riduzione/amplificazione dell'area di taglio (taglio in direzione 3)
$kr Jt$	riduzione/amplificazione del momento d'inerzia torsionale
$kr J2$	riduzione/amplificazione del momento d'inerzia attorno all'asse 2
$kr J3$	riduzione/amplificazione del momento d'inerzia attorno all'asse 3


I fattori devono essere maggiori di zero e possono essere maggiori dell'unità. Il button *Tutti a 1* riporta a 1 il valore di tutti i fattori.

Nota: per le bielle l'unico fattore rilevante è $kr A$, essendo l'azione assiale l'unica azione trasferita da tali elementi.

3.5.2.12 Offsets...

COMMAND: Mesh-Beams and Trusses-Eccentricities...

This command is used to assign the wished eccentricity to the extremities of the beam elements previously selected, or to the extremities chosen by the mouse.

Once the command is executed a proper [dialog](#) is opened, allowing the necessary choices.

The eccentricities define the position of the beam ends (extremities) which is generally different from that of the nodes. They are defined in the global reference system, and go from node to the beam end. A node-rotation will imply a rotation and a translation of the related beam end. The node-translation is identically transferred to the beam end. Eccentricities are useful to take into account the physical size of the joints. The length of the eccentricity modifies the distributed load resultant and the effective element layout.

Type: modal, then modeless if the manual mode is chosen.

Destination: document.

ECCENTRICITA' (DIALOGO)

Questo dialog serve decidere le modalità operative del command che assegna le eccentricità agli elementi beam.

Le scelte in merito alle modalità di funzionamento del command sono tre:

Manuale

Se la spunta è attiva alla uscita del command occorre cliccare in prossimità degli estremi degli elementi a cui si vuole assegnare la eccentricità. Se la spunta non è attiva alla uscita del command la eccentricità viene applicata a tutti gli estremi selezionati degli elementi beam. Un estremo di un elemento è selezionato quanto è selezionato l'elemento ed il suo node di competenza.

Riferimento locale

Se la spunta è presente le eccentricità non vengono definite nel sistema di coordinate globale, ma in quello locale. Ciò avviene solo all'atto della esecuzione del command: le informazioni sono sempre memorizzate nel sistema di riferimento globale. Ad esempio una eccentricità (100, 0, 0) per il primo estremo di una colonna, se definita nel sistema locale, accorcia la colonna di 100.

Incremento

Se la spunta è presente le eccentricità definite dal command vanno ad aggiungersi a quelle esistenti. Se si usa il sistema locale, le presenti globali vengono dapprima convertite al sistema locale, poi si effettua l'aggiunta dei valori indicati ed infine si riconverte al sistema globale.

Attivazione

E' possibile chiedere al programma di utilizzare solo alcune delle componenti specificate, modificando corrispondentemente solo alcune componenti mentre le altre restano invariate. Perché una componente venga utilizzata deve essere presente il segno di spunta sulla corrispondente casella "attiva". Se è specificato il *sc* locale, la aggiunta viene fatta alle sole componenti (si intende locali) con il segno di spunta attivato.

Dx, Dy, Dz

Sono le componenti delle eccentricità (o degli incrementi di eccentricità), nel *sc* globale o in quello locale, nella unità di misura di lunghezza attiva al momento della esecuzione del command.

3.5.2.13 Snap over locus...

COMMAND: Mesh-Travi e bielle-Snap su luogo...

Questo command consente di variare le eccentricità esistenti degli elementi beam selezionati. Le eccentricità vengono variate, ovvero delle nuove eccentricità *si sommano* alle eccentricità già presenti (e generate in precedenza mediante un command manuale o automatico). Il command funziona in modo che alcuni punti notevoli dell'elemento giacciono su un luogo determinato dall'utente. I punti notevoli appartengono alla sezione iniziale (la sezione il cui baricentro coincide con il primo estremo dell'elemento, non con il primo node, ovvero con la sezione iniziale tenendo conto delle eccentricità) o alla sezione finale (la sezione il cui baricentro coincide con il secondo estremo dell'elemento, non con il secondo node). I punti notevoli del contorno della sezione assegnata agli elementi possono essere, a scelta:

- il TOS (top of steel) della sezione;
- il BOS (bottom of steel) della sezione;
- il ROS (right of steel) della sezione;
- il LOS (left of steel) della sezione.

Per ciascuna sezione si definiscono i punti precedenti nel seguente modo. Riferita la sezione ai suoi assi principali baricentrici 2 e 3, ogni punto del contorno della sezione ha coordinate x_2 ed x_3 rispetto al baricentro della sezione. Si noti che gli assi principali non sempre sono paralleli ai piatti (per esempio in una sezione ad L non lo sono).

Definiamo punto **TOS della sezione** il punto del suo contorno avente la coordinata x_3 maggiore (in senso algebrico).

Definiamo punto **BOS della sezione** il punto del suo contorno avente la coordinata x_3 minore (in senso algebrico).

Definiamo punto **ROS della sezione** il punto del suo contorno avente la coordinata x_2 maggiore (in senso algebrico).

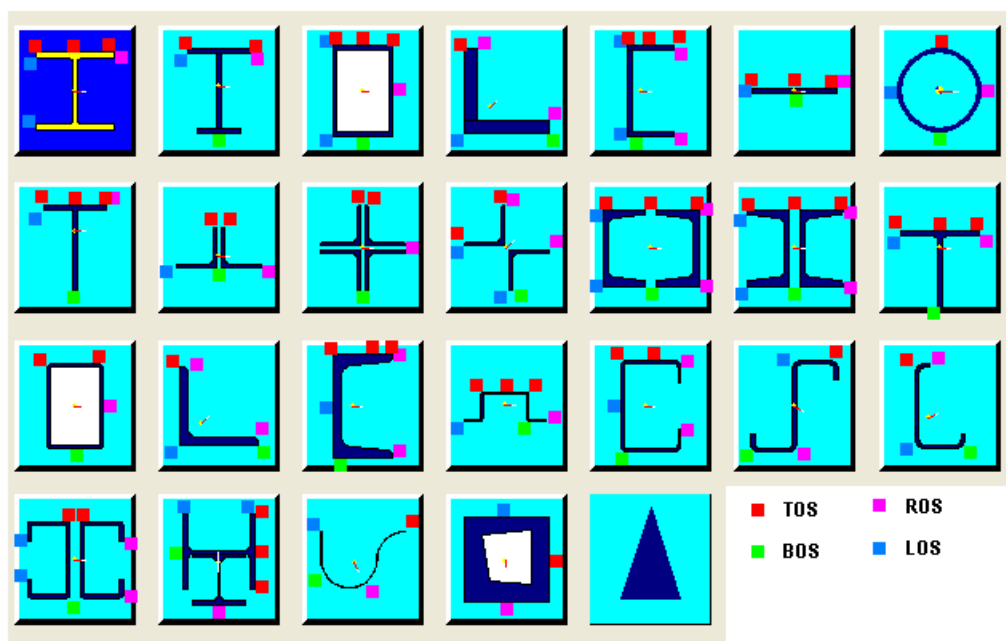
Definiamo punto **LOS della sezione** il punto del suo contorno avente la coordinata x_2 minore (in senso algebrico).

In una sezione è possibile che esistano più di un punto TOS (ed anche BOS, ROS e LOS), o anche dei lati aventi tale proprietà. In tal caso il programma considera uno dei punti avente la proprietà estrema (minima o massima coordinata), indifferentemente. E' ovvio che in questi casi il command ha senso a patto che il profilo sia orientato in modo che il luogo sia parallelo al lato (per esempio una beam che si voglia sollevare per fare in modo che il suo estradosso – o TOS se l'asse 3 punta verso l'alto – arrivi ad una certa quota). Interi lati, in effetti, o più di un lato, possono definire zone TOS, BOS, LOS o ROS. Per il posizionamento dei profili ad L ad esempio è utile il punto LOS, che corrisponde allo spigolo ove i due lati esterni si incontrano. Tale punto è unico.

Ad esempio nelle travi reticolari è facile posizionare i diagonalizzati con angolari semplici in modo che uno dei loro lati giaccia in un dato piano, ove saranno applicati piatti di collegamento.

Per i profili a T, C, I, H, esiste un lato TOS. Per un profilo ad H doppiamente simmetrico esistono due lati ROS e due lati LOS.

Nella figura sottostante, convenzionale, i quadratini colorati indicano grossolanamente la zona del luogo corrispondente. Si noti che è fondamentale osservare la direzione ed il verso dell'asse 2. L'asse 3 è normale all'asse 2 con rotazione antioraria.



Rappresentazione schematica delle zone o dei punti TOS, BOS, LOS, e ROS

Per meglio comprendere il funzionamento del command facciamo due esempi.

Consideriamo un insieme di travi secondarie con asse 3 diretto verso l'alto. Siano esse tutte di tipo IPE. Si desideri che il loro punto superiore giaccia sul piano $z = 12345$. Si esegue il command dopo aver selezionato questi elementi, si sceglie "TOS" poi si dà il luogo $z = 12345$ specificando per l'equazione generale $ax+by+cz=d$, $a=0$, $b=0$, $c=1$, $d=12345$. Con l'aggiunta di questo command, a partire dalla versione 9.00, la specificazione del TOS nel command Edit-Multipiano è superflua. Per compatibilità con le versioni precedenti essa viene mantenuta, ma se si usa questo command, essa è di fatto superflua.

Consideriamo ora una capriata con briglie][e aste di parete angolari semplici L 100x10 ed L60x6. Si orientano gli angolari in modo che uno dei loro lati sia parallelo al piano della capriata, ad esempio il piano dei nodi sia $y=13450$. A questo punto i baricentri degli angolari risultano complanari, ma ciò non è quanto avviene in realtà nel corso del montaggio. Infatti immaginando di apporre un piatto da 10mm tra i profili][delle briglie, noi vorremmo che i lati degli angolari paralleli al piano della capriata giacciono nel piano $y=13450+5$ (o in alternativa, a seconda della orientazione $y=13450-5$). Per ottenere un modello unifilare con questa proprietà si selezionino tutte le aste di parete, dato che il profilo è ad L si scelga "LOS", e si specifichi il piano $y = 13455$. Il command fa in modo che il punto LOS di tutti i profili scelti, ovvero lo spigolo delle L, giaccia nel piano $y=13455$, realizzando così l'unione

desiderata. E' da notare che eventuali eccentricità assiali già presenti, dato che l'aggiunta è normale all'asse esistente, si conservano.

Questo command è molto potente e serve a preparare il modello per il successivo lavoro sui collegamenti, ed anche a raffinare il modello di calcolo per tenere conto delle inevitabili eccentricità di montaggio. Alla esecuzione del command compare un opportuno [dialog](#)^[485] che consente di specificare il luogo (ad hoc o scelto tra i luoghi esistenti), sul quale dovranno giacere i punti desiderati (TOS, o BOS, o ROS, o LOS) delle sezioni terminali degli elementi beam selezionati.

Type: modal.

Destination: document.

3.5.2.13.1 Snap over locus (Dialog)

SNAP SU LUOGO (DIALOGO)

Questo dialog consente di specificare un luogo e una regione delle forme sezionali degli elementi selezionati, consentendo di aggiungere opportune eccentricità agli elementi selezionati, in modo che i punti della sezione specificati vadano a giacere sul luogo specificato. Il luogo può essere uno dei luoghi esistenti (ed in questo caso bisognerà fare doppio click sulla riga ad esso corrispondente, in modo da riportarne l'equazione nelle caselle disponibili), oppure un luogo non disponibile, ed in tal caso occorrerà specificarne l'equazione mediante le caselle. Occorre specificare a, b, c, d, ovvero i parametri della equazione del piano in forma

$$ax+by+cz=d$$

L'unico parametro dotato di unità di misura è d, che va dato nella unità di misura di lunghezza corrente al momento della esecuzione del command.

Data una generica forma sezionale riferita ai suoi assi principali baricentrici "2" e "3",

siano x_2 ed x_3 le ascisse corrispondenti. Percorso il contorno della sezione, si definisce:

- TOS (top of steel) il primo punto della sezione avente la proprietà di rendere massima in senso algebrico la coordinata x_3 .
- BOS (bottom of steel) il primo punto della sezione avente la proprietà di rendere minima in senso algebrico la coordinata x_3 .
- ROS (right of steel) il primo punto della sezione avente la proprietà di rendere massima in senso algebrico la coordinata x_2 .
- LOS (left of steel) il primo punto della sezione avente la proprietà di rendere minima in senso algebrico la coordinata x_2 .

3.5.2.14 Reset Offsets!

COMMAND: Mesh-Travi e bielle-Reimposta eccentricità!

Questo command riassegna le eccentricità ad alcuni elementi del modello cancellando le eccentricità precedentemente su questi definite. Si tratta di un command molto potente. La applicazione delle eccentricità dipende dalle seguenti condizioni:

a) L'elemento deve appartenere ad una membratura "slave" di un JNODO gerarchico; b) Tutti gli elementi finiti che compongono la membratura devono essere selezionati così da poter considerare selezionata la membratura medesima.

Il command per prima cosa analizza il modello agli elementi finiti trasformandolo in background in un modello a membrane. Tale operazione dipende fortemente da tutte le seguenti caratteristiche del modello:

- orientazione delle terne locali;
- assegnazione dei profili e dei materiali;
- presenza di svincoli o di segni di connessione senza svincoli;
- natura degli elementi (se travi o bielle).

Una volta determinate le membrane il programma cerca i "JNODI" catalogandoli in specie al fine di determinare quelli gerarchici. Queste operazioni, che avvengono in background, sono del tutto simili a quelle eseguite dal programma CSE dedicato ai collegamenti. In effetti per

poter determinare quale elemento è interrotto e con che eccentricità rispetto ad un altro, è necessario analizzare le connessioni tra le membrature e stabilire un ordinamento tra le membrature affluenti. In particolare è possibile determinare la eccentricità solo nel caso in cui il JNODO sia di tipo gerarchico. Per i JNODI di tipo centrale, cuspidale o passante, le eccentricità devono essere definite manualmente. In verità il classico node beam-colonna è sempre di tipo gerarchico (se è un incastro bisogna però specificare un segno di connessione), e quindi nei casi più frequenti il command esegue le operazioni richieste in modo totalmente automatico. Nel caso di strutture reticolari con nodi di tutte bielle (esempio di JNODO centrale), le eccentricità dovranno essere determinate manualmente. Va detto che in questo caso, essendo gli offset assiali, non vi sono momenti parassiti.

Trovate le membrature slave di ogni jnode gerarchico queste, se selezionate, vengono interrotte con offset assiali valutati in funzione della mutua giacitura con la membratura master. Dalle membrature si passa poi agli elementi beam costituenti, assegnando gli offset in modo automatico. Dato che gli offset riguardano solo gli elementi beam, le eventuali membrature slave di tipo truss non subiranno modifiche. D'altro canto sono i tagli degli elementi beam a generare normalmente i momenti parassiti. Nel caso in cui una truss sia eccentrica per fuoripiano e si voglia tenere conto di questa eccentricità è sempre possibile trasformarla in beam con svincoli agli estremi.

Il command esamina poi le informazioni sul TOS (Top Of Steel) definito mediante il command Edit-Multipiano. Le membraure appartenenti ad un certo livello (si esaminano le posizioni dei nodi al fine di determinare il livello) , e selezionate, vengono automaticamente traslate per mezzo di offset rigidi in modo da far coincidere il TOS con la quota corrispondente a quel livello.

Le eccentricità definite automaticamente sono così la somma vettoriale di due contributi:

1. un contributo di offset assiale rispetto al master per le membrature affluenti a JNODI gerarchici;
2. un contributo di offset normale all'asse per le membrature i cui nodi giacciono su livelli aventi TOS predefinito con il command Edit-Multipiano.

Si consiglia di eseguire questo command dopo aver ultimato la mesh.

Ulteriori offset sono naturalmente determinabili “a mano” mediante il command:

[Mesh-BT-Eccentricità](#)^[480].

Type: immediato.

Destination: document.

3.5.3 Plates and Membranes

3.5.3.1 Add...

COMMAND: Mesh-Piastre e membrane-Aggiungi...

Questo command consente di aggiungere piastre o membrane. Il command funziona secondo quattro diverse modalità: **Diretta, Regione, Quadrilatero, Estrudi sel bt.**

Diretta

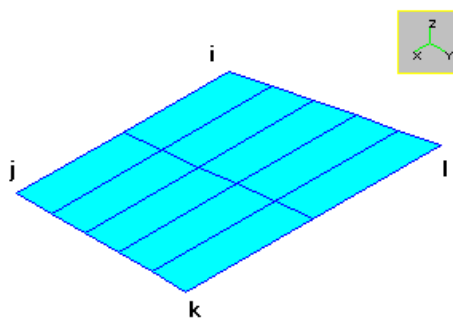
L'aggiunta diretta funziona in modo del tutto analogo a come funziona il command di aggiunta di travi e bielle ([Aggiungi...](#)^[466]) in modalità *singola*. Vengono aggiunti uno dopo l'altro gli elementi, attaccandosi a nodi esistenti o aggiungendone di nuovi. Se l'elemento è triangolare bisogna scegliere come quarto node il primo node dell'elemento stesso. Appena eseguito il command compare il dialog [Aggiunta di Piastre e Membrane](#)^[490].

Via via che si aggiungono gli elementi questi verranno assegnati al gruppo attivo al momento della pressione del tasto sinistro del mouse (o di CR). Il gruppo attivo può essere cambiato mentre si stanno aggiungendo gli elementi.

Quadrilatero

In questo caso occorre fornire quattro punti che definiscono un quadrilatero. I punti possono essere scelti via mouse, cliccando su nodi esistenti, o punti inesistenti di cui si danno le coordinate: in questo ultimo caso occorre premere un tasto qualsiasi che non sia il tasto INVIO. Prima di partire in questa modalità, il command chiede quante suddivisioni dare lungo **ij** e quante suddivisioni dare lungo **jk** (questo dialog è lo stesso del command [Dividi](#)^[495]). I quattro punti vengono dati nella successione **IJKL**.

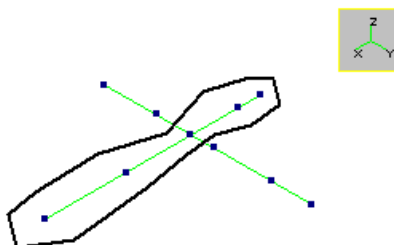
Con questa modalità si possono aggiungere molte piastre per volta. I nuovi elementi saranno aggiunti al gruppo attivo.



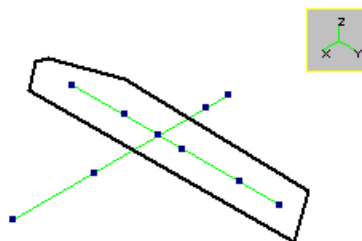
Due suddivisioni su ij, cinque su jk.

Regione

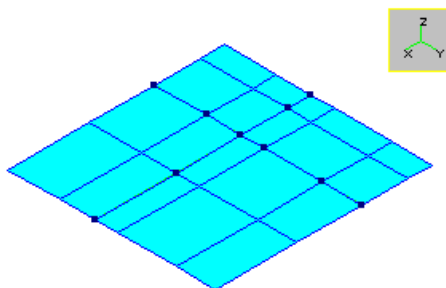
Questa modalità richiede che vi siano due file di nodi aventi un node in comune. Le due file di nodi possono descrivere una regione all'interno della quale aggiungere gli elementi. Alla esecuzione del command vengono chieste all'utente due poligonali ([Dare una poligonale](#)^[34]). Ogni poligonale racchiude le immagini di tutti e soli i nodi appartenenti ad una delle due file. Definita la regione essa viene riempita dalle piastre (o membrane).



La prima poligonale



La seconda poligonale



Le piastre risultanti

Come si vede i nodi mancanti vengono aggiunti automaticamente. Si noti la differenza con il command in modalità Quadrilatero: qui sui quattro lati gli elementi non hanno la stessa dimensione. I nuovi elementi saranno aggiunti al gruppo attivo.

Estrudi sel bt

Questa modalità consente di generare elementi bidimensionali estrudendo le travi e le bielle selezionate. Appena viene eseguito il command, il programma chiede un vettore che indica la direzione dello spostamento e la sua quantità. Dato il vettore compare un [dialog](#)^[491], che chiede le modalità operative del command. Tali modalità possono essere molto utili se l'estrusione arriva su una mesh esistente. *Gli elementi beam e truss che dopo l'esecuzione del command rimangono selezionati non sono stati estrusi perchè, estrudendoli si sarebbero violate le modalità operative specificate.* In tal caso si dovrà esaminare la zona di mesh corrispondente e procedere manualmente.

Type: modal (per il dialog iniziale), modeless in seguito.

Destination: document (per gli elementi aggiunti), active view per il funzionamento.

3.5.3.1.1 Addition of Plates and Membranes (Dialog)

ADDING OF PLATES AND MEMBRANES (DIALOG)

This dialog is used to choose the mode by which plates or membranes will be added.

First of all you must choose if you wish to add plates or membranes. Then the number of the property that the in-for-being-added plates or membranes will have, is chosen. This property is not related to existing properties, but is just a property number, used to separate elements having different properties.

Finally, the way elements will be added is chosen.

The mode **direct** is adding the element one by one, one after another. You can add as many elements as you wish.

The mode **by region** is useful if two rows of nodes having a common node already exist, and if they are able to define the surface needed (e.g.: a floor).

The mode **four sides** fills a quad whose vertex must be defined.

The mode **extrude sel bt** extrudes of a given vector the selected beam and truss elements.

3.5.3.1.2 Extrusion Mode (Dialog)

EXTRUSION SETTINGS (DIALOG)

This dialog is used to set the extrusion mode.

The flag "allow node addition" is activated if new nodes may be generated, when necessary. If the flag is off, the all the arrival nodes must already exist, otherwise the related element is not generated and the "father" beam or truss element is kept selected.

The flag "check intermediated nodes on arrival segment" activates, or not, a check that might be important. To assure compatibility it is generally to be avoided the existence of an unconnected node laying in an intermediate position along the edge of an existing 2D element. To avoid such circumstance, the program looks for existing intermediate nodes, and for each new element to-be-generated if it finds one, the element is not generated. If this happens, the beam or truss "father" element is kept selected.

3.5.3.2 Plane Mesh

COMMAND: Mesh-Piastre e membrane-Mesh piana

Questo command serve ad aggiungere elementi in modo automatico, mediante riempimento di opportune regioni del piano. Alla sua esecuzione compare un [dialog](#)^[492] che consente di fare le scelte necessarie al fine di decidere il funzionamento del command.

Il command è molto potente e rappresenta uno sforzo per dotare Sargon di comandi di meshing adeguati a ogni possibile esigenza nell'ambito delle mesh piane. La prima versione del command, rilasciata con la versione 7.30, consente di eseguire mesh solo di superfici piane, tuttavia, mediante opportuni mapping parametrici, le funzionalità implementate potranno essere generalizzate al caso delle superfici.

Il command è sensibile ai nodi ed agli elementi beam e truss selezionati. I nodi selezionati rappresentano punti che dovranno essere inclusi nella mesh finale. Gli elementi selezionati rappresentano in realtà “lati” o “segmenti” (side) che dovranno essere rispettati dalla mesh finale.

La capacità di rispettare questi vincoli consente di “incastonare” la nuova mesh in una mesh esistente senza violare le connessioni e rappresenta quindi uno strumento molto potente.

Per informazioni generali sul funzionamento del command e su come fare a meshare superfici si vada a [Come fare una mesh con riempimento automatico](#)^[111]. Per i dettagli operativi si consultino le spiegazioni sul [dialog](#)^[492].

Type: modal

Destination: document

3.5.3.2.1 Settings (Dialog)

IMPOSTAZIONI (DIALOGO)

Questo dialog consente di impostare il funzionamento dei comandi di meshing relativi alla triangolarizzazione e quadrangolarizzazione di regioni piane.

Il primo riquadro in alto a sinistra (**modalità di triangolarizzazione**) consente di decidere che genere di triangolarizzazione eseguire. Sono possibili tre scelte:

Triangoli non ottimizzati

In questo caso viene fatta una triangolarizzazione di Delaunay (eventualmente vincolata) e poi l'algoritmo si ferma.

Triangoli ottimizzati: mesh omogenea

In questo caso la triangolarizzazione precedente viene usata come input per un algoritmo che suddivide ulteriormente i triangoli sino a che la misura di uno dei loro lati sia maggiore del valore specificato nel campo **Lunghezza massima lati**. Il prodotto di questa operazione è in genere una mesh omogenea e regolare, nella quale gli elementi hanno tutti più o meno le stesse dimensioni.

Triangoli ottimizzati: mesh eterogenea

In questo caso si usa l'algoritmo di Ruppert e la mesh può contenere triangoli aventi anche dimensioni sensibilmente differenti. Questo algoritmo usa sia il parametro **Angolo Minimo** che il parametro **Lunghezza Massima Lati**. Nello spirito del metodo di Ruppert, la lunghezza massima dei lati dovrebbe essere tenuta alta, in modo da non costituire motivo di suddivisione dei triangoli, che invece dovrebbero essere suddivisi in base unicamente all'angolo minimo. L'algoritmo implementato differisce da quello di Ruppert originario perché aggiunge anche un criterio di suddivisione basato sulla lunghezza dei lati.

Il secondo riquadro a sinistra, **modalità di quadrangolarizzazione**, consente di specificare in che modo, partendo dalla triangolarizzazione precedentemente eseguita secondo le regole chiarite nel riquadro precedente, i triangoli verranno trasformati in quadrangoli.

Al momento sono possibili due sole scelte: **nessuna quadrangolarizzazione** o **modalità semplificata**. La prima scelta implica ovviamente nessuna quadrangolarizzazione, la seconda scelta implica la quadrangolarizzazione secondo una modalità semplificata, ovvero con un algoritmo che, senza modificare i nodi già precedentemente individuati, accoppia triangoli contigui in modo da formare quadrangoli aventi determinati requisiti di accettabilità. I triangoli che al termine dell'algoritmo non hanno trovato un compagno restano triangoli. Come misura della qualità dei quadrangoli il programma usa la misura di Loo e Lee con un limite accettabile di 0.36. Se $b < 0.36$ la qualità è reputata inaccettabile. Tale valore è stato preso dal lavoro di

Lee ed altri, citato in [bibliografia](#)^[111].

La successiva opzione, **Quad Morphing**, non è al momento attiva, ma verrà implementata nelle prossime versioni. Tale opzione implica la necessità di muovere i nodi precedentemente trovati, ma dà luogo a mesh altamente regolari ed interamente formate da quadrangoli. Il dato relativo alla **qualità** consente di stabilire quale è il valore di qualità al di sotto del quale vengono scartati i quadrangoli. Il valore di default proposto è 0.36.

Il primo riquadro in alto a destra, **ottimizzazione**, consente di specificare due parametri: la massima lunghezza dei lati ed il minimo angolo dei triangoli. Se la massima lunghezza è posta eguale a 0 il criterio basato sulla lunghezza non viene adottato. Entrambi i parametri portano a forti differenze nella mesh ottenuta. Possono aumentare drasticamente sia i tempi di calcolo che il numero di nodi aggiunto. Si rimarca in particolare che piccole differenze nel valore dell'angolo possono portare a mesh con numero di nodi molto differente. In particolare, scegliere un angolo di 22° è ben diverso dal sceglierlo di 30° o più.

A causa del fatto che l'algoritmo può, in alcuni casi, impiegare tempi lunghi, viene data una possibilità di sorvegliare il suo andamento mediante il parametro successivo, nel riquadro **controllo di esecuzione**. In questo riquadro si può indicare un intervallo di nodi (nuovi) generato il quale il programma chieda se proseguire o meno. Se si dice di non proseguire l'algoritmo verrà arrestato lasciando la mesh nello stato in cui essa era al momento della interruzione. Per ritornare all'inizio e riprovare con una diversa scelta dei parametri, è sufficiente naturalmente scegliere il command Annulla nel menu Edit.

Il riquadro **Type di elementi** consente di decidere se verranno generati elementi Piastra o Elementi Membrana.

Il riquadro **Topologia**, con la opzione **Tieni conto dei pieni e dei vuoti**, consente di non meshare le regione interne a superfici pluriconnesse (ovvero i fori). Perché il programma riconosca l'esistenza di fori è necessario che oltre al contorno esterno, anche il contorno di ciascun foro sia individuato da lati selezionati al momento della esecuzione del command. Ricordiamo che i lati devono essere convenientemente descritti per mezzo di elementi Beam e Truss di costruzione.

L'ultima opzione si riferisce ai **lati iniziali**. Capita talvolta che i lati iniziali (ovvero i lati usati per definire il contorno ed i lati aggiuntivi da rispettare) siano lati in comune con altre regioni già meshate e che quindi non si voglia suddividerli per non rovinare la mesh

esternamente alla regione da riempire. Con questa opzione i lati iniziali non verranno suddivisi. E' chiaro che questa opzione può entrare in conflitto con la richiesta di non avere certi angoli o certe lunghezze di lato, e quindi nella scelta dei parametri occorrerà una certa coerenza. Questa opzione in particolare non è utilizzabile con l'algoritmo per mesh eterogenee.

3.5.3.3 Cut

COMMAND: Mesh-Plates and Membranes-Cut

This command removes the selected plate and membrane elements, and all the loads applied to them. The command does not remove the possibly unreferenced nodes resulting.

Type: immediate

Destination: document

3.5.3.4 Divide

COMMAND: Mesh-Plates and Membranes-Divide

This command is used to divide into equal parts the selected plates and membranes (dialog [Plates and Membranes Subdivision](#)⁴⁹⁵).

Type: modal

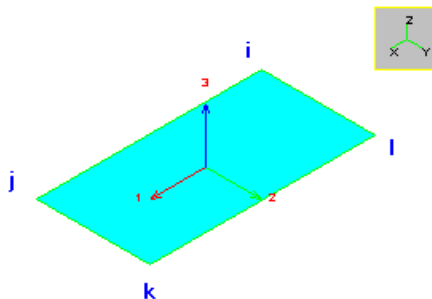
Destination: document

3.5.3.4.1 Plates and Membranes Division (Dialog)

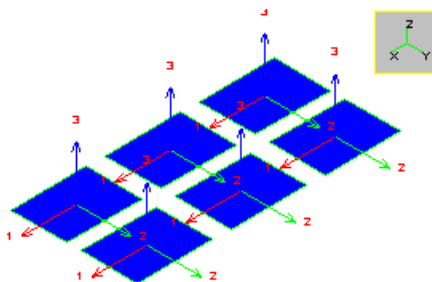
DIVISIONE DI PIASTRE E MEMBRANE (DIALOGO)

Questo dialog chiede di stabilire il numero di suddivisioni lungo ij ed il numero di

suddivisioni lungo jk da applicare alle piastre ed alle membrane selezionate.



Piastra che sta per essere suddivisa



Piastra con tre suddivisioni su ij e due su jk

3.5.3.5 Split...

COMMAND: Mesh-Plates and Membranes-Split...

This command is used to subdivide into two unequal parts the selected plates and membranes (dialog [Splitting of Plates and Membranes](#)^[496]).

Type: modal

Destination: document

3.5.3.5.1 Splitting of Plates and Membranes (Dialog)

SPLITTING OF PLATES AND MEMBRANES (DIALOG)

To divide a bidimensional element four-sided you can define a segment running from one side to the opposite. The two segment extremities define the subdivision. Each extremity is defined thanks to its non-dimensional coordinates E and N (csi and eta).

In this dialog the non-dimensional coordinates of the two extremities of the segment are input. Each coordinates is comprised between minus 1 and 1.

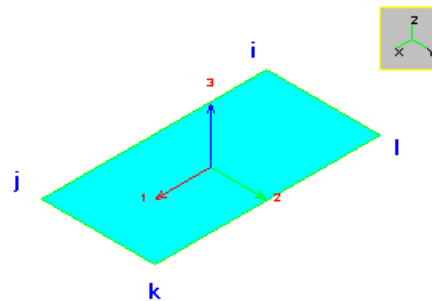


Plate in for being divided

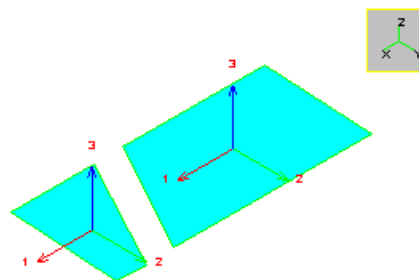


Plate divided by $\xi_1 = 0.2$, $\eta_1 = -1$, $\xi_2 = 0.8$ $\eta_2 = 1$.

3.5.3.6 Rotate

COMMAND: Mesh-Plates and Membranes-Turn

This command is used to rotate the local term of reference axes of the selected plplate and membrane elements. In practice, nodes IJKL get, respectively, JKLI.

Type: immediate

Destination: document

3.5.3.7 Planarity and other checks

COMMAND: Mesh-Piastre e membrane-Planarità e altri controlli

Questo command controlla se nel modello vi sono elementi piastra o membrana non rispondenti a certi requisiti di regolarità. In caso affermativo questi elementi vengono selezionati, mentre tutti gli altri vengono deselezionati. Il programma dà il numero totale di elementi non regolari.

Gli elementi non piani non consentono il solving con i solutori di Castalia. Altri solutori non eseguono il controllo, dando così luogo a risultati potenzialmente errati.

Se vengono riscontrati elementi non piani, questi possono essere subito eliminati con il command [Splitta](#)^[498], che consente di dividere gli elementi a quattro nodi selezionati in due elementi a tre nodi.

Alla esecuzione del command compare un opportuno [dialog](#)^[498] che consente di specificare i valori di soglia da assumere per considerare gli elementi accettabili.

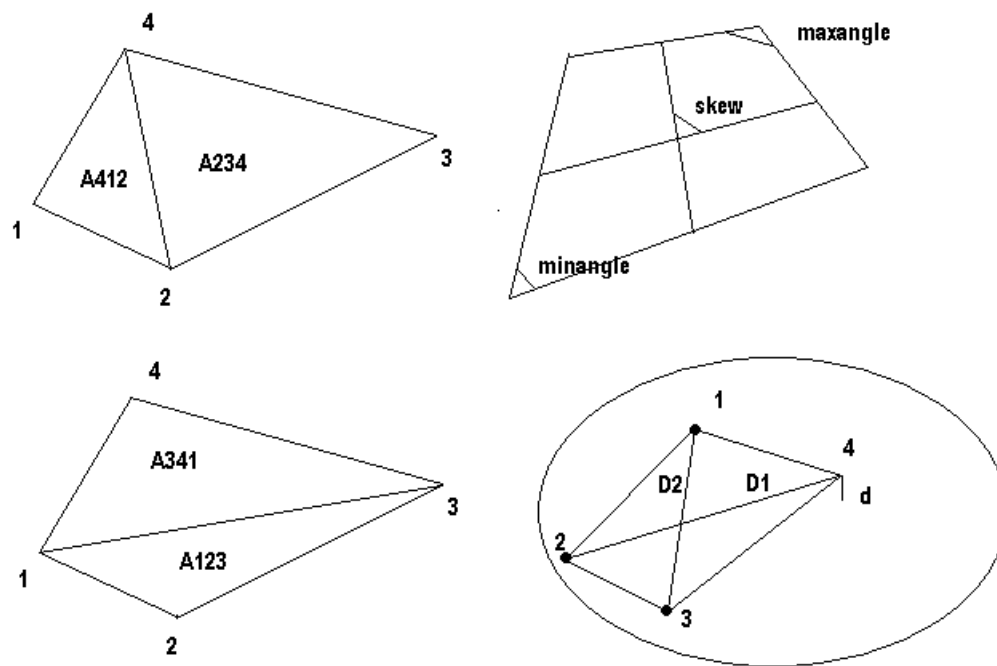
E' opportuno verificare che nel modello non ci siano elementi troppo distorti poiché questi possono dare risultati non buoni.

Type: immediato

Destination: document

3.5.3.7.1 Element check (Dialog)

CONTROLLO ELEMENTI (DIALOGO)



Questo dialog consente di attivare (o meno) una serie di controlli basati sulla geometria degli elementi piastra e membrana. Per attivare il controllo occorre apporre un segno di spunta nella casella corrispondente al controllo. I valori numerici suggeriti possono essere cambiati. Il significato dei diversi termini è il seguente.

Taper

E' un numero puro. Ha senso solo per elementi a 4 nodi. Questo indicatore è preso in affinità a quanto fatto dal programma NASTRAN.

$$\text{Taper} = \max\{t_i\}, i=1, 2, 3, 4$$

$$t_i = (J_i - J_a) / J_a$$

$$J_a = 0.25 (J_1 + J_2 + J_3 + J_4)$$

$$J_1 = 0.5 * A_{123}$$

$$J_2 = 0.5 * A_{234}$$

$$J_3 = 0.5 * A_{341}$$

$$J_4 = 0.5 * A_{412}$$

A_{123} = area del triangolo avente i nodi 1, 2, 3 dell'elemento a 4 nodi.

Se il valore misurato sul generico elemento è maggiore del valore specificato l'elemento

è considerato irregolare. Tipicamente i trapezi possono avere questo numero non adeguato: i rettangoli sono sempre tali per cui Taper = 0.

Skew

E' un angolo. Ha senso solo per elementi a 4 nodi. Misura l'angolo formato dalle due mediane (congiungenti i punti medi dei lati opposti). Tale angolo è sempre minore o eguale a 90°. Se l'angolo è inferiore al valore specificato l'elemento è considerato irregolare.

Minarea

E' la minima area al di sotto della quale un elemento viene considerato irregolare (tipicamente elementi di area tendente a zero). Il numero va introdotto nella unità di misura attiva.

Minangle

E' un angolo in gradi. Se il minimo angolo di un certo elemento è inferiore a questo valore, l'elemento sarà considerato irregolare e selezionato.

Maxangle

E' un angolo in gradi. Se il massimo angolo di un certo elemento è superiore a questo valore, l'elemento sarà considerato irregolare e selezionato.

Warp

E' un numero puro. Il controllo ha senso solo per elementi a 4 nodi. Detta "d" la distanza del quarto node dal piano definito dai primi 3, e dette D1 e D2 le misure delle due diagonali, Warp è definito nel seguente modo:

$$\text{Warp} = 2d/(D1+D2)$$

Warp misura la mancanza di planarità di un elemento.

3.5.3.8 Normal

COMMAND: Mesh-Plates and Membranes-Normal

Sometimes it happens during the meshing operations, that some plate and membrane elements have the normal with a sign, while others have the normal with sign reversed, even if all the elements are coplanar. Some other times, you wish to have all the normals oriented toward the inner part of an ideal bounding volume, because later you will apply pressure loads. This command is used to revert easily the sign of the normal vector of the selected elements. Once the command is executed, a proper dialog appears, asking for a vector. The program will assure that the dot product of the axis 3 of each selected plate or membrane element, with the input vector, will be positive. This allows to reset the normal of the elements as wished, with a few operations. The result is got by changing the sequence of the connectivity nodes of the elements whose normal must be reverted.

3.5.3.9 Kind

COMMAND: Mesh-Plates and Membranes-Type

This command is use to set the proper sub-type to the selected plate elements. The sub-type can be thin plate (Kirchhoff's plate, DKT elements) or thick plate (Mindlin-Reissner plate, Hughes' elements).

3.5.3.10 Winkler

COMMAND: Mesh-Plates and Membranes-Winkler

This command assigns to the selected plate elements an elastic soil. When the command is executed a proper [dialog](#)^[502] is open, to assign the properties of the required elastic soil.

To get more information:

[How to manage elements over elastic soil](#)^[267]

Type: modal

Destination: document

3.5.3.10.1 Winkler's Constant Definition (Dialog)

WINKLER CONSTANT DEFINITION (DIALOG)

This dialog is used to define the Winkler Constant to assign to the plate elements selected. Winkler constant has the physical dimensions of a force by unit volume.

To remove a Winkler soil previously assigned it is necessary to set a null value for the Winkler constant.

Per maggiori informazioni:

[How to manage elements over elastic soil](#)^[267]

3.5.4 Springs**3.5.4.1 Add...****COMMAND: Mesh-Molle-Aggiungi...**

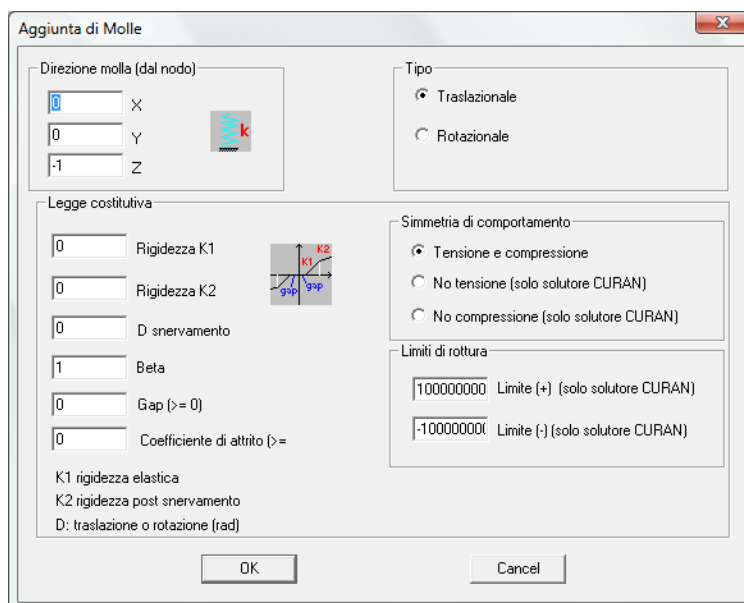
Questo command consente di aggiungere molle ai nodi selezionati. Le molle possono essere traslazionali o rotazionali, dirette come l'utente vuole. Va definita una rigidezza nelle unità di misura attive e, per il solo solutore Curan, possono essere definite leggi lineari o bilineari, complete, no tension o no compression, con o senza gap, e infine vanno indicati i limiti di rottura e il tipo di incrudimento. Appena eseguito il command compare il dialog [Aggiunta di molle](#)^[502].

Type: modal

Destination: document

3.5.4.1.1 Spring Addition (Dialog)

AGGIUNTA DI MOLLE (DIALOGO)



Questo dialog consente di definire le molle che verranno applicate ai nodi selezionati.

Se la molla è **traslazionale** la rigidezza misura una forza divisa per uno spostamento (le unità dipendono da quelle attive).

Se la molla è **rotazionale** la rigidezza misura una coppia per unità di radiante: anche in questo caso il numero da fornire dipende dalle unità di misura attive.

La direzione può essere lungo uno degli assi globali (per una molla in direzione -X, ad esempio, vanno definiti X=-1, Y=0, Z=0) oppure può essere inclinata rispetto a tali assi (ad esempio X=0.5, Y=0.5, Z=0).

Per tutti i solutori tranne Curan l'ultimo parametro che deve essere definito è la rigidezza K1, nelle unità attive.

Per il solutore nonlineare Curan possono essere definiti i seguenti ulteriori parametri:

- Rigidezza K2 e allungamento D corrispondente allo snervamento (viene definita una legge bilineare)
- Beta (0 per incrudimento cinematico, 1 per incrudimento isotropo)
- Gap (lo spostamento superato il quale la molla inizia a reagire, definito nelle unità correnti)
- Coefficiente di attrito (si veda più avanti)

- Limiti di rottura positivo e negativo (lunghezze)
- Legge costitutiva completa, oppure no tension o no compression

Una molla con attrito, quando soggetta a compressione, fornisce una rigidezza laterale $K_L=K$. Se la molla è soggetta a trazione la rigidezza laterale è nulla. Quando la forza laterale supera un valore limite dato dal prodotto del coefficiente di attrito per la forza di compressione applicata, la molla non offre più resistenza laterale e si verifica uno slittamento. Se si pone il coefficiente di attrito pari, ad esempio, a 0.2, la molla offre una resistenza laterale per valori di forza tangenziale N_t inclusi nel range

$$0 < |N_t| < 0.2 |N_n|$$

dove N_n , azione normale, naturalmente ha segno negativo, trattandosi della compressione applicata.

3.5.4.2 Cut

COMMAND: Mesh-Molle-Cancella

Questo command consente di cancellare le molle o i cedimenti selezionati.

Type: immediato

Destination: document

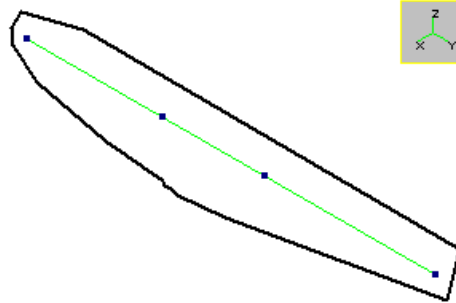
3.5.4.3 Winkler

COMMAND: Mesh-Molle-Winkler

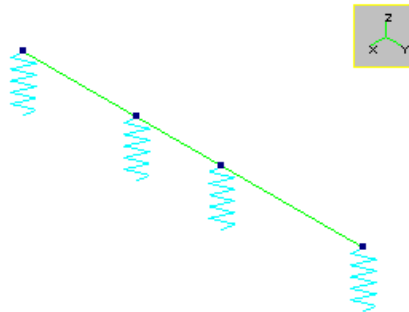
Questo command consente di aggiungere molle alla Winkler. Usando il concetto di regione è possibile aggiungere molle lungo linee o su superfici.

Se nel dialog [Aggiunta di molle alla Winkler](#)^[506] si sceglie di aggiungere molle alla Winkler di linea occorre fornire la rigidezza delle molle per unità di lunghezza. Il command

chiede una poligonale ([Dare una poligonale](#)^[34]).

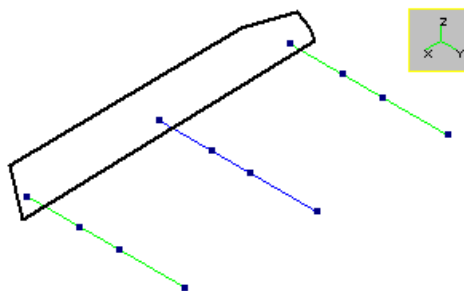


La poligonale

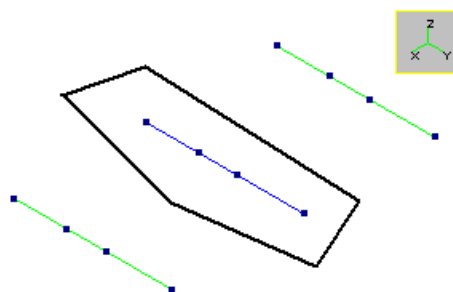


Le molle risultanti

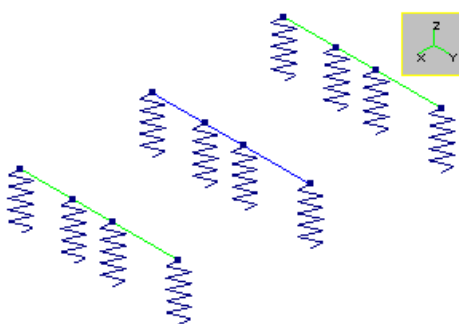
Se nel dialog [Aggiunta di molle alla Winkler](#)^[506] si sceglie di aggiungere molle alla Winkler di superficie occorre fornire la rigidezza delle molle per unità di superficie. Il command richiede due poligonali ([Dare una poligonale](#)^[34]).



La prima poligonale



La seconda poligonale



Le molle risultanti

La rigidezza di ciascuna molla sarà pari all'area di influenza del suo node di pertinenza per la rigidezza per unità di superficie specificata.

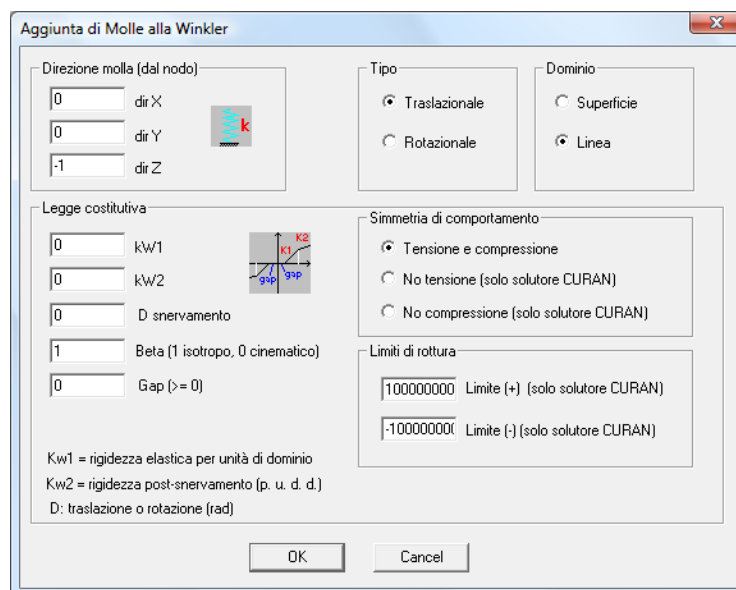
Nel [dialog](#)⁵⁰⁶ è possibile definire anche i parametri nonlineari per il solutore Curan.

Type: modeless

Destination: document per l'aggiunta, active view per il funzionamento

3.5.4.3.1 Winkler Spring Addition (Dialog)

AGGIUNTA DI MOLLE ALLA WINKLER (DIALOGO)



Questo dialog consente di stabilire le caratteristiche delle molle alla Winkler e di che tipo queste siano.

Esse possono essere traslazionali o rotazionali, ed essere applicate su una linea o una superficie. Vale la seguente tabella che dà la dimensione fisica della costante kW

	DOMINIO	
TIPO	SUPERFICI	LINEA
	E	
TRASLAZION E	F/L^3	F/L^2
ROTAZIONE	F/L	F

a seconda delle scelte fatte: F sta per forza, L per lunghezza.

Se si sceglie come dominio la linea occorrerà fornire una poligonale, se si sceglie la superficie occorrerà fornire due poligonali.

Per il solutore nonlineare Curan possono essere definiti i seguenti ulteriori parametri:

- Rigidezza kW2 e allungamento D corrispondente allo snervamento (viene definita una legge bilineare)

- Beta (0 per incrudimento cinematico, 1 per incrudimento isotropo)
- Gap (lo spostamento superato il quale la molla inizia a reagire, definito nelle unità correnti)
- Limiti di rottura positivo e negativo (lunghezze)
- Legge costitutiva completa, oppure no tension o no compression

3.5.5 Solids

3.5.5.1 Add...

COMMAND: Mesh-Solids-Add...

This command is used to add solid elements. Once the command is executed, the dialog [Solid Adding^{\[508\]}](#) is opened.

The solid-element addition commands are mainly limited to the extrusion of 2D elements like plates and membranes.

Type: modal/modeless

Destination: document

3.5.5.1.1 Solids Addition (Dialog)

AGGIUNTA DI SOLIDI (DIALOGO)

Questo dialog consente di specificare la modalità con la quale aggiungere elementi solidi al modello.

Sono previste le seguenti modalità:

1) Aggiunta diretta

In questa modalità gli elementi vengono aggiunti uno ad uno, attaccandosi a nodi esistenti e/o

aggiungendo i nodi necessari.

L'aggiunta diretta è al momento limitata agli elementi esaedrici di cui occorre fornire i nodi nel seguente ordine:

I,J,K,L (faccia inferiore, ordine antiorario)

M, N, O, P (faccia superiore, ordine antiorario, con M corrispondente a I).

I nodi possono essere cliccati o definiti mediante specificazione delle coordinate assolute (per il solo I) o relative all'ultimo node definito (per i nodi J,K,L,M,N,O,P).

La modalità di aggiunta diretta è da usare con cautela e limitatamente a casi particolari data la obiettiva difficoltà a cliccare nella sequenza corretta.

2) Regione.

In questo caso vengono aggiunti elementi "brick". Gli elementi vengono aggiunti automaticamente dopo aver specificato tre file di nodi mediante tre distinte poligoni atte a ricomprendere una fila di nodi per volta. Le tre file di nodi devono avere un node in comune. Il command è una generalizzazione di quello già descritto nel caso di aggiunta di carichi a regione.

3) Esaedro

Il command è affine alla aggiunta diretta, ma l'esaedro così definito verrà poi suddiviso in una serie di elementi grazie alla determinazione del numero di suddivisioni fatta inizialmente (mediante un opportuno [dialog](#)^[511] che chiede le suddivisioni lungo IJ, JK, ed IM.

Vengono definiti i nodi

I mediante coordinate assolute o mediante click su node esistente

J mediante coordinate relative a I o mediante click

K mediante coordinate relative a J o mediante click

L mediante coordinate relative a K o mediante click

P mediante coordinate relative a L o mediante click

L'ultimo punto aggiunto è quello che dà la traslazione del quadrilatero IJKL per generare il solido. Tale traslazione è data appunto da PL.

4) Estrudi sel PM

E' il modo più facile ed anche quello maggiormente consigliato nell'ambito di utilizzo di Sargon: in pratica, preselezionati un certo numero di elementi bidimensionali triangolari o quadrilateri, il vettore copia specificato col command consente di generare altrettanti elementi solidi (rispettivamente pentaedrici o esaedrici) che potrenno poi essere ulteriormente copiati o ruotati per generare il solido di interesse.

3.5.5.2 Remove SO

COMMAND: Mesh-Solidi-Cancella

Questo command consente di cancellare gli elementi solidi selezionati.

Type: immediato

Destination: document

3.5.5.3 Divide SO

COMMAND: Mesh-Solids-Divide

This command is used to divide the solid elements selected (presently only the 8-noded and 6-noded). When the command is executed a proper [dialog](#)⁵¹¹ is opened, which is used to set the number of subdivisions along the three local directions. To divide 6 noded elements it is necessary that the number of subdivisions along IJ and JK is the same.

Type: immediate

Destination: document

3.5.5.3.1 Solid Elements Division (Dialog)

DIVISIONE DI SOLIDI (DIALOGO)

Il dialog chiede il numero di suddivisioni nelle tre direzioni locali:

IJ è il primo spigolo della faccia inferiore

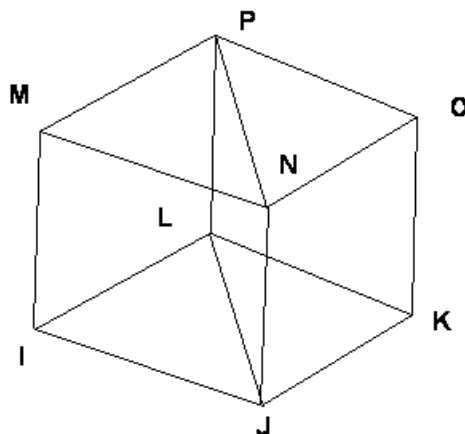
JK è il secondo spigolo della faccia inferiore

IM è lo spigoli che unisce il primo node alla faccia superiore

Il numero di elementi finale in cui verrà suddiviso ogni elemento selezionato è pari al prodotto dei tre numeri inseriti.

3.5.5.4 Pentahedriz**COMMAND: Mesh-Solids-Pentahedriz**

This command divides all the selected "brick" (8 noded) elements in two wedge elements (6 noded, pentahedron). No node is added. Pentahedrization can be useful to study result sensitivity to mesh or for meshing purposes.



The subdivision is carried out in such a way that an element having original nodes: (I, J, K, L, M, N, O, P) is splitted in the two elements (I, J, L, M, N, P) and (J, K, L, N, O, P).

If applied to regular meshes, pentahedrization does not imply compatibility violations.

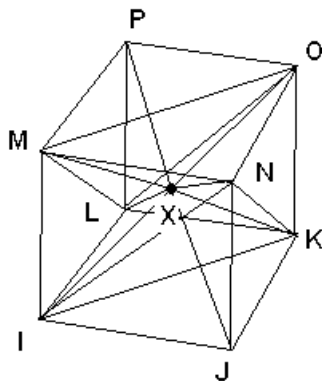
Type: immediate

Destination: document

3.5.5.5 Tetrahedrize

COMMAND: Mesh-Solidi-Tetraedrizza

Questo command suddivide tutti gli elementi “brick” selezionati in dodici elementi tetraedrici ottenuti aggiungendo un node in corrispondenza al baricentro dell’elemento originario. La tetraedricizzazione può essere utile per studiare la sensitività dei risultati al variare della mesh.



La suddivisione avviene in modo che l’elemento che aveva originariamente i nodi: (I, J, K, L, M, N, O, P) venga spezzato nei dodici elementi tetraedrici seguenti:

I,J,K,X

I,K,L,X

N,M,O,X

M,P,O,X

J,N,K,X

K,N,O,X

I,L,M,X

M,L,P,X

J,I,N,X

I,M,N,X

L,K,O,X

L,O,P,X

dove “X” è il node aggiuntivo.

Su mesh regolari, generate con comandi di mapping la tetraedrizazione non comporta violazioni di congruenza (facce affacciate con diagonali incidenti).

Type: immediato

Destination: document

3.5.6 Superelements

3.5.6.1 Search

COMMAND: Mesh-Superelements-Search

This command is used to search superelements among the selected elements. The command considers only the selected beam and trusses when the command is executed. Among these elements, the program searches the sets of aligned elements, which are not internally braced. Once a given set of superelements is found, these are added to the existing ones. An element *i* braced in an internal node, if in that node is connected a selected element which is not aligned.

To get more information follow the link [Superelements](#)^[227].

Type: immediate

Destination: document

3.5.6.2 Remove

COMMAND: Mesh-Superelements-Remove

This command removes the selected superelements. To select superelements, use the standard tools, after setting "superelements" as entities to be selected.

Type: immediate

Destination: document

3.5.6.3 Use and Display

COMMAND: Mesh-Superelements-Use

This command is used to decide if the superelements defined in the model will be used and displayed, or not. It directly modifies the working mode of the external modules used to check the elements, and the slenderness coplour maps displayed by the program. If the flag is active (default mode) the slenderness of the superelements will be displayed. If the flag is inactive, it will be displayed the slenderness of the single beam elements. If the flag is active, the superelements loop will be included in the checks. If the flag is inactive, the superelements loop will not be executed during the checks.

Type: flag

Destination: document

3.5.7 Double Elements...

COMMAND: Mesh-Double Elements...

This command calls a proper [dialog](#)^[515] that is used to set which type of elements may double, and which may not. Usually it is not possible to add double elements, so if these are added during meshing operations, the program automatically discards them.

The command also selects the existing double elements, and lists them in an ASCII file

(named *model.doubleele.list.txt* and placed in the model folder). This latter functionality is at the moment limited to beam and truss elements.

Type: modal

Destination: document.

3.5.7.1 Double Elements (Dialog)

DOUBLE ELEMENTS (DIALOG)

This dialog is used to decide which type of double elements can be generated in the copy operations. By default, none.

If a tick is applied to the check box “select and list double elements after ending the dialog”, when the dialog is closed the double elements will be counted, and it will be created a file with a report referring to the double elements found (file *model.doubleele.list.txt*). Besides, the first double elements will be selected: if for example there are 3 double elements only the first one will be selected. This last command feature is at the moment limited to beam and truss elements only.

3.5.8 Double Nodes

COMMAND: Mesh-Double Nodes

This flag can be activated or not. If it is active (a tick sign is applied), during meshing operations the double nodes will be allowed. If otherwise it is inactive (which is the default mode) the double nodes will not be generated during meshing operations.

Type: flag

Destination: document.

3.5.9 Auto Align

COMMAND: Mesh-Auto Align

This flag can be activated, or not. If it is active (the tick is applied, default choice), during the direct addition of beam, truss, plate and membrane elements, the elements will be kept "equally oriented".

Imagine to define a portal frame adding one after the other the first column, the beam, and the second column. The second column will have its first node at the top, and its second node at the bottom. If the flag is active, the nodes will be swapped, so that the second column will have the same positive direction of the first.

If an element is to be added, the dot product of the axis one vector and the vector (1, 1, 1), is computed, checking if it is positive. If it is negative, the nodes i and j of the element are swapped. If the dot product is null, the following vectors are used (1, 0, 0) o (0, 1, 0) o (0, 0, 1), until a not-null dot product is found.

The same holds true for 2D elements, but in this case the alignment is with axis 3 (i.e. the axis normal to element plane).

Type: flag

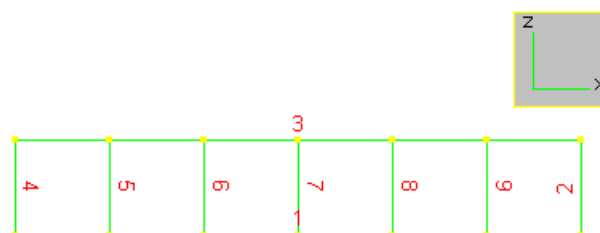
Destination: document.

3.5.10 Search Intersection

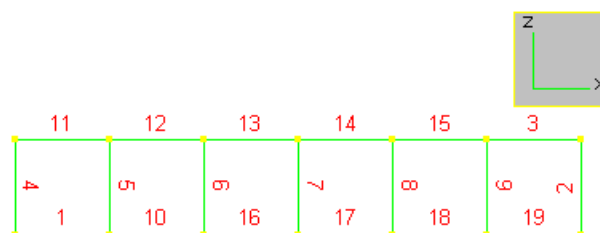
COMMAND: Mesh-Cerca Intersezioni

L'operazione attivata da questo command è molto utile: essa consente di trovare automaticamente l'intersezione tra un certo numero di elementi monodimensionali (quelli precedentemente selezionati), generando i nodi di intersezione in modo automatico e ridefinendo conseguentemente le incidenze degli elementi "spezzati" in due dall'intersezione. Il command può essere usato in due modi: un modo è quello teso a trovare le intersezioni per costruire la mesh, e questo modo ha il vantaggio di risparmiare all'utente dei calcoli per

trovare le coordinate della intersezione.



Mesh sbagliata o disegno della struttura



Mesh corretta

Un secondo modo per impiegare il command, non meno utile, è quello teso a controllare la bontà della mesh.

Per "intersezione" tra due segmenti si intende qui la ricerca di un punto appartenente ad entrambi i segmenti da intersecare. In una mesh ben fatta l'intersezione tra gli elementi non può che essere all'estremo degli elementi stessi (ovvero essere costituita da i suoi nodi di estremità), in quanto, in caso diverso si sarebbe in presenza di una sconnessione: condizione *necessaria* affinché non ci siano sconnessioni è pertanto che non vi siano intersezioni che dividano gli elementi in due parti. Tale condizione non è tuttavia sufficiente a evitare che vi siano sconnessioni: oltre a questa occorre infatti imporre che non vi siano nodi doppi. Terminata la mesh, se si hanno dubbi sulla bontà di tutta o parte di essa, si può cercare se vi sono intersezioni: se le intersezioni vengono trovate, la mesh non è accettabile; se le intersezioni non vengono trovate, e non vengono trovati nodi doppi, si può avere la ragionevole certezza che non vi siano sconnessioni nel modello. In certi casi le intersezioni ci sono, ma questo non indica una vera e propria sconnessione: caso tipico è quello di due bielle di una croce di S. Andrea, le quali si sovrappongono senza che sia desiderato il node di intersezione. In tal caso è sufficiente non selezionare queste aste perchè l'intersezione tra di esse non venga cercata.

Se vengono selezionate molte aste la ricerca di tutte le intersezioni tra di esse può essere considerevolmente lunga. Il procedimento è infatti iterativo, e va avanti sino a che tutte le intersezioni non sono state eliminate. Come già accennato, questa procedura può essere adottata per *generare* mesh correttamente impostate dopo aver disegnato l'unifilare senza preoccuparsi punto delle connessioni. Per strutture semplici, e se non si è esperti del metodo degli elementi finiti, questa procedura può essere competitiva.

Type: immediato

Destination: document.

3.5.11 Adaptive Refinement

COMMAND: Mesh-Adaptive Refinement

Questo command è molto importante ed utile. Esso consente di infittire localmente la mesh aggiustando in modo automatico la mesh adiacente alla zona infittita in modo da mantenere una mesh corretta.

Alla esecuzione del command compare un opportuno [dialog](#)^[519] che consente di scegliere il modo in cui avviare il raffinamento.

I criteri per infittire una mesh possono essere numerosi. In generale la mesh viene infittita in specie là dove maggiori sono gli errori commessi. Spesso perciò si infittisce dopo aver eseguito una prima analisi in modo da sfruttare le informazioni calcolate dal programma sulla precisione al fine di scegliere automaticamente la zona da infittire (si veda il [dialog](#)^[519]). Sargon consente, grazie a questo command, di infittire localmente anche prima del solving, facendo scegliere all'utente le zone che desidera infittire. E' inoltre possibile infittire eseguendo n volte l'infittimento base (basta fissare il numero di ripetizioni desiderato). L'infittimento base prende ciascun elemento da infittire e gli applica una divisione 2x2, cosicchè da un elemento a quattro nodi si ottengono quattro elementi, da uno a tre nodi quattro elementi, da beam o truss due elementi.

Type: modal

Destination: document.

3.5.11.1 Adaptive Refinement (Dialog)

ADAPTIVE REFINEMENT (DIALOGO)

Questo dialog serve a stabilire il modo in cui eseguire l'adaptive refinement.

Il modo serve a stabilire quali elementi saranno soggetti al raffinamento: gli elementi adiacenti a quelli raffinati saranno automaticamente adattati alla nuova mesh (carichi inclusi). Un primo modo consiste nell'applicare il raffinamento agli elementi selezionati dall'utente (**elementi selezionati**).

Un secondo modo, più interessante del precedente, consiste nell'applicare l'infittimento a tutti gli elementi che superano un certo valore di scarto (**soglia scarto**: per una discussione sugli scarti come misura dell'errore si veda [Sforzi in Piastre e Membrane](#)^[234]). Questo consente di applicare il remeshing là dove è più necessario. Perché questa modalità sia applicabile è necessario che il command sia stato eseguito avendo davanti una mappa degli scarti di una certa componente (ad esempio la tensione di Von Mises, o lo sforzo principale massimo). Specificato un valore di massimo scarto accettabile (nella unità attiva e coerentemente con la componente visualizzata) il programma trova tutti gli elementi che affluiscono a nodi ove lo scarto massimo supera la soglia specificata e li marca per essere infittiti. Attenzione: in questa modalità il command deselecta in modo automatico tutti gli elementi prima di cominciare.

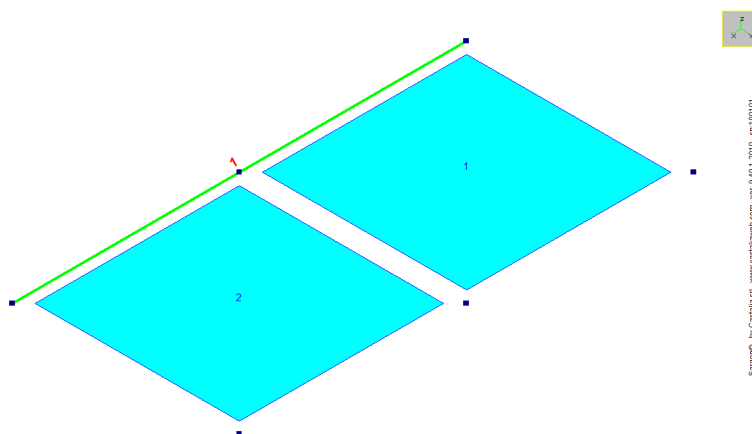
Oltre al modo è possibile stabilire la intensità dell'infittimento (**ripetizioni**). *Di norma si consiglia di usare come numero di ripetizioni il numero 1, in modo da sorvegliare che gli elementi limitrofi a quelli suddivisi non vengano ad essere eccessivamente distorti.* Ogni ripetizione implica che ad ogni elemento originario vengano sostituiti quattro elementi più piccoli. Ad esempio da una ripetizione pari a 2 sono da attendersi 16 elementi per ogni elemento da infittire.

3.5.12 Nodes over side

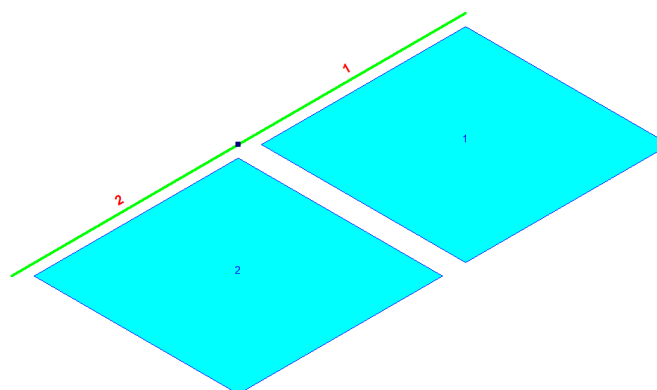
Command: Mesh-Nodi sui lati

Questo command opera su tutti i nodi selezionati al momento della sua esecuzione, cercando se tra essi ve ne sono alcuni che giacciono internamente all'asse di elementi beam o truss o sui lati di elementi piastra o membrana, sempre internamente.

Se vengono rilevati nodi con tale caratteristica, il programma li enumera e chiede se debbano essere opportunamente divisi gli elementi che presentano un node su un loro lato o sul loro asse: se si sceglie "NO", nessun elemento verrà modificato e tutti i nodi verranno deselezionati a eccezione di quelli giacenti sui lati o sugli assi; se si sceglie "SI" gli elementi verranno divisi (con un'opportuna ripartizione dei carichi eventualmente presenti) e i nodi sui lati saranno gli unici a essere selezionati. Nell'esempio mostrato nelle figure seguenti, un elemento piastra è stato suddiviso in due, ma non è stato fatto altrettanto con l'elemento beam (prima immagine): manca quindi la corretta connessione tra esso e gli elementi bidimensionali. Il command "Nodi sui lati" rileva la presenza di un node giacente sull'asse dell'elemento beam e chiede se quest'ultimo debba essere diviso. In caso di risposta affermativa, ci si ritrova nella condizione mostrata nella seconda immagine, in cui l'elemento unifilare è stato diviso in due e il node che è stato rilevato in precedenza risulta selezionato.



Prima dell'esecuzione del command: un elemento beam ininterrotto, con un node sul suo asse

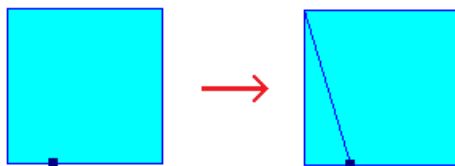


Sargon® - by Castalia srl - www.castaliaweb.com - ver. 3.40 (1-2010 - en100101)

Dopo l'esecuzione del command con la divisione automatica si hanno due elementi beam

NOTE:

1. Se un elemento bidimensionale presenta più nodi sui lati o un elemento unifilare presenta più nodi sul suo asse, può essere necessario eseguire più volte il command riselezionando i nodi opportuni, al fine di ottenere tutte le suddivisioni desiderate.
2. Gli elementi piastra e membrana vengono divisi "tagliando via" un elemento triangolare dall'elemento iniziale (si veda la figura più sotto).
3. Nei casi più delicati si consiglia di cliccare NO alla prima richiesta di divisione automatica, in modo da visualizzare dove si trovano i nodi sui lati e quali elementi coinvolgono, quindi di rieseguire il command scegliendo SI oppure procedere con una modifica manuale della mesh. Se ci sono molti nodi sui lati può essere auspicabile trattarne un sottoinsieme alla volta, in modo da poter controllare meglio i risultati delle modifiche automatiche.
4. In caso di elementi unifilari con eccentricità deve essere valutata attentamente dall'utente l'eventuale situazione di nodi sui lati.



Divisione automatica di un elemento piastra o membrana

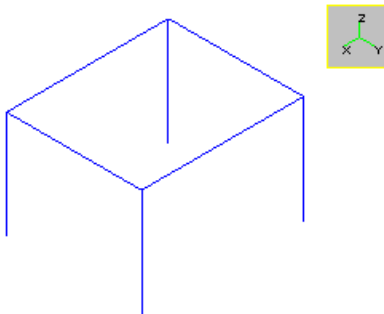
Type: modal

Destination: document

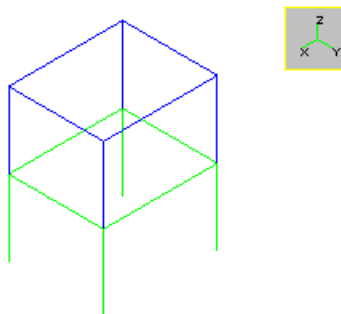
3.5.13 Copy...

COMMAND: Mesh-Copia...

Consente di duplicare gli elementi che siano preventivamente stati selezionati. I nuovi elementi avranno il numero di gruppo corrente ("GR=" nella barra di stato). Atbeamrso un opportuno [dialog](#)^[523], l'utente dà un vettore che definisce la traslazione di tutti gli elementi selezionati. I nuovi elementi saranno nella posizione assunta idealmente dai vecchi traslati del vettore in questione. I nodi necessari verranno aggiunti automaticamente. Se, ad esempio, si vuole duplicare un piano di un edificio, basterà selezionare tutte e sole le aste del piano (colonne incluse), ed applicare un vettore avente una componente Z positiva pari all'altezza del piano.



Il blocco selezionato prima della copia



Il blocco dopo la copia: il nuovo blocco è pronto ad essere ricopiato.

Il programma ammette o no elementi sovrapposti a seconda dello stato dell'opzione [Elementi doppi...](#)^[514]. Analogamente per i nodi tramite l'opzione [Nodi doppi](#)^[515].

Nel generare gli elementi il programma assume che i terzi nodi delle travi e bielle generate siano ordinatamente eguali a quelli delle aste che le generano.

Il vettore traslazione può essere definito in due modi. Nel primo caso occorre specificare due nodi che definiscono, ordinatamente, i due estremi del vettore traslazione; nel secondo caso occorre dare esplicitamente le tre componenti del vettore, da tastiera, usando l'unità di misura corrente. È chiaro che il modo via mouse può essere usato solo qualora esistano due nodi della struttura capaci di descrivere il vettore prescelto. Se si è in presenza di tali nodi, ed il vettore traslazione è un numero decimale con diverse cifre, è senz'altro conveniente adoperare il mouse, poichè in tal modo ci si garantisce di evitare sovrapposizioni di nodi aventi posizione praticamente coincidente.

Type: modal se il vettore è definito via tastiera, modeless se è definito con la scelta di nodi

Destination: document.

3.5.13.1 Choice of input mode (Dialog)

CHOICE OF INPUT MODE (DIALOG)

This dialog is used to decide if the copy-vector will be input selecting two existing nodes, or if, instead, it will be input by [keyboard](#)^[524].

3.5.13.1.1 Copy: translation vector (Dialog)

COPY: TRANSLATION VECTOR (DIALOG)

This dialog is used to set the translation vector to be used to translate the selected elements to generate a copy.

3.5.14 Recopy**COMMAND: Mesh-Recopy**

After a [Copy](#)^[522] command is executed, the program unselects all elements, but those just added (by copy), which are instead selected. The command RECOPY applies the last translation vector defined by the command [Copy](#)^[522] to the selected elements. Therefore, if after a COPY of a first module into a second, you wish to quickly add more n modules, it will be enough to execute n times the RECOPY command. The new elements will have the current group number ("GR=" in the status bar). To set a different group, you can just right or left click over "GR=".

Type: immediate

Destination: document.

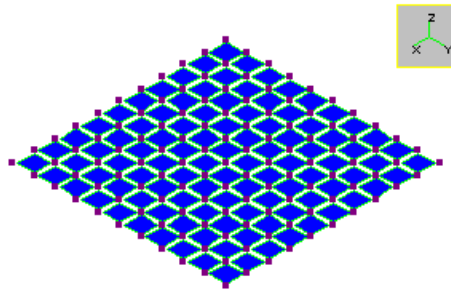
3.5.15 Rotate...**COMMAND: Mesh-Ruota...**

Questo command serve a ruotare gli elementi selezionati rispetto ad un asse, in modo da generare un nuovo insieme di elementi, ruotati rispetto ai precedenti. I nuovi elementi avranno il numero di gruppo corrente ("GR=" nella barra di stato)

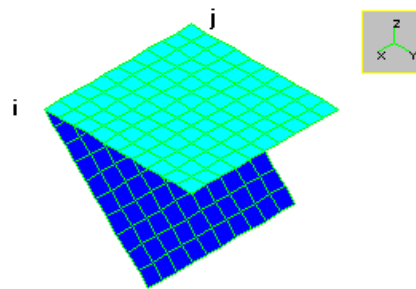
Prima di eseguire il command occorre selezionare gli elementi che si intende ruotare. Dopo, il command RUOTA fa specificare l'asse di rotazione, e l'angolo di rotazione (positivo

secondo la regola classica del calcolo vettoriale). L'angolo va specificato in gradi.

Appena il command viene eseguito viene chiesto all'utente di chiarire con quale modalità fornirà i dati: se interamente via tastiera, oppure se fornendo prima il vettore che definisce l'asse di rotazione mediante la scelta di due nodi e poi, via tastiera, l'angolo di rotazione.



Il blocco (un insieme di piastre) selezionato prima della rotazione



Il blocco dopo la copia: il nuovo blocco è pronto ad essere riruotato.

In questo esempio l'asse va da i a j e la rotazione è di +45°

Se l'utente sceglie di usare la tastiera gli viene presentato un dialog ([Rotazione](#)^[526]) in cui gli si chiedono i dati necessari.

Se l'utente sceglie la modalità mista, egli deve prima scegliere due nodi che danno, ordinatamente, il primo ed il secondo estremo del vettore rotazione (in questa fase il command è non-modal). Poi gli viene proposto un opportuno dialog ([Rotazione](#)^[526]) che serve a specificare l'angolo di rotazione.

Type: modal se il vettore è definito via tastiera, modeless e poi modal se è definito con la scelta di nodi

Destination: document.

3.5.15.1 Rotation (Dialog)

ROTATION (DIALOG)

This dialog is used to define the rotation axis (directed from point 1 toward point 2) and the rotation angle.

The angle is input in degrees and is positive if counterclockwise.

3.5.15.2 Rotation (Dialog)

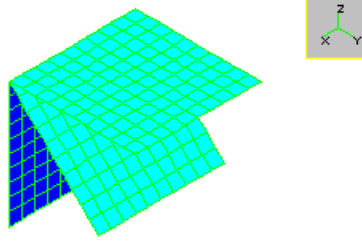
ROTATION (DIALOG)

This dialog is used to set the rotation angle (positive if counter-clockwise).

3.5.16 Rerotate

COMMAND: Mesh-Riruota

Dopo aver eseguito una rotazione ([Ruota](#)^[524]), il programma fa in modo che tutti gli elementi siano deselezionati, tranne quelli appena aggiunti, che risultano selezionati. Il command RIRUOTA applica l'ultima rotazione definita dal command [Ruota](#)^[524] agli elementi selezionati. Perciò, se dopo una rotazione del primo in un secondo modulo si vogliono aggiungere rapidamente altri n moduli, sarà sufficiente eseguire n volte il command RIRUOTA. I nuovi elementi avranno il numero di gruppo corrente ("GR=" nella barra di stato).



Effetto della riorotazione ([Ruota](#)⁵²⁴)

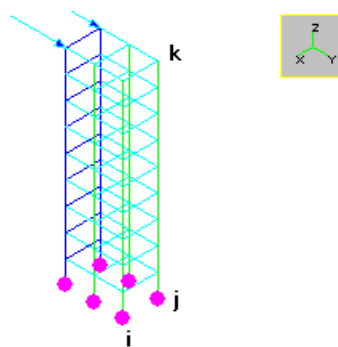
Type: immediato

Destination: document.

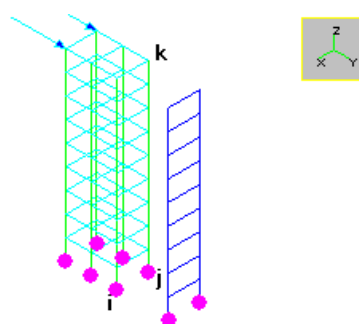
3.5.17 Mirror...

COMMAND: Mesh-Specchia...

Il command SPECCHIA serve per generare degli elementi atbeamrso un'operazione di copia di altri elementi, che devono essere preventivamente stati selezionati. I nuovi elementi avranno il numero di gruppo corrente ("GR=" nella barra di stato). La specchiatura avviene rispetto ad un piano (piano di specchiatura) individuato dall'utente per mezzo di tre punti non allineati. I punti possono essere nodi esistenti, ed in tal caso verranno scelti con il mouse; oppure punti di cui vanno fornite le coordinate. In tale ultimo caso, occorre scegliere la modalità tastiera. Appena eseguito il command viene chiesto all'utente se intende specificare i punti avvalendosi dei nodi esistenti oppure se intende specificare i tre punti dandone le coordinate.



Il piano selezionato (colorato in blu) sta per essere specchiato rispetto al piano individuato dai nodi i, j, k.



Il piano dopo la specchiatura

Se viene scelto di usare i nodi esistenti il command diviene non-modal ed aspetta che l'utente scelga tre nodi cliccandoci sopra con il mouse (o usando la tastiera secondo le regole di funzionamento generali). Al terzo click il command finisce e gli elementi vengono specchiati.

Se invece viene scelto dall'utente di dare i punti via tastiera, gli viene presentato un opportuno dialog ([Specchiatura](#)⁵²⁸) che chiede le coordinate dei tre punti. Se si chiude il dialog con OK gli elementi verranno specchiati.

I tre punti non devono essere allineati.

Type: modal se il vettore è definito via tastiera, modeless se è definito con la scelta di nodi

Destination: document.

3.5.17.1 Mirroring (Dialog)

MIRRORING (DIALOGO)

This dialog is used to set three points, defining the mirroring plane. The three points must not be aligned.

3.5.18 Metamorphosis...

COMMAND: Mesh-Metamorphosis...

This command is used to transform beams into trusses, trusses into beams, and to transform plates into membranes and membranes into plates. The command applies to the elements of the type to be transformed, which are also selected.

When the command is executed a proper dialog appears ([Metamorphosis](#)⁵²⁹) which is used to decide which element type must be transformed by the command.

Type: modal

Destination: document.

3.5.18.1 Metamorphosis (Dialog)

METAMORPHOSIS

This dialog is used to choose the type of metamorphosis wished.

3.5.19 Gap and friction...

COMMAND: Mesh-Gap e attrito...

Questo command consente di assegnare:

- gap e/o coefficiente di attrito agli elementi finiti di tipo truss;
- gap, coefficiente di attrito, penalty, numero superficie "contact", numero di superficie "target"

agli elementi finiti di tipo piastra. In altri termini, si definiscono i parametri che regolano il **contatto** tra le piastre.

Gli **elementi** a cui si vogliono assegnare le proprietà suddette devono essere **selezionati prima dell'esecuzione del command**.

L'eventuale assegnazione di questi parametri è un'informazione utilizzata **solo dal solutore Curan**.

Alla esecuzione del command compare un [dialog](#)⁵³⁰ che consente di definire i vari parametri (nelle unità attive nel caso di dati non adimensionali).

Type: modal.

Destination: document.

3.5.19.1 Gap and Friction Input

ACQUISIZIONE DI UN GAP E/O DI UN COEFFICIENTE D'ATTRITO (DIALOGO)

Acquisizione di un gap e/o di un coefficiente di attrito

0	Gap (bielle e piastre-target)
0	Coefficiente di attrito (bielle e piastre-target)
0	Penalty (piastre-target)
0	Numero contact surface (solo piastre)
0	Numero target surface (solo piastre)

Il gap è sempre positivo o nullo ed agisce sia in trazione che in compressione
Il gap ha la unità di misura di lunghezza attiva; penalty ha unità [forza/lunghezza]
Il coefficiente di attrito è un numero puro
Per le piastre selezionate: gap, attrito, penalty e target (contact=0); oppure contact (target =0)
Per le bielle selezionate: gap e attrito
Per le piastre: contact surface va in contatto con identica target surface
Questi dati sono impiegati solo dal solutore non lineare CURAN

OK Cancel

Questo dialog consente di definire:

- l'entità del gap da assegnare alle bielle o alle piastre selezionate. Il valore va espresso nelle unità di lunghezza corrente e deve essere un numero positivo.
- il coefficiente d'attrito da assegnare alle bielle o alle piastre selezionate. Il valore va espresso nelle unità correnti e deve essere un numero positivo.
- l'entità della penalty per gli elementi piastra selezionati e che siano definiti come *target*. Il valore va espresso come forza per unità di lunghezza usando le unità di misura attive, e deve essere un numero positivo.
- il numero di superficie di tipo *contact* da assegnare alle piastre selezionate;
- il numero di superficie di tipo *target* da assegnare alle piastre selezionate.

Vediamo ora il significato dei vari parametri.

Bielle

Le bielle con gap reagiscono solo dopo uno aver subito un accorciamento o un allungamento pari al gap. Se la variazione di lunghezza di una truss con gap è inferiore al gap stesso, l'azione assiale nell'elemento sarà nulla.

Una truss con attrito, quando soggetta a compressione, fornisce una rigidezza *laterale* $K=EA/L$ (dove E è il modulo elastico della truss, A la sua area ed L la sua lunghezza). Quando la forza di compressione supera un valore limite, la truss non offre più resistenza laterale in quanto si verifica uno slittamento. Il valore limite è una frazione della forza di compressione applicata, stabilita dall'utente tramite il parametro relativo al coefficiente d'attrito. Se si pone tale parametro pari, ad esempio, a 0.2, la truss offre una resistenza laterale per valori di forza laterale N_t inclusi nel range

$$0 < |N_t| < 0.2|N_n|$$

con N_n azione normale che naturalmente ha segno negativo, trattandosi di una compressione.

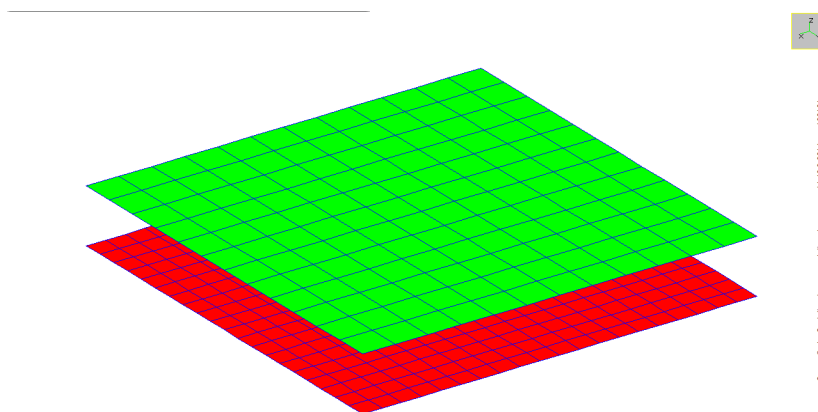
Piastre

Il discorso per le piastre è più complesso. Per una spiegazione dettagliata delle problematiche relative al contatto tra le piastre si rimanda a [Come eseguire analisi nonlineari](#)

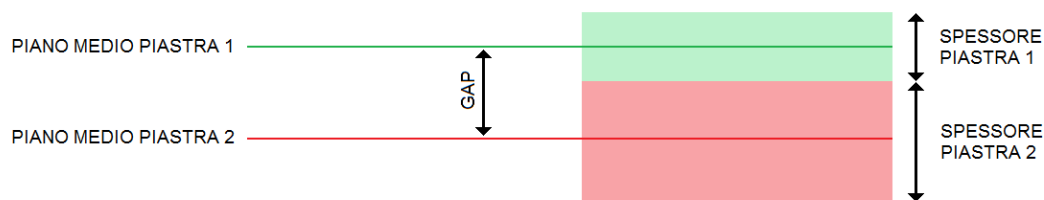
con Curan¹⁷².

L'esempio seguente serve a chiarire cosa si intende per superficie contact, per superficie target e per gap nel caso di piastre.

Supponiamo di voler considerare il contatto tra le due flange mostrate in figura. Le due flange possono avere passi di mesh diversi (come nell'esempio); inoltre, possono anche avere dimensioni totali diverse (in questo caso sono uguali). Inoltre, l'esempio qui proposto ha solo elementi a 4 nodi di forma quadrata, ma il discorso vale anche per elementi a 3 nodi e per elementi a 4 nodi non esattamente quadrati o rettangolari. In pratica, non è necessario che vi sia diretta corrispondenza tra nodi ed elementi delle due superfici, in quanto il programma è in grado di ricostruire automaticamente il contatto, come spiegato alla voce sopra citata.



Le due flange saranno le nostre superfici in contatto. Naturalmente, essendo gli elementi piastra bidimensionali, le due superfici avranno una distanza pari alla somma dei semispessori delle due piastre. Tale distanza è il **gap** (si veda l'immagine seguente).



$$\text{Gap} = (\text{Sp. P1} + \text{Sp. P2}) / 2$$

Agli elementi appartenenti alla superficie inferiore, che vogliamo sia la superficie

"target", assegneremo un **valore target**, ad esempio "1".

Agli elementi appartenenti alla superficie superiore, che vogliamo sia la superficie "contact", assegneremo un **valore contact uguale al valore target precedente** (1).

Se nel modello vogliamo definire altre superfici di contatto, ad esempio tra altre due flange, assegneremo a una delle due il valore target "2" e all'altra il valore contact "2". E così via.

In questo modo potremo definire n coppie di superfici in contatto: per ogni coppia il valore target di una superficie sarà uguale al valore contact dell'altra. Tale valore sarà generalmente diverso da coppia a coppia, a meno di situazioni particolari.

Agli elementi target di ciascuna coppia assegneremo anche l'opportuno valore di **penalty** (descritta in [Come eseguire analisi nonlineari con Curan](#))^[172], la quale sostanzialmente è una rigidità, intesa come forza per unità di lunghezza.

3.5.20 Names

3.5.20.1 Modify...

COMMAND: Mesh-Nomi-Modifica...

Questo command consente di assegnare, modificare o cancellare i nomi degli oggetti (nodi, travi, bielle, piastre, membrane, superelementi e molle) selezionati al momento della esecuzione del command stesso.

Appena eseguito il command compare un opportuno [dialog](#)^[535] che consente di specificare sia la modalità operativa del command, sia i dati necessari alla esecuzione.

In pratica gli oggetti selezionati verranno ordinati dal programma secondo un criterio geometrico. Si può specificare una gerarchia nelle coordinate in modo da cambiare l'ordine degli oggetti. Gli oggetti ordinati secondo il criterio geometrico riceveranno un nome, costruito secondo la seguente regola:

NOME = PREFISSO+SUFFISSO

SUFFISSO = VALORE INIZIALE + POSIZIONE * INCREMENTO

La POSIZIONE è determinata automaticamente ordinando l'insieme degli oggetti selezionati secondo il criterio richiesto. L'ordinamento viene eseguito in base alle coordinate del punto baricentrico di ciascun elemento o del punto corrispondente al node. Il criterio

consiste nello specificare l'ordine di priorità delle variabili X, Y, Z con il quale ordinare gli oggetti. Se ad esempio si hanno gli oggetti, O1, O2, O3, O4 aventi le coordinate

O1(0., 0, 0.)

O2(100., 0., 0.)

O3(0., 100., 0.)

O4(0., 0., 100.)

Sulla base della priorità data alle coordinate X, Y, Z si avranno i seguenti ordinamenti:

CRITERIO	ORDINAMENTO
XYZ	O1,O4,O3,O2
XZY	O1,O4,O2,O3
YXZ	O1,O3,O4,O2
YZX	O1,O2,O4,O3
ZXY	O1,O3,O2,O4
ZYX	O1,O2,O3,O4

Il PREFISSO, il VALORE INIZIALE e l'INCREMENTO sono invece specificati dall'utente.

Si supponga ad esempio di aver selezionato le aste 11, 23, 44, 56, 78, e di aver specificato i seguenti valori:

PREFISSO = "CONTR"

VALORE INIZIALE = 10

INCREMENTO = 3

e si immagini che, a causa della loro posizione, le aste siano state ordinate come nel seguente elenco: 44, 56, 11, 23, 78. I nomi assegnati saranno i seguenti

Posizione	Numero	Nome assegnato
e	o	

1	44	CONTR10
2	56	CONTR13
3	11	CONTR16
4	23	CONTR19
5	78	CONTR22

Questo command consente dunque di dare un nome a molti oggetti per volta facendo in modo che tutti gli oggetti selezionati abbiano un nome differente tra loro. Il command non controlla tuttavia che i nomi assegnati siano già presenti ed assegnati ad altri oggetti (non tra quelli selezionati). E' compito dell'utente impedire che ciò accada. Se si hanno oggetti a nome duplicato la corrispondenza nome-oggetto non sarà più biunivoca.

Per evitare che questo accada è sufficiente diversificare i prefissi nel corso delle varie operazioni di assegnazione, oppure tenere traccia dell'ultimo numero assegnato e usare corrispondentemente il "VALORE INIZIALE".

3.5.20.1.1 Name (Dialog)

NOME (DIALOGO)

Questo dialog viene usato per attribuire, modificare o rimuovere il nome agli oggetti selezionati.

Per prima cosa si stabilisce la modalità del command.

Assegna	Riassegna il nome agli oggetti selezionati
Cambia prefisso	Si limita a cambiare il prefisso ai nomi degli oggetti selezionati
Cambia suffisso	Si limita a cambiare il suffisso ai nomi degli oggetti selezionati
Aggiungi al suffisso	Aggiunge l'incremento specificato al suffisso dei nomi degli oggetti selezionati
Elimina nome	Elimina il nome degli oggetti selezionati

Se si è scelta la modalità **Assegna**, allora andrà specificato sia l'ordinamento che il prefisso ed il suffisso (valore iniziale ed incremento).

Se si è scelta la modalità **Cambia prefisso** sarà sufficiente specificare il prefisso.

Se si è scelta la modalità **Cambia suffisso** è necessario specificare il suffisso (valore iniziale ed incremento) e l'ordinamento.

Se si è scelta la modalità **Aggiungi al suffisso** è sufficiente specificare l'incremento.

Se si è scelta la modalità **Elimina nome** non è necessario specificare altro.

Il prefisso deve essere una stringa alfanumerica che non deve terminare con un numero. Nel suo complesso il nome (prefisso + suffisso) non deve essere più lungo di 20 caratteri, e quindi il prefisso non deve essere più lungo di 14, 16 caratteri.

Se la modalità operativa lo richiede è necessario specificare un ordinamento tra quelli proposti. L'ordinamento sarà eseguito automaticamente dal programma utilizzando la successione delle variabili specificata. Se ad esempio si sceglie "YZX", prima gli oggetti verranno ordinati sulla base della loro "Y", poi, se più oggetti hanno la stessa Y, sulla base della "Z", infine, se anche la Z è eguale, sulla base della "X". Per maggiori dettagli ed un esempio si veda [Modifica Nome](#)⁵³³.

3.6 Edit

3.6.1 Undo

COMMAND: Edit-Undo

This command undoes the effects of the last executed command. There are 10 different

levels of *undo*. The command *undo* cannot be executed if a command is currently being executed. All the commands must have been completed.

Type: immediate

Destination: document.

3.6.2 Redo

COMMAND: Edit-Redo

This command redoes last command, previously undone. Ten *undo* levels are available.

Type: immediate

Destination: document.

3.6.3 Copy

COMMAND: Edit-Copia



Questo command copia negli appunti il contenuto della active view, che potrà poi essere incollato in Word per Windows™, Write™, Paintbrush™ e, più in generale, in tutti i programmi capaci di importare l'oggetto Bitmap via clipboard.

Type: immediato

3.6.4 Cut [inactive]

COMMAND: Edit-Cut

This command is not active.

3.6.5 Select

3.6.5.1 All

COMMAND: Edit-Select-All

This command selects all the elements or nodes not depending on the active filter. The command will select the entities specified in the status bar.

To get more information go to [Select](#)^[120]

Type: immediate

Destination: document

3.6.5.2 None

COMMAND: Edit-Select-None

This command unselects all the elements or nodes, no matter the active filter. The command will apply to entities (nodes, beams and trusses, plates and membranes, springs, superelements, or all) as specified in the status bar.

To get more info follow the link [Select](#)^[120]

Type: immediate

Destination: document

3.6.5.3 Click

COMMAND: Edit-Select-Click

This command lets you capture entities by clicking on them. What the command refers to is indicated on the status bar. The results of this command depends on [operation](#)^[123] and on [selection mode](#)^[123]. The command is terminated by clicking the right mouse button or by pressing the ESC key.

For more information go to [Select](#)^[120]

Type: modeless

Destination: document

3.6.5.4 Box

COMMAND: Edit-Select-Box

This command is used to capture the entities contained in a box. The object kind in for being captured is in the status bar. The result of this command depends on the [operation](#)^[123] and on the [selection mode](#)^[123]. The command is aborted by pressing the right mouse button or the ESC key.

To get more info:

[To Select](#)^[120] [Input a box](#)^[33]

Type: modeless

Destination: document

3.6.5.5 Poly

COMMAND: Edit-Select-Poly

This command is used to capture the entities inside a closed polyline. The object kind in for being captured is in the status bar. The result of this command depends on the [operation](#)^[123]

and one the [selection mode](#)^[123]. The command is aborted by pressing the right mouse button or the ESC key.

To get more information:

[Select](#)^[120] [Input a polyline](#)^[34]

Type: modeless

Destination: document

3.6.5.6 Name

COMMAND: Edit-Select-Name

This command is used to select objects by their names. When the command is executed a proper [dialog](#)^[540] is opened, asking to specify one or more search strings. All the objects (nodes, beams, trusses, plates, membranes, solids, springs and superelements) having a name that matches the search string will be selected.

To get more info: [To Select](#)^[120]

Type: modal

Destination: document

3.6.5.6.1 Search by name (Dialog)

SEARCH BY NAME (DIALOGO)

This dialog is used to input one or more search strings, to be used to select objects depending on their names. The strings may contain the wild character "*" and are separated by the character ";".

3.6.5.7 Alignments...

COMMAND: Edit-Select-Fixed Alignments...

This command is used to add to the currently selected objects those belonging to a given number of alignments, chosen by the user by means of a proper [dialog](#)^[541]. All the objects that can completely lay over a plane (nodes, beams, trusses, plates, membranes, springs) and that do lay over one of the specified alignments, will be selected. For beam elements, only the first two nodes will be considered, and their possible eccentricity is not kept into account.

Type: modal

Destination: document

3.6.5.7.1 Loci selection (Dialog)

LOCI SELECTION (DIALOGO)

This dialog lists the existing alignments (loci) in the model, with a check box. If the tick is applied the alignment (locus) is selected, otherwise, not. To select an alignment, click over the pertinent check box. To unselect a locus, untick its check box. By exiting the dialog with OK, all the elements belonging to the selected locus will be selected.

3.6.5.8 Objects

COMMAND: Edit-Select-Objects...

This command is used to choose the type of the objects that successive selection commands will apply to. The choice can be:

- Nodes
- Beams and Trusses
- Plates and Membranes

- Springs
- Superelements
- Solids
- Loads (inactive)
- All: all the possible objects

3.6.5.9 Tank...

COMMAND: Edit-Select-Tank...

This command is used to change the active selection tank. To get more information:

[Selection tank \(dialog\)](#)  ⁵⁴²

[How to select](#)  ¹²⁰

[Selection tanks](#)  ¹²⁵

Type: immediate

Destination: document

3.6.5.9.1 Selection Tank (Dialog)

SELECTION TANK (DIALOG)

This dialog is used to set the active selection tank. If the extraction mode is active, the available tanks are 11, 12 or 13. If the extraction mode is not active, the available tanks are the numbers 1, 2, and 3.

3.6.5.10 Filter...

COMMAND: Edit-Selezione-Filtro...

Questo command fa scegliere il filtro di selezione. I filtri di selezione consentono di selezionare facilmente gruppi di oggetti soddisfacenti il filtro. Per filtro si intende una serie di condizioni numeriche e logiche.

Questo command è collegato ad un [property sheet](#)^[543] composto da più pagine: [Filtro \(dialog\)](#)^[543], [Filtro elementi \(dialog\)](#)^[544], [Operazione \(dialog\)](#)^[544].

Per maggiori informazioni andare a:

[Filtri di selezione](#)^[123]

[Selezionare](#)^[120]

Type: modal

Destination: document

3.6.5.10.1 Filter (Property sheet)

FILTRO (PROPERTY SHEET)

Questo property sheet contiene i seguenti fogli:

[Filtro](#)^[543]

[Filtro elementi](#)^[544]

[Operazione](#)^[544]

3.6.5.10.1.1 Filter (Property page)

FILTER (PROPERTY PAGE)

This property page is used to set the [selection filters](#)^[123].

Section: you can ask that the cross-section has been assigned (the box is ticked), that it has not been assigned (the box is white, unticked), or discard the filter (the box is grayed). If the

cross-section number has been input the elements must have the same cross-section number, if the filter is activated (white or ticked, not grayed). If the check box is grayed it is not used any filter about the cross-section attribution.

Material: the filters works in the same way already explained for the cross-section.

Length: two lengths can be input, minimum and maximum, that will be read according to the current length unit.

Tank: you can set a tank number, comprised between 1 and 3. Only the elements or nodes already selected in that tank will be selected.

3.6.5.10.1.2 Element Filter (Property page)

ELEMENT FILTER (PROPERTY PAGE)

This property page is used to set a filter based on the element-type.

3.6.5.10.1.3 Operation (Property page)

OPERATION AND MODE(PROPERTY PAGE)

This property page is used to set the [selection operation](#)^[123] and the [selection mode](#)^[123].

The selection operations are: select, unselect, change.

The selection modes are: self reference, complement, enforce.

3.6.5.11 Standards...

COMMAND: Edit-Select-Standard...

This command is used to change the active standard and is used to open the dialogs that are used to modify the working mode of each standard ([dialog](#)^[545]).

Type: immediate

Destination: document

3.6.5.11.1 Standard (Dialog)

NORMA (DIALOGO)

Questo dialog fa scegliere la norma attiva.

La norma impostata di default é l'EC3 (che include anche le NTC2008).

Le norme CNR sono disponibili in tre versioni:

Il button CNR LS si riferisce alle verifiche secondo CNR10011 agli stati limite;

Il button CNR si riferisce alle verifiche secondo CNR 10011 alle tensioni ammissibili;

Il button CNR10011-10022 si riferisce alle verifiche secondo CNR10011 e 10022 alle tensioni ammissibili. Le 10022 non contemplano verifiche agli stati limite.

Le CNR10022 sono state implementate in modo semiautomatico (Guida Tecnica alle Verifiche).

Da questo dialog è possibile richiamare altri dialoghi utili per le impostazioni relative alle varie norme ([EC3](#)^[545], [legno](#)^[549])

3.6.5.11.1.1 Eurocode 3 - Settings (Property sheet)

EUROCODE 3 - SETTINGS (PROPERTY SHEET)

This property sheet is made by the following property pages:

[Eurocode Parameters](#)^[546]

[Methods](#)^[546]

[Mcrit \(lateral buckling\)](#)^[548]

[Tracing](#)⁵⁴⁹

The property sheet manages the check settings according to EN1993-1-1 and according to Italian Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC).

GAMMA (PROPERTY PAGE)

Questa property page consente di impostare i valori dei coefficienti gamma relativi al materiale utilizzati dal verificatore secondo le norme EC3. I coefficienti γ sono coefficienti incasellati e quindi dipendono dai document NAD emessi dai singoli paesi. I valori proposti dalla norma sono:

$$\gamma_{M0}=1,00$$

$$\gamma_{M1}=1,00$$

$$\gamma_{M2}=1,25$$

In Italia in base alle ultime informazioni disponibili i coefficienti da adottare sono:

$$\gamma_{M0}=1,05$$

$$\gamma_{M1}=1,05$$

$$\gamma_{M2}=1,25$$

Gli stessi coefficienti sono previsti dalle NTC2008:

$$\gamma_{M0}=1,05$$

$$\gamma_{M1}=1,05$$

$$\gamma_{M2}=1,25$$

METODI (PROPERTY PAGE)

Questa property page consente di impostare il modo in cui il verificatore automatico secondo EC3 svolgerà i calcoli.

Elastoplasticità

Il primo riquadro consente di forzare la verifica secondo un criterio elastico. In pratica se viene applicata la spunta al controllo “usa dimensionamento elastico” le sezioni classificate in classe 1 o 2 verranno forzate ad avere classe 3 e verificate di conseguenza.

Instabilità: presso flessione retta o deviata

Il secondo riquadro consente di stabilire in che modo eseguire le verifiche di pressoflessione retta o deviata. Sono possibili varie scelte. Nell’ambito della EN1993-1-1 sono previsti due metodi: il metodo 1 (franco belga) ed il metodo 2 (austro tedesco). Tale metodo è al momento confinato a sezioni doppiamente simmetriche (6.3.3.(1)) ed è quindi a rigore applicabile solo ad esse. Il programma prevede varie opzioni, tra le quali quella di adottare le “vecchie” formule previste dalla versione ENV della norma per tutte le sezioni o solo per quelle non doppiamente simmetriche. Poiché si ha notizia di una prossima estensione che dovrebbe ampliare il raggio di azione dei metodi 1 e 2 anche alle sezioni non doppiamente simmetriche, il programma consente anche di impiegare tali metodi per le sezioni non doppiamente simmetriche. Si raccomanda di impiegare queste opzioni con attenzione, possibilmente confrontando i risultati ottenuti. A parere nostro l’uso dei metodi 1 e 2 su sezioni non doppiamente simmetriche non è ancora sufficientemente provato.

Per le NTC2008 (Circolare 2 febbraio 2009, n.617 - C.S.LL.PP.) é possibile scegliere tra due metodi: il metodo A o il metodo B, che coincide con il metodo 2 dell'EN. Per maggiori approfondimenti si consulti la Guida tecnica alle verifiche.

Calcolo della freccia massima per il calcolo di C_m (metodo 1)

Il terzo riquadro ha senso solo nel caso in cui si usi il metodo 1. In tal caso occorre

valutare la freccia massima delle membratura nell'ipotesi di estremi fissi. Tale freccia può essere calcolata integrando la linea elastica (con maggior onere computazionale) oppure può essere forfettariamente valutata mediante una certa frazione della luce.

MCRIT (svergolamento) (PROPERTY PAGE)

Questa property page consente di impostare il calcolo del momento critico M_{crit} per lo svergolamento. Il primo riquadro **“calcolo del coefficiente C1”** consente di specificare il metodo con il quale calcolare il coefficiente di distribuzione del momento applicato. Il coefficiente C1 moltiplica direttamente l'espressione del momento M_{crit} , e quindi tanto più esso è grande tanto maggiore è il momento critico elastico di svergolamento. Nel caso in cui la distribuzione di momento non sia una di quelle tabellate, il calcolo del momento M_{crit} è tutt'altro che facile. Sono state proposte per esso delle formule chiuse che, campionando in più punti il diagramma, consentono di scrivere il valore di C1. Le scelte possibili sono:

1. Valore prefissato. Si usa questa scelta per casi elementari nei quali la combinazione di verifica sia unica e per i quali sia noto (da tabelle) il valore di C1 da adottare;
2. Metodo di Serna. E' al momento considerato il metodo maggiormente attendibile (cfr. Miguel A. Serna Aitziber Lopez, Inigo Puente and Danny J. Young “Equivalent uniform moment factors for lateral-torsional buckling of steel members”
3. Metodo di Kirby Nethercot: è il metodo da cui deriva il metodo di Serna.
4. Metodo British standard. E' un ulteriore metodo impiegato dalle norme BS.

Il secondo riquadro **“Condizioni di vincolo convenzionali”** è usato solo quando si usi il metodo di Serna e consente di scegliere tra una situazione di svergolamento impedito e warping impedito ($k=0,5$) ed una situazione in cui questi siano liberi ($k=1$). Si tratta, è bene dirlo, di condizioni in gran parte convenzionali.

Il riquadro **“Posizionamento del carico”** consente di tenere in conto in modo ingegneristico il posizionamento del carico. Se questo è applicato all'estradosso il momento critico diminuisce (ed il fattore sarà minore di 1), se questo è applicato all'intradosso il momento critico aumenta ed il fattore è maggiore di 1.

TRACING (PROPERTY PAGE)

This property page is used to activate or not the eurocode 3-checks tracing options. This option can be very useful but can be consuming, as it may lead to very large ASCII output file. Once the tracing option has been activated, several tracing levels can be chosen, which are related to larger files.

If the model is named “alpha”, it is created an ASCII file named “alfa.eur.txt”, which uses standard units: N, mm and derived units.

3.6.5.11.2 Wood Checks Settings (Dialog)

WOOD CHECKS SETTINGS (DIALOG)

This dialog is used to set the checks of the timber elements. First of all the service class of the structure is set, remembering the definition summarized in the legend. Then the user must choose which rules must be used, if those of Eurocode 5, or those of the Italian standard NICOLE, or those of NTC. Finally, the values of the γ_M factors for the different timber types, are set.

3.6.5.12 Units...

COMMAND: Edit-Selezione-Unità...

Questo command fa cambiare le unità di misura attive, atbeamrso un property sheet contenente i seguenti fogli: [Lunghezza](#)^[550], [Forza](#)^[550], [Tempo](#)^[550] e [Temperatura](#)^[551].

Il programma dialoga con l'utente nelle unità di misura attive. Anche l'utente dialoga con il programma usando le unità di misura attive.

Type: modal

Destination: document

Abbreviazione: cliccare a destra o a sinistra sulla unità all'interno della barra di stato.

3.6.5.12.1 Measurement Units (Property sheet)

MEASUREMENT UNITS (PROPERTY SHEET)

This property sheet is made up by the following property pages:

[Length](#)  550

[Force](#)  550

[Time](#)  550

[Temperature](#)  551

3.6.5.12.1.1 Length (Property page)

LENGTH (PROPERTY PAGE)

This property page is used to set the preferred length unit.

3.6.5.12.1.2 Force (Property page)

FORCE (PROPERTY PAGE)

This property page is used to set the preferred force unit.

3.6.5.12.1.3 Time (Property page)

TIME (PROPERTY PAGE)

This property page is used to choose the preferred time unit.

3.6.5.12.1.4 Temperature (Property page)

TEMPERATURE (PROPERTY PAGE)



This property page is used to set the preferred temperature unit.

3.6.6 Properties

3.6.6.1 Cross Section...

COMMAND: Edit-Proprietà-Sezioni...

Questo command consente di accedere ad un archivio delle sezioni, di scegliere una sezione e di applicarla agli elementi selezionati.

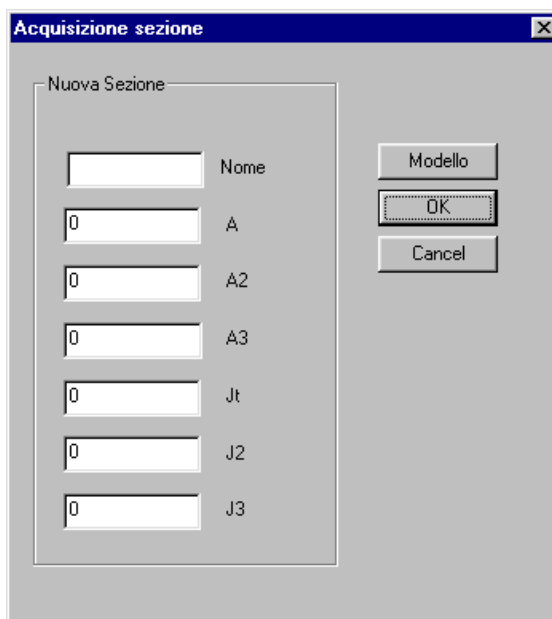
Appena eseguito il command compare una finestra di dialog ([Accesso archivio sezioni](#) ) che dà accesso ad un archivio di sezioni. Due sono gli archivi disponibili: l'archivio generale e l'archivio del modello. Una volta scelto l'archivio che si vuole scorrere, e fissati dei filtri che le sezioni debbono soddisfare, Sargon consente di scegliere una sezione e di applicarla agli elementi correntemente selezionati. Ciò viene fatto con il dialog [Archivio sezioni](#) .

Type: modal

Destination: document

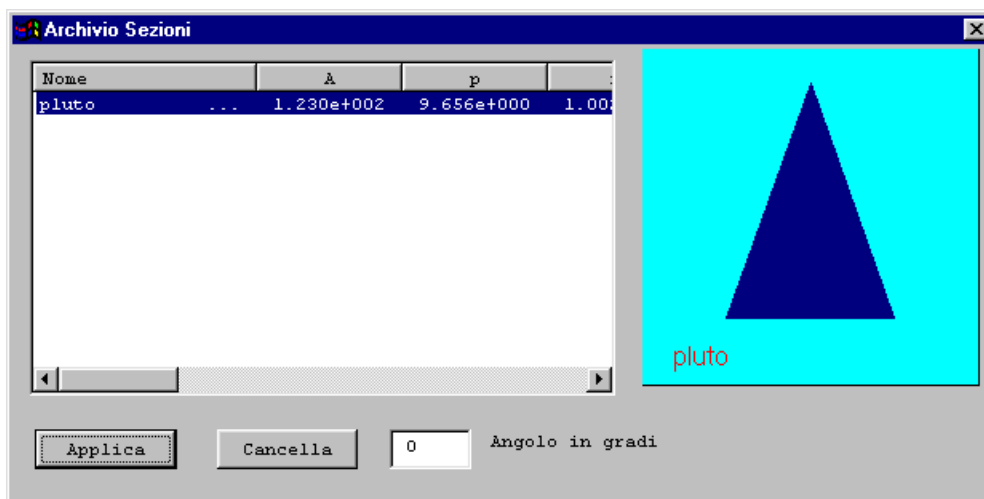
COMMAND: Edit-Proprietà-Sezioni... (POLISAR)

In POLISAR alla esecuzione di questo command compare il dialog seguente:



Se la sezione da assegnare non è già stata precedentemente assegnata allora occorre fornirne il nome e tutte le caratteristiche usando le unità di misura correnti al momento della esecuzione del command.

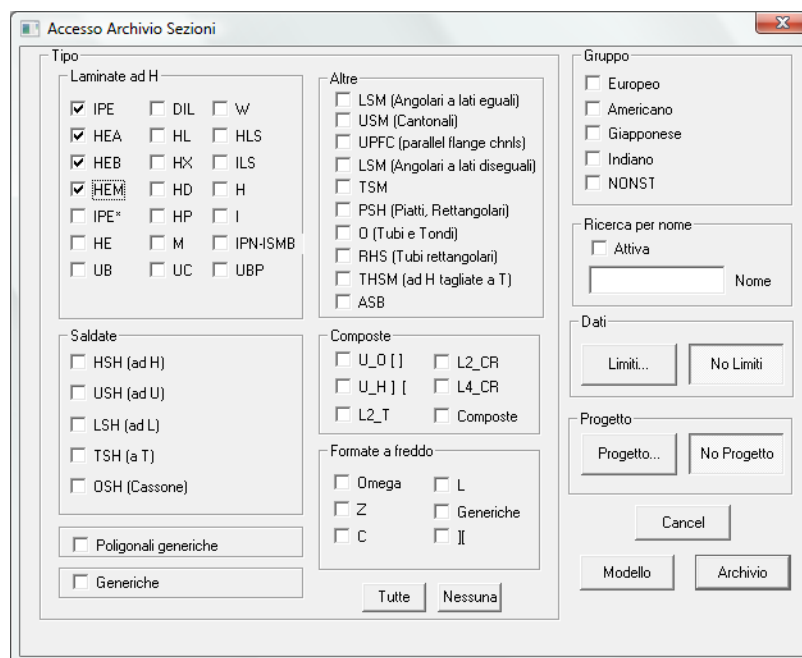
Se invece la sezione è già stata assegnata, allora occorre premere il pulsante “Modello” e scegliere la sezione desiderata tra quelle disponibili. Ciò si fa mediante il dialog seguente:



In questo dialog il simbolo della sezione è convenzionale (il triangolo blu). Se ci si clicca sopra si ha un dialog che riepiloga le caratteristiche sezionali nelle unità di misura correnti.

3.6.6.1.1 Shape Archive Access (Dialog)

ACCESSO ARCHIVIO SEZIONI (DIALOGO)



Questo dialog consente di stabilire dei filtri per estrarre un sottoinsieme di sezioni dall'archivio. Stabiliti i filtri, SAMBA (o Sargon o Cescio Plus) estrae dall'archivio solo le sezioni che soddisfano i filtri stessi.

Questo dialog include delle caselle di spunta e dei bottoni. Le caselle di spunta sono organizzate in tre categorie: categoria di tipo, di gruppo, e ricerca per nome.

Gruppo: sono elencati i tre possibili filtri di gruppo: europeo, americano e nonstandard.

Type: contiene cinque riquadri: **Lamine ad H**, **Saldate**, **Altre**, **Composte**, **Generiche**.

Lamine ad H: raggruppa le sezioni di tipo laminato ad H (HEA, HEB, HEM, IPE, HE, ILS, ecc).

Saldate: raggruppa le sezioni saldate ad H (HSH), ad U (USH), ad L (LSH), a T (TSH) ed a cassone (OSH). Si intende che sono anche incluse le sezioni in calcestruzzo con la medesima forma, anche se non "saldate".

Altre: raggruppa i cantonali (UPN o UNP), gli angolari a lati eguali o diseguali (LSM) le sezioni a T (TSM) o (THSM) i piatti (PSH) le sezioni rettangolari (PSH) i tubi (O) e i tondi

(O).

Composte: raggruppa le sezioni composte. L2_T sono di angolari composti per formare una T. L2_CR sono due angolari composti per formare una croce. L4_CR sono quattro angolari composti per formare una croce. Le composte generiche sono sezioni ottenute riunendo arbitrariamente un certo numero di sezioni elementari o composte.

Formate a freddo: raggruppa le sezioni a C, ad L, a Z, ad Ω e quelle del tutto generiche.

Generiche: raggruppa le sezioni individuate solo dai momenti di inerzia e dalla area.

I bottoni **Tutte** e **Nessuna** servono a selezionare e deselectare tutte le caselle dei tipi suddetti.

Ricerca per nome: è elencata una casella di spunta denominata **Attiva**, e una casella di testo denominata **Nome**. Se la casella di spunta è attiva la stringa di caratteri indicata in **Nome** verrà usata come filtro sulle sezioni. Nella stringa di caratteri sono ammessi i ";" per separare criteri diversi, ed il carattere "*" come carattere significante "qualsiasi carattere, uno o molti". Le seguenti sono possibili stringhe di ricerca:

PLT*	tutti i nomi che cominciano con PLT
PLT*; HE*100*	tutti i nomi che cominciano con PLT e tutti i profili HE*100*
*PLT	tutti i nomi che finiscono con PLT

Usando il filtro basato sul nome è possibile estrarre profili di categorie non previste dal filtro sul tipo. Se si sono aggiunti profili denominati PIPPO 100, PIPPO 120, e così via, non essendo disponibile il filtro di tipo "PIPPO", si può dare una stringa di ricerca del tipo "PIPPO*".

Verranno selezionate solo le sezioni che soddisfano almeno uno dei criteri di tipo e almeno uno dei criteri di gruppo e il criterio di ricerca per nome. Se non viene specificato alcun filtro di gruppo il gruppo non sarà preso in considerazione. Se non viene specificato alcun filtro di tipo, il tipo non sarà preso in considerazione. Se la casella Attiva del filtro di ricerca per nome non è attivata il filtro per nome non sarà preso in considerazione. Se nessun filtro viene preso in considerazione saranno solo gli altri filtri a decidere (se

specificati). Se anche gli altri filtri sono assenti verranno estratte tutte le sezioni dell'archivio (sconsigliato).

Oltre alle caselle di spunta il dialog presenta anche alcuni pulsanti.

Il pulsante **Limiti** fa scegliere altri filtri, i filtri sulle quantità numeriche delle sezioni, in un opportuno ulteriore dialog ([Filtri sulle quantità](#)^[557]). Questi filtri si aggiungono a quelli precedenti.

Il pulsante **No Limiti** elimina tutti i filtri basati sulle quantità.

Il pulsante **Progetto** fa scegliere altri filtri, i filtri basati su criteri di progetto, in un opportuno ulteriore dialog ([Scelta di un criterio di progetto](#)^[558]). Questi filtri si aggiungono a quelli precedenti.

Il pulsante **No Progetto** elimina tutti i filtri basati su criteri di progetto.

Il pulsante **Modello** è attivo solo in combinazione con il programma Sargon, e fa scorrere le sezioni attribuite sino a quel momento alle aste del modello in esame.

Ricapitolando esistono filtri sul **gruppo**, sul **tipo**, sul **nome**, sulle **quantità** e sui **criteri di progetto**.

Se una sezione soddisfa **almeno uno** dei criteri di gruppo attivati soddisfa il filtro di gruppo.

Se una sezione soddisfa **almeno uno** dei criteri di tipo attivati essa soddisfa il filtro sul tipo.

Se una sezione soddisfa il criterio di ricerca per nome (se attivato) essa soddisfa il filtro sul nome. Se il filtro non è attivato ogni sezione lo soddisfa.

Se una sezione soddisfa **tutti** i criteri sulle quantità specificati essa soddisfa il filtro sulle quantità.

Se una sezione soddisfa **tutti** i criteri di progetto specificati essa soddisfa i filtri di progetto.

I filtri sono additivi (se ne può specificare più d'uno): **i profili estratti sono i profili che soddisfano tutti i filtri (di tipo, di gruppo, di nome, di quantità e di progetto) specificati in questo dialog e nei dialoghi [Filtri sulle quantità](#)^[557] e [Scelta di un criterio di progetto](#)^[558], nessuno escluso.**

Se non viene specificato alcun filtro viene estratto l'intero archivio (scelta sconsigliata per il tempo e l'occupazione di RAM).

Esempi:

Per estrarre solo **tutte** le sezioni IPE ed HEA, fare la spunta su IPE ed HEA in modo da attivare il filtro. Eliminare la spunta da tutte le altre caselle. Premere il pulsante **No Limiti** ed il pulsante **No Progetto** per assicurarsi che non vi siano altri filtri. Premere **Archivio**.

Per estrarre solo le sezioni IPE con area maggiore a 1000 mmq. Attivare solo la spunta su IPE, premere il pulsante **Limiti**, attivare la spunta su **Area**, specificare come valore minimo 1000 (si immagina che l'unità di lunghezza attiva sia il mm) e come valore massimo un numero molto grande. Premere OK e tornare a questo dialog, premere **Archivio**.

Per estrarre i profili saldati ad I denominati HSU....., attivare solo la spunta su HSH, attivare il filtro sul nome e specificare la stringa inclusa tra le virgolette: "HSU*".

Per estrarre i profili saldati ad I denominati HSU....., ed i profili saldati ad I denominati HSD.... attivare solo la spunta su HSH, attivare il filtro sul nome e specificare la stringa inclusa tra le virgolette: "HSU*;HSD*".

Si ha da progettare una beam appoggio appoggio di 4 metri di luce con un carico in mezzzeria pari a 20t. Il progetto richiede una freccia inferiore a 1/500 della luce ed una tensione dovuta alla flessione inferiore a 1600 Kg/cmq. Si vuole un profilo HEA, HEB o HEM.

In questo caso occorre attivare i filtri sul tipo HEA, HEB, HEM eppoi scegliere **Progetto**. In quel dialog occorre selezionare lo schema strutturale con la beam appoggio-appoggio ed il carico in mezzzeria, specificare la luce ed il carico, nelle unità di misura correntemente in uso, eppoi attivare il criterio sulla freccia, specificando per k il valore 500 e per m il valore della tensione limite. Poi si preme il pulsante **Archivio**.

3.6.6.1.1.1 Data Filters (Dialog)

FILTRI SULLA QUANTITÀ (DIALOGO)

	Attivo	Min	Max
Snellezza	<input type="checkbox"/>	0	0
Peso	<input type="checkbox"/>	0	0
i2	<input type="checkbox"/>	0	0
i3	<input type="checkbox"/>	0	0
Area	<input type="checkbox"/>	0	0
Jmax	<input type="checkbox"/>	0	0
Jmin	<input type="checkbox"/>	0	0

	Attivo	Min	Max
Wmax	<input type="checkbox"/>	0	0
Wmin	<input type="checkbox"/>	0	0
WplMax	<input type="checkbox"/>	0	0
WplMin	<input type="checkbox"/>	0	0
Jt	<input type="checkbox"/>	0	0
it	<input type="checkbox"/>	0	0
Cm	<input type="checkbox"/>	0	0

OK Cancel

Questo dialog consente di stabilire dei filtri numerici sulle sezioni di un archivio. Per ogni quantità descritta nel dialog (**Snellezza**, **Peso**, ecc.) è possibile stabilire il valore massimo e quello minimo (nell'unità di misura attiva). Per attivare il corrispondente filtro è poi necessario fare una spunta sulla corrispondente casella della colonna **attivo**. La spunta indica che il filtro è attivo.

Si accede a questo dialog dal pulsante **Limiti** del dialog [Accesso Archivio sezioni](#)^[553].

Il significato dei simboli è ovunque chiaro ad eccezione di **Cm** (costante di ingobbamento), **Jt** (momento di inerzia torsionale), **it** (raggio di inerzia torsionale).

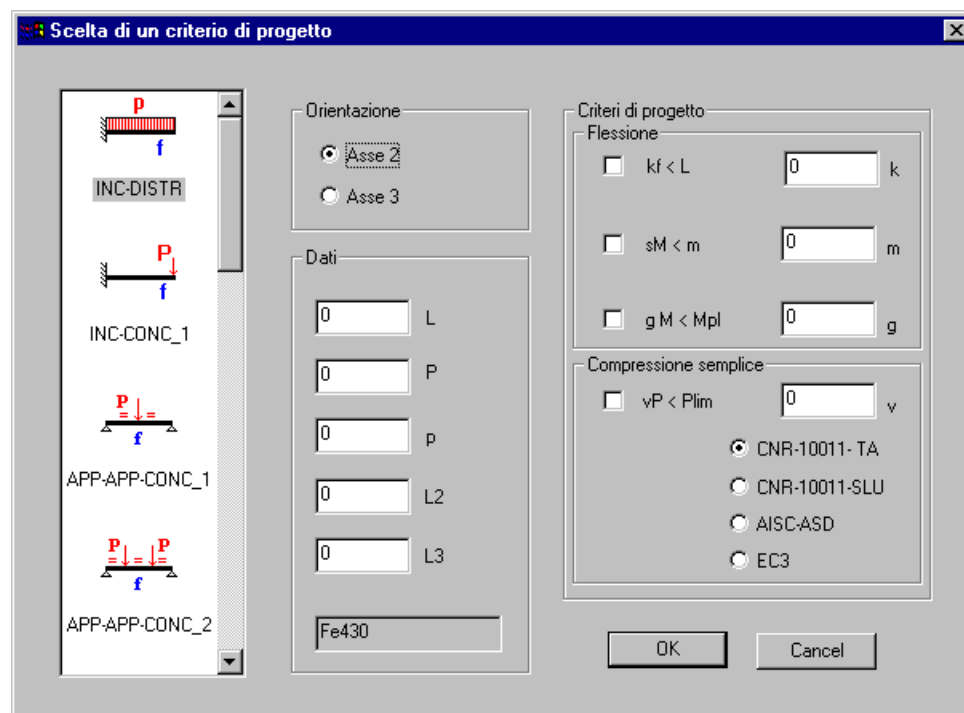
Se un filtro viene attivato allora le sezioni estratte dall'archivio dovranno necessariamente soddisfarlo. I valori numerici vengono interpretati sulla base delle unità di misura attive al momento della esecuzione del command.

Il filtro sulla snellezza ed il filtro sul peso presuppongono che sia nota la lunghezza dell'elemento (o degli elementi) a cui la sezione va applicata. L'uso di questi due filtri è riservato al funzionamento del dialog nell'ambito del codice Sargon. Nell'uso di SAMBA

questi due filtri non devono essere attivati.

3.6.6.1.1.2 Choice of Design Criteria (Dialog)

SCELTA DI UN CRITERIO DI PROGETTO (DIALOGO)



Questo dialog consente di stabilire un certo numero di criteri di progetto da applicarsi ad uno schema strutturale.

Per prima cosa si sceglie lo schema strutturale appropriato per la beam o la colonna che si intende progettare. Gli schemi disponibili sono chiaramente evidenziati scorrendo il controllo di sinistra. La scelta di uno schema si fa selezionandolo (facendovi clic sopra). Tra gli schemi disponibili vi è anche la beam con molle agli estremi e distribuzione di momento tale per cui il momento in campata è pari a $pL^2/10$, mentre il momento agli appoggi è pari a $pL^2/40$. Questa distribuzione intermedia tra appoggio e incastro può servire a sposare il caso dei telai, ove il node è elasticamente vincolato al resto della struttura (naturalmente la distribuzione “esatta” di momento dipende dal reale valore della costante della molla: la

distribuzione qui proposta è una media spesso usata nella pratica tecnica).

Ciò fatto si completano i dati relativi alla lunghezza (**L** oppure **L2** ed **L3**) ed al carico. Se lo schema strutturale prevede un carico distribuito occorre specificare il carico **p**, se lo schema strutturale prevede uno o più carichi concentrati o un carico assiale occorre specificare il carico **P**. Sia la luce che i carichi **p** e **P** vengono interpretati sulla base delle unità di misura attive. Il carico **P** è una forza, il carico **p** è una forza per unità di lunghezza.

Per lo schema relativo alla compressione occorre fornire non già **L**, bensì **L2** ed **L3**, ovvero le due lunghezze di libera inflessione relative agli assi principali 2 e 3. Se lo schema scelto è quello relativo alla compressione la lunghezza **L** viene ignorata. Se invece lo schema è uno qualsiasi degli altri vengono ignorate **L2** ed **L3**.

Perchè i criteri di progetto possano essere validamente impiegati è necessario che un materiale sia stato precedentemente selezionato. Se il materiale non è stato selezionato non è possibile uscire dal dialog senza prima aver inattivato tutti i criteri di progetto.

Nell'uso con SAMBA il materiale selezionato è quello selezionato nel riquadro dei materiali estratti.

Nell'uso con SARGON il materiale selezionato è quello comune a tutti gli elementi (travi e bielle) selezionati all'atto della esecuzione del command **Sezioni**. Se i profili selezionati non hanno materiale attribuito o hanno materiali diversi nessun materiale sarà selezionato.

Il nome del materiale correntemente selezionato appare nella casella al di sotto dei dati relativi alla luce ed ai carichi. Se tale casella appare vuota nessun materiale è correntemente selezionato.

Colonne

Se lo schema strutturale è quello di una colonna si deve scegliere il criterio relativo al carico di punta $vP < Plim$, specificando la norma usata per valutare la curva di stabilità ed il coefficiente di sicurezza v ($v=1.2$ indica un coefficiente di sicurezza pari a 1.2). Se si sceglie una colonna tutti gli altri criteri devono essere inattivati.

Il valore di $Plim$ (carico limite) viene calcolato impiegando le curve di stabilità previste da ciascuna normativa.

Le norme disponibili sono le CNR10011-88 alle tensioni ammissibili (TA) o agli stati

limite ultimi (SLU); le norme AISC-89 alle tensioni ammissibili (ASD); l'eurocodice 3.

Nel calcolo si fa uso delle formule previste da ciascuna normativa, in modo da verificare il soddisfacimento del criterio di progetto. **Nell'esame della situazione a stabilità viene sempre presa in considerazione la snellezza massima, calcolata grazie alle lunghezze di libera inflessione fornite, a prescindere dall'asse (2 o 3) specificato.**

Travi

Se lo schema strutturale è quello di una beam (variamente vincolata e caricata), allora si possono specificare i seguenti criteri di progetto:

$$kf < L$$

La freccia deve essere minore di L/k , ove k è un numero di progetto stabilito dall'utente. Il valore della freccia preso in considerazione è sempre il valore della freccia massima, coerentemente con lo schema (di carico e di vincolo) prescelto. Il modulo elastico è quello del materiale selezionato. Il momento di inerzia usato è quello dell'asse specificato (2 o 3).

$$sM < m$$

La tensione normale massima dovuta alla flessione (sM) deve essere inferiore al valore limite, specificato dall'utente, m . La tensione normale viene valutata sulla base della teoria di De Saint Venant immaginando la flessione retta, attorno all'asse specificato (asse 2 -forte- o asse 3). Il momento è quello massimo sulla beam, anche se continua.

$$gM < M_{pl}$$

Il massimo momento letto sulla beam moltiplicato per il coefficiente di sicurezza g deve essere inferiore al momento limite plastico, valutato usando la tensione di snervamento f_y del materiale selezionato, ed il modulo di resistenza plastico dell'asse specificato (2 o 3).

Se lo schema scelto è quello di una beam i criteri di progetto relativi alle colonne devono essere inattivati.

3.6.6.1.1.3 Tipologie sezionali

SEZIONI AD H (SALDATE O MENO) (DIALOGO)

Sezioni saldate ad H

100	H	3750	A	28.867513	it
100	B	6135312.5	J2	119132.28	w2
150	C	4068750	J3	54250	w3
10	a	191666.67	Jt	145312.5	wpl2
15	e	40.448528	i2	95625	wpl3
10	i	32.939338	i3	680	U
48.5	ey				

Nessun Nome

Nome

OK Aggiorna Cancel

Questo dialog consente sia di avere informazioni di dettaglio su una sezione ad H, sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

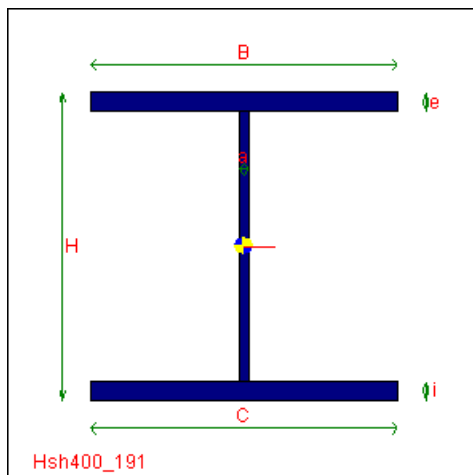
Se il dialog viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote e la distanza **ey** del baricentro dal bordo esterno inferiore della sezione.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri).

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)^[562].

SEZIONI AD H (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

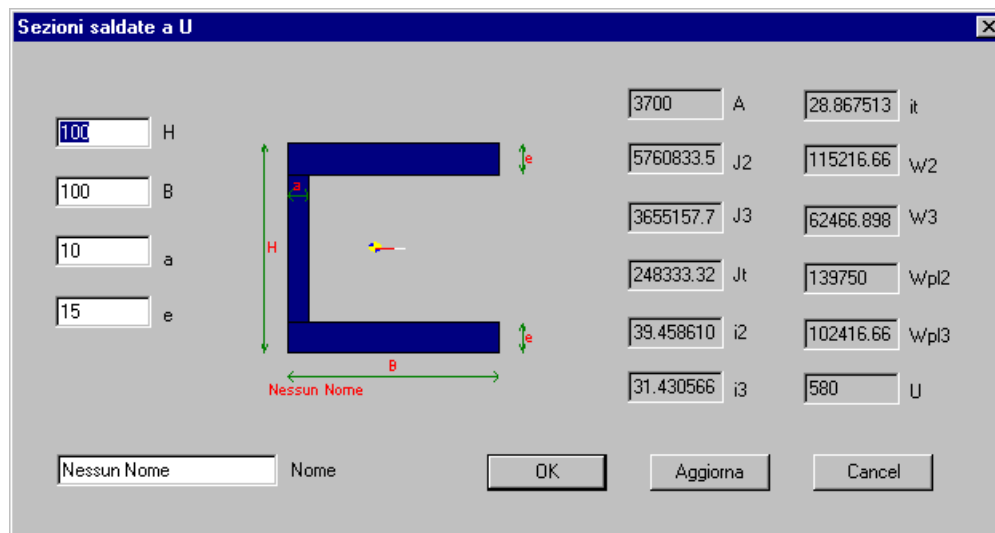
h	altezza totale
b	larghezza dell'ala superiore
c	larghezza dell'ala inferiore
a	spessore dell'anima
e	spessore dell'ala superiore
i	spessore dell'ala inferiore

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- * $h \geq e+i$
- * $b \geq a$
- * $c \geq a$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

SEZIONI A U (SALDATE O MENO) (DIALOGO)



Questo dialog consente sia di avere informazioni di dettaglio su una sezione ad U, sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

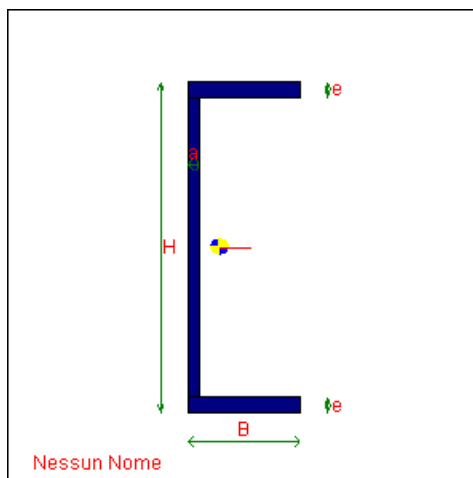
Se il dialog viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri).

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)^[563].

SEZIONI A U (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

- | | |
|---|---------------------|
| h | altezza totale |
| b | larghezza dell'ala |
| a | spessore dell'anima |
| e | spessore delle ali |

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- * $h \geq 2e$
- * $b \geq a$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

SEZIONI A T (SALDATE O MENO) (DIALOGO)

2350	A	28.867513	it
1896278.8	J2	25482.517	w2
1257083.3	J3	25141.666	w3
140833.32	Jt	46318.75	wpl2
28.406463	i2	39625	wpl3
23.128534	i3	400	U

Questo dialog consente sia di avere informazioni di dettaglio su una sezione a T, sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

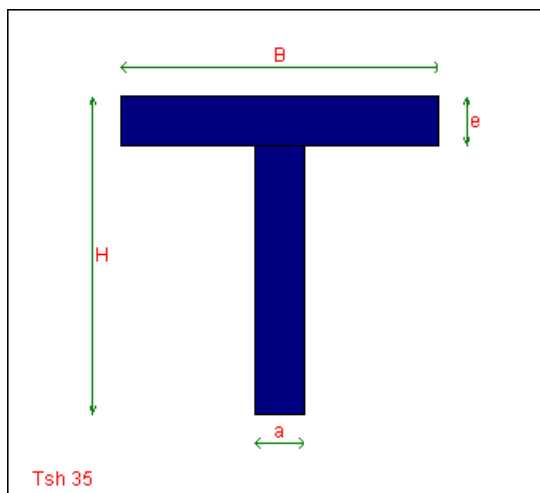
Se il dialog viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote e la distanza e_y dal bordo inferiore della sezione.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)⁵⁶⁵.

SEZIONI A T (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

- | | |
|-----|---------------------|
| h | altezza totale |
| b | larghezza totale |
| a | spessore dell'anima |
| e | spessore dell'ala |

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- * $b \geq a$
- * $h \geq e$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

SEZIONI A L (SALDATE O MENO) (DIALOGO)

Sezioni saldate a L

H
 B
 a
 e

A
 J2
 J3
 Jt
 i2
 i3

it
 w2
 w3
 wpl2
 wpl3
 U

Nome

OK Aggiorna Cancel

Questo dialog consente sia di avere informazioni di dettaglio su una sezione a L, sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

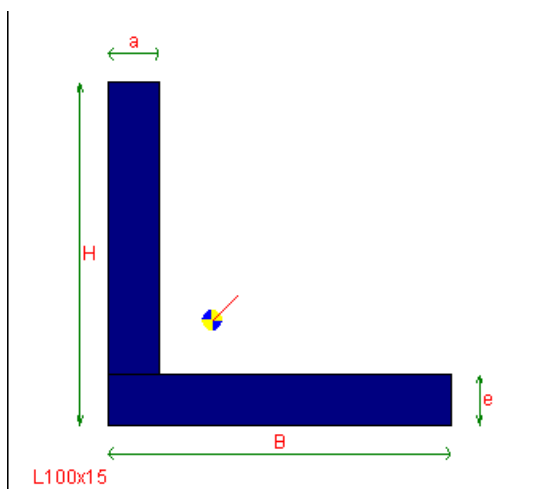
Se il dialog viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)⁵⁶⁷.

SEZIONI A L (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

- | | |
|---|--|
| h | altezza totale |
| b | larghezza totale |
| a | spessore del lato (piatto) verticale |
| e | spessore del lato (piatto) orizzontale |

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- * $h \geq e$
- * $b \geq a$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

SEZIONI RETTANGOLARI - PIATTI (DIALOGO)

Property	Value	Property	Value
A	2000	it	0
J2	6666666.5	w2	66666.664
J3	16666.666	w3	3333.3332
Jt	62400.042	wpl2	100000
i2	57.735027	wpl3	5000
i3	2.8867514	U	420

Questo dialog consente sia di avere informazioni di dettaglio su una sezione a rettangolare (o un piatto), sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

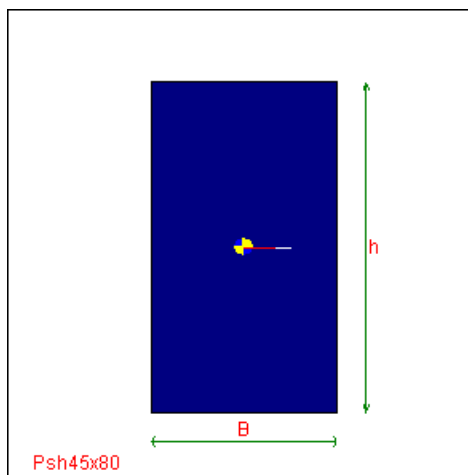
Se il dialog viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)⁵⁶⁹.

RECTANGULAR CROSS-SECTIONS - PLATESI (DETAILS)



These cross-sections are defined by the following parameters:

- h height (depth)
- b width

* all the sizes must be strictly greater than 0;

The torsional constant does not include the warping effects (secondary torsion). It is computed by means of formulae using h/b ratio.

SEZIONI A CASSONE (DIALOGO)

Input Field	Label	Value	Unit
100	H	4400	A
100	B	6046666.5	J2
10	a	5346666.5	J3
15	e	8072069	Jt
		37.070774	i2
		34.859024	i3
		28.867513	it
		120933.33	w2
		106933.33	w3
		152000	wpl2
		138000	wpl3
		400	U

Questo dialog consente sia di avere informazioni di dettaglio su una sezione a cassone, sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

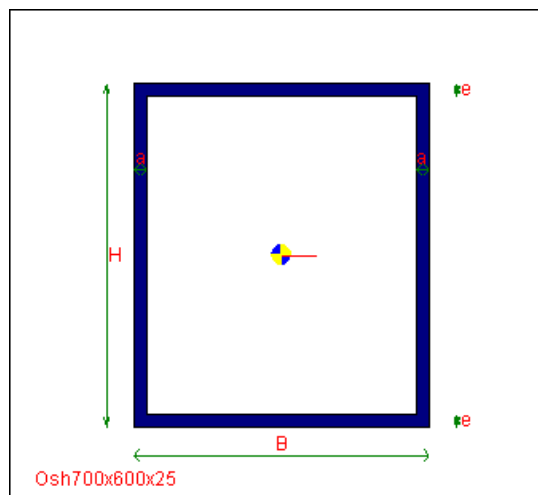
Se il dialog viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)⁵⁷¹.

SEZIONI A CASSONE (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

- h altezza totale
- b larghezza totale
- a spessore delle anime
- e spessore dei piatti orizzontali

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- * $b \geq 2a$
- * $h \geq 2e$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria), ma è calcolato con la teoria di Bredt.

SEZIONI RETTANGOLARI CAVE (LAMINATE) (DIALOGO)

Property	Value
A	9428.3183
J2	117290376
J3	62778872
Jt	128402864
i2	111.53574
i3	81.599899
it	0
w2	781935.81
w3	627788.75
wpl2	946656.31
wpl3	715240.43
U	974.24780

Questo dialog consente sia di avere informazioni di dettaglio su una sezione rettangolare cava a spigoli arrotondati, sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

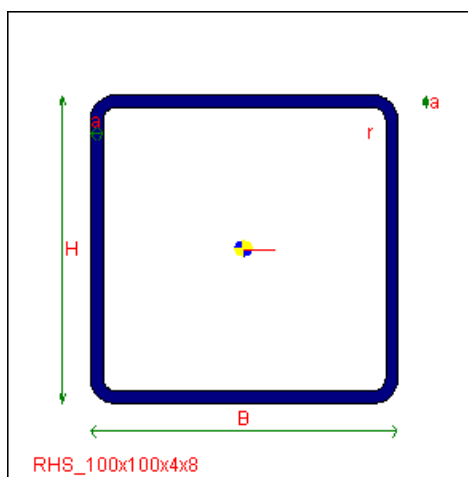
Se il dialog viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)⁵⁷³.

SEZIONI LAMINATE RETTANGOLARI CAVE (RHS) (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

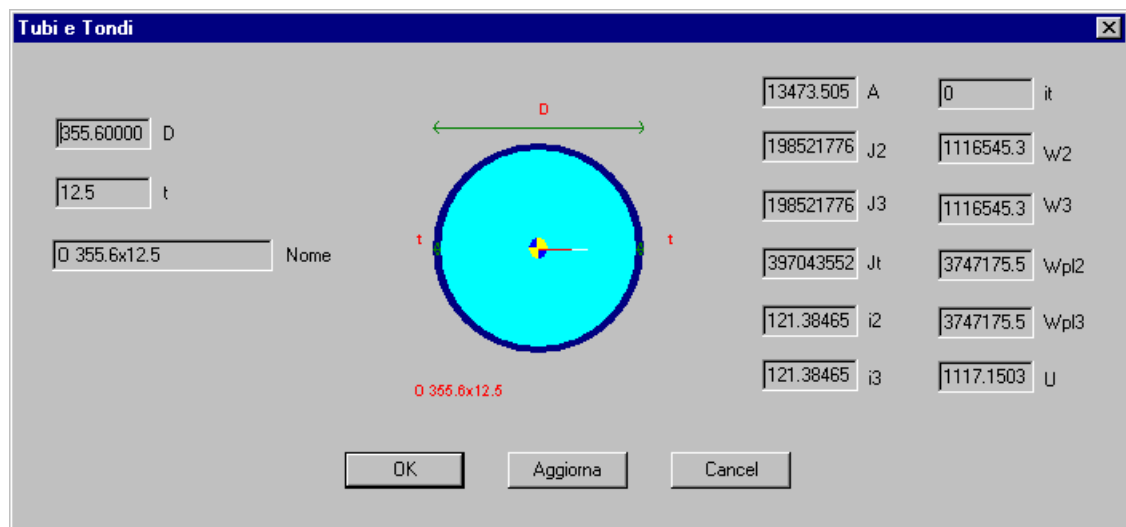
h	altezza totale
b	larghezza totale
a	spessore
r	raggio esterno di curvatura

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- * $r \geq a$
- * $h \geq 2r$
- * $b \geq 2r$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria), ma è calcolato con la teoria di Bredt.

SEZIONI CIRCOLARI (PIENE O CAVE) (DIALOGO)



Questo dialog consente sia di avere informazioni di dettaglio su una sezione circolare, sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

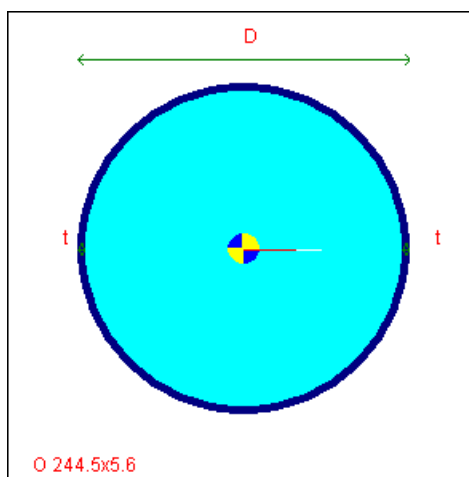
Se il dialog viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)^[575].

TONDI PIENI - TUBI (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

- D diametro esterno
t spessore

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- * $D \geq 2t$

I tondi pieni sono ottenuti imponendo $t=D/2$.

SEZIONI LAMINATE AD H (DIALOGO)

Sezioni laminate ad H

<input type="text" value="200"/> H	<input type="text" value="7893.1416"/> A	<input type="text" value="57.735027"/> it
<input type="text" value="200"/> B	<input type="text" value="56833296"/> J2	<input type="text" value="568332.93"/> W2
<input type="text" value="10"/> a	<input type="text" value="20029144"/> J3	<input type="text" value="200291.43"/> W3
<input type="text" value="15"/> e	<input type="text" value="506666.65"/> Jt	<input type="text" value="681230.06"/> Wpl2
<input type="text" value="15"/> r	<input type="text" value="84.854812"/> i2	<input type="text" value="305055.87"/> Wpl3
	<input type="text" value="50.373977"/> i3	<input type="text" value="1154.2478"/> U

Nome

OK Aggiorna Cancel

Questo dialog consente sia di avere informazioni di dettaglio su una laminata ad H, sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

Se il dialog viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

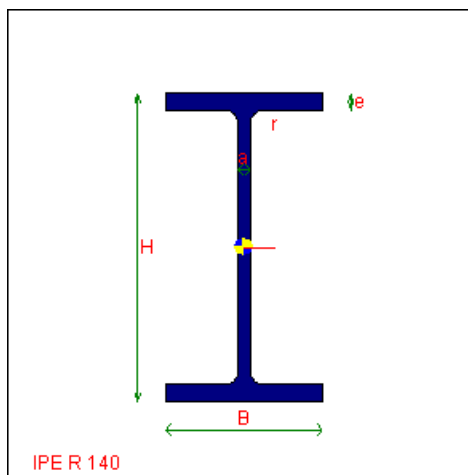
A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

A partire dall'ottobre 2005 sono state aggiunte informazioni relativamente alle lunghezze limite per I link corti e intermedi in accordo a quanto specificato nell'Eurocodice 8.

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)⁵⁷⁷.

SEZIONI LAMINATE AD H (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

h	altezza totale
b	larghezza dell'ala
a	spessore dell'anima
e	spessore delle ali
r	raggio di curvatura del raccordo

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- * $h \geq 2e + 2r$
- * $b \geq 2e + 2r$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

SEZIONI LAMINATE A T ottenute per taglio di profili ad H laminati (DIALOGO)

Sezioni laminate a T ricavate da taglio di sezioni ad H

<input type="text" value="03051757E"/>	H	<input type="text" value="669.09100"/>	A	<input type="text" value="15.877132"/>	it
<input type="text" value="55"/>	B	<input type="text" value="501579.09"/>	J2	<input type="text" value="8027.1508"/>	w2
<input type="text" value="4.0999999"/>	a	<input type="text" value="79807.218"/>	J3	<input type="text" value="2902.0805"/>	w3
<input type="text" value="5.6999998"/>	e	<input type="text" value="5269.8559"/>	Jt	<input type="text" value="14516.479"/>	wpl2
<input type="text" value="7"/>	r	<input type="text" value="27.379600"/>	i2	<input type="text" value="4501.0727"/>	wpl3
<input type="text" value="62.4853210449219"/>	yg	<input type="text" value="10.921404"/>	i3	<input type="text" value="236.79115"/>	U
<input type="text" value=""/>		<input type="text" value="2.5611140"/>	x2	<input type="text" value="2.2432017"/>	x3

TIPE 100 Nome OK Aggiorna Cancel

Questo dialog consente sia di avere informazioni di dettaglio su una laminata a T ottenuta per taglio di sezioni ad H, sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

Se il dialog viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

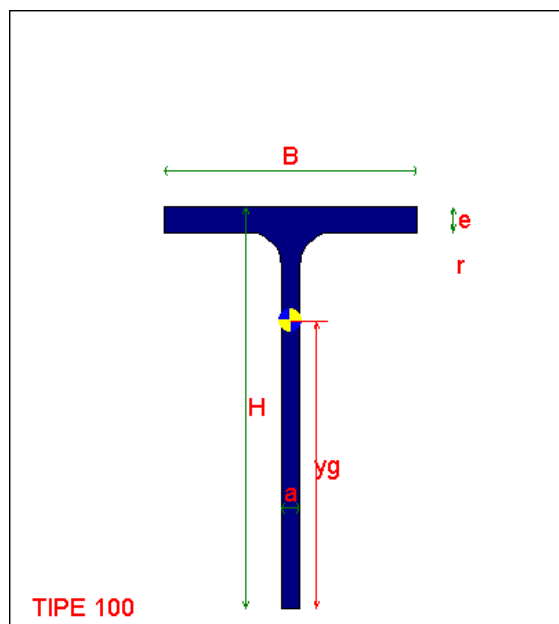
A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Nota bene: i profili a T ottenuti dai corrispondenti profili ad H con altezza totale pari alla metà della altezza originaria sono presenti in archivio con la sigla TM seguita dal nome del profilo ad H. Ad esempio TMHE200B, è una sezione a T ottenuta dividendo a metà un profilo HE200B. Se invece viene tolta solo l'ala inferiore ed i corrispondenti bulbi di raccordo, il profilo, già aggiunto, si chiama "Tsigla", dove "sigla" è la sigla del profilo ad H originario. Ad esempio il profilo THE200B.

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)⁵⁸⁰.

SEZIONI LAMINATE A T ottenute per taglio di sezioni ad H laminate (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

- | | |
|-----|----------------------------------|
| h | altezza totale |
| b | larghezza dell'ala |
| a | spessore dell'anima |
| e | spessore delle ali |
| r | raggio di curvatura del raccordo |

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- * $h \geq e + r$
- * $b \geq 2e + 2r$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione

secondaria).

Nota bene: i profili a T ottenuti dai corrispondenti profili ad H con altezza totale pari alla metà della altezza originaria sono presenti in archivio con la sigla TM seguita dal nome del profilo ad H. Ad esempio TMHE200B, è una sezione a T ottenuta dividendo a metà un profilo HE200B. Se invece viene tolta solo l'ala inferiore ed i corrispondenti bulbi di raccordo, il profilo, già aggiunto, si chiama "Tsigla", dove "sigla" è la sigla del profilo ad H originario. Ad esempio il profilo THE200B. Se invece viene tolta l'ala inferiore e tuttal l'anima il profilo si avvicina aun piatto ed è chiamato "Psigla", dove "sigla" è la sigla del profilo ad H originario. Ad esempio il profilo PHE200B.

SEZIONI IPN (DIALOGO)

80	H	750	A	12.124355	it
42	B	770000	J2	19500	w2
3.9000000	a	62000	J3	3000	w3
5.9000000	e	8600	Jt	22800	wpl2
3.9000000	r	32	i2	4990	wpl3
2.2999999	r1	9.1000003	i3	300	U

Nome: IPN 80

Buttons: OK, Aggiorna, Cancel

Questo dialog consente di avere informazioni di dettaglio su una sezione IPN.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti, o perchè si è in modalità interrogazione).

Se il dialog viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo

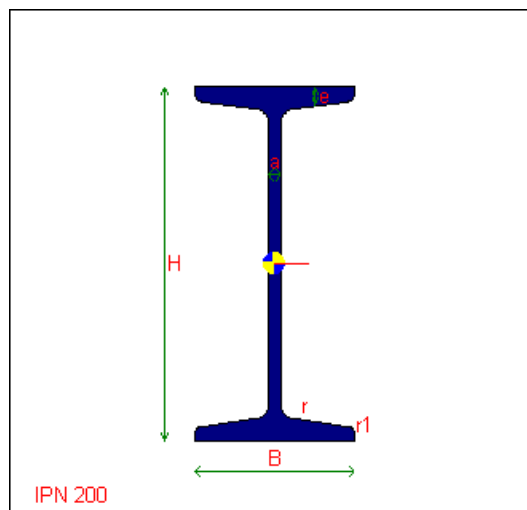
grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)^[582].

SEZIONI LAMINATE A I (IPN) (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

h	altezza totale
b	larghezza dell'ala
a	spessore dell'anima
e	spessore delle ali (a b/4 dagli estremi)
r	raggio ri curvatura del raccordo ala-anima
r1	raggio di curvatura del raccordo sull'ala

Si assume che la pendenza del lato interno dell'ala sia eguale al 14%.

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- * l'altezza totale non può essere inferiore a quanto richiesto dalle ali (si omette la formula)
- * $b \geq a + 2r + r1$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

SEZIONI LAMINATE A T (DIALOGO)

The dialog box 'Sezioni a T' contains the following elements:

- Input Fields (Left):**
 - H: 80
 - B: 80
 - a: 9
 - e: 9
 - r: 9
 - r1: 4.5
 - r2: 2
 - ey: 58
- Diagram (Center):** A schematic of a T-section with dimensions labeled: H (total height), B (flange width), a (web height), e (flange thickness), r (fillet radius), r1 (web radius), and r2 (flange radius). The section is labeled 'T 80'.
- Input Fields (Right):**
 - A: 1360
 - J2: 749000
 - J3: 36900
 - Jt: 0
 - i2: 23.399999
 - i3: 16.399999
 - it: 0
 - w2: 12900
 - w3: 9210
 - wpl2: 0
 - wpl3: 0
 - U: 307
- Buttons (Bottom):** OK, Aggiorna, Cancel.
- Nome (Bottom Center):** T 80

Questo dialog consente di avere informazioni di dettaglio su una sezione laminata a T (lati rastremati).

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti, o perchè si è in modalità interrogazione).

Se il dialog viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

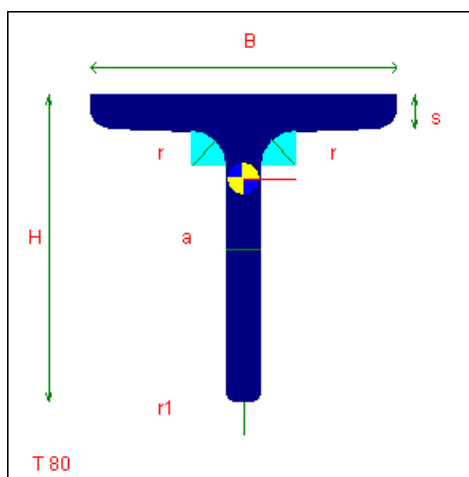
A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni

a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)^[584].

SEZIONI LAMINATE A T (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

h	altezza totale
b	larghezza dell'ala
a	spessore dell'anima ad $h/2$ dall'estremo dell'anima
e	spessore delle ali a $b/4$ dall'estremo delle ali
r	raggio di curvatura del raccordo ala-anima
r1	raggio di curvatura del raccordo sull'ala
r2	raggio di curvatura del raccordo sull'anima

La pendenza del lato interno dell'ala è del 2%. La pendenza dei lati dell'anima è del 2%

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- * l'altezza totale non può essere inferiore a quanto richiesto dall' ala (si omette la formula)
- * la larghezza totale non può essere inferiore a quanto richiesto dall' anima (si omette la formula)

Queste sezioni sono ormai poco usate, non è prevista la loro acquisizione.

SEZIONI LAMINATE A L (DIALOGO)

The 'Angolari' dialog box contains the following fields and values:

30	H	174	A	0	it
30	B	22300	J2	1050	w2
3	a	5800	J3	550	w3
5	r	513	Jt	0	wpl2
2.5	r1	11.300000	i2	0	wpl3
14000	Jx	5.7999997	i3	120	U
14000	Jy				
9	ix				
9	iy				
-8300	Jxy				
1	tan(angle)				

Section Name: L 30x3 Nome

Buttons: OK, Aggiorna, Cancel

Questo dialog consente sia di avere informazioni di dettaglio su una laminata ad L, sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non

può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

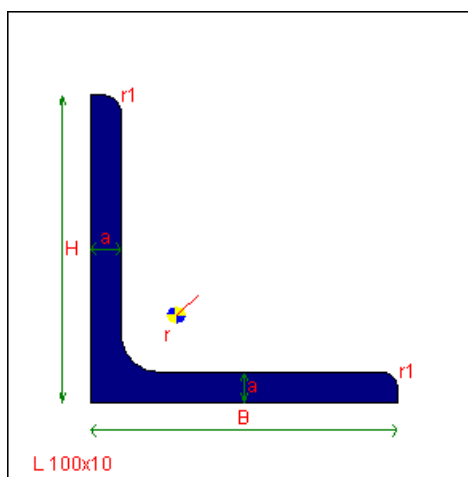
Se il dialog viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)^[586].

SEZIONI LAMINATE A L (ANGOLARI) (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

h	altezza totale
b	larghezza totale
a	spessore dei lati
r	raggio ri curvatura del raccordo tra i lati
r1	raggio di curvatura agli estremi

Si assume che i bordi dei lati siano paralleli.

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- * $h \geq a + r + r1$
- * $b \geq a + r + r1$
- * $a > r1$

SEZIONI LAMINATE A U (cantionali) (DIALOGO)

The 'Cantionali' dialog box is used for defining U-channel sections. It contains the following fields:

- Dimensions (Left):** H (100), B (50), a (6), e (8.5), r (8.5), r1 (4.5), ex (15.5).
- Material Properties (Right):** A (1350), J2 (2060000), J3 (293000), Jt (28100), i2 (39.100002), i3 (14.700000), w2 (41200), w3 (8490), wpl2 (2930), wpl3 (1550), U (370).
- Diagram:** A central diagram of a U-channel section with labels for dimensions and radii. The label 'UPN 100' is visible in the bottom left.
- Buttons:** OK, Aggiorna, Cancel.

Questo dialog consente sia di avere informazioni di dettaglio su una laminata ad U, sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

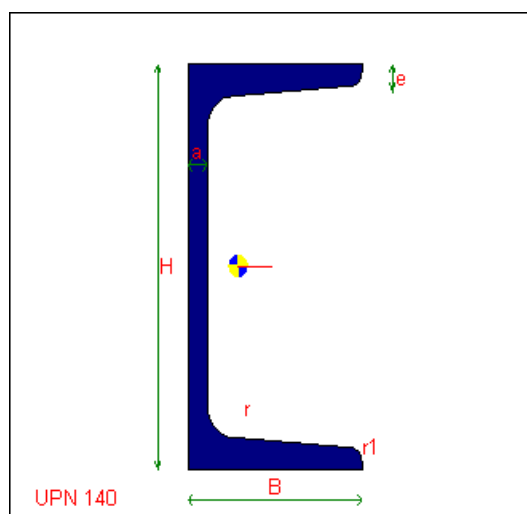
Se il dialog viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)⁵⁸⁸.

SEZIONI LAMINATE A U (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

h	altezza totale
b	larghezza dell'ala
a	spessore dell'anima
e	spessore delle ali (a $b/2$ dall'estremo per $h \leq 300\text{mm}$, a $(b-a)/2$ dall'estremo negli altri casi)
r	raggio di curvatura del raccordo ala-anima
r1	raggio di curvatura del raccordo sull'ala

Si assume che per $h \leq 300\text{mm}$ la pendenza del lato interno dell'ala sia dell'8%. Per altezze superiori essa è del 5%.

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- * l'altezza totale non può essere inferiore a quanto richiesto dalle ali
- * $b \geq a + r + r_l$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

SEZIONI A C (formate a freddo) (DIALOGO)

The dialog box 'Sezioni a U (formate a freddo)' contains the following data:

Input Field	Value	Property	Value
H	8	A	3.1369909
B	4	J2	17.961575
D	1.5	J3	7.2485960
t	0.2	Jt	0.0418265
r	0.2	i2	2.3928504
ex	1.6365945	i3	1.5200935
Nome	no name	X2	1.9606193
		X3	2.6141591
		x.CT	-2.0604645
		y.CT	-6.3930994
		Iw	73.213752

Buttons: OK, Aggiorna, Cancel, EN1993-1-3...

Questo dialog consente sia di avere informazioni di dettaglio su una sezione a C (formata a freddo), sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

Se il dialog viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a

sfondo bianco (parametri liberi).

La quota D può essere nulla, così come il raggio di curvatura r.

Per il significato dei simboli si veda la [descrizione](#)^[59].

Il button **EN1993-1-3** rimanda a un [dialog](#)^[60] in cui è possibile far calcolare al programma le caratteristiche efficaci del profilo.

Il button **Dettagli** dà accesso ad una finestra successiva in cui sono listate alcune importanti proprietà calcolate in accordo alla appendice C della EN-1993-1-3.

Il contenuto del dialog successivo può essere copiato e incollato, di seguito si dà un esempio di tale file. La terminologia è identica a quella dell'appendice con la sola differenza che anziché usare gli assi (y, z) si usano gli assi (X, Y).

```
*****
*
*
*                               Cold Formed Section Computation Data
*
* Castalia srl - www.castaliaweb.com - Copyright (C)
*****
```

Section is computed according to EN1993-1-3:2006, Annex C
Curved sides, if any, are divided into straight segments

Section: *****

```
N os:          11 - number of original sides
N ass:         11 - number of assumed straight sides
Area:          1.600e-003 - area      m^2
```

```
Sx0:          -1.401e-004      m^3 - first area moment (x,y)
Sy0:           2.704e-004      m^3 - first area moment (x,y)
Ix0:           1.608e-005      m^4 - second area moment (x,y)
Iy0:           6.508e-005      m^4 - second area moment (x,y)
Ixy0:         -2.368e-005      m^4 - mixed second area moment (x,y)
```

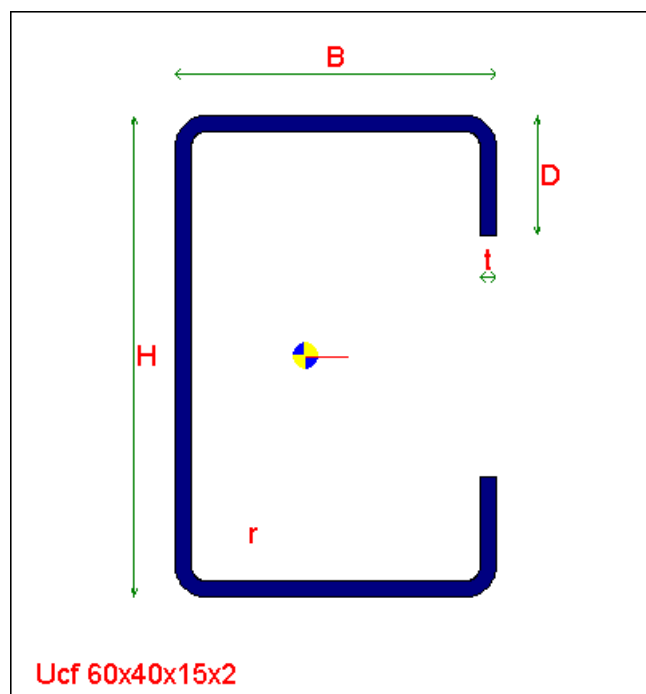
```
xg:           1.690e-001      m - gravity center x coordinate
yg:          -8.757e-002      m - gravity center y coordinate
```

```
Ix:           3.807e-006      m^4 - second area moment (xg, yg)
Iy:           1.938e-005      m^4 - second area moment (xg, yg)
Ixy:         -3.195e-013      m^4 - mixed second area moment (xg, yg)
```

```
Icsi:         1.938e-005      m^4 - second area moment (principal axes)
Ieta:         3.807e-006      m^4 - second area moment (principal axes)
alpha:        4.759e-306 (deg) - rotation angle of principal axes
```

omega,mean:	1.952e-002	m^2 - omega mean
Ixom0:	8.987e-006	m^5 - sectorial constant
Iyom0:	-2.092e-006	m^5 - sectorial constant
Iomom0:	1.445e-009	m^6 - sectorial constant
Ixom:	3.708e-006	m^5 - sectorial constant (xg, yg)
Iyom:	6.433e-007	m^5 - sectorial constant (xg, yg)
Iomom:	8.353e-007	m^6 - sectorial constant (xg, yg)
Iw:	1.701e-008	m^6 - warping constant
It:	4.801e-009	m^4 - torsional constant
xct:	1.690e-001	m - shear center x coordinate
yct:	-1.914e-001	m - shear center y coordinate
xs:	1.038e-009	m - = xct - xg
ys:	-1.038e-001	m - = yct - yg
xj:	-1.882e-009	m - non symmetry factor
yj:	-1.897e-001	m - non symmetry factor

SEZIONI A C (formate a freddo) (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

- | | |
|---|-------------------------------------|
| H | altezza totale (fuori tutto) |
| B | larghezza totale (fuori tutto) |
| D | lunghezza totale dell'irrigidimento |

r raggio di curvatura interno
t spessore

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0, fanno eccezione D che può essere nulla, dando luogo a un C senza irrigidimento, e r che può essere nullo;
- * $H > 2t + 2r$
- * $H > 2D$
- * $B > 2t + 2r$
- * $D \geq 0$
- * $R \geq 0$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

SEZIONI A L (formate a freddo) (DIALOGO)

Sezioni a L (formate a freddo)

10.106193	A	0	it
189.20611	J2	25.377421	W2
32.2153	J3	7.8570712	W3
0.8421829	Jt	25.377421	Wpl2
4.3268692	i2	7.8570712	Wpl3
1.7854072	i3	5.6415927	U
0	x2	0	x3
-0.1729535	xCT	0.2659061	yCT
100.92440	Iw	Dettagli...	
19.7672316939137	Angolo assi princ.		
<input type="checkbox"/> Calcola W plastici			

OK Aggiorna Cancel EN1993-1-3...

Questo dialog consente sia di avere informazioni di dettaglio su una sezione ad L (formata a freddo), sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

Se il dialog viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

La quota D può essere nulla, così come il raggio di curvatura r.

Per il significato dei simboli si veda la [descrizione](#)^[594].

Il button **EN1993-1-3** rimanda a un [dialog](#)^[510] in cui è possibile far calcolare al programma le caratteristiche efficaci del profilo.

Il button **Dettagli** dà accesso ad una finestra successiva in cui sono listate alcune importanti proprietà calcolate in accordo alla appendice C della EN-1993-1-3.

Il contenuto del dialog successivo può essere copiato e incollato, di seguito si dà un esempio di tale file. La terminologia è identica a quella dell'appendice con la sola differenza che anzichè usare gli assi (y, z) si usano gli assi (X, Y).

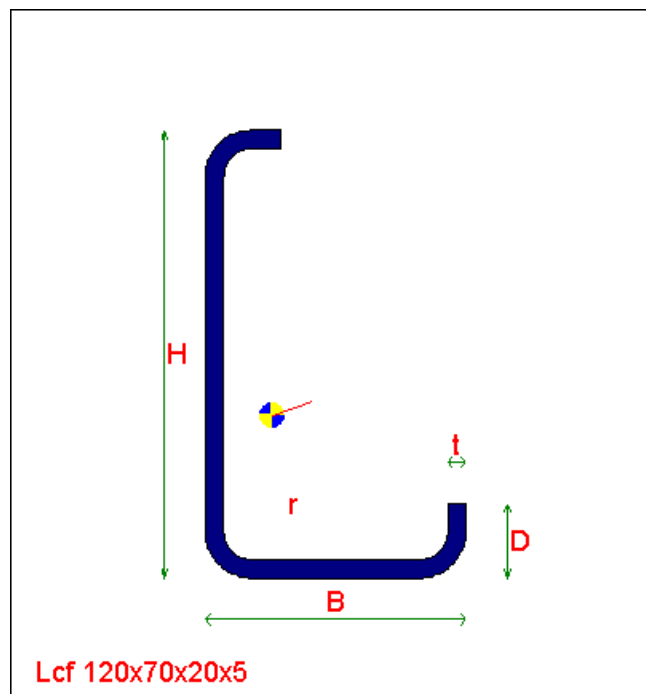
```
*****
*                                                                 *
*                                                                 *
*                                                                 *
*                               Cold Formed Section Computation Data *
*                                                                 *
* Castalia srl - www.castaliaweb.com - Copyright (C)                *
*****
```

```
Section is computed according to EN1993-1-3:2006, Annex C
Curved sides, if any, are divided into straight segments
```

```
Section: *****
N os:      11 - number of original sides
N ass:     11 - number of assumed straight sides
```

Area:	1.600e-003	- area	m ²
Sx0:	-1.401e-004	m ³	- first area moment (x,y)
Sy0:	2.704e-004	m ³	- first area moment (x,y)
Ix0:	1.608e-005	m ⁴	- second area moment (x,y)
Iy0:	6.508e-005	m ⁴	- second area moment (x,y)
Ixy0:	-2.368e-005	m ⁴	- mixed second area moment (x,y)
xg:	1.690e-001	m	- gravity center x coordinate
yg:	-8.757e-002	m	- gravity center y coordinate
Ix:	3.807e-006	m ⁴	- second area moment (xg, yg)
Iy:	1.938e-005	m ⁴	- second area moment (xg, yg)
Ixy:	-3.195e-013	m ⁴	- mixed second area moment (xg, yg)
Icsi:	1.938e-005	m ⁴	- second area moment (principal axes)
Ieta:	3.807e-006	m ⁴	- second area moment (principal axes)
alpha:	4.759e-306	(deg)	- rotation angle of principal axes
omega,mean:	1.952e-002	m ²	- omega mean
Ixom0:	8.987e-006	m ⁵	- sectorial constant
Iyom0:	-2.092e-006	m ⁵	- sectorial constant
Iomom0:	1.445e-009	m ⁶	- sectorial constant
Ixom:	3.708e-006	m ⁵	- sectorial constant (xg, yg)
Iyom:	6.433e-007	m ⁵	- sectorial constant (xg, yg)
Iomom:	8.353e-007	m ⁶	- sectorial constant (xg, yg)
Iw:	1.701e-008	m ⁶	- warping constant
It:	4.801e-009	m ⁴	- torsional constant
xct:	1.690e-001	m	- shear center x coordinate
yct:	-1.914e-001	m	- shear center y coordinate
xs:	1.038e-009	m	- = xct - xg
ys:	-1.038e-001	m	- = yct - yg
xj:	-1.882e-009	m	- non symmetry factor
yj:	-1.897e-001	m	- non symmetry factor

SEZIONI A L (formate a freddo) (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

H	altezza totale (fuori tutto)
B	larghezza totale (fuori tutto)
D	lunghezza totale dell'irrigidimento
r	raggio di curvatura interno
t	spessore

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0, fanno eccezione D che può essere nulla, dando luogo a un L senza irrigidimento, e r che può essere nullo;
- * $H > t+r$
- * $H > D$
- * $B > D$
- * $B > t+r$
- * $D \geq 0$
- * $R \geq 0$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

SEZIONI A Z (formate a freddo) (DIALOGO)

The dialog box 'Sezioni a Z (formate a freddo)' contains the following fields and controls:

- Left Column (Input fields with white background, indicating they can be modified):**
 - H: 10
 - B: 5
 - D: 2
 - t: 0.4
 - r: 0.4
 - Jx: 126.93835
 - Jy: 52.047943
 - ix: 3.8535861
 - iy: 2.4675754
 - Jxy: 61.867206
- Right Column (Input fields with grey background, indicating they are read-only):**
 - A: 8.5479638
 - J2: 161.80977
 - J3: 17.176520
 - Jt: 0.4558914
 - i2: 4.3508193
 - i3: 1.4175430
 - x2: 0
 - x,CT: 3.4273194
 - Iw: 794.55208
 - Angolo assi princ.: -29.4077619620834
- Bottom Right (Additional fields and controls):**
 - it: 0
 - w2: 25.192779
 - w3: 6.3418461
 - wpl2: 25.192779
 - wpl3: 6.3418461
 - U: 5.0849555
 - x3: 0
 - y,CT: -1.3358667
 - Calcola W plastici: ☐
 - EN1993-1-3...
- Buttons:** OK, Aggiorna, Cancel, and a button labeled 'Dettagli...'.

Questo dialog consente sia di avere informazioni di dettaglio su una sezione a Z (formata a freddo), sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

Se il dialog viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

La quota D può essere nulla, così come il raggio di curvatura r.

Per il significato dei simboli si veda la [descrizione](#)^[598].

Il button **EN1993-1-3** rimanda a un [dialog](#)^[610] in cui è possibile far calcolare al programma le caratteristiche efficaci del profilo.

Il button **Dettagli** dà accesso ad una finestra successiva in cui sono listate alcune importanti proprietà calcolate in accordo alla appendice C della EN-1993-1-3.

Il contenuto del dialog successivo può essere copiato e incollato, di seguito si dà un esempio di tale file. La terminologia è identica a quella dell'appendice con la sola differenza che anziché usare gli assi (y, z) si usano gli assi (X, Y).

```
*****
*
*
* Cold Formed Section Computation Data
*
* Castalia srl - www.castaliaweb.com - Copyright (C)
*****
```

Section is computed according to EN1993-1-3:2006, Annex C
Curved sides, if any, are divided into straight segments

Section: *****

N os: 11 - number of original sides

N ass: 11 - number of assumed straight sides

Area: 1.600e-003 - area m^2

Sx0: -1.401e-004 m^3 - first area moment (x,y)

Sy0: 2.704e-004 m^3 - first area moment (x,y)

Ix0: 1.608e-005 m^4 - second area moment (x,y)

Iy0: 6.508e-005 m^4 - second area moment (x,y)

Ixy0: -2.368e-005 m^4 - mixed second area moment (x,y)

xg: 1.690e-001 m - gravity center x coordinate

yg: -8.757e-002 m - gravity center y coordinate

Ix: 3.807e-006 m^4 - second area moment (xg, yg)

Iy: 1.938e-005 m^4 - second area moment (xg, yg)

Ixy: -3.195e-013 m^4 - mixed second area moment (xg, yg)

Icsi: 1.938e-005 m^4 - second area moment (principal axes)

Ieta: 3.807e-006 m^4 - second area moment (principal axes)

alpha: 4.759e-306 (deg) - rotation angle of principal axes

omega,mean: 1.952e-002 m^2 - omega mean

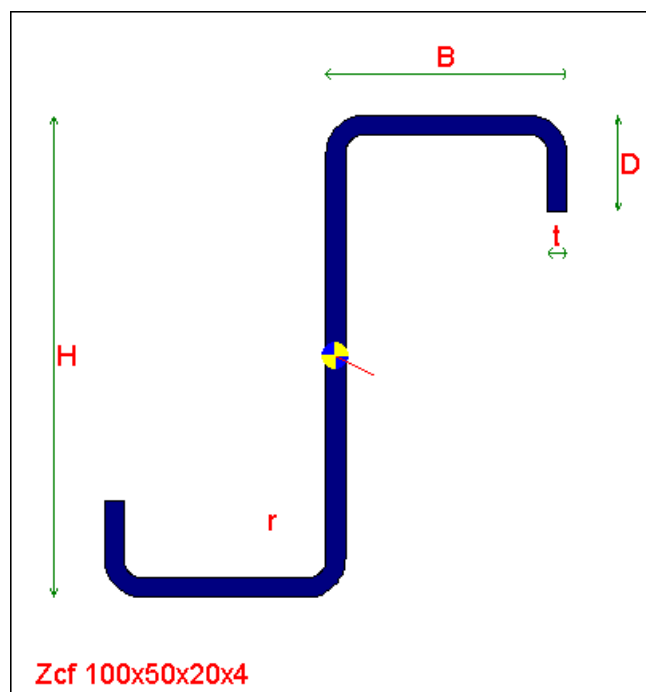
Ixom0: 8.987e-006 m^5 - sectorial constant

Iyom0: -2.092e-006 m^5 - sectorial constant

Iomom0: 1.445e-009 m^6 - sectorial constant

I _{xom} :	3.708e-006	m ⁵ - sectorial constant (x _g , y _g)
I _{yom} :	6.433e-007	m ⁵ - sectorial constant (x _g , y _g)
I _{omom} :	8.353e-007	m ⁶ - sectorial constant (x _g , y _g)
I _w :	1.701e-008	m ⁶ - warping constant
I _t :	4.801e-009	m ⁴ - torsional constant
x _{ct} :	1.690e-001	m - shear center x coordinate
y _{ct} :	-1.914e-001	m - shear center y coordinate
x _s :	1.038e-009	m - = x _{ct} - x _g
y _s :	-1.038e-001	m - = y _{ct} - y _g
x _j :	-1.882e-009	m - non symmetry factor
y _j :	-1.897e-001	m - non symmetry factor

SEZIONI A Z (formate a freddo) (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

H	altezza totale (fuori tutto)
B	larghezza totale (fuori tutto)
D	lunghezza totale dell'irrigidimento
r	raggio di curvatura interno
t	spessore

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0, fanno eccezione D che può essere nulla, dando luogo a un Z senza irrigidimento, e r che può essere nullo;
- * $H > 2t + 2r$
- * $H > 2D$
- * $B > t + r$
- * $D \geq 0$
- * $R \geq 0$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

SEZIONI A Ω (formate a freddo) (DIALOGO)

Sezioni a Omega (formate a freddo)

<input type="text" value="2.5"/> H	<input type="text" value="1.6520574"/> A	<input type="text" value="0"/> it
<input type="text" value="4"/> B	<input type="text" value="1.6126427"/> J2	<input type="text" value="1.1886639"/> w2
<input type="text" value="1.5"/> D	<input type="text" value="6.1586050"/> J3	<input type="text" value="1.8383895"/> w3
<input type="text" value="0.15"/> t	<input type="text" value="0.0123904"/> Jt	<input type="text" value="1.5064951"/> wpl2
<input type="text" value="0.15"/> r	<input type="text" value="0.9879989"/> i2	<input type="text" value="2.9277958"/> wpl3
<input type="text" value="1.3566851"/> ey	<input type="text" value="1.9307613"/> i3	<input type="text" value="3.4068584"/> U
<input type="text" value="no name"/> Nome	<input type="text" value="2.7534291"/> x2	<input type="text" value="2.2027432"/> x3
	<input type="text" value="3.3500000"/> x,CT	<input type="text" value="3.2873533"/> y,CT
	<input type="text" value="2.2701059"/> Iw	<input type="button" value="Dettagli..."/>

OK Aggiorna Cancel EN1993-1-3...

Questo dialog consente sia di avere informazioni di dettaglio su una sezione ad Ω (formata a freddo), sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che

quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

Se il dialog viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Il raggio interno r può essere nullo.

Per il significato dei simboli si veda la [descrizione](#)^[601].

Il button **EN1993-1-3** rimanda a un [dialog](#)^[610] in cui è possibile far calcolare al programma le caratteristiche efficaci del profilo.

Il button **Dettagli** dà accesso ad una finestra successiva in cui sono listate alcune importanti proprietà calcolate in accordo alla appendice C della EN-1993-1-3.

Il contenuto del dialog successivo può essere copiato e incollato, di seguito si dà un esempio di tale file. La terminologia è identica a quella dell'appendice con la sola differenza che anzichè usare gli assi (y, z) si usano gli assi (X, Y).

```
*****
*                                                                 *
*                                                                 *
*                               Cold Formed Section Computation Data   *
*                                                                 *
* Castalia srl - www.castaliaweb.com - Copyright (C)                  *
*****
```

```
Section is computed according to EN1993-1-3:2006, Annex C
Curved sides, if any, are divided into straight segments
```

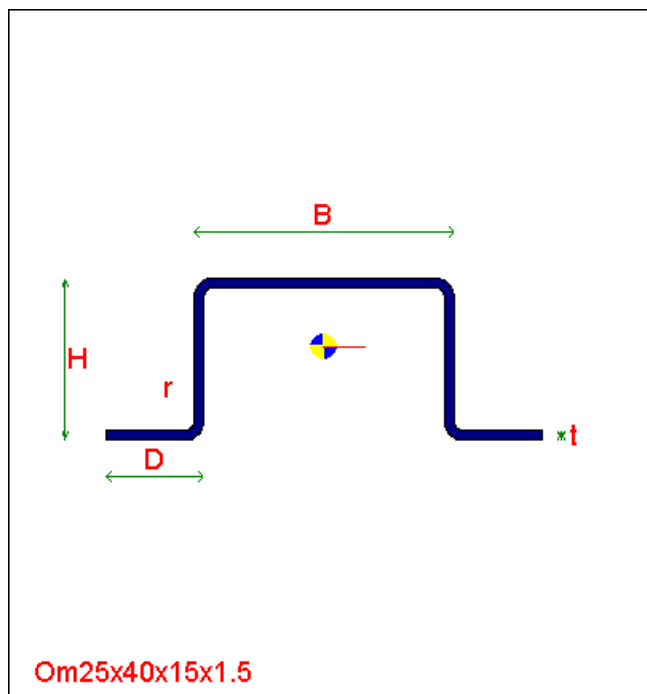
```
Section: *****
```

```
N os:          11 - number of original sides
N ass:         11 - number of assumed straight sides
Area:          1.600e-003 - area      m^2
```

```
Sx0:          -1.401e-004      m^3 - first area moment (x,y)
Sy0:           2.704e-004      m^3 - first area moment (x,y)
Ix0:           1.608e-005      m^4 - second area moment (x,y)
Iy0:           6.508e-005      m^4 - second area moment (x,y)
```

Ixy0:	-2.368e-005	m ⁴ - mixed second area moment (x,y)
xg:	1.690e-001	m - gravity center x coordinate
yg:	-8.757e-002	m - gravity center y coordinate
Ix:	3.807e-006	m ⁴ - second area moment (xg, yg)
Iy:	1.938e-005	m ⁴ - second area moment (xg, yg)
Ixy:	-3.195e-013	m ⁴ - mixed second area moment (xg, yg)
Icsi:	1.938e-005	m ⁴ - second area moment (principal axes)
Ieta:	3.807e-006	m ⁴ - second area moment (principal axes)
alpha:	4.759e-306	(deg) - rotation angle of principal axes
omega,mean:	1.952e-002	m ² - omega mean
Ixom0:	8.987e-006	m ⁵ - sectorial constant
Iyom0:	-2.092e-006	m ⁵ - sectorial constant
Iomom0:	1.445e-009	m ⁶ - sectorial constant
Ixom:	3.708e-006	m ⁵ - sectorial constant (xg, yg)
Iyom:	6.433e-007	m ⁵ - sectorial constant (xg, yg)
Iomom:	8.353e-007	m ⁶ - sectorial constant (xg, yg)
Iw:	1.701e-008	m ⁶ - warping constant
It:	4.801e-009	m ⁴ - torsional constant
xct:	1.690e-001	m - shear center x coordinate
yct:	-1.914e-001	m - shear center y coordinate
xs:	1.038e-009	m - = xct - xg
ys:	-1.038e-001	m - = yct - yg
xj:	-1.882e-009	m - non symmetry factor
yj:	-1.897e-001	m - non symmetry factor

SEZIONI A Ω (formate a freddo) (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

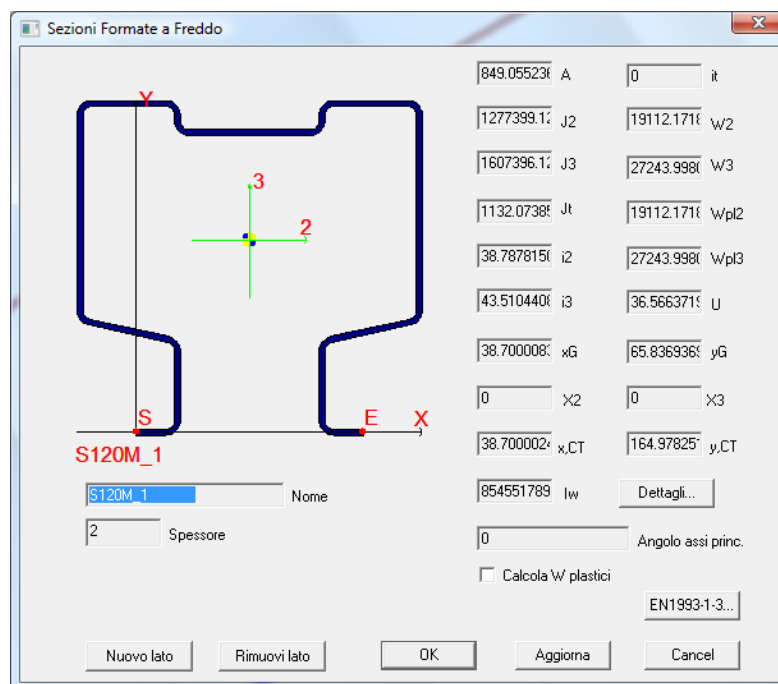
H	altezza totale (fuori tutto)
B	larghezza totale superiore (fuori tutto)
D	larghezza totale delle pieghe inferiori
r	raggio di curvatura interno
t	spessore

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0, ad eccezione di r che può essere nullo;
- * $H > 2t + 2r$
- * $B > 2t + 2r$
- * $B > t + r$
- * $R \geq 0$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

SEZIONI FORMATE A FREDDO (DIALOGO)



Questo dialog serve a descrivere sezioni formate a freddo di tipo generico. Per prima cosa si fissa lo spessore della sezione, poi si procede con l'aggiungere i lati, infine si sceglie il nome. Lo spessore può essere cambiato dopo aver aggiunto i lati, e sufficiente cambiare il valore e premere il tasto aggiorna.

Tutte le dimensioni sono interpretate sulla base della unità attiva.

Il tasto **Nuovo Lato** serve ad aggiungere un lato e dà accesso al dialog corrispondente ([Scelta del tipo e del modo in cui dare il nuovo lato](#)^[605]).

Il tasto **Rimuovi Lato** serve a cancellare l'ultimo lato introdotto.

Ad ogni lato aggiunto le quantità di calcolo vengono aggiornate. I lati possono anche rappresentare dei fori.

La sezione può essere aperta o chiusa. Una sezione chiusa finisce esattamente nello stesso punto ove è cominciata. Il momento di inerzia torsionale di una sezione chiusa viene calcolato usando la formula di Bredt.

Dopo aver aggiunto tutti i lati è possibile chiedere al programma di calcolare i moduli plastici, ciò si fa selezionando la casella opportuna e premendo successivamente il tasto

Aggiorna.

Il button **EN1993-1-3** rimanda a un [dialog](#)^[610] in cui è possibile far calcolare al programma le caratteristiche efficaci del profilo.

Il button **Dettagli** dà accesso ad una finestra successiva in cui sono listate alcune importanti proprietà calcolate in accordo alla appendice C della EN-1993-1-3.

Il contenuto del dialog successivo può essere copiato e incollato, di seguito si dà un esempio di tale file. La terminologia è identica a quella dell'appendice con la sola differenza che anzichè usare gli assi (y, z) si usano gli assi (X, Y).

```
*****
*
*
*                               Cold Formed Section Computation Data
*
* Castalia srl - www.castaliaweb.com - Copyright (C)
*****
```

```
Section is computed according to EN1993-1-3:2006, Annex C
Curved sides, if any, are divided into straight segments
```

```
Section: *****
```

```
N os:      11 - number of original sides
N ass:     11 - number of assumed straight sides
Area:      1.600e-003 - area      m^2
```

```
Sx0:      -1.401e-004      m^3 - first area moment (x,y)
Sy0:       2.704e-004      m^3 - first area moment (x,y)
Ix0:       1.608e-005      m^4 - second area moment (x,y)
Iy0:       6.508e-005      m^4 - second area moment (x,y)
Ixy0:     -2.368e-005      m^4 - mixed second area moment (x,y)
```

```
xg:       1.690e-001      m - gravity center x coordinate
yg:      -8.757e-002      m - gravity center y coordinate
```

```
Ix:       3.807e-006      m^4 - second area moment (xg, yg)
Iy:       1.938e-005      m^4 - second area moment (xg, yg)
Ixy:     -3.195e-013      m^4 - mixed second area moment (xg, yg)
```

```
Icsi:     1.938e-005      m^4 - second area moment (principal axes)
Ieta:     3.807e-006      m^4 - second area moment (principal axes)
alpha:    4.759e-306 (deg) - rotation angle of principal axes
```

```
omega,mean: 1.952e-002      m^2 - omega mean
Ixom0:     8.987e-006      m^5 - sectorial constant
Iyom0:    -2.092e-006      m^5 - sectorial constant
Iomom0:    1.445e-009      m^6 - sectorial constant
```


Ixom:	3.708e-006	m^5 - sectorial constant (xg, yg)
Iyom:	6.433e-007	m^5 - sectorial constant (xg, yg)
Iomom:	8.353e-007	m^6 - sectorial constant (xg, yg)
Iw:	1.701e-008	m^6 - warping constant
It:	4.801e-009	m^4 - torsional constant
xct:	1.690e-001	m - shear center x coordinate
yct:	-1.914e-001	m - shear center y coordinate
xs:	1.038e-009	m - = xct - xg
ys:	-1.038e-001	m - = yct - yg
xj:	-1.882e-009	m - non symmetry factor
yj:	-1.897e-001	m - non symmetry factor

SCELTA DEL TIPO E DEL MODO IN CUI DARE IL NUOVO LATO (DIALOGO)



Questo dialog fa scegliere che tipo di lato si vuole fornire, e con quale criterio numerico. Ad ogni button immagine corrisponde una scelta differente, secondo la seguente codifica:



Fa aggiungere un lato rettilineo tangente all'ultimo lato introdotto. Occorre fornire solo la lunghezza del nuovo lato (con un [dialog](#)⁶⁰⁶ opportuno).



Fa aggiungere un lato rettilineo. Occorre fornire le coordinate assolute del nuovo punto (con un

[dialog](#)⁶⁰⁷ opportuno).



Fa aggiungere un lato rettilineo. Occorre fornire le coordinate del nuovo punto relativamente all'ultimo (con un [dialog](#)⁶⁰⁷ opportuno).

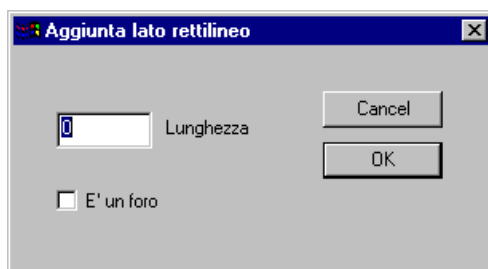


Fa aggiungere un lato circolare. Occorre fornire le coordinate del centro e l'angolo di apertura in gradi (con un [dialog](#)⁶⁰⁸ opportuno).



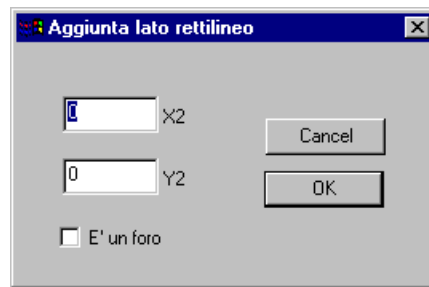
Fa aggiungere un lato circolare. Occorre fornire il raggio medio e l'angolo di apertura del nuovo lato (con un [dialog](#)⁶⁰⁹ opportuno).

STRAIGHT SIDE ADDITION (DIALOG)



This dialog is used to input the new side length using current length unit, and is also used to set if the new side is a hole, or not. The new side will be added in such a way that it will be tangent to the last input side. If no side has yet been added, the button getting to this dialog will appear inactive (grayed).

STRAIGHT SIDE ADDITION (DIALOG)



This dialog is used to input the coordinates of the second extremity of the new side using active length unit, and it is also used to set if the side is a hole, or not. The first extremity of the new side is the same point of the second extremity of the last side. If no side has been input yet, then the coordinates of the initial point must be input (dialog [Initial point coordinates](#) ^[609]).

If the new side forms a cuspex with the previous one the program cannot accept the side, however it can automatically add a circular intermediate side so as to generate a smooth transition between the straight sides, the new and the old one, avoiding automatically the cuspex. If this is the case the internal radius of the circular side to be added must be input [Internal Radius](#) ^[610]).

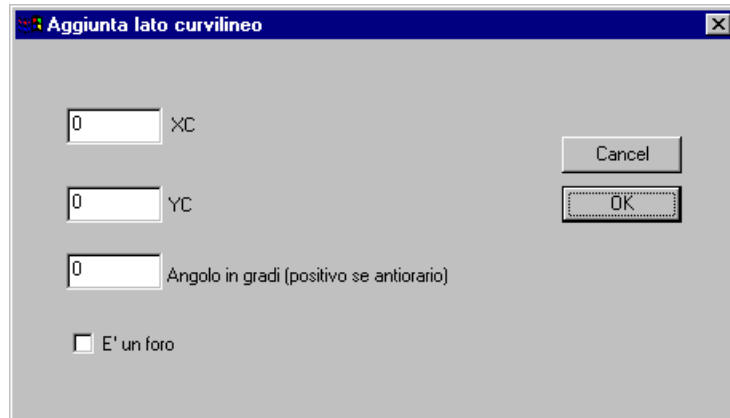
STRAIGHT SIDE ADDITION (DIALOG)



This dialog is used to input the coordinates of the second extremity of a new side, relative to the last extremity already input, and it is also used to set if the side is a hole or not. The first extremity of the new side is the same point of the second extremity of the last side input. If no side has been already input, then the initial point coordinates must be input (dialog [Initial point coordinates](#)^[609]).

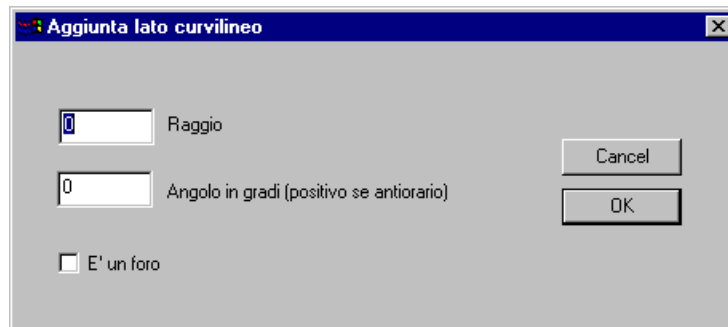
If a new side is going to imply a cuspex with the previous one, the program cannot accept the side, however it can automatically add a new intermediate circular side so as to generate a smooth transition between the two straight sides, the old and the new ones, avoiding automatically the cuspex that would have been created. If this is the case, then the internal circular radius of the new side to be automatically added will have to be input ([Internal Curvature Radius](#)^[610]).

ADDING OF A CIRCULAR SIDE (DIALOG)



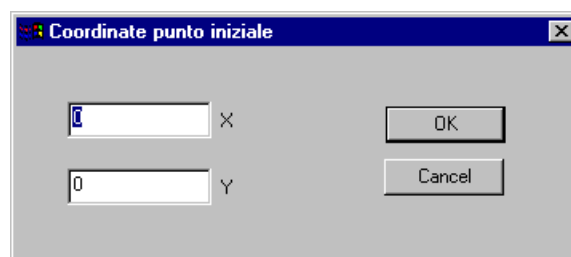
This dialog is used to input the coordinates of the center of the circle to which the new side belong, the opening angle of the new side, and if the side-to-be-added is a hole, or not. The opening angle must be input in degrees, and is positive if counterclockwise. By construction, the side will be tangent to the previous side. If no side has been previously added, the program asks for the coordinates of the initial point (dialog [Initial Point Coordinates](#)^[609]) and assumes that the initial tangent is horizontal. The center point coordinates are read with the current length unit.

ADDING OF A CIRCULAR SIDE (DIALOG)



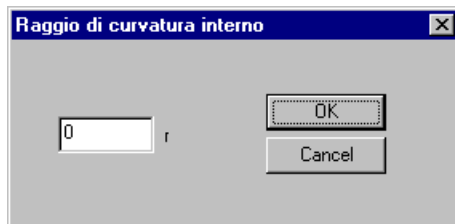
This dialog is used to input the radius of the circle to which the new side belongs, the opening-angle of the new side, and if the new side is a hole, or not. The opening angle must be input using degrees, and is positive if counterclockwise. By design, the new side will be tangent to the last side previously added. If no side has been previously added, then the program asks the coordinates of an initial point (dialog [Initial Point Coordinates](#)^[609]) and assumes that the initial tangent is horizontal. Coordinates are input using current length unit.

INITIAL POINT COORDINATES (DIALOG)



When the first side of a cold-formed cross-section is added, the program requires the initial point coordinates, that is the coordinates of the first extremity of the side that is being added. This dialog is used to input the initial point coordinates, using active length unit.

INTERNAL CURVE RADIUSO (DIALOG)



When a straight side creating a cuspex with the previous side is added, the program asks whether or not to add a circular side in order to regain continuity for the first derivative of the middle curve. If the answer is "yes", the program asks the internal radius of the circular corner-side to be added, by this dialog. The radius is input using current length unit..

CALCOLO DELLE SEZIONI EFFICACI (DIALOGO)

Nota: per una descrizione più approfondita del calcolo delle caratteristiche efficaci di profili in classe 4, si rimanda alla guida del programma CLASS4 di Castalia srl. In Samba, infatti, sono state riversate delle funzionalità del suddetto programma (con alcune limitazioni riguardanti ulteriori profili presenti in CLASS4) relative al calcolo dei profili in classe 4. La guida di questo programma contiene spiegazioni di base, note sull'implementazione degli algoritmi, discussione delle problematiche, validazione dei risultati e altri contenuti. La guida di CLASS4 è consultabile liberamente all'indirizzo <http://www.castaliaweb.com/ita/P/CL4/HTML/index.html>.

Questo dialog permette di calcolare le caratteristiche efficaci del profilo secondo EN1993-1-3 ed EN1993-1-5. Il suo aspetto presenta delle differenze a seconda che si tratti di un profilo formato a freddo o di un altro tipo di sezione, ma la struttura è sempre la stessa.

EN 1993-1-3 ed EN 1993-1-5 Calcolo sezioni efficaci

Dati di calcolo

235 Fy (MPa) 360 Fu (MPa)

1.05 Gamma, M0

Selezionare i lati appartenenti a irrigidimenti

☒ STRAIGHT Len= 12.000 mm t= 1.500 mm

☒ CIRCULAR Len= 3.534 mm t= 1.500 mm beta(deg) =

☐ STRAIGHT Len= 19.000 mm t= 1.500 mm

☐ CIRCULAR Len= 3.534 mm t= 1.500 mm beta(deg) =

☐ STRAIGHT Len= 34.000 mm t= 1.500 mm

☐ CIRCULAR Len= 3.534 mm t= 1.500 mm beta(deg) =

☐ STRAIGHT Len= 19.000 mm t= 1.500 mm

Modalità di calcolo

☒ Elimina i raccordi curvilinei (EN1993-1-3 § 5.1)

☐ Usa il livello effettivo delle tensioni

☒ Determina tensione di snervamento modificata per le pieghe

☒ Itera sugli irrigidimenti (opzionale secondo 5.5.3.2.(3))

1 K_{gr} (verranno tolte parti di lunghezza K_{gr} * gr)

c: Cartella di output

Calcola!

Dati di output (mm, mm², mm³)

0 Aeff 0 eN2 0 eN3

0 W2eff,+ 0 W2eff,-

0 W3eff,+ 0 W3eff,-

Disegno sezioni originaria, di calcolo ed efficaci

Profilo N

M2m M2p Sezione calcolo

M3m M3p

Omega cf

Copia Stampa

OK Cancel

Esempio: profilo formato a freddo

EN 1993-1-3 ed EN 1993-1-5 Calcolo sezioni efficaci

Dati di calcolo

235 Fy (MPa) 360 Fu (MPa)

1.05 Gamma, M0

Modalità di calcolo

☐ Usa il livello effettivo delle tensioni

1 K_{gr} (verranno tolte parti di lunghezza K_{gr} * gr)

c: Cartella di output

Calcola!

Dati di output (mm, mm², mm³)

0 Aeff 0 eN2 0 eN3

0 W2eff,+ 0 W2eff,-

0 W3eff,+ 0 W3eff,-

Disegno sezioni originaria, di calcolo ed efficaci

Profilo N

M2m M2p Sezione calcolo

M3m M3p

T saldato

Copia Stampa

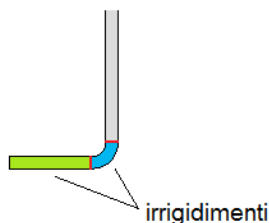
OK Cancel

Esempio: profilo non formato a freddo

Dati di calcolo

In questa sezione vanno indicate le proprietà del materiale (Fy, Fu e Gamma,M0). Nella

lista dei lati del profilo, *presente solo nel caso dei formati a freddo*, vanno spuntati i lati che costituiscono irrigidimenti per altri lati: devono essere spuntati sia i lati rettilinei che costituiscono irrigidimenti che i tratti curvilinei a essi adiacenti.

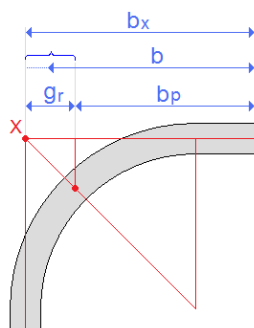


Modalità di calcolo

In questa sezione, *per i soli formati a freddo* si sceglie se rettificare la forma sezionale (in accordo al paragrafo 5.1 della norma europea). *Per tutti i profili* va indicato se si vuole usare il livello effettivo delle tensioni (se si spunta questa opzione, un lato che ad esempio è compresso, ma con un valore di compressione σ_l minore di f_y , non viene calcolato usando λ_p , ma $\lambda_{p,red}$). *Per i soli formati a freddo*, si può richiedere che venga determinata una tensione modificata per le pieghe (incrudimento); si stabilisce inoltre se si vuole che quando un irrigidimento si instabilizza vengano eseguite delle iterazioni per ricalcolare la porzione efficace oppure si vuole che ci si arresti, in accordo al paragrafo 5.5.3.2(3) dell'EN1993-1-3; infine si determina il valore di k_{gr} , di default pari a 1: questo parametro serve a determinare la lunghezza dei lati nel caso si sia scelto di adottare un'area di calcolo rettificata, eliminando i raccordi; la lunghezza b_P del lato è pari a $b_x - g_r$, dove b_x è la lunghezza del lato ottenuto allungando ciascun asse fino alle intersezioni con i due lati adiacenti, dopo la rimozione dei lati curvilinei. Si ha:

$$b_p = b_x - g_{r,1} - g_{r,2}$$

$$b = b_p + (1 - k_{gr})g_{r,1} + (1 - k_{gr})g_{r,2}$$



Si può cambiare la cartella di destinazione del tabulato creato dal programma (cartella di output). Di default è proposta la cartella *c*..

Calcola!

Cliccando il button *Calcola!* viene eseguito il calcolo delle caratteristiche efficaci secondo normativa. Se vi sono requisiti di normativa non soddisfatti (ad esempio un irrigidimento troppo lungo) si viene informati di ciò tramite un messaggio. Al termine del calcolo viene chiesto se aprire automaticamente il [tabulato](#)^[615].

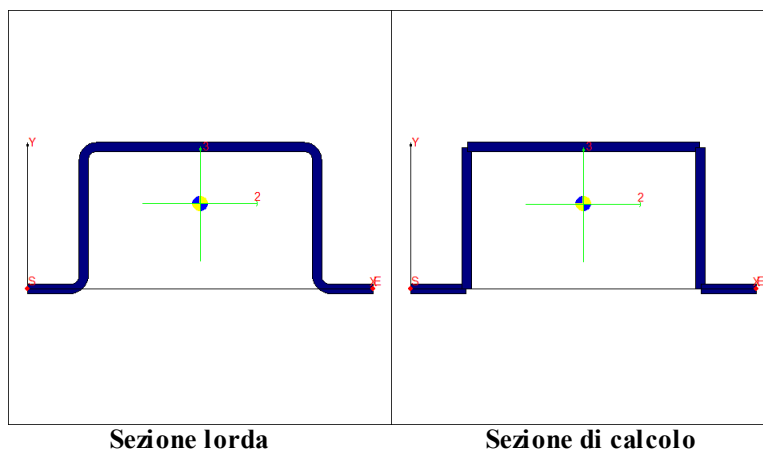
Dati di output e immagine

Dopo aver eseguito il calcolo, cliccando i bottoni in **Disegno sezione..** è possibile visualizzare le seguenti immagini:

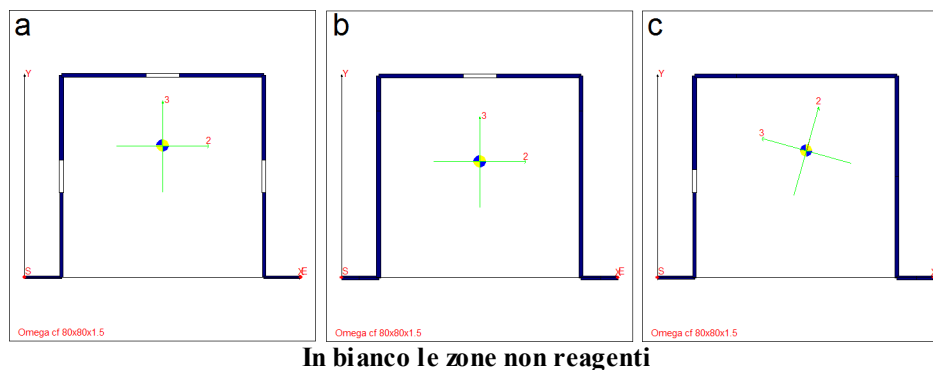
- *Profilo*: viene mostrato il profilo lordo (default, non è necessario aver eseguito il calcolo).
- *Sezione calcolo*: la sezione utilizzata per il calcolo, che può coincidere o meno con quella lorda.
- *N*, *M2p*, *M2m*, *M3p*, *M3m*: rispettivamente, le sezioni efficaci per azione assiale, per momento flettente attorno all'asse due positivo e negativo, per momento flettente attorno all'asse 3 positivo e negativo.

L'immagine corrente può essere stampata o copiata negli appunti e incollata in relazioni, documenti, ecc.

Nella figura seguente vengono mostrati un profilo lordo (formato a freddo) e la sezione di calcolo con i lati rettificati.



Di seguito sono riportate tre immagini che mostrano le sezioni efficaci calcolate da CLASS4 in un profilo formato a freddo per le condizioni di azione assiale (a), momento flettente $M2$ positivo (b) e momento flettente $M3$ negativo (c).



Note:

- Per i profili rettangolari cavi laminati (RHS) i raccordi curvilinei non sono mai rettificati.
- Per i profili laminati ad H e a T i raccordi curvilinei sono sostituiti nella sezione di calcolo da tratti rettangolari.

- Se per una determinata azione la sezione di calcolo con raccordi curvilinei rettificati reagisce completamente, viene utilizzato il corrispondente valore lordo della sezione originaria, non di quella di calcolo.

IL TABULATO DEL CALCOLO DELLE CARATTERISTICHE EFFICACI

Il tabulato è in inglese e contiene informazioni sulla sezione lorda, sulla sezione di calcolo, sulle impostazioni e sui risultati.

Il tabulato si trova nella [cartella](#)^[613] indicata dall'utente. Il nome del file ha questa struttura: "*nomesezione -fy=??? - gm=??? .txt*", dove ??? sono i valori definiti per la tensione di snervamento e per il coefficiente di sicurezza.

L'esempio di tabulato qui riportato è corredato da commenti e spiegazioni alle varie sezioni; vengono inoltre forniti i significati dei simboli presenti e le traduzioni delle voci in inglese. Per maggior chiarezza, le parti appartenenti al tabulato sono su sfondo grigio.

```
*****
*
* Effective data computation *
*
* EN 1993-1-3 and EN1993-1-5 *
*
* Castalia srl - Italy - www.castaliaweb.com *
*****
```

Dopo l'intestazione, la prima parte del tabulato contiene una descrizione della **sezione lorda** e dei suoi lati. Sono riportati il nome della sezione, il numero di lati, le coordinate x_g e y_g del baricentro rispetto all'origine del sistema di riferimento, l'area totale, i momenti d'inerzia rispetto agli assi principali J_2 e J_3 (gli assi 2 e 3 sono rispettivamente gli assi y e z), i moduli di resistenza a flessione W_2 e W_3 e l'angolo di rotazione degli assi principali, espresso in gradi.

Per ogni lato (*element*) sono riportati i seguenti dati: numero identificativo, tipo (*straight* = rettilineo, *circular* = curvilineo), lo spessore (*thickness*), le coordinate del primo e

del secondo estremo rispetto all'origine del sistema di riferimento ($x1, y1$ e $x2, y2$), i segmenti che devono essere sottratti al lato rettificato ai due estremi ($gr1$ e $gr2$), la lunghezza del lato (Len), la lunghezza b_p .

Infine sono riportati i dati relativi al materiale: la tensione di snervamento f_{yb} , la tensione ultima f_u , il fattore di sicurezza γ_{M0} (*gamma*), il valore f_d pari a f_{yb}/γ_{M0} e il valore f_{ya} in accordo al paragrafo 3.2.2(3) dell'EN1993-1-3:2006.

Dato che il primo blocco di informazioni si riferisce alla sezione originaria lorda (**Gross cross-section**), senza eliminazione dei raccordi curvilinei, i gr sono sempre nulli, e la lunghezza b_p coincide con quella del lato rettilineo originario.

Mentre b_p è la lunghezza da assumere ai fini del calcolo dei b/t , "b" è la lunghezza b_p con sommate le parti gr eventualmente riaggiate, ovvero:

$$b = b_p + (1 - K_{gr})g_{r,1} + (1 - K_{gr})g_{r,2}$$

- Gross cross-section description -									

Cross-section name: Omega cf									
Number of sides : 9									
xg=	53.500 mm	yg=	46.794 mm	Area=	3.902e+002 mm ²				
J2=	3.370e+005 mm ⁴	J3=	5.071e+005 mm ⁴	W2=	7.088e+003 mm ³	W3=	9.478e+003 mm ³	Angle	
principal axes (deg)= 0.000									
Cross-section side description									
Element #	1 - Straight element - Thickness=			1.500 mm					
	x1 =	0.000 mm	y1 =	0.000 mm					
	x2 =	12.000 mm	y2 =	0.000 mm					
	gr1=	0.000 mm	gr2=	0.000 mm					
	b=	12.000 mm	bP =	12.000 mm					
Element #	2 - Circular element - Length=			3.534 mm - Thickness=		1.500 mm			
	xs =	12.000 mm	ys =	0.000 mm					
	xe =	14.250 mm	ye =	2.250 mm					
	xc =	12.000 mm	yc =	2.250 mm	bet(deg)= 90.000				
Element #	3 - Straight element - Thickness=			1.500 mm					
	x1 =	14.250 mm	y1 =	2.250 mm					
	x2 =	14.250 mm	y2 =	76.250 mm					
	gr1=	0.000 mm	gr2=	0.000 mm					
	b=	74.000 mm	bP =	74.000 mm					
Element #	4 - Circular element - Length=			3.534 mm - Thickness=		1.500 mm			
	xs =	14.250 mm	ys =	76.250 mm					
	xe =	16.500 mm	ye =	78.500 mm					
	xc =	16.500 mm	yc =	76.250 mm	bet(deg)= -90.000				

Element #	5	- Straight element - Thickness=	1.500 mm
x1 =	16.500 mm	y1 =	78.500 mm
x2 =	90.500 mm	y2 =	78.500 mm
gr1=	0.000 mm	gr2=	0.000 mm
b=	74.000 mm	bP =	74.000 mm
Element #	6	- Circular element - Length=	3.534 mm - Thickness= 1.500 mm
xs =	90.500 mm	ys =	78.500 mm
xe =	92.750 mm	ye =	76.250 mm
xc =	90.500 mm	yc =	76.250 mm bet(deg)= -90.000
Element #	7	- Straight element - Thickness=	1.500 mm
x1 =	92.750 mm	y1 =	76.250 mm
x2 =	92.750 mm	y2 =	2.250 mm
gr1=	0.000 mm	gr2=	0.000 mm
b=	74.000 mm	bP =	74.000 mm
Element #	8	- Circular element - Length=	3.534 mm - Thickness= 1.500 mm
xs =	92.750 mm	ys =	2.250 mm
xe =	95.000 mm	ye =	0.000 mm
xc =	95.000 mm	yc =	2.250 mm bet(deg)= 90.000
Element #	9	- Straight element - Thickness=	1.500 mm
x1 =	95.000 mm	y1 =	0.000 mm
x2 =	107.000 mm	y2 =	0.000 mm
gr1=	0.000 mm	gr2=	0.000 mm
b=	12.000 mm	bP =	12.000 mm
fyb =	235.00 MPa	fu=	360.00 MPa gamma= 1.050 fd= 223.81 MPa
fya =	249.42 MPa		

Seguono le impostazioni dell'utente:

- è indicato se è stato richiesto di eliminare i lati curvilinei con la conseguente modifica dei lati rettilinei (*circular elements will be deleted...*) oppure di considerarli (*circular elements will be considered as fully effective*);
- è indicato anche se si è richiesto di considerare le tensioni effettive (*real compression stress levels on side will be considered*) o di considerare i valori massimi (*maximum compression stress levels...*);
- è indicato se devono essere eseguite iterazioni sugli irrigidimenti (*perform modification ("iteration") for stiffeners*) oppure se ci si deve arrestare (*stop at first step when dealing with stiffeners (5.5.3.2.(3))*) in accordo al paragrafo citato dell'EN1993-1-3.
- è riportato il valore *kgr* definito dall'utente; se tale valore è uguale a 1 i segmenti gr non vengono riaggiunti, se è uguale a 0 si; sono possibili anche valori intermedi.

User's choice: circular elements will be deleted modifying straight element

```

size
User's choice: maximum compression stress levels on side will be considered
User's choice: perform modification ("iteration") for stiffeners
User's choice: gr addition modification factor (kgr=1-> gr are removed,
kgr=0-> gr are kept) kgr =      1.00

```

Analogamente alla parte di tabulato in cui è stata descritta la sezione lorda, nella parte seguente viene descritta la **sezione di calcolo**, con la stessa struttura di dati. Se sono stati eliminati i lati curvilinei, il numero di lati è inferiore rispetto alla sezione lorda iniziale e la loro lunghezza risulta maggiore per via della modifica dei lati stessi legata alla rimozione dei lati curvilinei (di conseguenza risultano diverse anche le coordinate degli estremi dei lati). Inoltre i gr saranno in generale diversi da zero e, in generale, b sarà diverso da b_p (a meno che sia stato assunto $K_{gr}=1$).

```

-----
-   Computing section data (circular sides removed)   -
-----

Cross-section name:  Omega cf
Number of sides :  5
xg=    53.500 mm  yg=    46.835 mm  Area=   3.881e+002 mm2
J2=   3.338e+005 mm4  J3=   5.038e+005 mm4  W2=   7.015e+003 mm3  W3=   9.417e+003 mm3  Angle
principal axes (deg)=    0.000

Cross-section side description

Element #    1 - Straight element - Thickness=    1.500 mm
      x1 =    0.000 mm  y1 =    0.000 mm
      x2 =   13.591 mm  y2 =    0.000 mm
      gr1=    0.000 mm  gr2=    0.659 mm
      b=   13.591 mm  bP =   13.591 mm
Element #    2 - Straight element - Thickness=    1.500 mm
      x1 =   14.250 mm  y1 =    0.659 mm
      x2 =   14.250 mm  y2 =   77.841 mm
      gr1=    0.659 mm  gr2=    0.659 mm
      b=   77.182 mm  bP =   77.182 mm
Element #    3 - Straight element - Thickness=    1.500 mm
      x1 =   14.909 mm  y1 =   78.500 mm
      x2 =   92.091 mm  y2 =   78.500 mm
      gr1=    0.659 mm  gr2=    0.659 mm
      b=   77.182 mm  bP =   77.182 mm
Element #    4 - Straight element - Thickness=    1.500 mm

```

	x1 =	92.750 mm	y1 =	77.841 mm	
	x2 =	92.750 mm	y2 =	0.659 mm	
	gr1=	0.659 mm	gr2=	0.659 mm	
	b=	77.182 mm	bP =	77.182 mm	
Element #	5 - Straight element - Thickness=	1.500 mm			
	x1 =	93.409 mm	y1 =	0.000 mm	
	x2 =	107.000 mm	y2 =	0.000 mm	
	gr1=	0.659 mm	gr2=	0.000 mm	
	b=	13.591 mm	bP =	13.591 mm	

Nella sezione seguente sono riportate alcune importanti proprietà calcolate in accordo all'annesso C della EN-1993-1-3. La terminologia è la stessa dell'annesso, con la differenza che qui gli assi sono x e y invece di y e z.

- la sezione è calcolata in accordo all'EN1993-1-3:2006, Annesso C
- i lati curvilinei, se presenti, sono divisi in segmenti rettilinei
- nome della sezione
- numero dei lati originali (*number of original sides*) e di quelli assunti come rettilinei (*assumed straight sides*)
- *Area* della sezione
- momenti statici S_{x0} e S_{y0} rispetto agli assi x e y
- momenti d'inerzia I_{x0} , I_{y0} e I_{xy0} rispetto agli assi x e y
- coordinate del baricentro x_g , y_g
- momenti d'inerzia rispetto al baricentro I_x , I_y e I_{xy}
- momenti d'inerzia rispetto agli assi principali I_{csi} e I_{eta}
- l'angolo di rotazione α degli assi principali
- il valor medio di ω , *omega*, *mean*
- le costanti settoriali I_{xom0} , I_{yom0} , I_{omom0}
- le costanti settoriali I_{xom} , I_{yom} , I_{omom}
- la costante di ingobbamento I_w e la costante torsionale I_t
- le coordinate del centro di taglio x_{ct} e y_{ct}
- i valori $x_s = x_{ct} - x_g$ e $y_s = y_{ct} - y_g$
- i fattori di non simmetria x_j e y_j

```

-----
- General data of computing section -
-----

Section is computed according to EN1993-1-3:2006, Annex C
Curved sides, if any, are divided into straight segments

Section: Omega cf
N os:          5 - number of original sides
N ass:         5 - number of assumed straight sides
Area:          3.881e+002 - area      mm^2

Sx0:           1.818e+004      mm^3 - first area moment (x,y)
Sy0:           2.076e+004      mm^3 - first area moment (x,y)
Ix0:           1.185e+006      mm^4 - second area moment (x,y)
Iy0:           1.615e+006      mm^4 - second area moment (x,y)
Ixy0:          9.724e+005      mm^4 - mixed second area moment (x,y)

xg:            5.350e+001      mm - gravity center x coordinate
yg:            4.684e+001      mm - gravity center y coordinate

Ix:            3.338e+005      mm^4 - second area moment (xg, yg)
Iy:            5.037e+005      mm^4 - second area moment (xg, yg)
Ixy:           1.852e-003      mm^4 - mixed second area moment (xg, yg)

Icsi:          5.037e+005      mm^4 - second area moment (principal axes)
Ieta:          3.338e+005      mm^4 - second area moment (principal axes)
alpha:         6.242e-007 (deg) - rotation angle of principal axes

omega,mean:    -3.595e+003      mm^2 - omega mean
Ixom0:         -1.320e+008      mm^5 - sectorial constant
Iyom0:         -4.769e+007      mm^5 - sectorial constant
Iomom0:        1.276e+010      mm^6 - sectorial constant

Ixom:          -5.735e+007      mm^5 - sectorial constant (xg, yg)
Iyom:          1.766e+007      mm^5 - sectorial constant (xg, yg)
Iomom:         7.744e+009      mm^6 - sectorial constant (xg, yg)

Iw:            2.808e+008      mm^6 - warping constant
It:            2.911e+002      mm^4 - torsional constant
xct:           5.291e+001      mm - shear center x coordinate
yct:           1.138e+002      mm - shear center y coordinate
xs:            -5.889e-001      mm - = xct - xg
ys:            6.700e+001      mm - = yct - yg
xj:            -5.889e-001      mm - non symmetry factor
yj:            7.945e+001      mm - non symmetry factor

```

Sono quindi riportate informazioni sugli irrigidimenti eventualmente presenti agli estremi e nel mezzo del profilo. *There is no starting / end / intermediate stiffener* significa che non ci sono, rispettivamente, irrigidimenti all'inizio del profilo, alla fine o nel mezzo. Se invece sono presenti degli irrigidimenti, viene indicato da quante pieghe sono composti: ad esempio, *starting stiffener has 1 edge fold* significa che l'irrigidimento iniziale ha una sola

piega.

-	Stiffeners	-

Starting stiffener has 1 edge fold		
End stiffener has 1 edge fold		
There is no intermediate stiffener		

Nella sezione seguente vengono riportati tutti i dati calcolati per ottenere l'area efficace a compressione. Per ciascuno dei lati (*elements*) della **sezione di calcolo** vengono fornite le seguenti informazioni:

- numero identificativo del lato (#);
- se si tratta di un lato interno (*doubly supported element*) o terminale (*outstand element*);
- in quest'ultimo caso viene indicato quale estremo (*end*) è libero (*free*) e quale è collegato a un altro lato (*supported*);
- b è la larghezza del lato come già chiarito ($b=b_p+(1-K_{gr})g_{r,1}+(1-K_{gr})g_{r,2}$);
- $gr1$, $gr2$ e b_p sono stati già descritti in precedenza;
- t è lo spessore del piatto;
- $b_p:t$ è il rapporto tra b_p e t ;
- le coordinate dei due estremi del lato ($x1, y1$ e $x2, y2$);
- i valori di tensione σ_1 e σ_2 (*sigma1* e *sigma2*);
- k_σ (*Ksigma*) è il coefficiente di instabilità;
- Λ_{p} è la snellezza relativa del piatto;
- ρ è il fattore riduttivo dato in EN1993-1-5:2006 par. 4.4(2);
- χ (*Chi*) è il fattore di riduzione per instabilità del lato;
- $\Lambda_{p,red}$;
- viene indicato quindi se il lato è completamente o parzialmente reagente (*Fully / partially effective element*);
- è riportata la sua *area* reagente, che nel primo caso coincide con l'area totale di quel lato e

nel secondo caso è inferiore;

- è riportato inoltre il valore *Area,kgr*, cioè la porzione d'area legata ai segmenti *gr* eventualmente riaggiunti;
- b_{eff} è la larghezza efficace ai due estremi (*end 1* ed *end 2*);
- *uneffective width* è la larghezza non efficace.

Sono riportate le seguenti informazioni sugli irrigidimenti:

- *Start / end stiffener is in tension* se l'irrigidimento iniziale/finale è teso;
- *start/end stiffener will be/will not be modified* significa invece che l'irrigidimento iniziale/finale sarà/non sarà modificato: significa che l'irrigidimento in questione è compresso e sarà modificato o meno in base al raggiungimento dell'instabilità;
- sono riportati anche i valori di *As* e *Is*, rispettivamente l'area e il momento d'inerzia dell'irrigidimento che tende a sbandare;
- *K* è il ritegno offerto dalle altre parti, *s,cr* (σ_{cr}) la tensione elastica critica
- *lam,s* (λ_s) è la snellezza dell'irrigidimento.

- Effective area due to compression -	

Element	#1 : outstand element (stiffener) supported at end 2, free at end 1
b=	14.25 mm gr1=0.00 mm gr2=0.66 mm bP=13.59 mm t=1.50 mm bP:t =9.06
x1=	0.00 mm y1= 0.00 mm x2= 13.59 mm y2= 0.00 mm
sigma1=	-223.81 MPa sigma2= -223.81 Mpa
Ksigma=	0.50 Lambda,p= 0.45 Chi= 0.66 Lambda,p,red= 0.37 rho= 1.000
Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm ² (Area,kgr = 0.000e+000 mm ²)	
Element	#2 : doubly supported element
b=	78.50 mm gr1=0.66 mm gr2=0.66 mm bP=77.18 mm t=1.50 mm bP:t = 51.45
x1=	14.25 mm y1= 0.66 mm x2= 14.25 mm y2= 77.84 mm
sigma1=	-223.81 MPa sigma2= -223.81 Mpa stress ratio psi= 1.00
Ksigma=	4.00 Lambda,p= 0.91 rho= 0.836
Partially effective element. Area = 9.676e+001 mm ² (Area,kgr = 0.000e+000 mm ²)	
beff at end 1=32.254 mm -beff at end 2=32.254 mm -uneffective width =12.673 mm	
Element	#3 : doubly supported element
b=	78.50 mm gr1=0.66 mm gr2=0.66 mm bP=77.18 mm t=1.50 mm bP:t = 51.45

x1=	14.91 mm	y1=	78.50 mm	x2=	92.09 mm	y2=	78.50 mm
sigma1=	-223.81 MPa	sigma2=	-223.81 Mpa	stress ratio psi=	1.00		
Ksigma=	4.00	Lambda,p=	0.91	rho=	0.836		
Partially effective element. Area = 9.676e+001 mm ² (Area,kgr = 0.000e+000 mm ²)							
beff at end 1=32.254 mm -beff at end 2=32.254 mm -uneffective width =12.673 mm							
Element #4 : doubly supported element							
b=	78.50 mm	gr1=	0.66 mm	gr2=	0.66 mm	bP=	77.18 mm
t=	1.50 mm	bP:t =	51.45				
x1=	92.75 mm	y1=	77.84 mm	x2=	92.75 mm	y2=	0.66 mm
sigma1=	-223.81 MPa	sigma2=	-223.81 Mpa	stress ratio psi=	1.00		
Ksigma=	4.00	Lambda,p=	0.91	rho=	0.836		
Partially effective element. Area = 9.676e+001 mm ² (Area,kgr = 0.000e+000 mm ²)							
beff at end 1=32.254 mm -beff at end 2=32.254 mm -uneffective width =12.673 mm							
Element #5 : outstand element (stiffener) supported at end 1, free at end 2							
b=	14.25 mm	gr1=	0.66 mm	gr2=	0.00 mm	bP=	13.59 mm
t=	1.50 mm	bP:t =	9.06				
x1=	93.41 mm	y1=	0.00 mm	x2=	107.00 mm	y2=	0.00 mm
sigma1=	-223.81 MPa	sigma2=	-223.81 Mpa				
Ksigma=	0.50	Lambda,p=	0.45	Chi=	0.66	Lambda,p,red=	0.37
rho=	1.000						
Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm ² (Area,kgr = 0.000e+000 mm ²)							
Start stiffener will be modified (distorsional buckling).							
As=75.631 mm ² Is=1.152e+003 mm ⁴ K=2.030e-001 N/mm ² , s,cr= 185.273 MPa lam,s =1.13 Chi=0.66							
End stiffener will be modified (distorsional buckling).							
As=75.631 mm ² Is=1.152e+003 mm ⁴ K=2.030e-001 N/mm ² , s,cr= 185.273 MPa lam,s =1.13 Chi= 0.66							

Con lo stesso schema visto per il calcolo dell'area efficace a compressione, vengono riportati i dati relativi al calcolo del modulo efficace di resistenza a momento flettente M2 positivo.

- Effective bending modulus due to a positive M2 -							

Element #1 : outstand element (stiffener) supported at end 2, free at end 1							
b=	14.25 mm	gr1=	0.00 mm	gr2=	0.66 mm	bP=	13.59 mm
t=	1.50 mm	bP:t =	9.06				
x1=	0.00 mm	y1=	0.00 mm	x2=	13.59 mm	y2=	0.00 mm
sigma1=	-223.81 MPa	sigma2=	-223.81 Mpa				
Ksigma=	0.50	Lambda,p=	0.45	Chi=	0.79	Lambda,p,red=	0.40
rho=	1.000						
Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm ² (Area,kgr = 0.000e+000 mm ²)							
Element #2 : doubly supported element							
b=	78.50 mm	gr1=	0.66 mm	gr2=	0.66 mm	bP=	77.18 mm
t=	1.50 mm	bP:t =	51.45				
x1=	14.25 mm	y1=	0.66 mm	x2=	14.25 mm	y2=	77.84 mm
sigma1=	-220.81 MPa	sigma2=	130.30 Mpa	stress ratio psi=	-0.59		
Ksigma=	14.93	Lambda,p=	0.47	rho=	1.000		
Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm ² (Area,kgr = 0.000e+000 mm ²)							

```

Element      #3 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t =   51.45
x1=       14.91 mm  y1=       78.50 mm  x2=       92.09 mm  y2=       78.50 mm
sigma1=  133.29 MPa  sigma2=  133.29 Mpa  stress ratio psi=   0.00
Ksigma=  0.00      Lambda,p=  0.00      rho=   1.000
Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm² (Area,kgr=  0.000e+000 mm²)

Element      #4 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t =   51.45
x1=       92.75 mm  y1=       77.84 mm  x2=       92.75 mm  y2=       0.66 mm
sigma1=  130.30 MPa  sigma2= -220.81 Mpa  stress ratio psi=  -0.59
Ksigma= 14.93      Lambda,p=  0.47      rho=   1.000
Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm² (Area,kgr =  0.000e+000 mm²)

Element      #5 : outstand element (stiffener) supported at end 1, free at end 2
b=14.25 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.00 mm  bP=13.59 mm  t=1.50 mm  bP:t =9.06
x1=       93.41 mm  y1=       0.00 mm  x2=      107.00 mm  y2=       0.00 mm
sigma1= -223.81 MPa  sigma2= -223.81 Mpa
Ksigma=  0.50  Lambda,p=  0.45  Chi=   0.79  Lambda,p,red=   0.40  rho=   1.000
Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm² (Area,kgr =  0.000e+000 mm²)

Start stiffener will be modified (distorsional buckling).
As=49.510 mm² Is=9.857e+002 mm⁴ K=2.030e-001 N/mm², s,cr= 261.828 MPa lam,s =0.95 Chi=0.79

End stiffener will be modified (distorsional buckling).
As=49.510 mm² Is=9.857e+002 mm⁴ K=2.030e-001 N/mm², s,cr= 261.828 MPa lam,s =0.95 Chi=0.79

```

Lo stesso viene fatto per il momento flettente M2 negativo.

```

-----
- Effective bending modulus due to a negative M2 -
-----

Element      #1 : outstand element supported at end 2, free at end 1
b=14.25 mm  gr1=0.00 mm  gr2=0.66 mm  bP=13.59 mm  t=1.50 mm  bP:t =9.06
x1=       0.00 mm  y1=       0.00 mm  x2=       13.59 mm  y2=       0.00 mm
sigma1=  223.81 MPa  sigma2=  223.81 Mpa  stress ratio psi=   0.00
Ksigma=  0.00      Lambda,p=  0.00      rho=   1.000
Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm² (Area,kgr=  0.000e+000 mm²)

Element      #2 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t =   51.45
x1=       14.25 mm  y1=       0.66 mm  x2=       14.25 mm  y2=       77.84 mm
sigma1=  220.55 MPa  sigma2= -161.59 Mpa  stress ratio psi=  -1.36
Ksigma= 33.44      Lambda,p=  0.31      rho=   1.000
Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm² (Area,kgr =  0.000e+000 mm²)

```

```

Element      #3 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t =   51.45
x1=       14.91 mm  y1=       78.50 mm  x2=       92.09 mm  y2=       78.50 mm
sigma1= -164.85 MPa  sigma2= -164.85 Mpa  stress ratio psi=   1.00
Ksigma= 4.00      Lambda,p= 0.91      rho=   0.836
Partially effective element. Area = 9.676e+001 mm2 (Area,kgr = 0.000e+000 mm2)
beff at end 1=32.254 mm -beff at end 2=32.254 mm -uneffective width =12.673 mm

Element      #4 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t =   51.45
x1=       92.75 mm  y1=       77.84 mm  x2=       92.75 mm  y2=       0.66 mm
sigma1= -161.59 MPa  sigma2=  220.55 Mpa  stress ratio psi=  -1.36
Ksigma= 33.44      Lambda,p= 0.31      rho=   1.000
Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm2 (Area,kgr = 0.000e+000 mm2)

Element      #5 : outstand element supported at end 1, free at end 2
b=14.25 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.00 mm  bP=13.59 mm  t=1.50 mm  bP:t =9.06
x1=       93.41 mm  y1=       0.00 mm  x2=      107.00 mm  y2=       0.00 mm
sigma1=  223.81 MPa  sigma2=  223.81 Mpa  stress ratio psi=   0.00
Ksigma= 0.00      Lambda,p= 0.00      rho=   1.000
Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm2 (Area,kgr= 0.000e+000 mm2)

Start stiffener is in tension.
End stiffener is in tension.

```

Quindi per il momento flettente M3 positivo...

```

-----
- Effective bending modulus due to a positive M3 -
-----

Element      #1 : outstand element supported at end 2, free at end 1
b=14.25 mm  gr1=0.00 mm  gr2=0.66 mm  bP=13.59 mm  t=1.50 mm  bP:t =9.06
x1=       0.00 mm  y1=       0.00 mm  x2=      13.59 mm  y2=       0.00 mm
sigma1=  149.72 MPa  sigma2=  102.27 Mpa  stress ratio psi=   0.00
Ksigma= 0.00      Lambda,p= 0.00      rho=   1.000
Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm2 (Area,kgr= 0.000e+000 mm2)

Element      #2 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t =   51.45
x1=       14.25 mm  y1=       0.66 mm  x2=      14.25 mm  y2=      77.84 mm
sigma1=  100.29 MPa  sigma2=  137.63 Mpa  stress ratio psi=   0.00
Ksigma= 0.00      Lambda,p= 0.00      rho=   1.000
Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm2 (Area,kgr = 0.000e+000 mm2)

Element      #3 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t =   51.45
x1=       14.91 mm  y1=       78.50 mm  x2=       92.09 mm  y2=       78.50 mm

```

```

sigma1= 135.65 MPa sigma2= -133.79 Mpa stress ratio psi= -1.01
Ksigma= 24.25 Lambda,p= 0.37 rho= 1.000
Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm2 (Area,kgr= 0.000e+000 mm2)

Element #4 : doubly supported element
b=78.50 mm gr1=0.66 mm gr2=0.66 mm bP=77.18 mm t=1.50 mm bP:t = 51.45
x1= 92.75 mm y1= 77.84 mm x2= 92.75 mm y2= 0.66 mm
sigma1= -136.41 MPa sigma2= -173.74 Mpa stress ratio psi= 0.79
Ksigma= 4.47 Lambda,p= 0.86 rho= 0.883
Partially effective element. Area = 1.023e+002 mm2 (Area,kgr = 0.000e+000 mm2)
beff at end 1=35.827 mm -beff at end 2=32.351 mm -uneffective width = 9.004 mm

Element #5 : outstand element (stiffener) supported at end 1, free at end 2
b=14.25 mm gr1=0.66 mm gr2=0.00 mm bP=13.59 mm t=1.50 mm bP:t =9.06
x1= 93.41 mm y1= 0.00 mm x2= 107.00 mm y2= 0.00 mm
sigma1= -176.36 MPa sigma2= -223.81 Mpa
Ksigma= 0.50 Lambda,p= 0.45 Chi= 0.65 Lambda,p,red= 0.37 rho= 1.000
Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm2 (Area,kgr = 0.000e+000 mm2)

Start stiffener is in tension.
End stiffener will be modified (distorsional buckling).
As=75.816 mm2 Is=1.152e+003 mm4 K=2.030e-001 N/mm2, s,cr= 184.883 MPa lam,s =1.13 Chi=0.65

```

E per il momento flettente M3 negativo.

```

-----
- Effective bending modulus due to a negative M3 -
-----

Element #1 : outstand element (stiffener) supported at end 2, free at end 1
b=14.25 mm gr1=0.00 mm gr2=0.66 mm bP=13.59 mm t=1.50 mm bP:t =9.06
x1= 0.00 mm y1= 0.00 mm x2= 13.59 mm y2= 0.00 mm
sigma1= -223.81 MPa sigma2= -176.36 Mpa
Ksigma= 0.50 Lambda,p= 0.45 Chi= 0.65 Lambda,p,red= 0.37 rho= 1.000
Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm2 (Area,kgr = 0.000e+000 mm2)

Element #2 : doubly supported element
b=78.50 mm gr1=0.66 mm gr2=0.66 mm bP=77.18 mm t=1.50 mm bP:t = 51.45
x1= 14.25 mm y1= 0.66 mm x2= 14.25 mm y2= 77.84 mm
sigma1= -173.74 MPa sigma2= -136.41 Mpa stress ratio psi= 0.79
Ksigma= 4.47 Lambda,p= 0.86 rho= 0.883
Partially effective element. Area = 1.023e+002 mm2 (Area,kgr = 0.000e+000 mm2)
beff at end 1=32.351 mm -beff at end 2=35.827 mm -uneffective width = 9.004 mm

Element #3 : doubly supported element
b=78.50 mm gr1=0.66 mm gr2=0.66 mm bP=77.18 mm t=1.50 mm bP:t = 51.45
x1= 14.91 mm y1= 78.50 mm x2= 92.09 mm y2= 78.50 mm
sigma1= -133.79 MPa sigma2= 135.65 Mpa stress ratio psi= -1.01

```

Ksigma= 24.25	Lambda,p= 0.37	rho= 1.000
Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm ² (Area,kgr= 0.000e+000 mm ²)		
Element #4 : doubly supported element		
b=78.50 mm	gr1=0.66 mm	gr2=0.66 mm
bP=77.18 mm	t=1.50 mm	bP:t = 51.45
x1= 92.75 mm	y1= 77.84 mm	x2= 92.75 mm
y2= 0.66 mm		
sigma1= 137.63 MPa	sigma2= 100.29 Mpa	stress ratio psi= 0.00
Ksigma= 0.00	Lambda,p= 0.00	rho= 1.000
Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm ² (Area,kgr = 0.000e+000 mm ²)		
Element #5 : outstand element supported at end 1, free at end 2		
b=14.25 mm	gr1=0.66 mm	gr2=0.00 mm
bP=13.59 mm	t=1.50 mm	bP:t =9.06
x1= 93.41 mm	y1= 0.00 mm	x2= 107.00 mm
y2= 0.00 mm		
sigma1= 102.27 MPa	sigma2= 149.72 Mpa	stress ratio psi= 0.00
Ksigma= 0.00	Lambda,p= 0.00	rho= 1.000
Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm ² (Area,kgr= 0.000e+000 mm ²)		
Start stiffener will be modified (distorsional buckling).		
As=75.816 mm ² Is=1.152e+003 mm ⁴ K=2.030e-001 N/mm ² , s,cr= 184.883 MPa lam,s =1.13 Chi=0.65		
End stiffener is in tension.		

Viene riportata la classe calcolata per la sezione in esame.

The cross-section is in class 4

Infine, vengono riepilogati i valori salienti della sezione: l'area efficace A_{eff} , gli shift della sezione efficace lungo gli assi principali (e_{N2} , e_{N3}), i moduli di resistenza positivo e negativo della sezione efficace per flessione attorno all'asse 2 (W_{eff2p} e W_{eff2m}) e i corrispondenti valori rispetto all'asse 3 (W_{eff3p} e W_{eff3m}).

Aeff	: effective area
eN2	: shift of effective section center along axis 2
eN3	: shift of effective section center along axis 3
Weff2p	: effective modulus for positive bending M2
Weff2m	: effective modulus for negative bending M2
Weff3p	: effective modulus for positive bending M3
Weff3m	: effective modulus for negative bending M3

Aeff= 2.927e+002 mm ²	eN2= 0.000e+000 mm	eN3= 4.278e+000 mm
Weff2p= 6.006e+003 mm ³	Weff2m= 6.941e+003 mm ³	
Weff3p= 6.830e+003 mm ³	Weff3m= 6.830e+003 mm ³	

SEZIONI COMPOSTE DA ANGOLARI (DIALOGO)

Questo dialog è usato per le sezioni composte da angolari. Assume diversi aspetti a seconda del tipo di sezione composta per la quale è usato. Sono possibili tre casi:

Sezioni composte ad L

L 30x20x3 L

☐ Lato lungo

1 d

Nessun Nome

OK Aggiorna Cancel

38.4	A	0	it
354	J2	49.303621	w2
777.2602	J3	74.024781	w3
12.666	Jt	49.303621	wpl2
3.0362394	i2	74.024781	wpl3
4.4990165	i3	780	U

Due angolari a T

Sezioni composte ad L

L 30x20x3 L

☐ Lato lungo

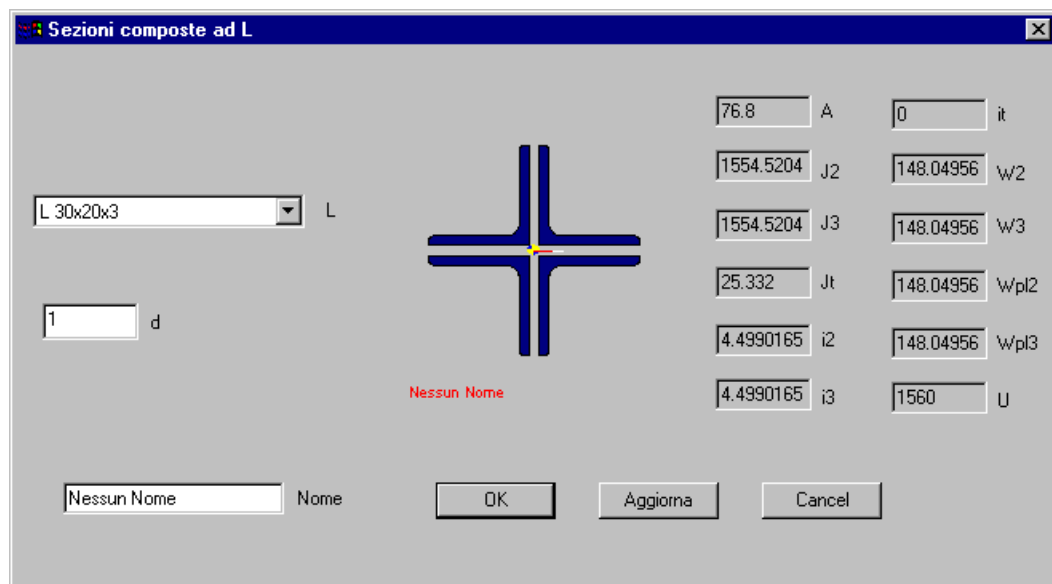
1 d

Nessun Nome

OK Aggiorna Cancel

38.4	A	0	it
992.5204	J2	127.60325	w2
562	J3	79.478804	w3
12.666	Jt	127.60325	wpl2
5.0839832	i2	79.478804	wpl3
3.8256263	i3	780	U

Due angolari a croce



Quattro angolari a croce

In tutti i casi occorre selezionare dalla lista l'angolare base da usare per comporre la sezione. Il tasto **Aggiorna** aggiorna i dati di conseguenza. La distanza d viene data per stabilire la distanza interna tra gli spigoli, che nelle sezioni a croce è sempre eguale nelle due direzioni. La distanza d viene tenuta in conto nel calcolo delle proprietà.

Nel caso della sezione a T occorre specificare se il lato di contatto è quello lungo o quello corto. Questa informazione è ovviamente superflua nel caso di angolari a lati eguali.

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)^[629].

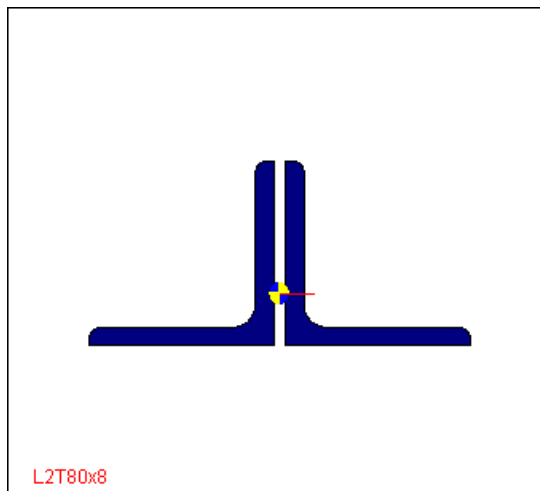
CROSS-SECTIONS COMPOSED BY ANGLES (DETAILS)

[2 Angles back to back \(|| \)](#)^[629]

[2 Angles cross layout \(+\)](#)^[630]

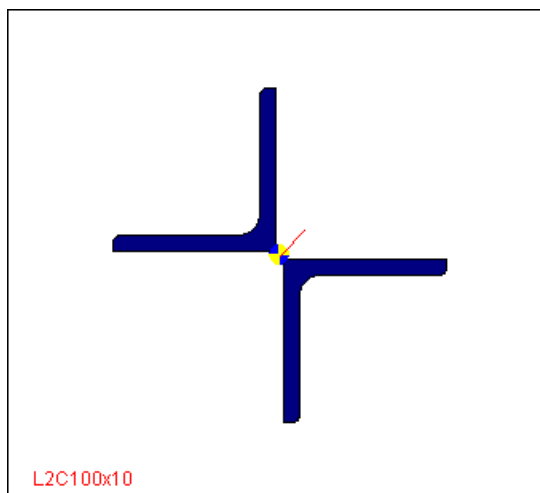
[4 Angles cross layout \(+\)](#)^[631]

2 ANGLES BACK TO BACK (||)



These composed cross-sections are defined by three input data: the name of the composing cross-section; the side (long or short) of contact; the net internal distance between the two composing cross-sections, d . The distance is kept into account when computing composed cross-section properties.

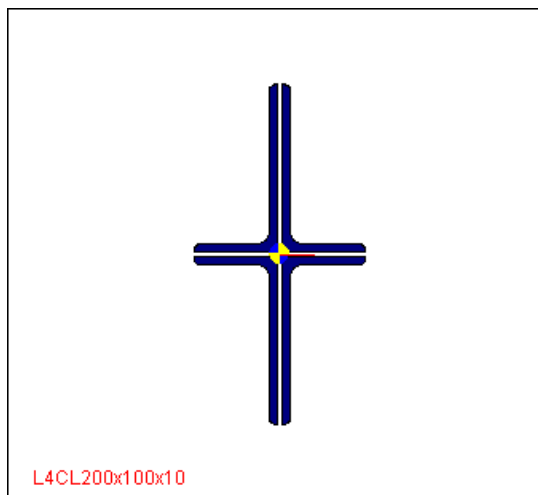
2 ANGLES CROSS LAYOUT



These composed cross sections are defined by the name of the composing cross-section, and by the net distance d between the composing cross-sections (it is assumed that the internal

corners of the composing cross-sections lay over a square having side-length equal to d). The distance is kept into account when computing the composed cross-section properties.

4 ANGLES COMPOSED, CROSS LAYOUT



These composed cross-sections are defined by the name of the composing cross-section and by the net distance d between the composing cross-sections (it is assumed that the internal corners of the composing cross-sections lay over a square having side length equal to d). The distance is kept into account when computing the composed cross-section properties.

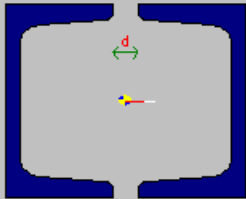
SEZIONI COMPOSTE DA CANTONALI (DIALOGO)

Questo dialog è usato per le sezioni composte da angolari. Assume diversi aspetti a seconda del tipo di sezione composta per la quale è usato. Sono possibili due casi:

Sezioni composte ad U

d

U



Nessun Nome

2200	A	12.990381	it
2120000	J2	53000	w2
3160550	J3	63211	w3
43200	Jt	53000	wpl2
31.042493	i2	78100	wpl3
37.902687	i3	7800	U

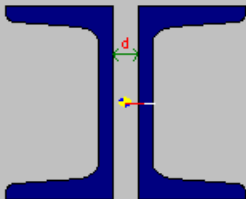
Nome

Due cantonali a ||

Sezioni composte ad U

d

U



Nessun Nome

2200	A	12.990381	it
2120000	J2	53000	w2
1224550	J3	24491	w3
43200	Jt	53000	wpl2
31.042493	i2	42900	wpl3
23.592660	i3	7800	U

Nome

Due cantonali a]]

In tutti i casi occorre selezionare dalla lista il cantonale base da usare per comporre la sezione. Il tasto **Aggiorna** aggiorna i dati di conseguenza. La distanza d viene data per stabilire la distanza interna tra gli spigoli. La distanza d viene tenuta in conto nel calcolo delle proprietà.

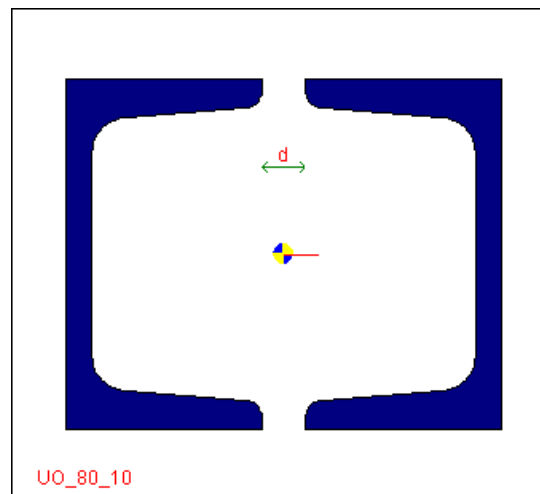
Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)⁶³³.

SECTION COMPOSED BY CHANNELS (DETAILS)

[2 Channels \[\]](#)  633

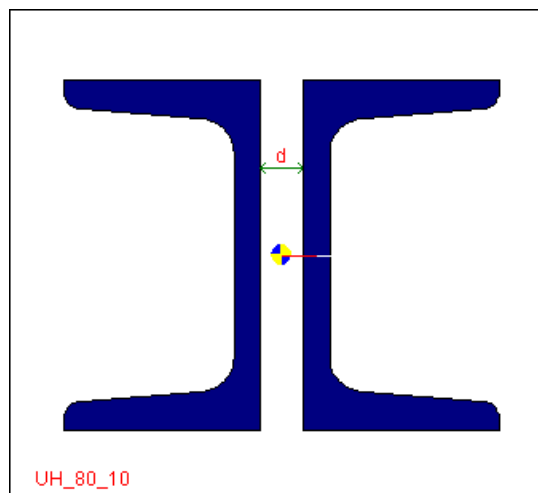
[2 Channels \] \[](#)  633

2 CHANNELS []



These cross-sections are defined by the name of the channel used to compose them, and by the clear internal distance between the two cross-sections. The distance is kept into account when computing the cross-section properties.

2 CHANNELS] [



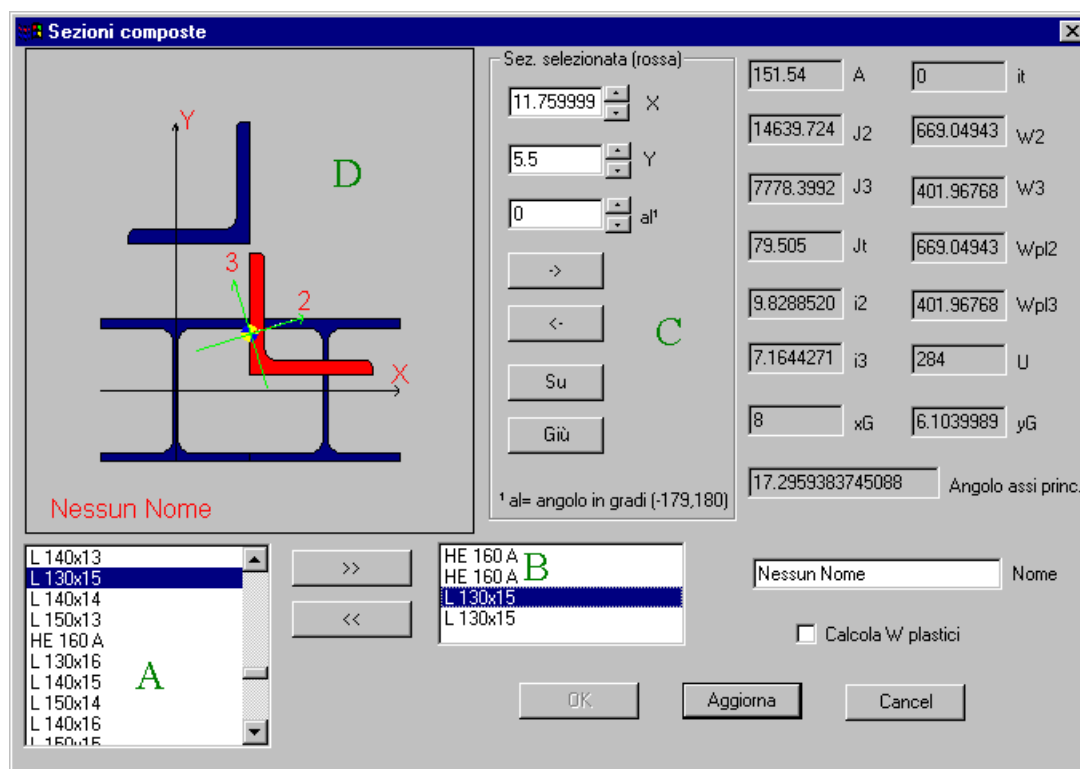
These cross-sections are defined by the name of the channel used to compose them, and by the internal distance d between the two composing cross-sections. The distance is kept into account when computing the cross section properties.

SEZIONI COMPOSTE GENERICHE E SEZIONI MISTE (DIALOGO)

Questo importante dialog è la sede ove vengono introdotti i dati relativi alle sezioni composte ed è quindi un vero e proprio ambiente di lavoro. Il dialog è usato anche per restituire informazioni sulla sezione.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

Se il dialog viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.



Significato ed uso dei controlli

Controllo A (vedi disegno)

Qui vengono listate tutte le sezioni disponibili, ovvero tutte le sezioni che possono essere usate per comporre la nuova sezione. Le sezioni disponibili sono quelle che erano state estratte al momento della richiesta di aggiungere una nuova sezione composta generica. Pertanto, prima di richiedere l'aggiunta è necessario estrarre dall'archivio un gruppo di sezioni che contenga quelle che si intendono usare. Tra le sezioni che si possono usare vi sono le sezioni composte e quelle formate a freddo, sicchè è possibile avere sezioni composte da sezioni composte e sezioni composte da formate a freddo (anche miste con laminate e saldate).

Controllo B (vedi disegno)

Qui vengono elencate le sezioni che compongono la sezione, vale a dire le sezioni scelte sino

al momento attuale (o tutte le sezioni, dipende). La sezione selezionata (in blu) è quella che viene colorata di rosso nel disegno della sezione complessiva.

Pulsante >>

Serve ad aggiungere la sezione selezionata nel controllo A alle sezioni componenti (controllo B).

Pulsante <<

Serve ad rimuovere la sezione selezionata nel controllo B, ovvero ad eliminare una delle sezioni componenti.

Controlli nella zona C (vedi disegno)

Questi controlli vengono usati per muovere la sezione selezionata nel controllo B. I controlli “X”, “Y” ed “al” indicano la coordinata X e quella Y del baricentro della sezione selezionata e l’angolo al di rotazione degli assi di riferimento della sezione selezionata rispetto agli assi globali della sezione composta (si veda l’[articolo](#)¹⁰⁸⁹ che descrive il problema). I pulsanti “->”, “<-“, “Su” e “Giù” servono a traslare la sezione selezionata di una quantità tale da far sì che la sezione sia tangente ad una delle altre sezioni. La direzione dipende dal pulsante. L’uso di questi pulsanti è molto comodo perchè consente di posizionare rapidamente nella posizione corretta le sezioni componenti.

Controllo “calcola W plastici”

Se questo controllo è attivato (segno di spunta presente) il calcolo della situazione corrente includerà il procedimento iterativo per il calcolo dei moduli plastici (si veda l’[articolo](#)¹⁰⁸⁹ che descrive il problema). Si consiglia di attivare il controllo solo dopo aver completato la descrizione della sezione, altrimenti il movimento delle sezioni risulta rallentato. Dopo aver fatto il segno di spunta occorre premere il tasto **Aggiorna**. Se il calcolo dei moduli plastici non viene richiesto, questi vengono posti eguali ai moduli elastici.

Tasto Aggiorna

E' usato per aggiornare i dati di calcolo dopo una variazione che non comporti l'aggiornamento automatico. Se ad esempio si modifica manualmente il valore dei dati riportati nei controlli "X", "Y", "al", o si modifica il valore del controllo "calcola W plastici", dopo di ciò occorre aggiornare i dati con il tasto **Aggiorna**.

Come si aggiungono le sezioni composte

Dopo aver scelto l'insieme delle sezioni componenti si sceglie di aggiungere una sezione composta e ci si trova di fronte a questo dialog.

Le sezioni componenti vengono scelte dal controllo A e inserite nel controllo B usando il tasto ">>". A questo punto si seleziona ciascuna sezione e la si posiziona ove desiderato usando i controlli nella zona C. Particolarmente utili sono i tasti che cercano le condizioni di tangenza, poichè di solito i fili delle varie sezioni sono tra loro allineati. Se si vuole sostituire una sezione aggiunta, prima la si deve rimuovere usando il tasto "<<", poi si aggiunge la sezione desiderata al suo posto.

Se nel corso del lavoro di posizionamento delle sezioni si transita per una situazione fisicamente inammissibile (sezioni sovrapposte o incluse), il tasto "OK" diviene grigio, ad indicare che la sezione non può essere accettata.

Nel muovere le sezioni si tenga presente che le coordinate della sezione corrente sono le coordinate del suo baricentro rispetto agli assi di riferimento globali (si veda l'[articolo](#)¹⁰⁸⁹ che descrive il problema).

Se si vogliono avere informazioni di dettaglio su una delle sezioni componenti si può fare doppio click sulla corrispondente sezione (ciò vale sia per il controllo A che per il controllo B).

Una volta ottenuta la sezione desiderata, si seleziona "Calcola W plastici" e si preme il tasto **Aggiorna**. I valori dei W plastici vengono in tal modo aggiornati e risultano – naturalmente – sempre maggiori dei corrispondenti moduli elastici.

La ricerca dei moduli plastici non è sempre un problema banale. Può capitare che l'algoritmo

di calcolo non converga, segnalando il problema. In genere ciò capita quando l'asse neutro plastico capita in una zona ove sono presenti raccordi o curve brusche. In genere su sezioni dotate di un asse di simmetria il problema non compare.

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)^[646].

NOTA IMPORTANTE DI AGGIORNAMENTO

Sezioni composte

Sez. selezionata (rossa)

0 X
0 Y
0 al'

-> <-
Su Giù

Materiale
Rbk250
Cambia...

1 al= angolo in gradi (-179,180)

21322.519 A 0 it
575509376 J2 856739.56 W2
558061376 J3 687553.43 W3
20489040 Jt 856739.56 Wpl2
164.28842 i2 687553.43 Wpl3
161.77883 i3 3900 U
0 xG -156.90360 yG
0 X2 0 X3
0 Angolo assi princ.
Nessun Nome Nome
☐ Calcola W plastici

Sezioni Miste
E' mista se è premuto
Materiale di riferimento
Fe360 Cambia...

IPE 270
IPE 300
IPE 330
IPE 360
IPE 400
IPE 450
IPE 500
IPE 550
IPE 600
SOLETTA 500x10
RECT90x74

>>
<<
OK
Cancel
Aggiorna

Nessun Nome

A partire dal novembre 2004 queste sezioni sono state ulteriormente ampliate per comprendere anche le sezioni miste. In sostanza le sezioni che compongono il profilo composto possono opzionalmente ricevere anche un materiale, e ciascuna, in generale, un materiale diverso.

Occorre poi scegliere un materiale di riferimento per la sezione composta finale, materiale rispetto al quale verranno omogeneizzate tutte le quantità di calcolo.

Per il calcolo dell'area, del baricentro, dei momenti di inerzia si usa il coefficiente di

omogeneizzazione dato da $Kel=E/Er$, dove Er è il modulo di Young del materiale di riferimento.

Per il calcolo dei moduli di resistenza elastici, il calcolo è fatto in modo tale che moltiplicando **W per la tensione di snervamento del materiale di riferimento f_{yr}** , si ottenga il momento di prima plasticizzazione della sezione, ovvero il momento al limite elastico (nel primo punto che arriva allo snervamento, qualsiasi sia il suo materiale).

$$M_{el} = W * f_{yr}$$

In pratica

$$W = \text{Min}\{ (J_{om} * K_{pl}) / (d * Kel) \}$$

Dove:

- J_{om} è il momento di inerzia omogeneizzato rispetto all'asse principale considerato;
- K_{pl} è il rapporto tra la tensione di snervamento del materiale del punto considerato e la tensione di snervamento del materiale di riferimento;
- Kel è il rapporto tra il modulo di Young del materiale del punto considerato ed il modulo di Young del materiale di riferimento;
- d è la distanza del punto considerato dall'asse principale considerato.

Per il calcolo dei moduli di resistenza plastici, si fa in pratica il calcolo dei W plastici omogeneizzando le aree con il fattore K_{pl} , in modo che, moltiplicando il W_{pl} **per la tensione di snervamento del materiale di riferimento** si ottenga il momento di piena plasticizzazione della sezione.

$$M_{pl} = f_{yr} * W$$

E' da notare che non è necessario che alcuna delle sezioni abbia il materiale di riferimento, e quindi si può omogeneizzare rispetto a qualsiasi materiale.

I dati di moduli di elasticità e di tensione di snervamento sono quelli che figurano nell'archivio, senza l'applicazione di alcun coefficiente moltiplicativo.

Inquadrimento “teorico”

Il tipo sezionale “composte generiche” consente ora di definire sezioni miste, ovvero sezioni composte da diverse sezioni ciascuna delle quali di un materiale differente, tutte ricadenti nell’ipotesi di piena aderenza e di mantenimento delle sezioni piane.

Si possono così descrivere sezioni miste acciaio calcestruzzo, acciaio legno, con vari tipi di calcestruzzo o quel che si vuole.

Tutte le caratteristiche della sezione verranno riportate ad un materiale equivalente, rispetto al quale verranno omogeneizzate le varie parti componenti. Non è necessario che una sezione tra le componenti debba essere costituita del materiale di riferimento.

I materiali delle sezioni componenti vengono presi dall’archivio, che quindi deve contenerli. Detti:

n il numero di sezioni presenti

E_r il modulo di elasticità normale del materiale di riferimento

E_i il modulo di elasticità normale del materiale generico del generico punto i

σ_{yr} la tensione di snervamento del materiale di riferimento

σ_{yi} la tensione di snervamento del materiale generico del generico punto i di riferimento

K_{ei} = E_i/E_r

K_{pli} = $\sigma_{yi} / \sigma_{yr}$

Si ha

$$\begin{aligned}
 A &= \sum_i^n \int_{A_i} K_{ei} dA \\
 S_x &= \sum_i^n \int_{A_i} y K_{ei} dA \\
 S_y &= \sum_i^n \int_{A_i} x K_{ei} dA \\
 x_g &= S_y / A \\
 y_g &= S_x / A \\
 I_x &= \sum_i^n \int_{A_i} y^2 K_{ei} dA \\
 I_y &= \sum_i^n \int_{A_i} x^2 K_{ei} dA
 \end{aligned}$$

$$I_{xy} = \sum_i^n \int_{A_i} xy K_{sli} dA$$

Dopo di che per le vie normali si trovano gli assi principali ed i momenti di inerzia J_2 e J_3 rispetto agli assi principali.

Relativamente ai moduli di resistenza W , questi sono definiti in modo tale che essi, moltiplicati per la tensione di snervamento del materiale di riferimento, portino la sezione, in qualche suo punto, di qualche materiale, al primo snervamento.

In pratica, dato il punto P_i , avente materiale i , e detta d la distanza dall'asse principale considerato, si ha

Tensione nel punto come se fosse del materiale di riferimento:

$$\sigma_r = Md/J$$

Tensione omogeneizzata (la vera tensione del materiale reale in quel punto):

$$\sigma_i = MK_{eli}d/J$$

La condizione limite si ha quando tale tensione è eguale allo snervamento del materiale "i", e quindi:

$$MK_{eli}d/J = K_{pli}\sigma_{yr}$$

Il momento che attinge tale valore è dato da

$$M = (K_{pli}J/dK_{eli})\sigma_{yr}$$

Quindi il modulo di resistenza della sezione mista è dato, al variare dei punti i , dal minimo valore di

$$W = \min\{K_{pli}J/dK_{eli}\}$$

Con tale assunzione, il momento al limite elastico della sezione si ottiene nel solito modo, $M = W\sigma_{yr}$.

Per quanto riguarda i moduli plastici, questi sono ottenuti omogeneizzando le aree con K_{pl} anziché con K_{el} , e vale la seguente formula:

$$M_{pl} = W_{pl} \sigma_{yr}$$

Cioè, il momento di piena plasticizzazione della sezione si ottiene moltiplicando W_{pl} per la tensione di snervamento del materiale di riferimento.

Vale ora la pena di dire alcune cose sull'uso di questi dati.

Con le sezioni miste occorre regolarsi in questo modo. Le sezioni vanno attribuite agli elementi nel modo consueto, ma per avere senso l'uso di queste sezioni deve essere fatto assegnando come materiale a queste sezioni solo ed unicamente il materiale di riferimento, vale a dire il materiale rispetto al quale le caratteristiche sezionali sono state omogeneizzate.

Con questa avvertenza, le sezioni miste possono essere usate al pari delle altre, ed il comportamento elastico delle travi miste può essere correttamente modellato, in modo da giungere a sollecitazioni e spostamenti coerenti con la teoria.

Per quanto riguarda i risultati ottenibili successivamente, occorre osservare quanto segue.

I valori di tensione (N/A), (M/W) e ($N/A + M/W$) non hanno alcun senso, in quanto la tensione ottenuta è una tensione ideale omogeneizzata, vale a dire che è la tensione che si avrebbe nel punto di prima plasticizzazione se questo fosse costituito dal materiale di riferimento, cosa che in generale non è vera.

Una stima indiretta del grado di sfruttamento della sezione in campo elastico è data dalla seguente quantità adimensionale:

$$sfr = \left| \frac{N}{N_{el}} \right| + \left| \frac{M_2}{M_{2el}} \right| + \left| \frac{M_3}{M_{3el}} \right| = \left| \frac{N}{A_{el} \sigma_{yr}} \right| + \left| \frac{M_2}{W_{2el} \sigma_{yr}} \right| + \left| \frac{M_3}{W_{3el} \sigma_{yr}} \right|$$

nella quale i W sono i W calcolati dal programma e già descritti precedentemente come W elastici, mentre A_{el} è un'area omogeneizzata definita in modo tale da ottenere l'azione

assiale di prima plasticizzazione quando moltiplicata per σ_{yr} .

Posto

$$N = \sum_{i=1}^n \int_{A_i} (\varepsilon E_i) dA = \varepsilon \left(\sum_{i=1}^n \int_{A_i} E_i dA \right) = \varepsilon E_r \left(\sum_{i=1}^n \int_{A_i} K_{\varepsilon ii} dA \right) = \varepsilon E_r A$$

dove A è l'area omogeneizzata calcolata dal programma, l'azione assiale di prima plasticizzazione si ottiene imponendo che la tensione normale nel generico punto sia eguale a quella di snervamento, e prendendo l'azione assiale minima:

$$\varepsilon = \frac{N}{E_r A}$$

$$\sigma_i = E_i \frac{N}{E_r A} = \sigma_{yi}$$

dalla precedente si ottiene nel generico punto

$$N = A \frac{K_{pli}}{K_{\varepsilon ii}} \sigma_{yr}$$

e quindi

$$A_{\varepsilon i} = A \min \left\{ \frac{K_{pli}}{K_{\varepsilon ii}} \right\}$$

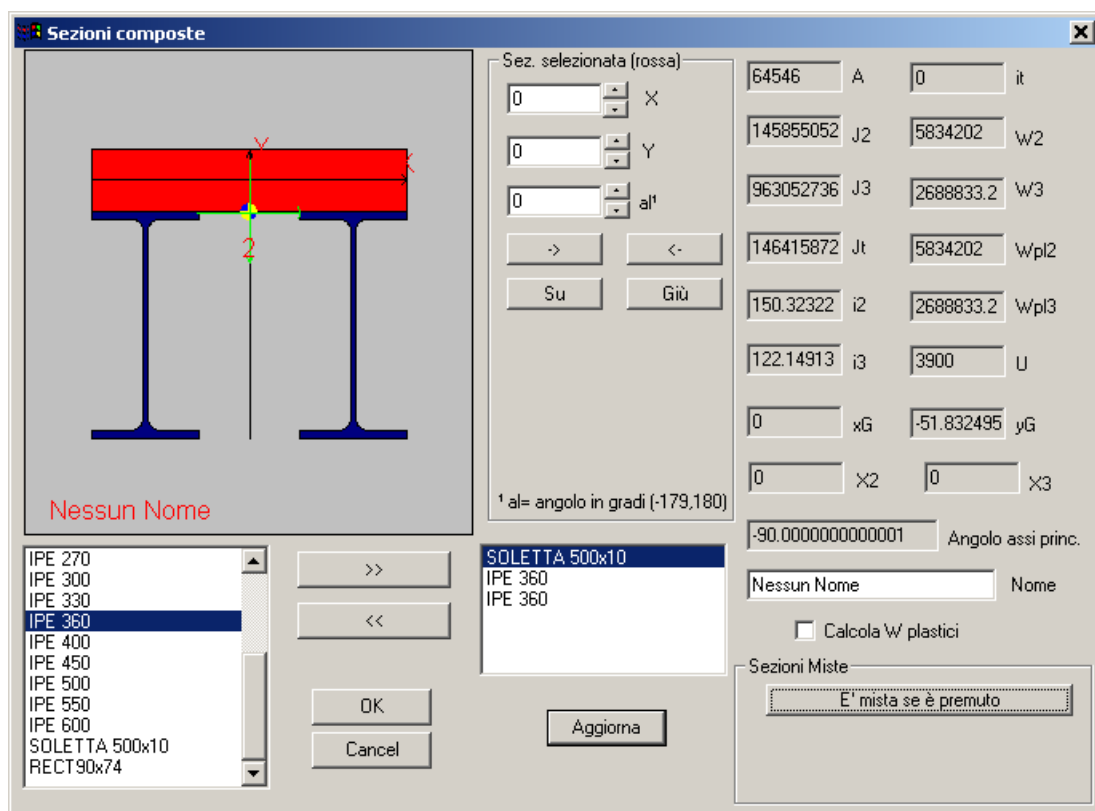
L'azione assiale di piena plasticizzazione, si ottiene invece dalla seguente relazione

$$A_{pi} = \sum_i \int_{A_i} K_{pi} dA$$

Con questi risultati possiamo ora scrivere un coefficiente di sfruttamento plastico nel seguente modo:

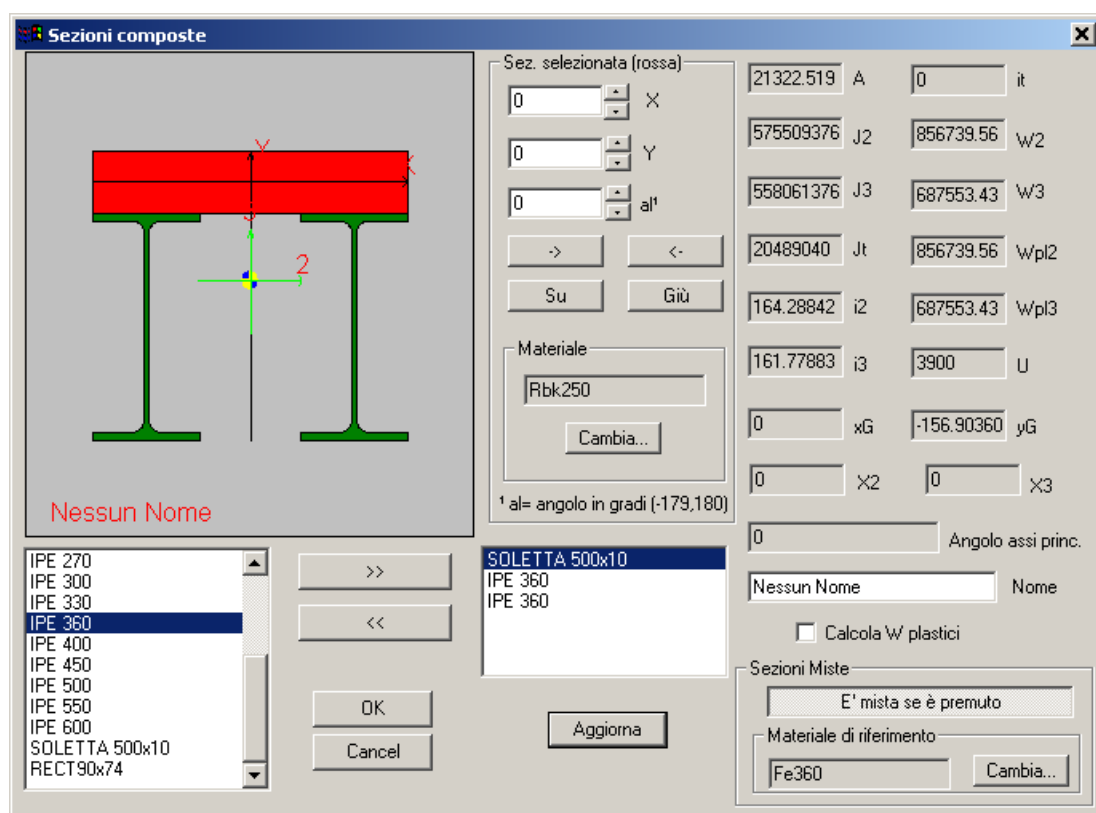
$$sf^* = \left| \frac{N}{N_{pi}} \right| + \left| \frac{M_2}{M_{2pi}} \right| + \left| \frac{M_3}{M_{3pi}} \right| = \left| \frac{N}{A_{pi} \sigma_{yr}} \right| + \left| \frac{M_2}{W_{2pi} \sigma_{yr}} \right| + \left| \frac{M_3}{W_{3pi} \sigma_{yr}} \right|$$

SEZIONI MISTE NOTE OPERATIVE

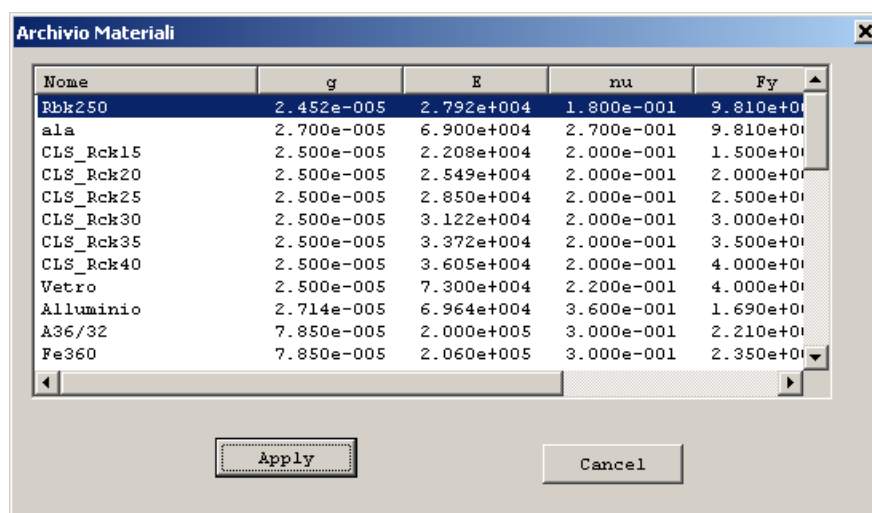


In pratica i controlli sono stati riposizionati per far posto ad un primo button, che è il button “**E’ mista se è premuto**”. Il button inizialmente si presenta non premuto, ed il dialog appare come nella figura precedente. Alla pressione del button il dialog appare come nella figura seguente, e vengono svelati i controlli necessari a definire:

- Il materiale di riferimento per la sezione complessiva (button **Cambia** nel riquadro in basso).
- Il materiale di cui è costituita la generica sezione in rosso, quella selezionata (button **Cambia** nel riquadro che contiene i controlli di traslazione e rotazione).



Bisognerà definire il materiale di riferimento ed il materiale di ogni singola sezione che compone la sezione complessiva pescando nel modo consueto, mediante il dialog mostrato successivamente, dalla lista dei materiali presenti in archivio.

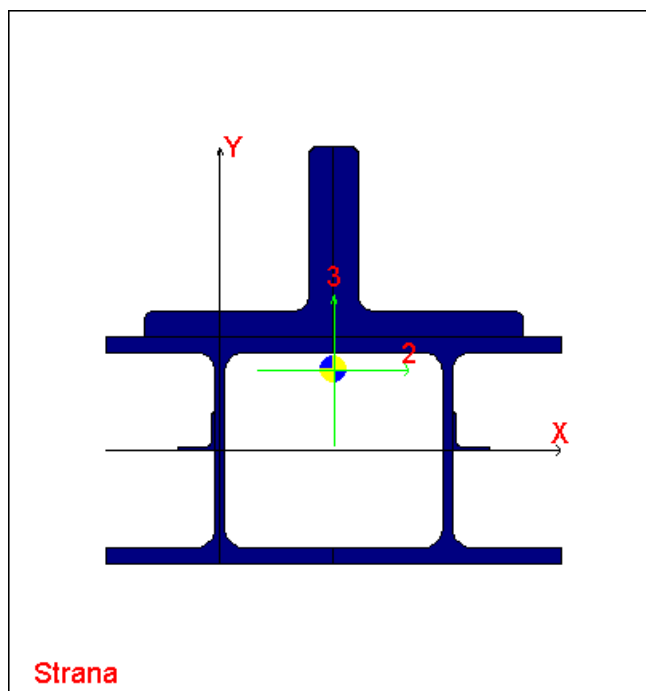


Sia le sezioni componenti che i materiali componenti devono già essere in archivio prima

della esecuzione del command.

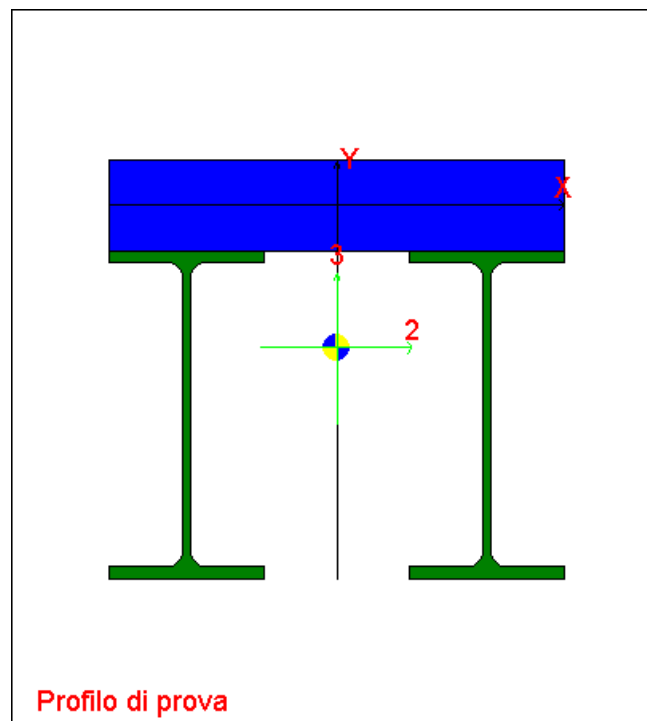
Per il calcolo dei moduli plastici occorrerà selezionare la casellina di spunta corrispondente e premere il tasto aggiorna.

GENERIC COMPOSED CROSS-SECTIONS (DETAILS)



SAMBA is able to describe generic composed cross-sections. This means that it is possible to describe cross-sections got by assembling a free number of elementary cross-section, by defining their position in a plane (rotation and translation).

It is also possible to define composed cross-sections of composed cross-sections.



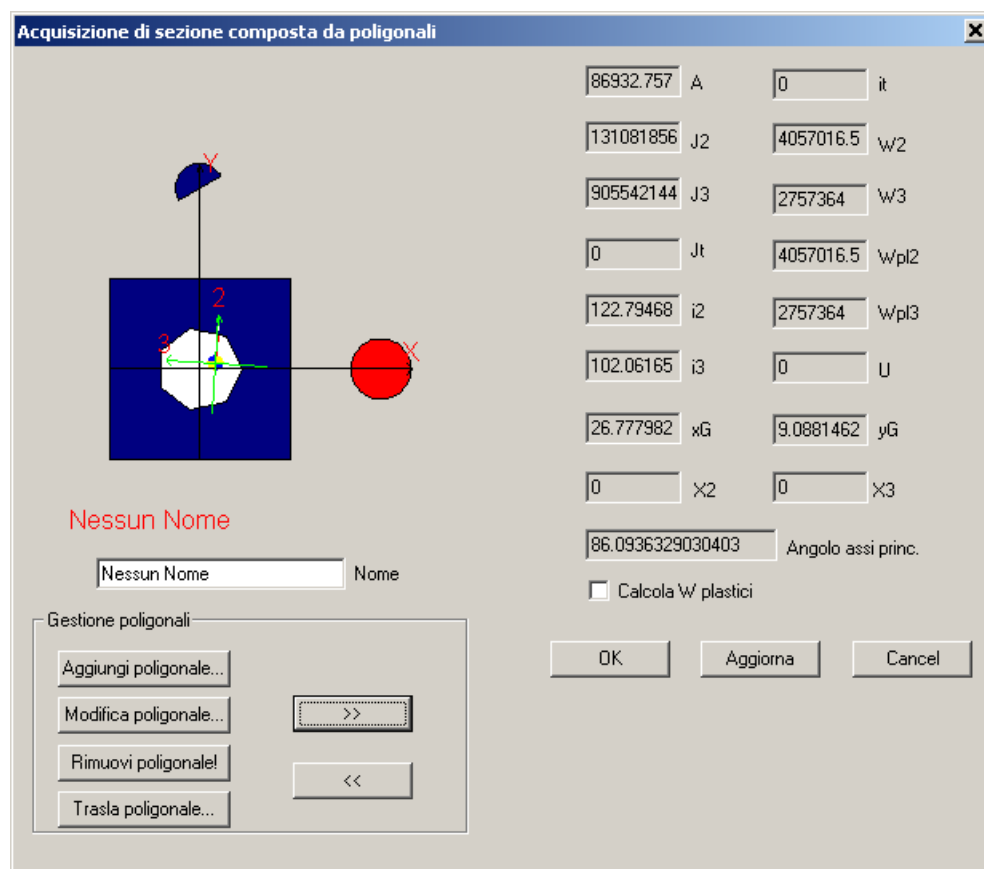
Since November 2004 Samba also manages mixed cross-sections (with an arbitrary high number of materials) as a particular case of generic composed cross-sections.

SEZIONI COMPOSTE DA POLIGONALI (DIALOGO)

Questo importante dialog è la sede ove vengono introdotti i dati relativi alle sezioni ottenute per riunione di poligonali generiche ed è quindi un vero e proprio ambiente di lavoro. Il dialog è usato anche per restituire informazioni sulla sezione.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

Se il dialog viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.



L'aggiunta di una poligonale viene fatta premendo il pulsante “**Aggiungi poligonale**”, il quale pulsante porta ad un successivo [dialog](#)^[649] che consente di definire una poligonale. Al termine del dialog si viene richiesti di specificare se la poligonale rappresenta un pieno o un vuoto. I pulsanti “>>” e “<<” selezionano una delle poligonali che compongono la sezione, consentendo di passare da una all'altra. La poligonale correntemente selezionata è disegnata con il suo interno in rosso.

Il pulsante “**Modifica Poligonale...**” consente di rieditare la poligonale correntemente selezionata, riaffluendo al dialog che descrive una singola poligonale.

Il pulsante “**Rimuovi Poligonale!**” cancella la poligonale correntemente selezionata.

Il pulsante “**Trasla Poligonale...**” consente di specificare un vettore traslazione da applicare alla poligonale correntemente selezionata.

Se si desidera calcolare anche i W plastici, occorre apporre il segno di spunta sulla casella “**Calcola W Plastici**” eppoi premere il tasto **Aggiorna**.

Si deve scegliere per la sezione un nome non duplicato rispetto a quello delle altre sezioni presenti in Archivio.

Le quote vengono fornite nella unità di misura attiva.

Il momento di inerzia torsionale non può essere calcolato automaticamente dal programma stante la generalità del problema (occorrerebbe risolvere una equazione differenziale alle derivate parziali sul dominio e comunque si disporrebbe della sola torsione primaria). E' dunque compito dell'utente assegnare un ragionevole valore per il momento di inerzia torsionale e per il raggio di inerzia torsionale.

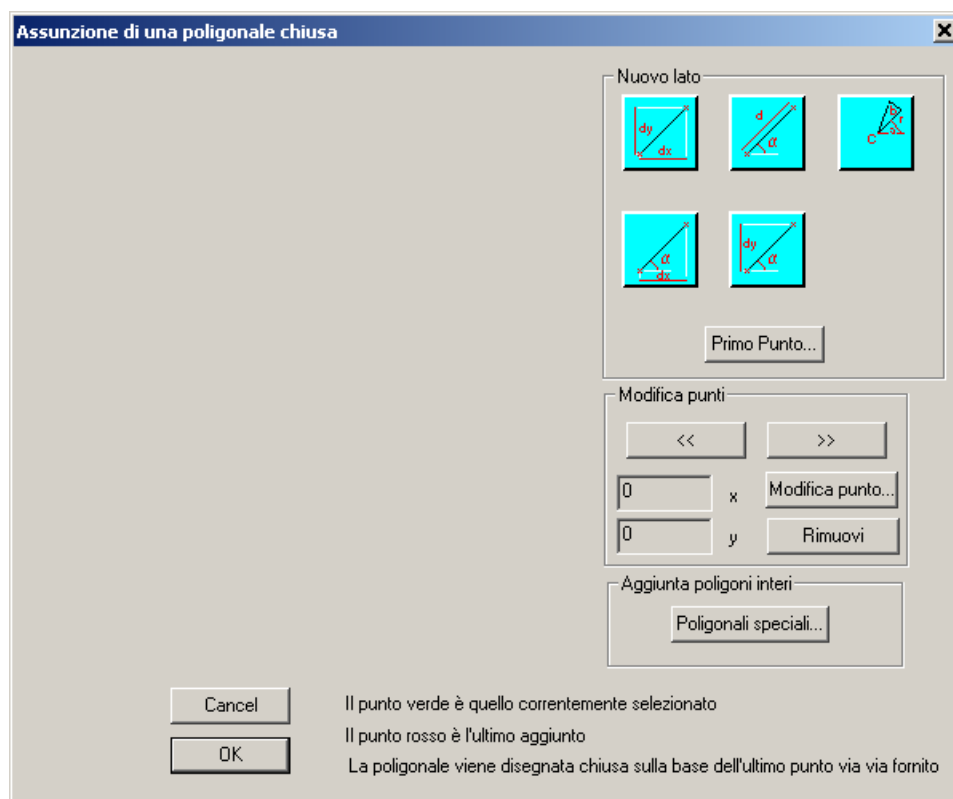
Il calcolo dei moduli di resistenza plastici è invece eseguito automaticamente dal programma, pur di attivare la corrispondente casella di spunta. Si innesca un procedimento iterativo che consente di valutare i moduli di resistenza plastici.

ASSUNZIONE DI UNA POLIGONALE CHIUSA (DIALOGO)

Questo dialog è un ambiente di lavoro per la definizione di poligoni chiusi.

Il principio di base è che si aggiungono punti via via in modo da fornire una poligonale. Il primo e l'ultimo punto vengono congiunti in modo automatico in modo da chiudere la poligonale.

Al principio la finestra si presenta come segue:

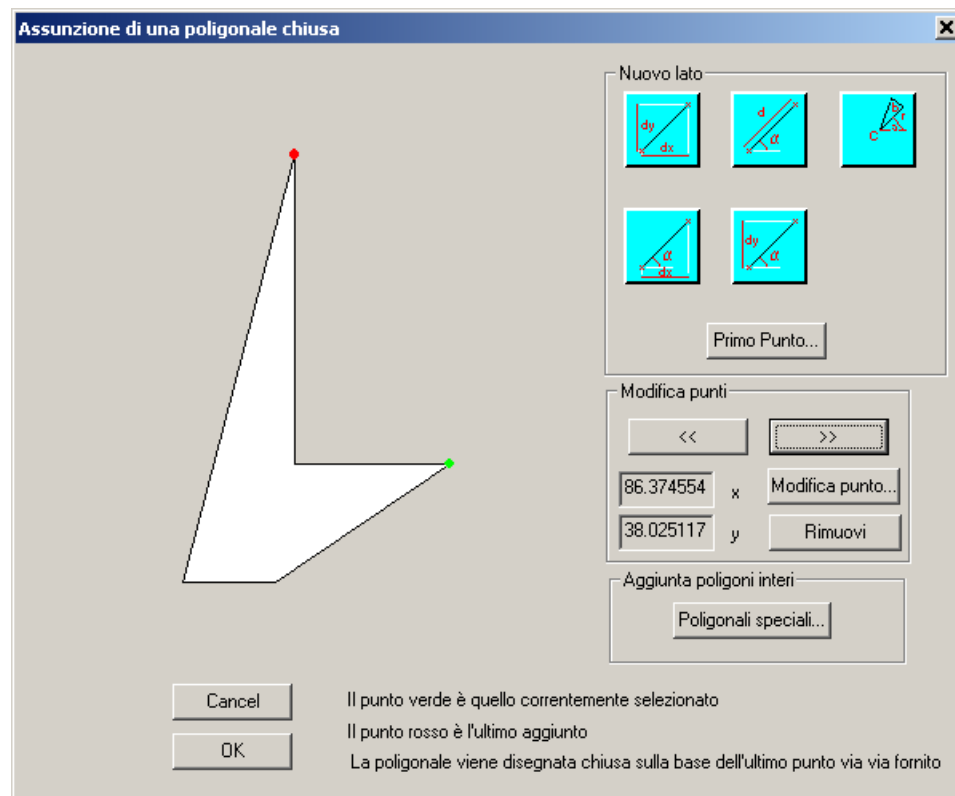


Se la poligonale che si intende aggiungere appartiene ad una delle tipologie previste come standard, allora premere il pulsante **Poligoni Speciali** per raggiungere il [dialog specifico](#)^[652] per le poligonali speciali. Le poligonali speciali consentono di definire rapidamente cerchi, rettangoli, semicerchi orientati o poligoni regolari orientati.

Se invece la poligonale è generica, allora si faranno le seguenti operazioni.

1. Si daranno le coordinate del primo punto (nella unità di misura attiva).
2. Si daranno i successivi punti premendo i bottoni con sfondo azzurro. Questi bottoni consentono di dare i punti in diversi modi. Le prime due colonne di bottoni consentono di dare le coordinate del punto successivo all'ultimo aggiunto per mezzo delle coordinate relative all'ultimo punto. Tali coordinate possono essere cartesiane (dx , dy), polari (d , α) o miste (α , dx) (α , dy). L'angolo α è in gradi, positivo se antiorario e con 0 corrispondente ad un segmento orizzontale. L'ultima colonna consente di introdurre un arco, mediante le coordinate del centro, il raggio, l'angolo di apertura iniziale e finale ed il numero di suddivisioni. All'aggiunta di un arco corrisponde l'aggiunta di tutti i punti che stanno sull'arco ai punti già

correntemente presenti nella poligonale.



Dati i punti è possibile muoversi da un punto all'altro usando il button "<<" o il button ">>".

L'ultimo punto aggiunto ha un pallino rosso. Il punto correntemente selezionato ha un pallino verde. Le coordinate del punto correntemente selezionato sono mostrate nelle caselle x ed y.

Se si vogliono modificare le coordinate di un punto selezionato, occorre premere il pulsante **"Modifica punto..."**.

Per rimuovere un punto selezionato (in verde) occorre premere il pulsante **"Rimuovi"**.

L'aggiunta dei poligoni speciali può essere fatta anche nel mezzo dell'inserimento di una poligonale generica. Si tenga presente che i punti della poligonale speciale verranno aggiunti all'ultimo punto della poligonale corrente. Se ad esempio la poligonale generica era fatta così (P1, P2, P3) e la poligonale speciale è fatta così (Q1, Q2, Q3, Q4), al termine la poligonale sarà (P1, P2, P3, Q1, Q2, Q3, Q4).

SPECIAL POLYGONS INPUT (DIALOG)

Acquisizione di poligoni speciali

Rettangolo con centro in (A,B), base C altezza D

Cerchio con centro in (A,B), raggio C, numero di suddivisioni pari a D

Semicerchio con centro in (A,B), raggio C, numero di suddivisioni pari a D, angolo del diametro sull'orizzontale pari a E (in gradi)

Poligono regolare con centro in (A,B), raggio pari a C, numero di lati pari a D, angolo sull'orizzontale in gradi del primo vertice pari a E

Dati

0 A

0 B

0 C

0 D

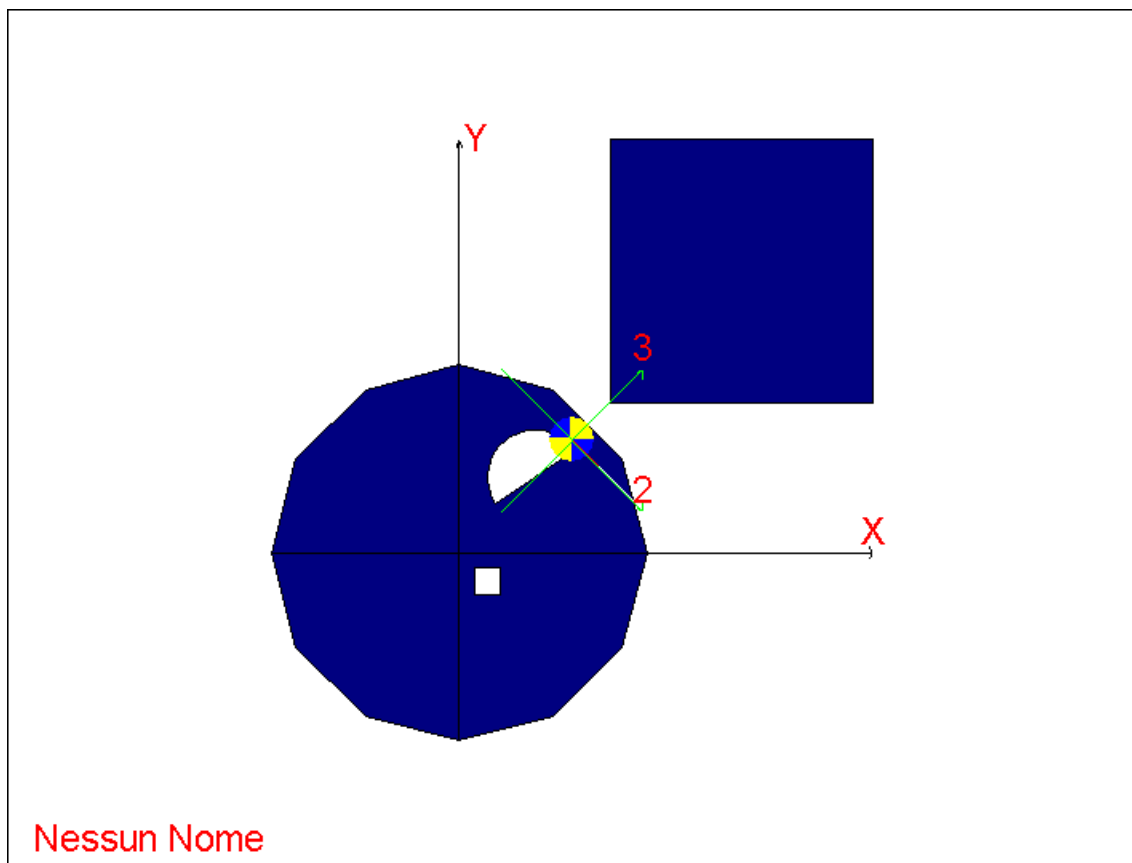
0 E

Cancel

This dialog is used to define closed special polygons of several types. The data in the edit boxes must be input depending on the meaning, which in turn depends on the special polygon chosen. Once the input data are filled, the user presses one of the buttons related to a special polygon, and the special polygon is added.

The angles are always in degrees, positive if counterclockwise. A 0 angle is related to an horizontal segment, pointing rightward.

SEZIONI POLI ottenute da una riunione di poligoni generiche (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate da una serie di poligonali ciascuna delle quali può rappresentare un pieno o un vuoto. La classe di sezioni generabile con questo modello è vastissima.

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * l'area complessiva deve essere maggiore di zero.
- * Nessuna poligonale deve risultare tangente o intersecare un'altra poligonale.
- * Nessun vuoto può contenere un pieno
- * Nessun pieno può essere contenuto all'interno di un pieno
- * Nessun vuoto può essere contenuto all'interno di un vuoto

Il momento di inerzia torsionale non può essere calcolato automaticamente dal programma stante la generalità del problema (occorrerebbe risolvere una equazione differenziale alle derivate parziali sul dominio e comunque si disporrebbe della sola torsione primaria). E'

dunque compito dell'utente assegnare un ragionevole valore per il momento di inerzia torsionale.

Il calcolo dei moduli di resistenza plastici è invece eseguito automaticamente dal programma, pur di attivare la corrispondente casella di spunta. Si innesca un procedimento iterativo che consente di valutare i moduli di resistenza plastici.

SEZIONI GENERICHE (DIALOGO)

Questo dialog consente sia di avere informazioni di dettaglio su una sezione totalmente generica, sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Per *sezione totalmente generica* si intende qui una sezione della quale siano note esclusivamente le proprietà statiche, senza alcun dettaglio sulla reale conformazione della sezione stessa.

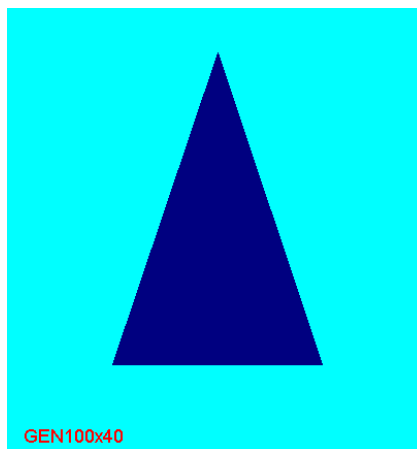
Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

Se il dialog viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo

grigio e non possono essere modificate.

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#) .

SEZIONI GENERICHE (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate direttamente dai loro valori di area e dai loro momenti di inerzia. Sono sezioni che non sono riducibili a nessuno dei tipi previsti dal programma. I parametri da introdurre coincidono con i parametri calcolati per tutte le altre sezioni, precisamente essi sono:

F	area
J2	momento di inerzia rispetto all'asse principale 2
J3	momento di inerzia rispetto all'asse principale 3
Jt	momento di inerzia torsionale
i2	raggio di inerzia intorno all'asse principale 2
i3	raggio di inerzia intorno all'asse principale 3
U	superficie di verniciatura
Cm	costante di ingobbamento (=Iw)
W2	modulo elastico di resistenza per flessioni intorno all'asse 2
W3	modulo elastico di resistenza per flessioni intorno all'asse 3

Wpl2	modulo plastico di resistenza per flessioni intorno all'asse 2
Wpl3	modulo plastico di flessione per flessioni intorno all'asse 3

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

* tutti i parametri devono essere maggiori di zero.;

3.6.6.1.2 Shape Archive (Dialog)

SHAPE ARCHIVE (DIALOG)

This dialog is used to browse the cross-sections "extracted" from the archive, choose one, and apply it to the currently selected elements (beams or trusses). To assign the cross-section choose **Apply**.

If the current orientation of axis 2 is not the desired one, it is possible to rotate the local tern by an angle that must be input in degrees, and that it is considered as a rotation to apply to the couple of axes 2-3, about axis 1. It will be used right hand rule (positive angles counterclockwise).

If a not null angle is input, the new axis 2 vector will be automatically be computed for each element, and this new vector will be set in the element orientation data. The orientation code is set to 2 and no third node is used anymore, had it been defined previously.

3.6.6.2 Modify Section...

COMMAND: Edit-Proprietà-Modifica Sezione...

Questo command consente di accedere all' archivio delle sezioni presenti nel modello, di scegliere una sezione e di modificarla direttamente senza passare dall'archivio.

Appena eseguito il command compare una finestra di dialog ([Archivio sezioni](#)^[657]) che lista i profili presenti nel modello. Scelto un profilo con il button Applica o facendo doppio click sulla riga corrispondente, si apre una finestra (diversa a seconda del tipo prescelto) che

consente di modificare il nome o le quote del profilo.

Due fondamentali osservazioni aiuteranno ad impiegare questo utile command:

1. La sezione modificata non è mai quella dell'archivio generale ma solo la sua copia presente nel modello sul quale si sta lavorando;
2. E' necessario prestare la massima attenzione nella modifica di profili standard. Il programma non può controllare questi profili e quindi spetta all'utente evitare di modificare profili normati (ad esempio IPE300). In generale se si modifica un profilo normato **si raccomanda di modificarne anche il nome** onde evitare spiacevoli qui pro quo o pericolosi fraintendimenti.

Type: modal

Destination: document

3.6.6.2.1 Shape Archive (Dialog)

SHAPE ARCHIVE (DIALOG)

This dialog is used to browse the cross-sections "extracted" from the archive, choose one, and apply it to the currently selected elements (beams or trusses). To assign the cross-section choose **Apply**.

If the current orientation of axis 2 is not the desired one, it is possible to rotate the local tern by an angle that must be input in degrees, and that it is considered as a rotation to apply to the couple of axes 2-3, about axis 1. It will be used right hand rule (positive angles counterclockwise).

If a not null angle is input, the new axis 2 vector will be automatically be computed for each element, and this new vector will be set in the element orientation data. The orientation code is set to 2 and no third node is used anymore, had it been defined previously.

3.6.6.3 Material...

COMMAND: Edit-Proprietà-Materiali...

Questo command consente, premendo *Sì* nel dialog che compare, di accedere ad un archivio di materiali, di scegliere un materiale e di applicarlo agli elementi selezionati. In alternativa, premendo *No*, si può definire un nuovo materiale indicandone i vari parametri.

Se si sceglie di scorrere gli archivi, compare una finestra di dialog ([Accesso archivio materiali](#)^[659]) che dà accesso ad un archivio di materiali. Due sono gli archivi disponibili: l'archivio generale e l'archivio del modello. Una volta scelto l'archivio che si vuole scorrere, e fissati dei filtri che i materiali debbono soddisfare, Sargon consente di scegliere un materiale e di applicarlo agli elementi correntemente selezionati. Ciò viene fatto con il dialog [Archivio materiali](#)^[660].

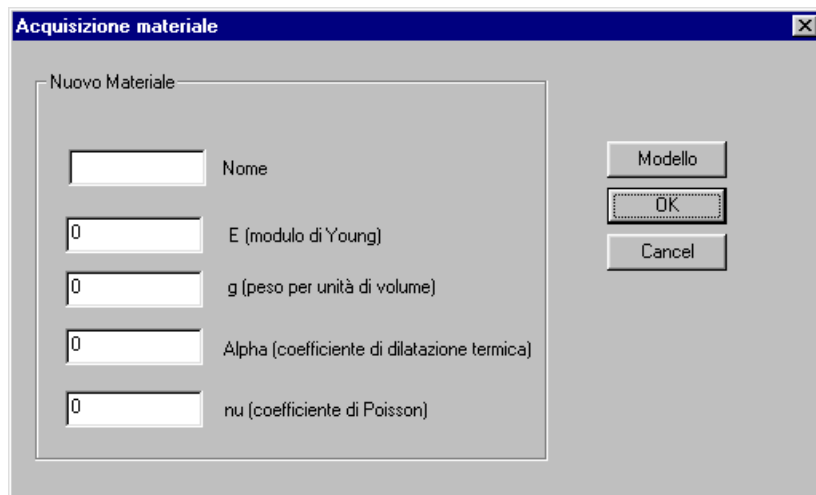
Se si sceglie di definire un nuovo materiale, si accede al dialog [Dati di un Materiale](#)^[661].

Type: modal

Destination: document

COMMAND: Edit-proprietà-Materiali... (POLISAR)

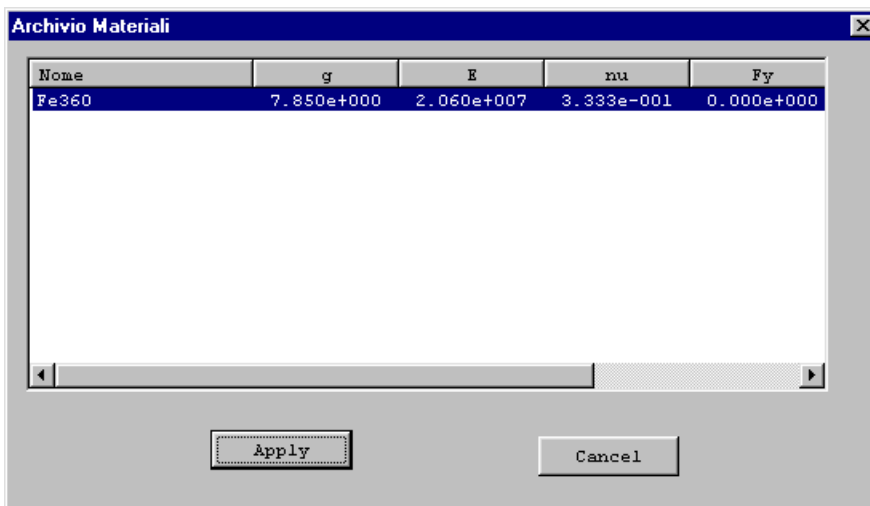
Questo command consente di assegnare un materiale in POLISAR. Alla esecuzione del command compare il dialog seguente:



The "Acquisizione materiale" dialog box is used to define a new material. It features a group box titled "Nuovo Materiale" containing five input fields, each with a label to its right. The labels are: "Nome", "E (modulo di Young)", "g (peso per unità di volume)", "Alpha (coefficiente di dilatazione termica)", and "nu (coefficiente di Poisson)". The first field is empty, while the others contain the value "0". To the right of the input fields are three buttons: "Modello", "OK", and "Cancel".

Field	Label	Value
<input type="text"/>	Nome	
<input type="text" value="0"/>	E (modulo di Young)	0
<input type="text" value="0"/>	g (peso per unità di volume)	0
<input type="text" value="0"/>	Alpha (coefficiente di dilatazione termica)	0
<input type="text" value="0"/>	nu (coefficiente di Poisson)	0

Se il materiale da assegnare non è mai stato attribuito allora occorre fornire tutti i dati richiesti usando le unità di misura correnti. Se invece il materiale è già stato assegnato allora basta premere il pulsante “Modello” e sceglierlo mediante il dialog seguente:

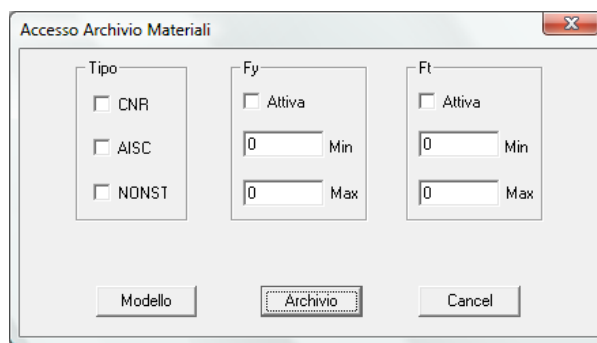


The "Archivio Materiali" dialog box displays a list of materials in a table. The table has five columns: "Nome", "g", "E", "nu", and "Fy". The first row of data is highlighted in blue and shows the material "Fe360" with values 7.850e+000, 2.060e+007, 3.333e-001, and 0.000e+000. Below the table is a horizontal scrollbar. At the bottom of the dialog are two buttons: "Apply" and "Cancel".

Nome	g	E	nu	Fy
Fe360	7.850e+000	2.060e+007	3.333e-001	0.000e+000

3.6.6.3.1 Material archive access (Dialog)

ACCESSO ARCHIVIO MATERIALI (DIALOGO)



Questo dialog consente di scorrere un opportuno archivio di materiali. L'archivio può essere quello generale ([Archivio](#)⁶⁶⁰) o, per l'uso in cui SAMBA è un componente di Sargon quello del modello corrente ([Modello](#)⁶⁶⁰).

L'accesso all'archivio avviene con i filtri di **Type**, **Fy** ed **Ft** specificati.

Type: nazionalità della norma che fa riferimento al materiale

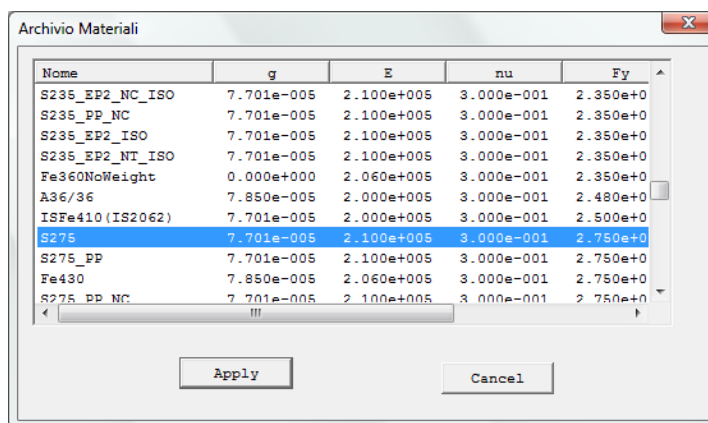
Fy: tensione di snervamento. Per attivare questo filtro occorre fare una spunta su **attiva**

Ft: tensione di rottura. Per attivare questo filtro occorre fare una spunta su **attiva**.

Se non c'è filtro verranno presentati tutti i materiali dell'archivio prescelto. Se c'è un filtro verranno presentati solo i materiali che soddisfano il filtro (del tipo scelto e con Fy e Ft comprese tra i valori scelti).

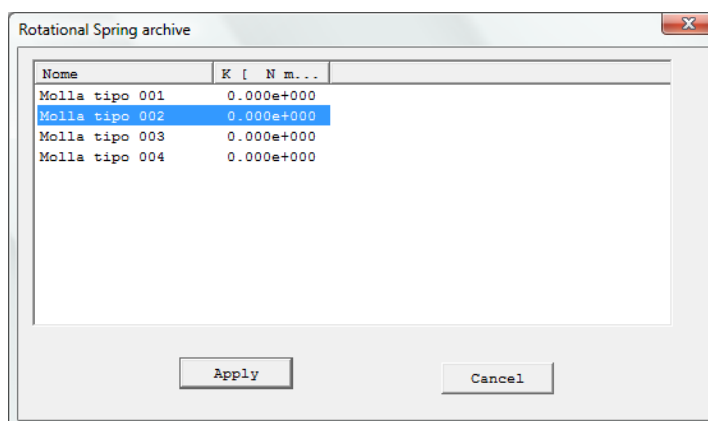
3.6.6.3.1.1 Material Archive (Dialog)

MATERIAL ARCHIVE (DIALOG)



This dialog lists materials. By selecting one of them and pressing **Apply** or, equivalently, double clicking over a material, the chosen material is applied to the selected elements, if a material assignment is taking place. If on the other hand a material modification command has been executed, [material data](#)^[66] are listed so as to modify them.

The same dialog is also used to list the rotational springs of the model. If this is the case, the dialog title is different (it gets *Rotational Springs Archive*).



3.6.6.3.2 Material Data (Dialog)

DATI DI UN MATERIALE

The dialog box titled "Dati di un Materiale" contains the following fields and labels:

- Nome: S275
- g (peso per unità di volume): 7.701e-005
- E (modulo di Young): 210000
- nu (coefficiente di Poisson): 0.3
- Fy (tensione di snervamento): 275
- Ft (tensione di rottura): 430
- alpha (coefficiente di dilatazione termica): 1.2e-005
- Buttons: Non linearità..., OK, Cancel

Questo dialog consente di aggiungere un nuovo materiale all'archivio, modificare un materiale esistente o avere informazioni su un materiale esistente.

Se i campi hanno sfondo grigio non possono essere modificati.

Il significato dei simboli è il seguente:

- Nome nome del materiale (max 20 caratteri)
- G peso per unità di volume nelle unità attive
- E modulo di elasticità di Young nelle unità attive
- Nu coefficiente di Poisson
- Fy tensione di snervamento o di limite elastico nelle unità attive
- Ft tensione di rottura o tensione ultima nelle unità attive
- Alpha coefficiente di dilatazione termica nelle unità attive

Il button "Non linearità" fa accedere a un opportuno [property sheet](#)⁶⁶³ in cui vanno definite le caratteristiche dei materiali non lineari.

3.6.6.3.2.1 Material Data (Property page)

MATERIAL DATA (PROPERTY PAGE)

Dati sul materiale | Legge monoassiale | Plasticità

Natura del materiale

- ☒ Sconosciuto
- ☐ Acciaio
- ☐ Acciaio inox
- ☐ Alluminio
- ☐ Calcestruzzo
- ☐ Legno
- ☐ Terreno
- ☐ Roccia
- ☐ Vetro

Identificatore parte non lineare

Descrizione

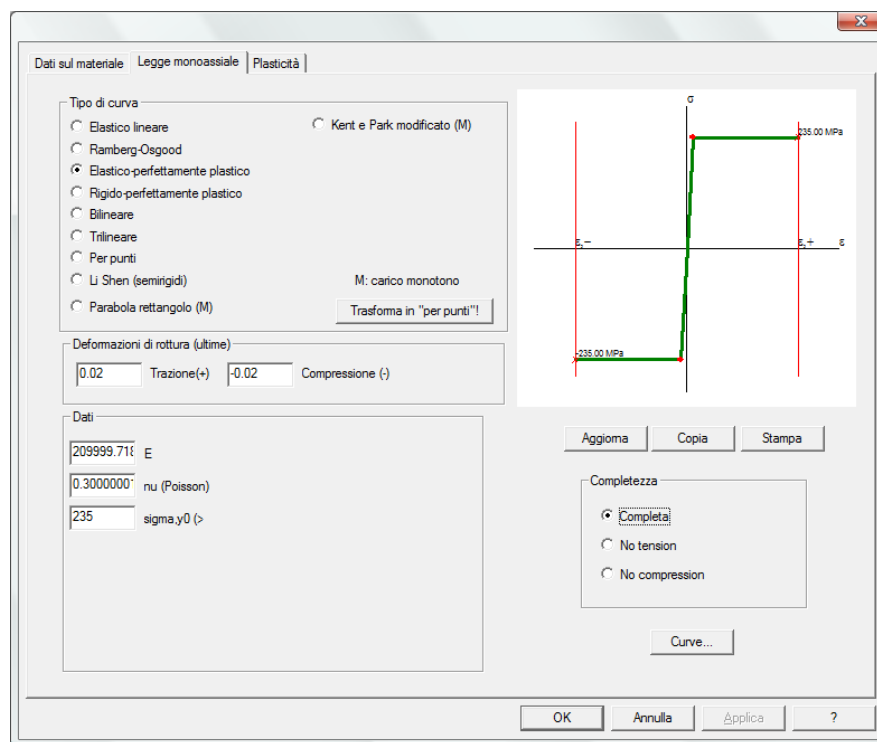
No description

OK Annulla Applica ?

This property page is used to set a material kind (steel, timber, concrete, and so on), a non-linear part identifier, and a description of the material.

3.6.6.3.2.2 Uniaxial Law (Property page)

LEGGE MONOASSIALE (PROPERTY PAGE)



In questa property page si definisce la **legge costitutiva monoassiale del materiale**. La stessa pagina viene utilizzata per definire uno **svincolo semirigido nonlineare**. Sono disponibili leggi costitutive elastiche lineari, elastiche non lineari, elasto-plastiche e rigido-plastiche. Vedremo in seguito le varie leggi nel dettaglio. Ognuna di queste leggi può essere completa, no tension o no compression.

L'immagine sulla destra viene aggiornata con la pressione del button sottostante, in funzione dei parametri definiti. L'immagine può essere copiata negli appunti o mandata direttamente in stampa.

Deformazioni di rottura ultime

Tutte le leggi costitutive utilizzano le deformazioni ultime positiva (di trazione) e negativa (di compressione). Nel caso in cui il materiale sia elastico lineare, esso trova comunque un limite nel raggiungimento delle deformazioni ultime: se queste vengono raggiunte il materiale “si rompe” la tensione precipita a zero e l'elemento non reagisce più (se si tratta del punto di Gauss di un elemento, è questo ad essere inattivato). Pertanto la simulazione di un materiale elastico indefinitamente elastico deve essere ottenuta mediante la impostazione di elevate deformazioni di rottura. Il valore proposto è 0,02, corrispondente a

$210000 \times 0,02 = 4200 \text{ MPa}$ per un acciaio normale. Se il materiale è plastico, il flusso plastico viene interrotto al raggiungimento della deformazione limite, innescando la rottura.

Completezza

Tutte le leggi costitutive possono essere opzionalmente rese no tension o no compression. Se non viene raggiunta la deformazione ultima in caso di inversione del carico il materiale può ricominciare a reagire ove il segno della deformazione si inverte. Se invece viene raggiunta la deformazione ultima, allora anche un'eventuale inversione di segno lascia inalterato lo stato di rottura.

Dati

Questa sezione è variabile e vengono richiesti parametri diversi in funzione del tipo di curva che si sceglie.

Type di curva

In base alla curva che si sceglie, nella sezione Dati verranno richiesti opportuni parametri. Le curve disponibili sono le seguenti. Per una loro descrizione teorica si rimanda alla voce [Analisi non lineari con il solutore CURAN](#)^[187].

- ***Elastica lineare (indefinitamente elastica)***

L'indefinitamente è legato alla ampiezza delle deformazioni ultime. Vanno definiti il modulo di elasticità E e il coefficiente di Poisson ν .

- ***Ramberg-Osgood (elasticità non lineare)***

Questa legge è individuata dai seguenti parametri:

E	modulo di elasticità in fase lineare
ν	coefficiente di Poisson
K	vedi formula
n	vedi formula

La legge di Ramberg-Osgood è una legge di tipo elastico non lineare descritta dalla seguente equazione:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \left(\frac{\sigma}{K} \right)^{\frac{1}{n}}$$

Per una descrizione più dettagliata dell'equazione e del suo significato si rimanda a alla sezione dedicata al solutore non lineare [CURAN](#)^[188].

- ***Elastica-perfettamente plastica***

Questa legge è individuata dai seguenti parametri:

E modulo di elasticità in fase lineare

σ_y tensione di snervamento

ν coefficiente di Poisson

Il flusso plastico avviene senza incrudimento.

- ***Rigida-perfettamente plastica***

Questa legge è individuata dai seguenti parametri:

σ_y tensione di snervamento

ν coefficiente di Poisson

Numericamente la rigidità infinita è simulata con $E = 1.e12$.

- ***Bilineare (elasto-plastica)***

Questa legge è individuata dai seguenti parametri:

ν coefficiente di Poisson

ε_1 deformazione allo snervamento

σ_1 tensione allo snervamento

ε_2 deformazione estrema

σ_2 tensione corrispondente alla deformazione estrema

Non sono ammesse estrapolazioni, quindi è buona cosa far corrispondere la deformazione estrema con la deformazione ultima. Si assume che la legge – se non si è attivata l'opzione no tension o no compression – sia simmetrica.

Il tipo di incrudimento può essere isotropo, cinematico o misto.

- ***Trilineare (elasto-plastica)***

Questa legge è individuata dai seguenti parametri:

ν	coefficiente di Poisson
ϵ_1	deformazione allo snervamento
σ_1	tensione allo snervamento
ϵ_2	deformazione intermedia
σ_2	tensione corrispondente alla deformazione intermedia
ϵ_3	deformazione estrema
σ_3	tensione corrispondente alla deformazione estrema

Non sono ammesse estrapolazioni, quindi è buona cosa far corrispondere la deformazione estrema con la deformazione ultima. Si assume che la legge – se non si è attivata l'opzione no tension o no compression – sia simmetrica.

Il tipo di incrudimento può essere isotropo, cinematico o misto.

- ***Per punti (elasto-plastica)***

In questo caso, oltre al coefficiente di Poisson (ν), si danno tante coppie di valori (ϵ , σ) tanti sono i punti definiti. Deve sempre essere inclusa l'origine. I punti sono ordinati per deformazioni crescenti (prima le massime deformazioni negative, poi le negative, poi l'origine, poi le deformazioni positive, poi la massima deformazione positiva).

Non sono ammesse estrapolazioni, quindi è buona cosa far corrispondere la deformazione estrema (positiva e negativa) con la deformazione ultima.

Il tipo di incrudimento può essere isotropo, cinematico o misto.

Per inserire un nuovo punto bisogna riempire i campi "Eps" e "Sigma", quindi premere il button "Aggiungi". Un punto avente le coordinate scelte verrà aggiunto alla lista, in ultima posizione. Se si vuole inserire un punto non alla fine, ma tra punti già esistenti, occorre selezionare la riga desiderata e premere "Inserisci" invece che "Aggiungi". Per eliminare un punto, occorre selezionare la riga corrispondente e premere "Elimina".

Nota bene: la legge per punti può essere completa, no tension o no compression. Se si definisce una legge completa, deve essere simmetrica.

NOTA: Il button *Trasforma in "per punti"* consente di convertire qualsiasi legge costitutiva in una legge per punti.

- **Li-Shen (nodi semirigidi)**

La legge costitutiva [Li-Shen](#)^[192] serve per i nodi semirigidi. Vanno forniti i seguenti parametri:

K_e	initial stiffness
K_p	hardening stiffness
f_t	rotazione corrispondente a M_p
M_p	momento plastico

- **Parabola rettangolo (carico monotono)**

Per la legge costitutiva di tipo [parabola-rettangolo](#)^[192] vanno forniti i seguenti parametri (tutti positivi anche se per il programma le compressioni sono negative):

f_c	tensione massima di compressione del calcestruzzo
ε_{c0}	deformazione che corrisponde alla tensione massima
E_t	modulo di elasticità del ramo in trazione
f_t	tensione massima di trazione del calcestruzzo
ν	coefficiente di Poisson

$$\sigma = -f_c \left(\frac{2|\varepsilon|}{\varepsilon_{c0}} - \frac{\varepsilon^2}{\varepsilon_{c0}^2} \right) \quad \text{se} \quad -\varepsilon_{c0} \leq \varepsilon < 0$$

$$\sigma = -f_c \quad \text{se} \quad \varepsilon < -\varepsilon_{c0}$$

$$\sigma = \varepsilon E_t \quad \text{se} \quad \varepsilon \leq \frac{f_t}{E_t}$$

$$\sigma = 0 \quad \text{se} \quad \varepsilon > \frac{f_t}{E_t}$$

- **Kent e Park modificato (carico monotono)**

Per la legge costitutiva di [Kent e Park modificata](#)^[193] vanno forniti i seguenti parametri:

f_c	tensione massima di compressione del calcestruzzo
ε_{c0}	deformazione che corrisponde alla tensione massima
Z	pendenza del ramo di softening
E_t	modulo di elasticità del ramo in trazione
f_t	tensione massima di trazione del calcestruzzo

v coefficiente di Poisson

$$\varepsilon_{c20} = \varepsilon_{c0} + \frac{0,8}{Z} \quad Z \neq 0$$

$$\varepsilon_{c20} = 0,1 \quad Z = 0$$

$$\sigma = -f_c \left(\frac{2|\varepsilon|}{\varepsilon_{c0}} - \frac{\varepsilon^2}{\varepsilon_{c0}^2} \right) \quad \text{se } -\varepsilon_{c0} \leq \varepsilon < 0$$

$$\sigma = -f_c [1 - Z(|\varepsilon| - \varepsilon_{c0})] \quad \text{se } -\varepsilon_{c20} \leq \varepsilon < -\varepsilon_{c0}$$

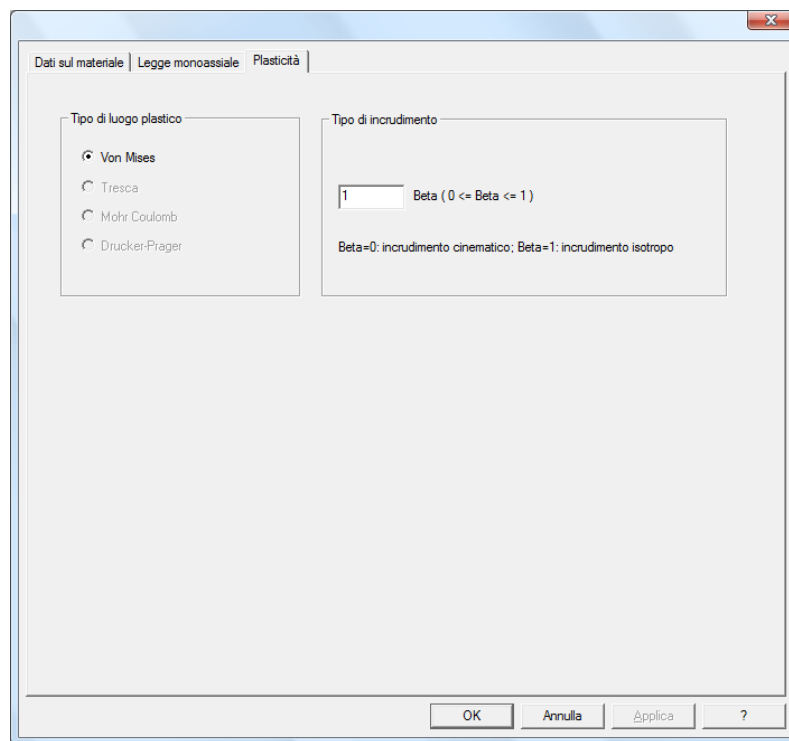
$$\sigma = -0,2 f_c \quad \text{se } \varepsilon < -\varepsilon_{c20}$$

$$\sigma = \varepsilon E_t \quad \text{se } \varepsilon \leq \frac{f_t}{E_t}$$

$$\sigma = 0 \quad \text{se } \varepsilon > \frac{f_t}{E_t}$$

3.6.6.3.2.3 Plasticity (Property page)

PLASTICITY; (PROPERTY PAGE)



In this property you can input the type of the plastic locus of the material, and the type of

[hardening](#)^[194] ($\beta=0$ kinematic hardening, $\beta=1$ isotropic hardening).

3.6.6.4 Modify material...

COMMAND: Edit-Properties-Modify material...

This command is used to choose a material among those in the model, and modify it, thanks to a proper [dialog](#)^[661].

Type: modal

3.6.6.5 Thickness...

COMMAND: Edit-Properties-Thicknesses...

This command is used to assign the thickness and flexural inertia to plates and membranes. The membranes only use the thickness. It is strongly suggested to always assign a name to the property, possibly specifying in the name the thickness value.

When the command is executed, a proper dialog ([Plates and Membranes Properties](#)^[670]) is opened, in order to add the new property or in order to browse the existing properties, already assigned.

Type: modal

Destination: document

3.6.6.5.1 Plates and Membranes Properties (Dialog)

PLATES AND MEMBRANES (DIALOG)

This dialog is used to add a property to the property archive of the model, applying the property set to the selected plates and membranes. To add a property you must input a name, a thickness, and a second area moment (uni-length). The button [Model](#)^[671] is used to browse the list of the properties used in the model.

3.6.6.5.1.1 Property Archive (Dialog)

ARCHIVIO PROPRIETÀ (DIALOGO)

Questo dialog lista le proprietà presenti in archivio.

Della proprietà selezionata viene dato lo spessore ed il momento di inerzia per unità di larghezza. Il tasto **Applica** fa applicare la proprietà selezionata alle piastre o membrane selezionate. Analogamente il doppio click.

3.6.6.6 Add Semirigid Property

COMMAND: Edit-Properties-Add semirigid property..

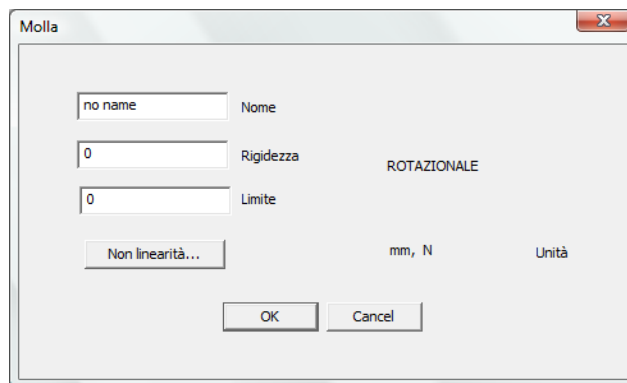
This command is used to add to the archive a new rotational spring which can be applied to an extremity of a beam element, like a [semirigid](#)^[681] release. When the command is executed a proper [dialog](#)^[671] is opened.

Type: modal

Destination: document

3.6.6.6.1 Spring

SPRING (DIALOG)



This dialog is used to define the properties of a rotational spring. The name of the spring, its stiffness and its force-limit must be input. The stiffness must be input using the *current force unit * current length unit / radians* (for instance Nmm/rad). The limit must be input using radians.

By the button *Non linearity* it is possible to define a non linear spring. A [dialog](#)^[663] is opened, to define the uniaxial law needed.

3.6.6.7 Modify semirigid property

COMMAND: Edit-Propertie-Modify Semirigid Property

This command is used to modify a rotational spring listed in the model archive. When the command is executed a proper dialog is opened, listing all the available rotational springs. To modify one of these, you can double-click over it, or you can select it and then press the button *Apply*. Then a proper [dialog](#)^[671] is opened, where the properties of the chosen spring can be modified.

Type: modal

Destination: document

3.6.6.8 Archives...

COMMAND: Edit-Properties-Archive...

This command runs the external module **SAMBA** which is used to manage material and cross-section archives. It is a stand alone program, which is able to add more cross sections or to delete the cross sections previously added. It is also able to merge archives, or to save sub archives. The details of this external module are explained in the help and guide of the program itself.

Type: immediate

Destination: archives

3.6.6.9 Group...

COMMAND: Edit-Properties-Group...

This command is used to assign to the selected entities the desired group. Once the command is executed a proper [dialog](#)⁶⁷³ is opened, and this dialog is used to choose the desired group.

Type: modal

Destination: document

3.6.6.9.1 Groups (Dialog)

GROUPS (DIALOG)

This dialog is used by several commands. It summarizes the available groups, displaying in blue (selected) the active ggroup. If the selected group is changed the active group will change. The active group is the group to which the new elements will be assigned, by

means of the direct addition commands, and by copy, mirror, rotate commands.

To choose the group to which the selected elements will be assigned, one group must be selected and then the OK button must be pressed.

This dialog is also used to open another [dialog](#)⁶⁷⁴, that is used to modify existing groups (button **Modify...**) or to add new ones (button **Add...**).

3.6.6.9.1.1 Group Definition (Dialog)

DEFINITION OF A GROUP (DIALOG)

This dialog is used to set the name of the current group and its colour. To change colour, you must click the rectangle with the current colour.

3.6.6.10 Kappa...

COMMAND: Edit-Proprietà-Beta...

This command lets you attribute the slenderness coefficients to the selected monodimensional elements. The command is applied to beams, trusses and superelements. **This is a command of the utmost importance for steel elements**, because the program default assumes that the slenderness coefficients are equal to 1, while this is not generally true. Given the impossibility of "working out" these slenderness coefficients in general and accurately (the *alignment charts* and Wood's abacuses are far from reliable), Sargon leaves it up to the planner to fix these values, which can depend on factors outside the model, such as superstructural restraints, provisions or non-modelled elements (consider a plane model totally braced out of plane without the bracing being modelled).

Type: modal

Destination: document

3.6.6.10.1 Slenderness Coefficients (effective length) (Dialog)

SLENDERNESS FACTORS (DIALOG)

This dialog is used to set the slenderness factors to be applied to the selected elements (beams, trusses, superelements).

3.6.6.11 Ared...

COMMAND: Edit-Properties-Ared...

This command is used to set the gross area reduction factor, which keeps into account holes in checks according to standards. The command applies this factor to the selected beams and trusses.

Type: modal

Destination: document

3.6.6.11.1 Area Reduction Factor (Dialog)

NET AREA FACTOR (DIALOGO)

This dialog is used to input the coefficient k (< 1) used to reduce gross area of the selected elements. The modification has only effect for the checks executed by external modules according to standards, and does not affect the stress computation commands inside Sargon.

3.6.6.12 Pick bt

COMMAND: Edit-Properties-Pick Bt

This command is used to assign to the selected beam and truss elements, the cross

section and material of a beam or truss element picked (clicked) by the mouse.

Type: modeless

Destination: document

3.6.6.13 Pick pm

COMMAND: Edit-Properties-Pick Pm

This command assigns to the selected plate and membrane elements the material and thickness of a plate or membrane element picked (clicked) by the mouse.

Type: modeless

Destination: document

3.6.6.14 Soil

COMMAND: Edit-Properties-Soil

This command is used to define a Boussinesq layered soil (maximum 5 layers) so as to compute, for a given foundation surface, the value of the Winkler constant k. Once the command is executed, a proper [dialog](#)⁶⁷⁶ opens, where the soil parameters are defined, and k is computed.

Type: modal

3.6.6.14.1 Layered Boussinesq Soil (Dialog)

LAYERED BOUSSINESQ SOIL (DIALOG)

For each layer (maximum 5), it must be defined the thickness, the elastic modulus, and Poisson's coefficient. The first two values must be input using current units. If the number of layer is lower than 5, the row in excess must not be filled.

Once the footprint of the bearing is defined (Dx, Dy, using current units) the button "Compute Winkler" is pressed, and so it is automatically computed the k value. This can later be input in the dialog [Adding of Winkler Springs](#)^[506].

3.6.7 Constraints

3.6.7.1 Nodal Constraints...

COMMAND: Edit-Constraints-Nodal constraints

This command assigns the constraint chosen by the user to the selected nodes ([dialog](#)^[678]). It is also used to remove constraints (null constraints).

If a [constraint mask](#)^[679] has been previously applied, it is not possible to assign constraints to nodes in such a way that the constraints defined in the constraint mask are not

applied. All the degrees of freedom belonging to the active constraint mask are therefore ticked and grayed. The only way to assign null constraints or constraints "lower" than those of the constraint mask previously applied, is to re-define accordingly the constraint mask itself.

Type: modal

Destination: document

3.6.7.1.1 Constraint Assign (Dialog)

ATTRIBUZIONE DEI VINCOLI (DIALOGO)



Questo dialog fa scegliere il tipo di **vincolo** da assegnare ai **nodi selezionati**. La spunta indica che il grado di libertà è vincolato. Il dialog è impiegato anche per definire una **maschera di vincolo** che verrà poi applicata a tutti i nodi del modello. Quando si attribuisce un vincolo ai nodi selezionati, non è possibile liberare gradi di libertà che siano già vincolati nella corrente maschera di vincolo.

Il button *Incastro* vincola tutti e 6 i gradi di libertà.

Il botton *Libero* rimuove tutti i vincoli.

Il button *Cerniera* vincola le 3 traslazioni.

Di seguito vengono mostrati i simboli convenzionali con cui vengono rappresentati i vincoli nodali in Sargon.



A sinistra (quadrato) abbiamo il simbolo che indica l'incastro completo (sono vincolate le tre traslazioni e le tre rotazioni).

A destra (cerchio) abbiamo il simbolo che indica qualsiasi vincolo diverso dall'incastro.

In entrambi i casi, sono presenti 6 pixel (traslazioni X, Y, Z sulla prima riga, rotazioni attorno a X, Y, Z sulla seconda riga). Un pixel bianco indica che il relativo grado di libertà è vincolato; un pixel nero indica che il relativo grado di libertà non è vincolato. Nel caso dell'incastro, tutti i pixel saranno bianchi. Nel caso degli altri vincoli, ci saranno alcuni pixel bianchi e alcuni neri. Nell'esempio in figura, sono vincolate solo le tre traslazioni (prima riga) e si ha quindi una cerniera.

3.6.7.2 Constraint Mask

COMMAND: Edit-Vincoli-Maschera di vincolo

Attraverso un apposito [dialog](#)^[678], questo command attribuisce la maschera di vincolo scelta dall'utente a tutti i nodi della struttura. La maschera di vincolo è una specie di “vincolo minimo” che tutti i nodi della struttura devono possedere. L'applicazione di una maschera di vincolo è utile per quei problemi nei quali una parte dei gradi di libertà è inattiva (ad esempio modelli di sole bielle e di soli elementi solidi). La maschera di vincolo è ricordata nella barra di stato, dopo le unità di misura attive.

Data la presenza di una maschera di vincolo precedentemente applicata, non è possibile assegnare vincoli ai nodi che non abbiano le componenti di vincolo presenti nella maschera di vincolo stessa, onde evitare pericolose confusioni. *I nodi che hanno vincoli esattamente eguali a quelli previsti dalla maschera di vincolo appariranno non vincolati anche quando viene richiesta la rappresentazione grafica dei vincoli. In questo modo il modello apparirà molto più facilmente comprensibile, essendo dato per scontato che tutti i nodi abbiano almeno la maschera di vincolo corrente.*


Proprio a causa della esistenza di questo nuovo dato, i modelli della versione 7.30 hanno un formato diverso dai modelli delle versioni precedenti (file .wsr).

Type: modal

Destination: document

3.6.7.3 End Releases...

COMMAND: Edit-Constraints-End Releases

This command is used to assign the end releases to the selected beam elements, or to the elements chosen by mouse, according to the command working mode chosen by the user ([dialog](#) ).

The available command working modes are two: automatic and manual.

In the automatic working mode, the program applies an end-release mask to the selected beam ends. A beam-end is selected if it is selected the element and the relevant end-node. This working mode is useful if many end releases have to be applied: otherwise it is easier the manual working mode.

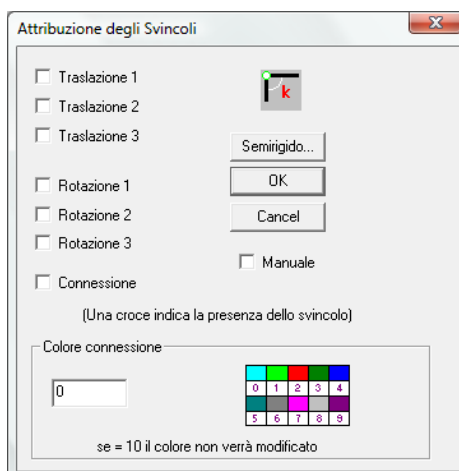
If the manual working mode is chosen, the user clicks left the mouse in the nearby of the beam end where the end release has to be applied. The beam-end is highlighted by a moving dot.

Type: modal

Destination: document

3.6.7.3.1 End Releases Assign (Dialog)

ATTRIBUZIONE DI SVINCOLI (DIALOGO)



Questo dialog fa scegliere il tipo di svincolo da assegnare alle travi selezionate. La spunta indica che il grado di libertà nel sistema di riferimento locale è svincolato.

Le modalità di funzionamento possibili sono due: **automatica** e **manuale**.

Nella modalità automatica (casella *Manuale* non spuntata) il programma applica la maschera di vincolo su ogni estremo selezionato degli elementi beam presenti nella active view. Un estremo è selezionato se è selezionata la beam a cui appartiene ed il node ad esso corrispondente. Questa modalità di funzionamento è utile se si devono definire molti svincoli: in caso contrario è più facile usare la modalità manuale.

Nella modalità manuale (casella *Manuale* spuntata) l'utente clicca con il mouse in prossimità dell'estremo ove vuole applicare lo svincolo. L'estremo è indicato da un pallino mobile.

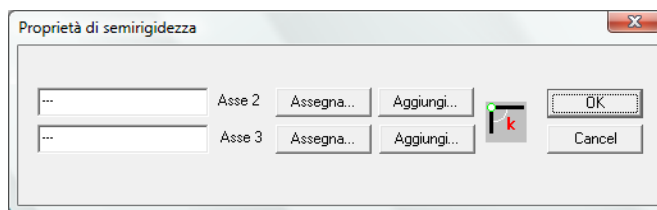
E' possibile assegnare svincoli semirigidi; per fare ciò si preme il button *Semirigido*, che fa accedere a un opportuno [dialog](#)⁶⁸² in cui si definiranno le proprietà della molla rotazionale.

*Ai fini del calcolo dei collegamenti con il software CSE, è possibile definire un **segno di connessione**, cioè un'interruzione di membratura che non comporta alcuna attribuzione di svincolo. Per fare ciò, occorre spuntare la casella "Connessione" senza però spuntare alcuna traslazione o rotazione. E' possibile inoltre definire un **colore** per lo svincolo o il segno di connessione, caratteristica che in CSE consente di distinguere nodi strutturali altrimenti uguali. Il valore 0 mantiene il colore di default. Sempre ai fini di CSE, è possibile*

assegnare un colore di connessione anche agli elementi truss. Per approfondimenti su questi temi si rimanda alla guida di CSE.

3.6.7.3.1.1 Semirigid Properties (Dialog)

SEMIRIGID PROPERTY (DIALOG)



This dialog is used to set the value of the two rotational springs related to the rotation about local axis 2 and 3.

For each axis it is possible **to assign** one of the springs already added to the archive or **to add** a new one. In the first case an [archive](#)^[660] of the springs defined in the model will have to be browsed, choosing the one desired; in the second case a further [dialog](#)^[671] will be opened, where the properties of a new spring will be input (the new spring will be assigned and also added to the spring archive).

3.6.8 Loads

3.6.8.1 Add...

COMMAND: Edit-Azioni-Aggiungi...

Questo command fa aggiungere azioni ai nodi o agli elementi.

Il command ha due modalità operative.

Nella prima modalità operativa, quella standard, il carico verrà applicato a tutti gli oggetti selezionati. Questa modalità si adopera quando molti oggetti hanno lo stesso carico.

Nella seconda modalità operativa, detta "manuale", si clicca su un oggetto e si specifica

il carico, si clicca su un altro oggetto e si specifica un nuovo carico, e così via, finchè si interrompe il command cliccando a destra.

Il command comporta la presentazione di un opportuno dialog ([Aggiunta azioni](#)^[683]) che fa scegliere la modalità operativa prescelta ed il tipo di carico da applicare.

Le azioni vengono aggiunte nel caso di carico corrente.

Type: modal e, in modalità automatica, modeless.

Destination: document

3.6.8.1.1 Load Addition (Dialog)

AGGIUNTA AZIONI (DIALOGO)

Questo dialog fa scegliere il tipo di azione che si vuole applicare agli oggetti selezionati e la modalità di funzionamento del command di aggiunta delle azioni.

Se si seleziona "manuale" le azioni del tipo prescelto verranno applicate agli oggetti scelti cliccando con il mouse ad uno ad uno. Una volta scelto l'oggetto comparirà un dialog che chiederà i dati della azione.

Se non si seleziona manuale il carico verrà applicato a tutti gli oggetti selezionati al momento della esecuzione del command stesso.

Le azioni sono aggiunte al caso di carico attivo al momento della esecuzione del command.

Ad ogni button corrisponde un tipo di azione. Le azioni possibili sono:



[Forze nodali](#)^[684]^[684] forze o coppie applicate ai nodi




[Carichi uniformi](#)^[685]^[685] forze o coppie per unità di lunghezza applicate a travi, costanti lungo tutta la lunghezza.




[Carichi concentrati](#)^[685]^[685] forze o coppie applicate all'interno degli elementi beam.



[Carichi lineari](#)  forze o coppie per unità di lunghezza variabili linearmente tra un estremo e l'altro di elementi beam.



[Carichi lineari generali](#)  forze o coppie per unità di lunghezza variabili linearmente tra due punti qualsiasi di elementi beam.




[Carichi termici](#)  carichi termici applicati a travi, bielle, piastre o membrane.




[Cedimenti](#)  spostamenti applicati a nodi.



[Carichi distribuiti su piastre o membrane](#)  forze applicate ai nodi degli elementi bidimensionali, equivalenti ad un carico distribuito sull'elemento (nel riferimento locale o globale).



[Carichi distribuiti su piastre o membrane legati a un carico di pressione normale all'elemento \(costante o variabile con z\)](#)  forze applicate ai nodi degli elementi bidimensionali, equivalenti ad un carico di pressione normale all'elemento distribuito sull'elemento stesso (nel riferimento globale).

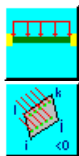
3.6.8.1.1.1 Nodal Forces Addition (Dialog)

ADDING OF NODAL FORCES (DIALOG)



This dialog is used to input the values of the components, and the type, of a nodal force to be applied to the selected nodes, or to the node clicked.

3.6.8.1.1.2 Uniform Load Addition (Dialog)

UNIFORM LOADS ADDITION (DIALOG)

This dialog is used to set the value and the type of the uniform loads to be applied to the selected beam elements, or of the distributed loads to be applied to the 2D elements selected (if this latter case holds true, the loads are automatically transformed into nodal loads).

If the flag **Global Reference** is ticked, the components refer to the global reference axes. If it is unticked then the components refer to the local element axes of each element (for plates and membranes the axis normal to element plane is axis 3).

3.6.8.1.1.3 Concentrated Load Addition (Dialog)

ADDING OF CONCENTRATED FORCES (DIALOG)

This dialog is used to set the value and kind of the concentrated action to be applied to the selected beams.

If the flag **Global reference** is ticked on, the components refer to the global reference axes. If it is unticked, then the components will refer to the local element axes of each element.

Abscissa it is a real number, between 0 and 1, that is used to place the force (or moment) along the beam axis. The value 0 is the first extremity, the value 1 the second extremity.

3.6.8.1.1.4 Linear Load Addition (Dialog)

ADDING OF LINEAR LOADS (DIALOG)

This dialog is used to set the value and type of the linear load to be applied to the selected beam element(s).

If the flag **Global coordinate system** is ticked, the components of the linear load refer to the global reference axes. If the flag is unticked, then the components refer to the local reference system of each selected element.

3.6.8.1.1.5 General Linear Loads Addition (Dialog)

ADDITION OF GENERAL LINEAR LOADS (DIALOG)

This dialog is used to set the value and the type of the general linear loads to be applied to the selected beam elements.

If the flag **Global Reference** is switched on, the components refer to the global reference axes. If it is switched off the components refer to the local reference axes of each element.

The number **AB1** (comprised between 0 and 1) specifies where the load starts.

The number **AB2** (comprised between 0 and 1 and greter than **AB1**) specifies where the load ends.

3.6.8.1.1.6 Thermal Loads Addition (Dialog)

ADDING OF THERMAL LOADS (DIALOG)



This dialog is used to input the intensity of the thermal loads (i.e. temperature variation) to be applied to the selected elements, or to the element clicked..

3.6.8.1.1.7 Settlements Addition (Dialog)

AGGIUNTA DI CEDIMENTI (DIALOGO)

Questo dialog stabilisce il valore ed il tipo dei cedimenti da applicare ai nodi selezionati.

Dapprima si stabilisce la direzione del cedimento (X, Y, Z).

Poi si stabilisce se il cedimento è traslazionale o rotazionale.

Il valore del cedimento traslazionale dipende dalla unità di lunghezza attiva.

Il valore del cedimento rotazionale è in radianti.

La “Rigidezza K” che occorre fornire deve essere molto alta, in modo che, se j è il grado di libertà prescelto, nella corrispondente riga della matrice di rigidezza sia vero che:

$$\sum_j k_{ij} u_j \cong k_{ij} u_j$$

con $k_{ij} \gg k_{im} \quad m \neq j$

3.6.8.1.1.8 Load per Unit Surface (Dialog)

LOAD PER UNIT SURFACE (DIALOG)

This dialog is used to set the load per unit surface (using active units). It is used both by the command [Floor](#)^[693], and by the command used to add pressures over bidimensional elements [Add](#)^[682].

3.6.8.2 Modify

COMMAND: Edit-Loads-Modify...

This command is used to modify, and also possibly remove, single loads applied to nodes or elements, in the active load case. The command is available only if a load case, not a combination, is active.

The command starts with a modeless phase, during which the user must click over the object whose action is to be modified (node or element). During this phase of the command the command is like an inquire.

Once the node or the element has been chosen, a proper [dialog](#)^[688] is opened, listing all the loads applied to that node or element in the active load case. This dialog is absolutely similar to that of the command [Load Inquire](#)^[432]. If you wish to modify a load, you must double click over the row related to the load, with the mouse. A new dialog will open, one for every different kind of load, that will be used to re-define the load value. In order to remove the load it will be necessary to input null values for the load components.

The loads are all listed and must be modified using current force and possibly length units.

3.6.8.2.1 Load(s) Applied (Dialog)

APPLIED ACTIONS (DIALOG)

This dialog lists the loads applied to a node or an element, in the load case chosen previously.

3.6.8.3 Delete...

COMMAND: Edit-Loads-Delete...

This command is inactive.

3.6.8.4 Canc Sel...

COMMAND: Edit-Loads-CANC Sel...

This command removes loads from the selected entities, in the active load case.

Type: immediate

Destination: document

3.6.8.5 Region...

COMMAND: Edit-Loads-Region...

This command is used to add loads by using a "region". When the command is executed a proper dialog [Adding of Region Loads](#)^[689] is opened, letting the user choose which type of load-by-region will be added. The operations to be executed after this dialog depend on the type of the load by region chosen ([Loads](#)^[133]). Loads by region commands apply nodal forces to a wide set of nodes at a time, by considering their domain of influence.

Type: modeless

Destination: document-active view

3.6.8.5.1 Region Loads (Dialog)

CARICHI A REGIONE (DIALOGO)

Questo dialog chiede di stabilire il tipo di carichi a regione che verranno applicati. Se vengono applicati carichi di linea verrà chiesta una poligonale, se di superficie due poligonali.

Nel modo **Standard** il dominio di influenza di ciascun node (lunghezza o superficie) viene moltiplicato per un vettore.

Nel modo **Proiezione** si considera la proiezione della superficie di influenza su un

piano. Il piano è individuato dalla sua normale (ad esempio una proiezione orizzontale richiede il vettore $(0, 0, 1)$). La forza finale è diretta come il vettore delle pressioni.

Nel modo **Ortogonale** la forza risultante è normale alla superficie di influenza.

Nel caso in cui i carichi vadano su una superficie, questa può essere ricostruita in due modi diversi ([Azioni](#)^[133]):

- Il primo modo (**Linea o superfici a scacchiera**) usa una topologia a scacchiera, ed è il modo classico (in questo caso occorre introdurre una o due poligoni a seconda che il dominio sia una linea o una superficie). La regione (la superficie) è definita mediante due file di nodi (anche non rettilinee) atte a definire – come una riga e una colonna qualsiasi di una scacchiera – una superficie nello spazio ([Azioni](#)^[133]).
- Il secondo modo (**Superficie con ricostruzione locale**) non usa le scacchiere (e non bisogna introdurre poligoni) ma ricostruisce in prossimità di ciascun node la superficie ad esso limitrofa mediante l'analisi degli elementi selezionati adiacenti. La superficie competente a ciascun node selezionato viene ricostruita sulla base degli elementi beam o truss selezionati connessi al node in questione. Questi elementi, come le stecche di un ombrello, definiscono una superficie. Il command in questa modalità è stato pensato per le strutture reticolari spaziali a doppia curvatura, per le quali esiste una maglia di elementi superiore, una maglia inferiore e dei diagonali di collegamento. In questo caso selezionando i soli elementi della maglia superiore si riesce a ricostruire la superficie localmente senza bisogno di scacchiere che, in questo caso, potrebbero non essere definibili ([Azioni](#)^[133]).

Operativamente:

- se si definisce un carico di linea si deve definire una poligonale che racchiuda tutti e soli i nodi della linea;
- se si definisce un carico di superficie a scacchiera (definita mediante poligoni) occorre definire prima una poligonale poi una seconda poligonale; le due poligoni devono definire file di nodi aventi un node in comune.
- Se si definisce un carico di superficie mediante la ricostruzione locale, bisogna aver preventivamente selezionato tutti i nodi che si vogliono caricare, e tutti gli elementi da

impiegare per ricostruire localmente il luogo (ad esempio tutti gli elementi dello strato superiore precedentemente citato).

3.6.8.5.1.1 Standard or Projection Region Loads (Dialog)

CARICHI A REGIONE STANDARD O PROIEZIONE (DIALOGO)

1) Carichi a regione Standard di linea.

Il vettore f_x , f_y , f_z richiesto in questo dialog, moltiplicato per la lunghezza pertinente a ciascun node, l_i , dà la forza da applicare sul node

$$F_{xi} = f_x \cdot l_i$$

$$F_{yi} = f_y \cdot l_i$$

$$F_{zi} = f_z \cdot l_i$$

f_x , f_y ed f_z hanno le dimensioni di forza (o coppia) per unità di lunghezza.

2) Carichi a regione Standard di superficie

Il vettore q_x , q_y , q_z richiesto in questo dialog, moltiplicato per la superficie pertinente a ciascun node, S_i , dà la forza da applicare sul node:

$$F_{xi} = S_i \cdot q_x$$

$$F_{yi} = S_i \cdot q_y$$

$$F_{zi} = S_i \cdot q_z$$

q_x , q_y e q_z hanno la dimensione di forza (o coppia) per unità di superficie.

3) Carichi a regione Proiezione

Se S_i è la superficie di influenza di ciascun node ed (n_{ix} , n_{iy} , n_{iz}) il versore normale della superficie di influenza la forza da applicare a ciascun node viene calcolata così:

$$S_i^* = \mathbf{n} \cdot \mathbf{v} S_i$$

$$\mathbf{F}_i = \mathbf{q} \cdot S_i^*$$

In questo dialog viene chiesto il vettore \mathbf{q} .

3.6.8.5.1.2 Normal Direction (Dialog)

NORMAL DIRECTION (DIALOG)

When projected region loads are used, the force \mathbf{F}_i on each node is computed by

$$F_i = (\mathbf{n} \cdot \mathbf{v} S_i) q$$

In this dialog it is asked the versor \mathbf{v} . You can also enter a vector (not having 1 norm): the program normalizes automatically.

3.6.8.5.1.3 Intensity (Dialog)

INTENSITY (DIALOG)

This dialog is used to set the load per unit surface (region loads orthogonal to region). Intensity has sign.

3.6.8.6 Gravity...

COMMAND: Edit-Actions-Gravity...

This command adds the actions due to gravity to the selected elements. The actions are added to the current (active) load case.

Type: modal

Destination: document

3.6.8.6.1 Gravity Multipliers (Dialog)

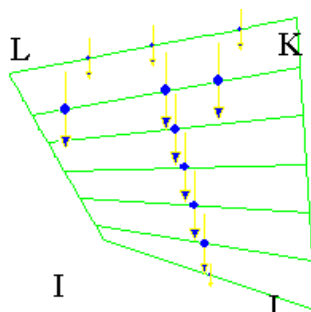
GRAVITY MULTIPLIERS (DIALOG)

This dialog is used to input the direction and intensity of the gravity forces. If you wish to increase the weight by 5%, you can input (0, 0, -1.05).

3.6.8.7 Floor...

COMMAND: Edit-Azioni-Solaio...

Questo command consente di aggiungere carichi uniformemente ripartiti su un insieme di travi secondarie, in funzione della loro area di influenza.



Il command prende come dato di input il carico per unità di superficie e quattro nodi, definiti dall'utente cliccandovi sopra. Nell'ordine i nodi sono il node I, il node J, il node K ed il node L.

Il programma cerca tutti gli elementi beam che giacciono sull'allineamento definito da un node posto lungo la linea JK ad un node posto lungo la linea IL. Per ognuno di questi allineamenti viene calcolata un'area di influenza ed infine un carico uniformemente distribuito.

Il verso delle azioni dipende dal segno dato alla pressione e dal verso di percorrenza dei nodi I, J, K, L. Un numero maggiore di zero implica un vettore tale per cui la circolazione (I,J,K,L) avviene in modo antiorario.

Il command funziona anche in assenza delle travi JK e LI.

A partire dalla versione 9.90 rilasciata nel Luglio 2012, il command è stato esteso ed è ora in grado di riconoscere se lungo l'allineamento generico che va dal segmento IL al segmento JK sono presenti più elementi finiti (che devono essere di tipo beam). In tal caso, il carico per unità di lunghezza verrà applicato a tutti gli elementi che fanno andare, lungo una fila ininterrotta, da IL a JK. Perché il command possa funzionare, tutti i nodi intermedi presenti lungo l'allineamento devono essere referenziati da elementi beam, senza "buchi" o nodi in eccesso.

Type: modal per la definizione della pressione, modeless per la definizione dei nodi.

Destination: document

3.6.8.8 Equivalent Static Earthquake...

COMMAND: Edit-Azioni-Sisma...

Questo command è molto utile e potente. Esso genera un insieme di forze applicate ai nodi capaci di simulare l'azione di un terremoto. Il command implementa la così detta *analisi statica equivalente*, che consente, sotto certe ipotesi, di stimare gli effetti di un sisma; le ipotesi sono le seguenti:

- * esiste un modo dominante per la struttura relativo alla direzione del sisma presa in esame;
- * la struttura è regolare sia in pianta che in elevazione;
- * la forma del modo è assimilabile a lineare.

E' chiaro che tutte queste ipotesi sono raramente soddisfatte, in specie l'ultima. Tuttavia, l'analisi statica equivalente è utile nei casi in cui non sia disponibile un'analisi modal o nei casi in cui la struttura sia effettivamente regolare. Le varie norme disponibili consentono l'uso della statica equivalente sotto ipotesi che dipendono da norma a norma ma che, in sintesi, sono quelle qui ricordate.

Da un punto di vista operativo il command funziona con un opportuno [dialog](#) che

chiede le seguenti cose:

- * una quota di riferimento o iniziale $z0$;
- * un coefficiente numerico k (numero puro);
- * una direzione per il sisma. Si noti che il vettore direzione viene sempre normalizzato a 1.

Per ogni node selezionato i vengono calcolate le quantità:

$H_i = (Z_i - z0)$	quota relativa
$Fix = (g * Mix) * k * H_i * \text{Sum}(M_{xi}) / \text{Sum}(M_{xi} * H_i) * DirX$	forza X
$Fiy = (g * Miy) * k * H_i * \text{Sum}(M_{yi}) / \text{Sum}(M_{yi} * H_i) * DirY$	forza Y
$Fiz = (g * Miz) * k * H_i * \text{Sum}(M_{zi}) / \text{Sum}(M_{zi} * H_i) * DirZ$	forza Z

dove:

- * **g** costante di gravità;
- * **Mix** massa traslazionale in direzione x del node i;
- * **Sum(Mxi)** somma delle masse traslazionali in direzione x di tutti i nodi selezionati e non vincolati in direzione X
- * **Sum(Mxi * Hi)** somma dei prodotti $W_{xi} * H_i$ ovvero delle masse traslazionali dei nodi selezionati e non vincolati moltiplicati per la loro quota relativa alla quota iniziale $z0$;
- * **DirX** è il coseno direttore della direzione specificata in direzione X (≤ 1).
Se è eguale a 1 il sisma è diretto come l'asse X.

Le masse nodali relative ai carichi applicati possono essere facilmente generate impiegando il command [Caso...](#)^[729]. La quota iniziale tiene conto che lo “0” del modello può non coincidere con lo 0 algebrico. Il coefficiente k tiene in conto la severità del sisma. Esso può essere visto come l'accelerazione al suolo in unità g. Per la norma italiana esso vale:

$$k = C \varepsilon \beta I$$

ove $C = (S-2)/100$, S è la severità del sisma ($6 \leq S \leq 12$) e i rimanenti coefficienti sono il coefficiente di fondazione, il coefficiente di struttura, il coefficiente di protezione sismica. La quantità

$$\gamma_x = H_i * \text{Sum}(Mix) / \text{Sum}(Mix * H_i)$$

è l'omonimo coefficiente della normativa italiana.

Normalmente avviene che

$$M_{ix} = M_{iy} = M_{iz}$$

ma il command implementa situazioni più generali.

Si noti che usando questo command è del tutto inutile calcolare il baricentro delle masse. L'insieme delle forze elementari associate a ciascun node è infatti un sistema che sollecita la struttura in modo persino più aderente al vero di quanto previsto dalla norma. Naturalmente le masse devono essere valutate in modo corretto.

Type: modal

Destination: document

3.6.8.8.1 Equivalent Static Analysis (Dialog)

ANALISI STATICA EQUIVALENTE (DIALOGO)

Questo dialog fissa i parametri necessari per generare un insieme di forze capaci di simulare un sisma in accordo al metodo della analisi statica equivalente ([Sisma...](#)^[694]).

Al momento in cui ci si trova davanti il dialog è necessario essere nel caso di carico desiderato, e tale caso di carico dovrebbe essere vuoto.

I nodi che si vogliono tenere in conto devono essere selezionati. Se tutto il modello è stato selezionato allora la massa tenuta in conto sarà la massa dell'intero modello.

Per prima cosa il dialog chiede la direzione del sisma. Dare la terna (1,0,0) è equivalente a dare la terna (5,0,0). L'intensità non è governata dai numeri qui specificati.

Come seconda cosa viene chiesta la quota iniziale (nella unità attiva). Se la base del modello è a quota 0 si lascia 0. Se invece la base del modello è a quota z_0 , si specifica z_0 .

Come ultimo numero viene chiesto il fattore k , che può essere visto come l'accelerazione del terreno in unità g .

Con $S=9$, ed usando la norma italiana, supponendo tutti gli altri coefficienti eguali a 1, $k=0.07$.

3.6.8.9 Wind bt...

COMMAND: Edit-Loads-Wind BT...

This command is used to generate the forces due to the wind action over the members. Each member is loaded by a wind-force that depends on its cross-section and on its orientation relative to the wind direction. The command is able to keep into account this phenomenon, by applying to beam elements a uniformly distributed load, and to the end-nodes of truss elements two equal forces, due to wind action. The wind action is described by two pressure-vectors, applied at two different elevations. The program assumes a linear variation of the pressure with the elevation.

Once the command is executed, a proper [dialog](#)^[697] is opened, which is used to set the two vectors and the two related elevations. The loads will be applied to the elements selected before executing the command itself, in the active load case.

Warning: if the cross section of the elements is changed after the execution of the command, the loads will have to be re-assigned after deleting the existing ones.

Type: modal

Destination: document

3.6.8.9.1 Wind on Shapes (Dialog)

WIND ON SHAPES (DIALOG)

This dialog is used to input the direction, the intensity and the elevation variation of the effects due to wind.

Two pressure vectors (load per unit surface) must be input, and two elevations related to them. The program will compute the pressures at different elevations, applying a linear

variations. If the wind is not perpendicular to surfaces, proper projection is applied to surface value.

3.6.8.10 Earthquakes

COMMAND: Edit-Loads-Earthquakes

This command opens the [dialog](#)^[356] which is used to set the earthquakes applied to the structures. It is an alternative way (but completely equivalent), to define the design-earthquakes, to the command [File-Analyze](#)^[348].

3.6.8.11 From Spectrum

COMMAND: Edit-Azioni-Da spettro

Questo command consente di generare i risultati di una analisi a spettro di risposta su un singolo modo, generando le forze apparenti che inducono nella struttura le deformazioni e le sollecitazioni calcolate dalla analisi a spettro di risposta su quel modo. Applicando una analisi statica a valle della applicazione di questo command, sul caso di carico inizialmente vuoto a cui esso sia stato applicato, si otterranno gli stessi spostamenti e le stesse azioni interne derivanti dal calcolo a spettro di risposta sul modo scelto.

Alla esecuzione del command compare il dialog [Aggiungi forze da spettro di risposta](#)^[699], che è usato per inserire i dati necessari alla esecuzione del command.

Per eseguire il command:

1. Deve essere stato definito e descritto lo spettro di risposta che interessa.
2. Deve essere stata eseguita una analisi modal.
3. Non è necessario che sia stata eseguita una analisi a spettro di risposta.

Il command considera lo spettro di risposta associato a un unico modo, scelto dall'utente, per una direzione del sisma che deve coincidere con quella di uno degli assi di riferimento globale.

In sintesi, il command esegue le seguenti operazioni. Data una precedente analisi modal, risulta:

$$\begin{aligned} (\mathbf{K} - \omega_i^2 \mathbf{M}) \boldsymbol{\psi}_i &= \mathbf{0} \\ \boldsymbol{\psi}_i^T \mathbf{M} \boldsymbol{\psi}_j &= \delta_{ij} \end{aligned}$$

dove la seconda relazione indica che i modi sono ortonormalizzati a 1 rispetto alla matrice delle masse.

La risposta della struttura al sisma può essere calcolata moltiplicando la forma modal scelta $\boldsymbol{\psi}_i$ per una opportuna costante c .

La costante c dipende dallo spettro di risposta, dal periodo del modo considerato e dal fattore di partecipazione sul modo L_i . Indicando con $S_d(T_i)$ l'ordinata in unità g dello spettro di risposta in corrispondenza al periodo del modo i , si ha:

$$c = \frac{S_d(T_i) g L_i}{\omega_i^2}$$

Quindi

$$\begin{aligned} (\mathbf{K} - \omega_i^2 \mathbf{M}) c \boldsymbol{\psi}_i &= \mathbf{0} \\ \mathbf{K}(c \boldsymbol{\psi}_i) &= c \omega_i^2 \mathbf{M} \boldsymbol{\psi}_i \end{aligned}$$

e ricordando che la classica forma di un problema di analisi statica con vettore delle forze applicate \mathbf{p} e spostamenti incogniti \mathbf{u} , è:

$$\mathbf{K} \mathbf{u}_i = \mathbf{p}_i$$

si ottiene per il vettore delle forze da applicare:

$$\mathbf{p}_i \equiv c \omega_i^2 \mathbf{M} \boldsymbol{\psi}_i$$

Il command calcola tale vettore di forze nodali equivalenti e lo applica alla struttura nel caso di carico (di solito vuoto) attivo al momento della esecuzione del command.

Se l'operazione viene compiuta su diversi modi, in diversi casi di carico, si possono ottenere i contributi modali sismici elementari che, combinati con la CQC o con la SRSS, danno poi luogo ai risultati della analisi a spettro di risposta su più modi.

3.6.8.11.1 Add forces from Response Spectrum (Dialog)

AGGIUNGI FORZE DA SPETTRO DI RISPOSTA (DIALOGO)



Questo dialog serve per specificare:

1. Quale spettro di risposta impiegare di quelli già precedentemente definiti.
2. Quale direzione considerare per il sisma.
3. Quale modo considerare al fine di calcolare le forze apparenti associate. Deve quindi preventivamente essere stata eseguita una analisi modal.
4. Quale eventuale fattore amplificativo delle forze apparenti adottare (ad esempio, se nello spettro è definito un fattore di struttura, moltiplicando le ordinate dello spettro per esso si riottiene lo spettro elastico, in un ampio intervallo di valori di periodo)
5. Se invece amplificare le forze apparenti con un fattore pari a $1/\sqrt{p}$, dove "p" è la percentuale di massa partecipante sul modo (ad esempio 0.85 per l'85%), in modo da considerare fittiziamente tutta la massa oscillante sul modo.

3.6.8.12 From Reactions

COMMAND: Edit-Azioni-Da reazioni...

Il command funziona *sui soli nodi selezionati* e può riferirsi al caso di carico corrente

o a tutti i casi di carico. L'identificazione del generico node selezionato con il node del modello esterno dal quale leggere le reazioni vincolari (o le forze delle molle applicate), viene fatta sulla base della posizione assoluta. Se la posizione dei due nodi dista meno della tolleranza corrente nel modello correntemente aperto, allora il node viene identificato. In questo caso il programma andrà a leggere le reazioni vincolari di quel node e le applicherà con il segno cambiato come azioni sul node corrente selezionato.

Il command può essere applicato anche selezionando tutti i nodi e lasciando che sia il programma a trovare quelli in comune tra i due modelli. Nel caso in cui non sia presente alcun vincolo verranno comunque letti i residui. Se questi, come normalmente avviene, sono molto piccoli, non vengono applicati.

Il command funziona anche quando anziché essere applicati dei vincoli sono applicate delle molle. In questo caso il programma applicherà la reazione delle molle con il segno cambiato. E' quindi possibile modellare una fondazione con delle molle e poi caricare un altro modello fatto a parte con le forze calcolate afferenti in quelle molle. Al momento vengono lette solo le reazioni delle molle puntuali (non le molle alla Winkler posizionate sotto gli elementi beam o plate).

Questo command può essere molto utile se si vuole caricare ad esempio un modello di fondazione con molti gradi di libertà con le reazioni vincolari di un altro modello ove la fondazione sia stata modellata con una serie di vincoli (fissi od elastici a mezzo molle).

Se si leggono le reazioni di tutti i casi di carico allora è necessario che il numero dei casi di carico del modello su cui si sta lavorando sia identico al numero dei casi di carico del modello da cui vengono prese le reazioni vincolari. Se invece si leggono le reazioni di un solo caso di carico allora questa condizione non è necessaria (viene in tal caso chiesto quale caso di carico del modello esterno debba essere fatto corrispondere a quello corrente nel modello da cui viene eseguito il command). Non è necessario che i due modelli abbiano lo stesso numero di nodi, è solo necessario che vi sia una corrispondenza delle posizioni spaziali.

Operativamente il command funziona in questo modo:

- 1) Si sceglie il file esterno (già risolto) dal quale prendere le reazioni (file .rdb);
- 2) Si sceglie se caricare le reazioni di un solo caso di carico o di tutti;
- 3) Se si è scelto di caricare le reazioni di un solo caso di carico del modello esterno, si

specifica quale.

Type: modal

Destination: document

3.6.9 Cases

3.6.9.1 Add...

COMMAND: Edit-Cases-Add...

This command is used to add a new Load Case. It is possible to add a new load case only if there are not combinations already defined. Each load case must have a name, a type, and three coefficients to determine its rare, frequent and quasi-permanent values according to Eurocodes. The type is necessary in view of the automatic checks, as permanent, variable, wind or seismic loads are related to different safety levels. Once the command is executed a proper [dialog](#)⁷⁰² is opened, where all this information can be input.

Type: modal

Destination: document

3.6.9.1.1 Load Case (Dialog)

CASO DI CARICO (DIALOGO)

Questo dialog viene presentato in seguito alla richiesta di un nuovo caso di carico, o in seguito alla richiesta di modificare un caso esistente.

Occorre stabilire il tipo dal nuovo caso di carico e dare ad esso un nome, che verrà poi utilizzato per identificarlo.

Ad ogni caso di carico devono essere associati tre moltiplicatori, relativi ai valori rari (Psi0), frequenti (Psi1) e quasi permanenti (Psi2) del caso di carico in esame. A seconda della etichetta del caso i valori possono essere diversi. La pressione dei tasti **Italia?** Ed **EC3?** Dà una serie di valori che sono i valori previsti dalle normative per il tipo di carico in quel

momento attivo (**vento** o **variabile** o **neve**). Se cambia il tipo cambiano anche i valori suggeriti. Nulla vieta di dare dei valori diversi da quelli suggeriti. I coefficienti qui determinati saranno impiegati dal command per la generazione automatica delle combinazioni (vedi il [dialog opportuno](#)^[713]).

3.6.9.2 Modify...

COMMAND: Edit-Cases-Modify...

This command is used to modify a load case data, like the description (identifier) or the assigned type.

Type: modal

Destination: document

3.6.9.3 Zero...

COMMAND: Edit-Cases-Zero...

This command removes all the loads applied in the active load case, so that it gets blank.

Type: immediate

Destination: document

3.6.9.4 Sum...

COMMAND: Edit-Cases-Sum...

This command sums to the current load case the actions of a load case input by the user,

times a factor specified by the user. The load case specified may also be equal to the current one.

Type: modal

Destination: document

3.6.9.4.1 Sum of a Load Case (Dialog)

SUM OF A LOAD CASE (DIALOG)

The specified load **Case** will be summed to the current one, multiplied times the **Factor**. The number of load case must be admissible, and can also be equal the current load case number (albeit a warning will be issued).

3.6.9.5 Sum XYZ...

COMMAND: Edit-Cases-Sum XYZ...

This command sums to the current load case the loads of a load case chosen by the user, multiplied times a vector specified by the user. Each action resultant is computed, and this scalar is then multiplied by the vector input by the user, so leading to a new action. This command is very useful for instance when you have to generate a load case so that the actions for instance vertical of another load case, say dead loads, are made horizontal are rescaled.

Type: modal

Destination: document

3.6.9.5.1 Sum of a Load Case (XYZ) (Dialog)

SOMMA DI UN CASO (XYZ) (DIALOGO)

Al caso corrente verranno ordinatamente sommate tutte le azioni presenti nel caso indicato, trattate opportunamente.

Ogni azione viene ordinatamente moltiplicata per k_x , k_y e k_z . Ad esempio la forza (F_x , F_y , F_z) diviene ($k_x F_x$, $k_y F_y$, $k_z F_z$). Vengono considerate solo le forze nodali, i carichi uniformemente distribuiti e i carichi concentrati.

3.6.9.6 Combine...

COMMAND: Edit-Casi-Combina

Questo command può essere eseguito solo se vi sono casi e combinazioni, e le combinazioni sono di tipo [lineare additivo](#)⁷⁰⁹. Scopo del command è preparare il modello alla analisi nonlineare, in modo da evitare la necessità di eseguire delle combinazioni lineari dopo la soluzione. Supponiamo che prima della esecuzione del command la situazione sia la seguente:

Caso 1

Caso 2

Caso 3

Combi 1 : 1 x (Caso 1) + 2 x (Caso 3)

Combi 2 : 1 x (Caso 1) + 1 x (Caso 3)

dopo l'esecuzione del command la situazione diviene questa:

Caso 1* = 1x(Caso 1) + 2x(Caso 3)

Caso 2* = 1x(Caso 1) + 1x(Caso 3)

Combi 1* = 1 * Caso 1*

Combi 2* = 1 * Caso 2*

Poichè le nuove combinazioni non coinvolgono più vari casi di carico ma solo uno per volta, non si dovrà combinare tra loro gli effetti dei casi elementari.

Prima di eseguire una analisi nonlineare è sempre necessario usare questo command oppure costruire i casi di carico in modo che siano già dei casi combinati. Poichè una volta salvato il modello l'operazione è irreversibile si consiglia di salvare una copia di backup del modello *prima* di eseguire il command.

Il command assume per tutti i nuovi casi il tipo PERMANENTE, è quindi compito di chi usa il programma ridefinire i tipi in modo coerente con le proprie assunzioni.

Type: diretto

Destination: document

3.6.9.7 Next

COMMAND: Edit-Load Case-Next

This command is used to set the next load case as active.

Type: immediate

Destination: active view

3.6.9.8 Previous

COMMAND: Edit-Cases-Previous

This command set as active load case the next one. If the currently active is the last, next load case is the first.

Type: immediate

Destination: active view

3.6.10 Combinations

3.6.10.1 Modify Sets...

COMMAND: Edit-Combinations-Modify Sets...

This command is used to activate a different combi set ([How to manage combi sets](#)^[131]), or to modify the identifier of one of the available combi sets.

When the command is executed, a proper [dialog](#)^[707] is opened, which is used to select the active combi set, and/or to modify the identifier of one of the other combi sets.

The command is immediately effective on document and view.

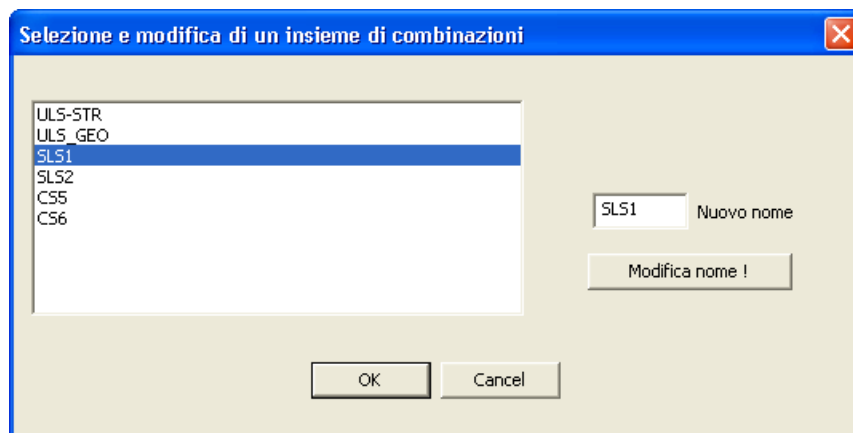
To activate a different combi set, it is also possible to click (right or left) over the status bar of the main window, in the relevant box which lists the active combi set identifier.

Type: modal

Destination: document, view

3.6.10.1.1 Selection and Change of a Combination Set (Dialog)

SELEZIONE E MODIFICA DI UN INSIEME DI COMBINAZIONI (DIALOGO)



Questo dialog serve a selezionare e/o modificare un insieme di combinazioni.

La selezione di un insieme di combinazioni si fa selezionando la corrispondente riga

della tabella.

Per modificare il nome di un insieme di combinazioni si seleziona la riga corrispondente, si riempie la casella "Nuovo Nome" e poi si preme il button "Modifica nome!".

Nella scelta dei nomi si tenga presente quanto segue:

- non possono esserci nomi duplicati;
- il nome non può avere più di sette lettere
- è consigliabile non introdurre spazi.

3.6.10.2 Add...

COMMAND: Edit-Combinazioni-Aggiungi...

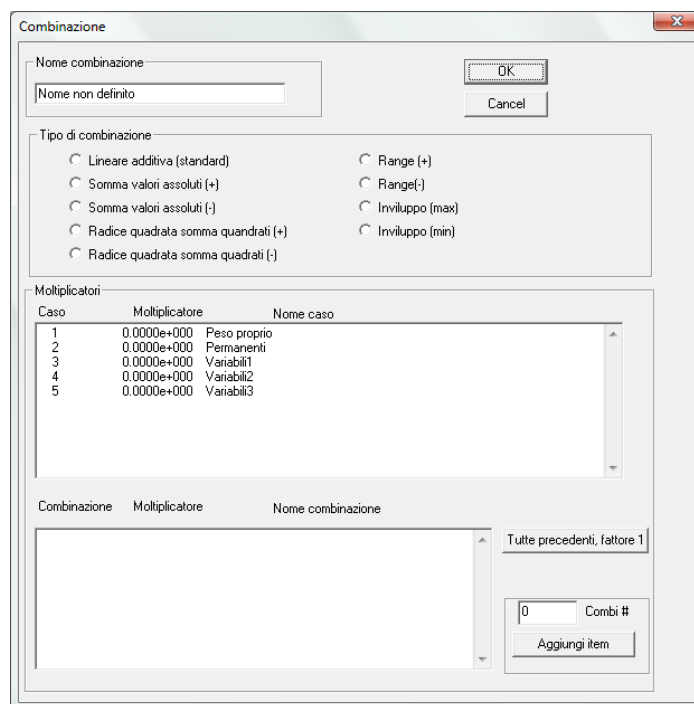
This command is used to add a combination to the active combi set. Once the command is executed, a proper [dialog](#)⁷⁰⁸ appears which is used to set the name of the combination, the type (linear additive, absolute values, SRSS, range, envelope) and the multiplying factors of each base load case. It is also possible to define combinations of combinations.

Type: modal

Destination: document

3.6.10.2.1 Combination (Dialog)

COMBINAZIONE (DIALOGO)



Questo dialog viene presentato in seguito alla richiesta di aggiungere una nuova combinazione o di modificare una combinazione esistente. Occorre dare un nome alla combinazione, definire il tipo e fissare - per ognuno dei casi di carico base - il moltiplicatore. Come descritto in seguito, è anche possibile definire combinazioni che dipendono da altre combinazioni. I tipi di combinazione disponibili sono i seguenti.

Lineare additiva (standard)

Vengono sommati linearmente i contributi dei vari casi di carico fattorizzati:

$$m_1 * caso_1 + m_2 * caso_2 + \dots + m_n * caso_n$$

dove m_i è il moltiplicatore definito per il caso_i.

Le combinazioni di casi di carico di tipo lineare additivo sono quelle standard e garantiscono l'equilibrio, la contemporaneità e la conservazione dei segni delle grandezze in esame. I successivi tipi di combinazioni sono stati aggiunti a Sargon per compatibilità con SAP2000 e devono essere utilizzati con molta attenzione: come riportato più sotto nelle note, infatti, possono verificarsi perdite di equilibrio e/o di informazioni rilevanti.

Somma valori assoluti (+)

Vengono sommati i valori assoluti dei contributi dei vari casi di carico fattorizzati:

$$| m_1 * caso_1 | + | m_2 * caso_2 | + \dots + | m_n * caso_n |$$

Somma valori assoluti (-)

Vengono sommati i valori assoluti cambiati di segno dei contributi dei vari casi di carico fattorizzati:

$$- | m_1 * caso_1 | - | m_2 * caso_2 | - \dots - | m_n * caso_n |$$

Radice quadrata somma quadrati (+)

Il risultato è la radice quadrata della somma dei quadrati (SRSS) dei contributi dei vari casi di carico fattorizzati:

$$\text{sqrt} [(m_1 * caso_1)^2 + (m_2 * caso_2)^2 + \dots + (m_n * caso_n)^2]$$

Radice quadrata somma quadrati (-)

Il risultato è la radice quadrata cambiata di segno della somma dei quadrati dei contributi dei vari casi di carico fattorizzati:

$$- \text{sqrt} [(m_1 * caso_1)^2 + (m_2 * caso_2)^2 + \dots + (m_n * caso_n)^2]$$

Range (+)

Vengono sommati solo i contributi positivi dei vari casi di carico fattorizzati:

$$\Sigma (m_i * caso_i)$$

sommando solo i valori $(m_i * caso_i) > 0$

Range (-)

Vengono sommati solo i contributi negativi dei vari casi di carico fattorizzati:

$$\Sigma (m_i * caso_i)$$

sommando solo i valori $(m_i * caso_i) < 0$

Inviluppo (max)

Viene restituito il valore massimo tra tutti i contributi dei casi di carico fattorizzati:

$$\max [(m_1 * caso_1) , (m_2 * caso_2) , \dots , (m_n * caso_n)]$$

Inviluppo (min)

Viene restituito il valore minimo tra tutti i contributi dei casi di carico fattorizzati:

$$\min [(m_1 * caso_1) , (m_2 * caso_2) , \dots , (m_n * caso_n)]$$

Combinazioni di combinazioni

E' possibile definire anche combinazioni di combinazioni, o combinazioni di casi e combinazioni. Ogni combinazione di combinazione può essere dei precedenti tipi (lineare additiva, valori assoluti, SRSS, range, inviluppi). Ad esempio:

$$m_1 * caso_1 + \dots + m_n * caso_n + m_{c1} * combi_1 + \dots + m_n * combi_m$$

dove m_{ci} è il moltiplicatore definito per la combinazione $combi_i$. La combinazione x può essere combinazione di combinazioni fino alla x-1, per impedire chiamate recursive (due combinazioni che si chiamano a vicenda, generando un ciclo infinito).

Se il riquadro in basso è vuoto, si tratta di una normale combinazione di casi di carico; se si vuole definire una combinazione di combinazioni, invece, nel riquadro in basso deve essere scritta una riga per ogni combinazione appartenente alla combinazione di combinazione; ogni riga deve avere la seguente struttura: numero della combinazione (inferiore a quella che si sta aggiungendo/modificando), moltiplicatore, nome della combinazione.

Il button *Tutte le precedenti, fattore 1* aggiunge automaticamente una riga per ognuna delle combinazioni precedenti a quella corrente, definendo un moltiplicatore unitario. Se si introduce un numero intero minore della combinazione corrente nella casella *Combi #* e si clicca il button *Aggiungi item*, viene automaticamente compilata una riga relativa alla combinazione specificata.

NOTE

Le combinazioni di tipo SRSS e valori assoluti fanno perdere informazioni relative al

segno delle grandezze in esame (azioni interne, spostamenti, ecc.); le combinazioni di tipo range, invece, trascurano contributi che vanno a diminuire la grandezza considerata. In entrambi i casi si perdono la coerenza dal punto di vista fisico e la condizione di equilibrio, venendo a mancare la contemporaneità o il segno delle varie grandezze. Ciò può essere non a favore di sicurezza oppure può portare a sovradimensionamenti. Anche le combinazioni di combinazioni devono essere usate con molta attenzione, facendo sempre attenzione al loro significato fisico. I due esempi opposti possono aiutare a capire meglio la questione. Se in un modello ci sono n combinazioni di casi di carico di tipo lineare additivo, è possibile aggiungere una combinazione di tipo involuppo di tutte le combinazioni precedenti: in questo modo la combinazione $n+1$ restituirà i valori più elevati di tutte le grandezze al variare delle n combinazioni. Estremizzando, pensiamo invece di aggiungere una combinazione ai valori assoluti negativi di combinazioni di tipo range positivo: è evidente in questo secondo caso la totale perdita di coerenza dal punto di vista fisico.

3.6.10.3 Generate...

COMMAND: Edit-Combinazioni-Genera...

Questo command consente di generare in modo automatico l'insieme delle combinazioni necessarie per le verifiche allo stato limite ultimo (SLU) ed allo stato limite di esercizio (SLE), nel combiset attivo. Il command realizza le combinazioni sulla base delle prescrizioni derivanti dagli eurocodici, con la possibilità di modificare i parametri di interesse come i fattori di sicurezza. L'impianto è in comune a quello prescritto dalle norme italiane come il DM 16-1-1996 e l'Ordinanza PCM 3274/2003.

Alla esecuzione del command compare un opportuno [dialog](#)^[713] che consente di fare le scelte necessarie alla generazione delle combinazioni. Le combinazioni possono essere generate solo se non vi sono altre combinazioni attive. Dopo aver generato le combinazioni in modo automatico è possibile aggiungerne di nuove o rimuoverne alcune mediante i normali comandi Sargon a questo scopo preposti. Le combinazioni aggiunte sono di tipo lineare additivo.

Per i dettagli operativo sul funzionamento del command si rimanda a [Come generare le](#)

[combinazioni](#)^[259] ed al dialog [Generazione di combinazioni](#)^[713].

Type: modal

Destination: document

3.6.10.3.1 Combinations Generation (Dialog)

GENERAZIONE DI COMBINAZIONI (DIALOGO)

Questo dialog consente di definire in dettaglio la modalità operativa del command di generazione delle combinazioni. Per un più approfondito svolgimento del tema, irto di tranelli e di difficoltà, si rimanda a [Come generare le combinazioni](#)^[259].

Il dialog è diviso in tre riquadri.

Il primo riquadro **Attività casi-Variabilità segni-Compresenza casi** serve a stabilire alcune importanti caratteristiche dei casi di carico base, precisamente dei casi di carico base di tipo non-permanente (vento, variabili, neve, sisma...).

Il secondo riquadro **Coefficienti Gamma** serve a stabilire il valore da adottare per i coefficienti γ_g , $\gamma_{g,inf}$, γ_q , γ_A da utilizzare nella generazione delle combinazioni. Questo riquadro serve anche a stabilire se occorre considerare il solo valore superiore o anche quello inferiore (cfr infra).

Il terzo riquadro **Type di stato limite** serve a decidere se le combinazioni si riferiscono allo stato limite ultimo (SLU) o allo stato limite di esercizio (SLE).

I bottoni nel riquadro “suggerisci gamma” modificano i valori dei coefficienti gamma a seconda del tipo di stato limite ultimo considerato, in accordo alle prescrizioni delle NTC 2008 / Eurocodice.

Esistono poi tre bottoni isolati: il button “**Stima quante ne verrebbero con queste scelte**” che serve a calcolare in modo approssimato il numero di combinazioni che risulterebbero dalle scelte fatte (le ragioni per cui è approssimato saranno chiarite più oltre), il button **Genera SL!** che materialmente genera queste combinazioni, il button **Cancel** che fa uscire dal command senza fare nulla.

A partire dalla versione 8.0 è stato aggiunto il command **Genera TA!** che consente di generare in modo automatico le combinazioni per il metodo delle tensioni ammissibili. In questo caso tutti gli psi introdotti per i casi di carico non vengono utilizzati (né variati), ed al loro posto viene messo il numero 1. Allo stesso modo, tutti i gamma indicati nel dialog non vengono usati, al loro posto viene usato il numero 1. Vengono invece impiegate le informazioni sulla variabilità dei segni, sulla possibile contemporaneità e sul fatto che un caso sia attivo o meno. In pratica il button in questione genera le combinazioni alle tensioni ammissibili senza dover modificare manualmente tutti i gamma e tutti gli psi.

Poiché a causa del fatto che i fattori sono tutti 1 il numero delle combinazioni duplicate è molto ma molto più elevato, l'algoritmo genera di solito un numero di combinazioni nettamente inferiore a quello tipico degli stati limite. In questo caso però non si ha alcuna riduzione a causa della concomitanza, nello spirito del metodo alle TA. Ove si vogliano generare

combinazioni alle TA che abbiano i gamma unitari e gli psi minori di 1 si potrà sempre usare il command **Genera SL!** ponendo eguali a 1 i termini corrispondenti.

Esaminiamo ora più in dettaglio i vari riquadri.

Attività casi-Variabilità dei segni-Compresenza casi

Questo riquadro è fondamentale.

Nella lista di sinistra vengono elencati tutti i casi di carico di tipo non permanente (tutti tranne quelli Permanenti e Gravità). Ognuno di questi casi di carico ha un suo segno di spunta che dice se il caso di carico è attivo, ovvero occorrerà tenerne conto nelle combinazioni, oppure se è inattivo, ed in tal caso il suo moltiplicatore sarà nullo in ogni combinazione, nessuna esclusa. Per attivare tutti i casi di carico variabili con un solo click basta premere il button **Tutti!**, mentre per disattivare tutti i casi di carico basta premere il button **Nessuno!**. Se si vuole che un caso di carico venga scartato (casi di carico utili per costruzioni o passaggi intermedi) è dunque necessario non etichettarlo **Permanente** o **Gravità**.

La casella di spunta **Cambia segno** si riferisce al caso di carico base variabile selezionato in un dato istante. Se la selezione cambia, il contenuto della casella di spunta cambia. Se la casella di spunta è selezionata (compare il segno di spunta), allora il corrispondente caso di carico dovrà comparire nelle combinazioni sia con il segno “+” che con il segno “-“. Se invece il segno di spunta non compare, allora il segno sarà sempre solo positivo.

Il contenuto del riquadro di destra cambia a seconda della selezione attiva nel riquadro di sinistra. Nel riquadro di destra (***Ammissibilità compresenza altri casi***) vengono elencati tutti i casi di carico di tipo non permanente (tutti i tipi tranne **Permanente** e **Gravità**), ad eccezione del caso di carico variabile correntemente selezionato nel riquadro di sinistra. Ogni caso nel riquadro di destra presenta un nuovo segno di spunta diverso per significato dal segno di spunta presente nel riquadro di sinistra. Se il segno di spunta del caso di carico J posto *a destra* relativo al caso di carico I posto *a sinistra* è presente, questo vuol dire che è ammessa la contemporanea presenza di I e J in una stessa combinazione. Se invece il medesimo segno di spunta è assente, allora quando è presente I non deve essere presente J. In pratica occorre definire i termini extradiagonali di una matrice quadrata booleana avente tante righe quanto

sono i casi di carico non variabili. *La matrice deve essere simmetrica* (il segno di spunta IJ deve essere eguale al segno di spunta JI). Se la matrice non è simmetrica il programma la segnala quando gli si chiede di generare le combinazioni o di stimarne il numero.

Si noti che è ben possibile che casi di carico variabile non possano agire contemporaneamente: si pensi alle diverse posizioni di un carico mobile, alle diverse configurazioni di un carico variabile, alle diverse direzioni di un carico da vento, alla eventuale contraddittorietà di due casi (termico a +30°C e neve).

Il fatto che due o più casi di carico siano mutuamente esclusivi obbliga a generare nuove combinazioni di carico nelle quali si permutino tutte le possibilità incrociate di compresenza di casi di carico variabili differenti. Si rimanda a [Come generare le combinazioni](#)^[259] per una più approfondita spiegazione.

Coefficienti Gamma

In questo riquadro si definiscono i valori dei coefficienti gamma. I valori proposti sono quelli previsti dalle norme italiane, ma in caso di commesse estere o lavori da eseguirsi in accordo ad altre normative, è possibile variare a proprio piacimento questi coefficienti.

Molto importanti sono le due caselle di spunta **Combina anche gli INF**, relative ai permanenti (gamma G = γ_g) ed ai variabili (gamma Q = γ_q).

Non è infatti detto che il valore di combinazione superiore (ad esempio $\gamma_g = 1.4$) generi ovunque situazioni peggiori di quelle che si avrebbero con il valore inferiore (che nel caso dei permanenti è posto dal programma eguale a 1). Ad esempio nei riguardi del ribaltamento i permanenti possono avere una azione stabilizzante, e quindi un loro valore inferiore risultare più gravoso ad esempio per ancoraggi o fondazioni. Pertanto là dove un caso di carico permanente compare con il suo valore superiore esso dovrebbe anche essere considerato, in un'altra combinazione, con il suo valore inferiore. Ovviamente nulla obbliga ad avere casi di carico permanenti che abbiano le stesse distribuzioni, e pertanto vanno considerate tutte le possibili permutazioni dei valori permanenti superiori ed inferiori di tutti i casi di carico base.

Analogo discorso vale per i carichi “variabili” (ovvero non di tipo **Gravità** o **Permanente**). In questo caso come valore inferiore il programma assume il moltiplicatore 0, ovvero il caso in cui il corrispondente caso di carico variabile manca (mentre in generale potranno esserci gli altri).

Se non si desidera tener in conto i valori superiori e quelli inferiori, ma solo i valori superiori, allora il segno di spunta va eliminato. Si noti che è possibile tenere in conto dell'effetto solo per i permanenti, solo per i variabili, per entrambi o per nessuno dei due. In generale il numero di combinazioni diminuisce (anche di molto) se non si tiene in conto la variabilità superiore/inferiore.

Type di stato limite

Questo riquadro serve a decidere se si dovranno generare combinazioni per gli stati limite di danno o combinazioni per gli stati limite ultimi. Si rimanda a [Come generare le combinazioni](#)^[259] per la descrizione delle differenze.

Il pulsante “**Stima quante ne verrebbero con queste scelte**” consente di avere preliminarmente una stima (un limite superiore) di quante combinazioni verrebbero aggiunte con le impostazioni scelte. Non è possibile dare il numero esatto senza materialmente aggiungere le combinazioni, perché solo se queste sono state aggiunte è possibile eliminare le combinazioni ridondanti. Le combinazioni sono considerate ridondanti quando:

- sono già state aggiunte eguali in precedenza;
- sono identiche ad un'altra aggiunta in precedenza, a meno di un fattore K eguale per tutti i casi di carico base. In altre parole se F_i sono i fattori della combinazione già aggiunta, e G_i sono i fattori della combinazione da aggiungere ($i=1$, numero di casi di carico), risulti per ogni i : $F_i = K G_i$. In questo caso: se $K < 1$ la G_i sostituirà la F_i , ma comunque rimarrà un'unica combinazione. Se invece $K > 1$, allora rimarrà la F_i e la G_i verrà scartata.

I controlli di ridondanza consentono di evitare la generazione di combinazioni platealmente inutili.

3.6.10.4 Print

COMMAND: Edit-Combinations-Print...

This command is used to create an ASCII file (extension .txt) which lists the load case multipliers of the combinations of the active combiset. The file is “tab delimited” and can easily be imported into EXCEL or WORD, for further work.

3.6.10.5 Import**Command: Edit-Combinazioni-Importa**

Questo command consente di importare nel [combiset attivo](#)^[707] l'insieme di combinazioni scritte in un file di testo. All'esecuzione del command viene chiesto il percorso in cui si trova il file, che deve avere il seguente formato (*n* é inl numero di casi di carico del modello e *m* il numero delle combinazioni di verifica):

```
nome combi1      combi 1      fattore caso 1      fattore caso 2      ...      fattore caso n
nome combi2      combi 2      fattore caso 1      fattore caso 2      ...      fattore caso n
...
nome combim      combi m      fattore caso 1      fattore caso 2      ...      fattore caso n
```

Esempio:

```
pippo      1      1.00      1.30      0.00
pluto      2      1.30      1.00      0.00
abcd1      3      1.30      1.30      0.00
abcd2      4      1.00      1.00      1.50
abcd3      5      1.00      1.00     -1.50
abcd4      6      1.00      1.30      1.50
abcd5      7      1.00      1.30     -1.50
abcd6      8      1.30      1.00      1.50
abcd7      9      1.30      1.00     -1.50
abcd8     10      1.30      1.30      1.50
abcd9     11      1.30      1.30     -1.50
```

3.6.10.6 Modify

COMMAND: Edit-Combination-Modify...

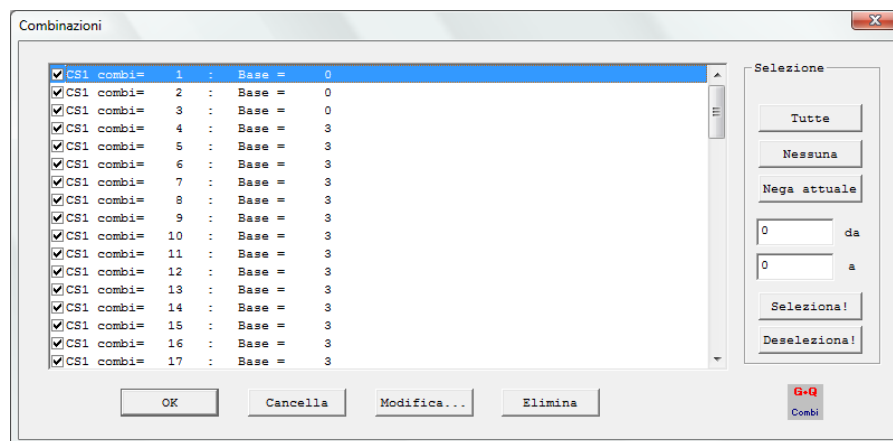
This command is used to modify the combinations, and to activate/inactivate them in the [active combiset](#)^[707]. Once the command is executed, a proper [dialog](#)^[719] is opened.

Type: modal

Destination: active view, document

3.6.10.6.1 Combinations

COMMAND: Edit-Combinazioni-Modifica...



In questo dialog è possibile modificare le combinazioni del combiset attivo, eliminarle e anche attivarle/disattivarle.

Selezionando la combinazione desiderata (evidenziata in blu) e cliccando il button *Modifica*, viene riproposto lo stesso [dialog](#)^[720] utilizzato per la generazione della stessa combinazione. Basta editare i dati e modificarli. Cliccando il button *Elimina*, invece, la combinazione selezionata viene eliminata.

E' possibile attivare ciascuna combinazione spuntandola o disattivarla togliendo la spunta. Il button *Tutte* spunta automaticamente tutte le combinazioni, il button *Nessuna* toglie tutte le spunte; il button *Nega attuale* inverte lo stato di spunta di tutte le combinazioni: viene rimossa la spunta a quelle correntemente spuntate e viceversa; i bottoni *Seleziona!* e *Deseleziona!* selezionano e deselezionano tutte le combinazioni comprese nell'intervallo definito dalle caselle "da" "a", lasciando inalterate tutte le altre. Ad esempio, *Seleziona da 10 a 25* seleziona tutte le combinazioni comprese tra 10 e 25.

- Le combinazioni [selezionate](#)^[260] vengono incluse nelle verifiche automatiche, negli involuppi e in tutti i risultati forniti a schermo e nel tabulato.
- Le combinazioni [non selezionate](#)^[260] hanno risultati nulli e quindi non figurano negli involuppi, nelle verifiche, ecc.

3.6.10.6.1.1 Combination (Dialog)

COMBINATION (DIALOG)

This dialog appears when an existing combination is being changed. It is the same dialog used for the [addition of a combination](#)^[708]: follow the link to get more information.

3.6.10.7 Zero...

COMMAND: Edit-Combination-Zero

This command is used to zero the load case multipliers of the active combination (the one active in the active view), of the active combiset.

Type: immediate

Destination: active view, document

3.6.10.8 Remove All

COMMAND: Edit-Combinations-Remove All

This command is used to remove all the combinations of the active combi set, not only zeroing the load case multipliers, but removing from the model all the combinations previously defined of the active combiset.

Type: immediate

Destination: document

3.6.10.9 Remove Some

COMMAND: Edit-Combinazioni-Elimina Alcune...

Questo command consente di eliminare alcune combinazioni di caricodal combiset attivo sulla base dei risultati ottenuti sugli elementi e sulle reazioni vincolari. In pratica il command esamina la risposta strutturale ed elimina le combinazioni reputate non significative in quanto tali da non generare sfruttamenti (o reazioni vincolari) superiori a certe soglie decise dall'utente. Il command è modal, alla sua esecuzione compare un opportuno [dialog](#)^[722] che consente di fare le scelte necessarie in merito ai numeri indice da assumere. Prima di eseguire la cancellazione l'utente, informato sul numero di combinazioni che verranno cancellate, deve dare conferma del desiderio di cancellare le combinazioni. Viene creato in automatico un file denominato "modello.combi.list.txt" nel quale per ogni combinazione si dà il valore rilevante di ciascun indicatore scelto.

Questo command è molto utile se si hanno centinaia o migliaia di combinazioni, dopo averle generate automaticamente con il command [Genera...](#)^[712]. Perché il command possa funzionare (es essere eseguito) è necessario che sia preventivamente stato eseguito il solving. Se si fa uso del "vero" coefficiente di sfruttamento occorre anche aver eseguito le verifiche.

Type: immediato

Destination: document

3.6.10.9.1 Combinations Removal (Dialog)

RIMOZIONE DI COMBINAZIONI (DIALOGO)

Questo dialog serve a determinare i criteri in base ai quali verranno rimosse alcune delle combinazioni esistenti nel modello.

Possono essere determinati uno o più criteri basati su essenzialmente due indicatori: lo sfruttamento degli elementi o l'intensità delle reazioni vincolari.

Lo sfruttamento degli elementi può essere valutato in tre modi: mediante un calcolo elastico semplificato (sfruttamento semplificato per tensioni normali); mediante un calcolo plastico semplificato (come prima si tiene solo in conto la tensione normale); mediante i risultati delle verifiche eseguite in precedenza. Nei primi casi lo sfruttamento è valutato in modo semplificato, tenendo in conto in pratica le sole verifiche di resistenza basate su N, M2, M3. Nel terzo caso si usa l'effettivo sfruttamento (a resistenza e stabilità e per tutte le componenti di sollecitazione) così come stimato dal programma verificatore che ha eseguito le verifiche in precedenza, correntemente attivo.

In pratica vengono scartate solo le combinazioni tali per cui tutti gli elementi hanno uno sfruttamento inferiore alla soglia indicata. Se la soglia è -99 ciò vuole dire che il criterio non viene tenuto in conto. Se ad esempio indichiamo 0.2 come sfruttamento elastico semplificato, allora verranno cancellate tutte le combinazioni tali per cui tutti gli elementi selezionati, nessuno escluso, abbiano sfruttamento elastico semplificato inferiore a 0.2. E' chiaro che combinazioni di questo tipo sono con alta probabilità irrilevanti ai fini delle verifiche. Se si specificano due criteri, le combinazioni eliminate dovranno soddisfarli entrambi.

Per quanto riguarda le reazioni vincolari ciò che conta sono i nodi selezionati. In questo caso verranno eliminate tutte le combinazioni tali per cui tutti i nodi selezionati abbiano la componente di reazione vincolare specificata superiore al valore indicato. Tale funzionalità è comoda per esaminare ad esempio se ci sono, combinazioni che comportino l'inversione di segno di una componente di reazione vincolare. Se si specifica per Rz il valore

0, allora solo le combinazioni in cui $R_z > 0$ saranno eliminate, lasciando le sole combinazioni ove la reazione vincolare punti verso il basso (colonne in trazione).

3.6.10.10 Next

COMMAND: Edit-Combination-Next

This command is used to set the next combination of the active combination set, as active.

Type: immediate

Destination: active view

3.6.10.11 Previous

COMMAND: Edit-Combination-Previous

This command switches to the previous load combination in the active combination set (combiset).

Type: immediate

Destination: active view

3.6.11 Masses

3.6.11.1 Add...

COMMAND: Edit-Masse-Aggiungi...

Questo command fa aggiungere una massa stabilita dall'utente ai nodi selezionati. Si noti che la massa fissata dall'utente viene aggiunta alla massa già presente sui nodi selezionati. Inizialmente sui nodi la massa è nulla. La massa aggiunta può essere traslazionale o rotazionale

(momento di inerzia). La massa aggiunta serve unicamente ai fini dell'analisi modal ed a spettro di risposta: non influenza in alcun modo la analisi statica.

Al fine di evitare confusioni sulle unità di misura Sargon chiede che la massa aggiunta venga introdotta in unità forza e non in unità massa. Si deve introdurre cioè il peso della massa che si vuole aggiungere, nella unità forza attiva. Se, ad esempio, si vuole introdurre la massa di un litro d'acqua e si stanno usando i chili, la massa da introdurre è 1. Se si usano le tonnellate la massa è pari a 0.001.

I momenti di inerzia usano lo stesso criterio, ma compare anche la unità di lunghezza. Il momento di inerzia di una massa pari ad un litro d'acqua posta alla distanza di 1m dall'asse di rotazione verrà espresso:

se sto usando Kg e mm come $1 \times 1000 \times 1000$

se sto usando ton e mm come $0.001 \times 1000 \times 1000$

se sto usando Kg e m come $1 \times 1 \times 1$.

Quando si danno le masse traslazionali è necessario dare le masse nelle tre direzioni tutte eguali tra loro. In casi speciali è possibile dare masse diverse nelle tre direzioni. Se si fornisce la sola massa x le masse y e z verranno nulle: attenzione.

Type: modal

Destination: document

3.6.11.1.1 Mass Addition (Dialog)

ADDING OF MASSES (DIALOG)

This dialog is used to set the translational and rotational masses to be **added** to the selected nodes.

Masses are input using their weight (a 100Kg mass as 100KgF or 0.1ton), using the current force unit.

3.6.11.2 Case...

COMMAND: Edit-Masses-Case...

This command sums to all the structural nodes the masses got by a load case, multiplied times a scale factor. The program converts the resultant of the loads applied to nodes and elements in an equivalent mass (i.e. having a weight equal to the force resultant), and then applies the mass to the node or in equal parts to the element connectivity nodes. The command works with nodal loads and with uniform distributed loads, missing, for other load kind, a unique criterion to apply the masses to nodes.

Type: modal

Destination: document

3.6.11.2.1 Adding of the Masses of a Load Case (Dialog)

ADDING OF THE MASSES OF A LOAD CASE (DIALOG)

This dialog is used to input the **load case** and the **factor** to be used to add masses. The modulus of each single load is computed, converted into mass, multiplied times the factor and applied to the node. For the distributed loads, the mass is equally divided between the two nodes of the beam to which the load is applied. The loads which are not uniform are discarded (not kept into account).

3.6.11.3 Canc Sel

COMMAND: Edit-Mass-Canc Sel

This command deletes the applied masses from the selected nodes, setting them equal to zero.

Type: immediate

Destination: document

3.6.11.4 Canc SelX

COMMAND: Edit-Masse-Edit-Masse-Canc SelX

Questo command cancella le masse traslazionali X dai nodi selezionati, ponendole eguali a zero.

Type: immediato

Destination: document

3.6.11.5 Canc SelY

COMMAND: Canc Sel Y

This command removes the Y translational masses from the selected nodes, stting them to zero.

Type: immediate

Destination: document

3.6.11.6 Canc SelZ

COMMAND: Edit-Mass-Canc Sel Z

This command is used to remove the Z translational masses from the selected nodes, setting them to zero.

Type: immediate

Destination: document

3.6.11.7 Move...

COMMAND: Edit-Masse-Sposta

Questo command genera delle correzioni alla massa dei nodi selezionati in modo da spostare il centro delle masse di una certa prefissata quantità, definita da un valore di D_x , D_y e D_z . Il command tiene in conto i soli nodi selezionati che abbiano una massa non nulla. Le masse traslazionali in direzione X Y e Z devono essere eguali. Ove venga generata una massa negativa il command si interrompe. Viene prima applicato lo shift in direzione X, poi quello in direzione Y, infine quello in direzione Z.

Estratto dal volume “Analisi modal ragionata”, di Paolo Rugarli:

Partendo da una certa distribuzione di masse, una pertinente correzione variabile linearmente con la ascissa può essere ottenuta in forma chiusa applicando le seguenti formule.

Sia \underline{x} la posizione del centro delle masse prima delle correzione ed $(\underline{x}+e)$ la posizione del centro delle masse che si vuole ottenere dopo la correzione, dove “e” è l’eccentricità accidentale desiderata. Sia inoltre “i” un indice che varia da node a node e che tiene in conto solo i nodi selezionati e con massa non nulla per un totale di “n” nodi. Immaginiamo che la massa m_i di ciascun node subisca una correzione Δm_i e che la correzione Δm_i sia funzione lineare di x, secondo la legge

$$\Delta m_i = ax_i + b$$

dove “a” e “b” sono due costanti. In tal caso, imponendo che la massa totale M non cambi e che la posizione del nuovo centro delle masse sia in $(+e)$, otteniamo le due equazioni seguenti:

$$\begin{cases} \sum_i (m_i + \Delta m_i) = M \\ \sum_i x_i (m_i + \Delta m_i) = M(\bar{x} + e) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sum_i \Delta m_i = \sum_i (ax_i + b) = 0 \\ \sum_i x_i \Delta m_i = \sum_i x_i (ax_i + b) = Me \end{cases}$$

$$\begin{cases} b = \frac{-a \sum_i x_i}{n} \\ a = \frac{nMe}{n \left(\sum_i x_i^2 \right) - \left(\sum_i x_i \right)^2} \end{cases}$$

Queste formule entrano però in crisi quando la correzione è negativa e superiore alla massa originaria, quando cioè

$$m_i + \Delta m_i < 0$$

condizione che si raggiunge se la eccentricità “e” supera un certo valore di soglia, dipendente dal problema in esame.

Type: immediato

Destination: document

3.6.12 Multistorey

COMMAND: Edit-Multipiano

Questo command serve a definire i livelli di un edificio multipiano. Per definizione dei livelli qui si intende la definizione del numero dei livelli e la definizione, per ciascun livello, della sua quota (valore della coordinata z).

Queste informazioni sono usate dal programma per identificare vari elementi tra cui le colonne. Per “colonna” si intende un elemento beam verticale che vada da un livello ad un altro livello immediatamente adiacente al primo. L’identificazione automatica delle colonne è necessaria per eseguire una serie di calcoli previsti dalle norme per tipi di elemento (ad

esempio il calcolo dell'interstorey drift).

Il command può essere eseguito o rieseguito in qualsiasi momento. Alla esecuzione del command compare un opportuno dialog ([Multipiano](#)^[729]) che chiede di specificare i dati relativi ai livelli.

La definizione dei livelli per una struttura multipiano tramite questo command è necessaria solo se si vogliono usare i comandi che sfruttano questa informazione.

Type: modal

Destination: document.

3.6.12.1 Multistorey (Dialog)

MULTISTOREY (DIALOG)

This dialog is used to set the number of storey of the structure and their elevation, if the structure is a multistorey building.

The first thing to do is to set the number of floors above the ground. Once this is done the button “**Assign**” is pressed, so as to create an elevation vector, which is initially blank. Once the number of floors has been input, a series of elevations appears in the window “**Storey elevations**”, equal to the number of storey plus one. The letter **L** identifies the storey, the letter **Z** identifies the elevation. The (absolute) elevation must be set using the current length unit. Level **L=0** is the “ground floor”, which must not be computed in the total number of storeys. Ground storey has in general an elevation not null, therefore you must also set the elevation of level 0.

Once the elevations have been completed, press OK.

3.6.13 Groups

COMMAND: Edit-Groups

This command is used to add and modify groups. When the command is executed a proper [dialog](#)^[730] is opened, and this is used to add new groups, or to modify existing groups, changing their related color and, or, their description. The command is also used to get info about the existing groups.

Type: modal

Destination: document.

3.6.13.1 Groups (Dialog)

GROUPS (DIALOG)

This dialog is used by several commands. It summarizes the available groups displaying blue (selected) the active group. If the selected group is changed, the active group will also change. The active group is the group to which new elements will be assigned, by direct addition, copy, rotation, mirroring.

The choice of the group to which the selected elements will be assigned is done by choosing one of the available groups, and then pressing OK.

This dialog is also used to get to another [dialog](#)^[730], that is used to modify existing groups (button **Modify...**) or to add new ones (button **Add...**).

3.6.13.1.1 Group Definition (Dialog)

DEFINITION OF A GROUP (DIALOG)

This dialog is used to set the name of the current group and its colour. To change colour you must click the rectangle with the current colour.

3.7 Post

3.7.1 Deformed

3.7.1.1 With Undeformed

COMMAND: Post-Deformed-With Undeformed

This command is a flag used to set if deformed will be displayed with undeformed, or not.

3.7.1.2 Deformed

COMMAND: Post-Deformata-Senza Indeformata

This command is a flag setting deformed view only.

3.7.1.3 Map

COMMAND: Post-Deformed-Map

This command is used to display a colout map sclaed to one of the displacement components. Once the command is executed, a proper [dialog](#)⁷³¹ opens, which is used to set the component of the displacement or rotation vector.

Type: modal

Destination: view

3.7.1.3.1 Choice of a Component (Dialog)

CHOICE OF A COMPONENT (DIALOG)

This dialog is used by several commands. It is used to choose which displacement component will be displayed. You can choose a translational component, a rotational component, or the translation resultant.

3.7.1.4 Inquire

COMMAND: Post-Deformed-Inquire

This command is used to get the nodal displacements in the active load case or combination. Displacements are printed using the current length unit. Rotations are in radians (positive if counter-clockwise).

3.7.1.4.1 Nodal Displacement (Dialog)

NODAL DISPLACEMENTS (DIALOGO)

This dialog lists the number of the node nearest to mouse cursor, the node translations (using current length unit) and rotations (using radians), in the active load case or combination.

3.7.1.5 Internal

COMMAND: Post-Deformed-Internal

This command is used to get information about the displacements of the beam-elements internal points, in the active load case or combination.

3.7.1.5.1 Internal Displacement (Dialog)

INTERNAL DISPLACEMENT (DIALOG)

This dialog prints:

- The number N of the chosen beam element.
- The point mapped by the cursor inside the beam axis: x is the distance from the first node, ξ is the non dimensional abscissa from the first node.
- The three translation of the internal point with reference to the global system (**SX**, **SY**, **SZ**).
- The three translation of the internal point with reference to the local system (**T1**, **T2**, **T3**).
- The translation vector resultant (**S**).

3.7.1.6 Extremes...

COMMAND: Post-Deformed-Extremes

This command prints in a dialog the maximum and minimum absolute displacements, for each component, of the selected nodes when the command is executed. Given a set of nodes (those selected) the program searches, in the active load case or combination, which are the nodes that maximize or minimize the translation components in the three directions, and the rotations about the three global axes.

3.7.1.7 Envelope Extremes...

COMMAND: Post-Deformed-Envelope extremes

This command prints into a dialog the maximum and minimum absolute displacement, for each component, of the selected nodes when the command is executed. Given a set of nodes (the ones selected), the program searches, among all combinations, which are the nodes and combinations that minimize or maximize the translation components in the three directions, and the rotations about the three global axes.

3.7.1.8 Envelope Extremes (relative)

COMMAND: Post-Deformed-Envelope extremes (relative)

This command prints the maximum and minimum relative displacements, for each component, considering the nodes selected when the command is executed. Given a set of (selected) nodes the program searches, considering all the selected (active) combinations, the couples of nodes and combinations that maximize or minimize their relative displacement components along the three global directions, and along the three possible rotations about the global axes.

If only two nodes are selected, the program prints the envelope of the relative displacements between the two nodes.

The command can be useful, for instance, to check the axial force value of a member, or to check the relative displacement level, considering the "gap" between nodes having a limited distance between themselves.

3.7.1.9 Scale**COMMAND: Post-Deformed-Scale**

This command is used to change the deformed scale.

3.7.1.9.1 Displacement Multiplier (Dialog)**DISPLACEMENT MULTIPLIER (DIALOG)**

This dialog is used to decide whether to use or not the automatic displacement scale. If the automatic scale is not used, it will be used the scale which has been input (x).

3.7.2 Stresses BT**3.7.2.1 Axial Force****COMMAND: Post-Stresses BT-Axial Force - Tx**

This command is used to display the axial force diagrams or the internal force component about global axis X. Which of the two depends on the command [Local](#)^[739].

The rule adopted to compute these internal forces is the following. Imagine to break the beam in the point where the internal forces are read: you will get two pieces and two free faces. The internal forces acting over the two faces are equal and opposite (signs are reversed), and they are such that both the pieces will be in a balanced situation. *The program prints and displays the internal forces referred to the local tern or to the global one, as applied over the face belonging to the piece that includes the first extremity of the beam.*

To understand as they are directed, apply the local tern for N, T2, T3, M1, M2, M3 or the global tern for Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz over the face belonging to the piece including the first extremity of the beam. The internal forces applied there, those displayed or printed by the program, are directed as the pertinent axis (N, T2, T3, M1, M2, M3 as the local axes 1, 2, 3, 1, 2, 3; Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz as the global axes X, Y, Z, X, Y, Z) and have positive sign if their sign is the same of the axis considered, negative sign if their sign is opposite to the axis considered. For instance, a positive N is a tensile force (as it is directed as positive axis 1 in the face belonging to the piece including the first extremity).

3.7.2.2 Shear 2

COMMAND: Post-Stresses BT-Shear 2 - Ty

This command is used to display the shear T2 diagrams, or the component about global axis Y of the internal force vector. Which of the two depends on the command [Local](#)^[739].

The rule adopted to compute these internal forces is the following. Imagine to break the beam in the point where the internal forces are read: you will get two pieces and two free faces. The internal forces acting over the two faces are equal and opposite (signs are reversed), and they are such that both the pieces will be in a balanced situation. *The program prints and displays the internal forces referred to the local tern or to the global one, as applied over the face belonging to the piece that includes the first extremity of the beam.*

To understand as they are directed, apply the local tern for N, T2, T3, M1, M2, M3 or the

global tern for $F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z$ over the face belonging to the piece including the first extremity of the beam. The internal forces applied there, those displayed or printed by the program, are directed as the pertinent axis ($N, T_2, T_3, M_1, M_2, M_3$ as the local axes 1, 2, 3, 1, 2, 3; $F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z$ as the global axes X, Y, Z, X, Y, Z) and have positive sign if their sign is the same of the axis considered, negative sign if their sign is opposite to the axis considered. For instance, a positive N is a tensile force (as it is directed as positive axis 1 in the face belonging to the piece including the first extremity).

3.7.2.3 Shear 3

COMMAND: Post-Stresses BT-Shear 3 - Tz

This command is used to display the shear T_3 diagrams or the component about global axis Z of the internal forces. Which of the two depends on the command [Local](#)^[739].

The rule adopted to compute these internal forces is the following. Imagine to break the beam in the point where the internal forces are read: you will get two pieces and two free faces. The internal forces acting over the two faces are equal and opposite (signs are reversed), and they are such that both the pieces will be in a balanced situation. *The program prints and displays the internal forces referred to the local tern or to the global one, as applied over the face belonging to the piece that includes the first extremity of the beam.*

To understand as they are directed, apply the local tern for $N, T_2, T_3, M_1, M_2, M_3$ or the global tern for $F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z$ over the face belonging to the piece including the first extremity of the beam. The internal forces applied there, those displayed or printed by the program, are directed as the pertinent axis ($N, T_2, T_3, M_1, M_2, M_3$ as the local axes 1, 2, 3, 1, 2, 3; $F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z$ as the global axes X, Y, Z, X, Y, Z) and have positive sign if their sign is the same of the axis considered, negative sign if their sign is opposite to the axis considered. For instance, a positive N is a tensile force (as it is directed as positive axis 1 in the face belonging to the piece including the first extremity).

3.7.2.4 Torque

COMMAND: Post-Stresses BT-Torque - Mx

This command is used to display the Torque diagrams or the internal moment component about global axis x. Which of the two depends on the command [Local](#)^[739].

The rule adopted to compute these internal forces is the following. Imagine to break the beam in the point where the internal forces are read: you will get two pieces and two free faces. The internal forces acting over the two faces are equal and opposite (signs are reversed), and they are such that both the pieces will be in a balanced situation. *The program prints and displays the internal forces referred to the local tern or to the global one, as applied over the face belonging to the piece that includes the first extremity of the beam.*

To understand as they are directed, apply the local tern for N, T2, T3, M1, M2, M3 or the global tern for Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz over the face belonging to the piece including the first extremity of the beam. The internal forces applied there, those displayed or printed by the program, are directed as the pertinent axis (N, T2, T3, M1, M2, M3 as the local axes 1, 2, 3, 1, 2, 3; Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz as the global axes X, Y, Z, X, Y, Z) and have positive sign if their sign is the same of the axis considered, negative sign if their sign is opposite to the axis considered. For instance, a positive N is a tensile force (as it is directed as positive axis 1 in the face belonging to the piece including the first extremity).

3.7.2.5 Bending 2

COMMAND: Post-Stresses BT-Bending 2 - My

This command is used to display bending moment diagrams M2 or the internal bending component about global axis Y. Which of the two depends on the command [Local](#)^[739].

The rule adopted to compute these internal forces is the following. Imagine to break the beam in the point where the internal forces are read: you will get two pieces and two free faces. The internal forces acting over the two faces are equal and opposite (signs are reversed), and they are such that both the pieces will be in a balanced situation. *The program prints and*

displays the internal forces referred to the local tern or to the global one, as applied over the face belonging to the piece that includes the first extremity of the beam.

To understand as they are directed, apply the local tern for N, T2, T3, M1, M2, M3 or the global tern for Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz over the face belonging to the piece including the first extremity of the beam. The internal forces applied there, those displayed or printed by the program, are directed as the pertinent axis (N, T2, T3, M1, M2, M3 as the local axes 1, 2, 3, 1, 2, 3; Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz as the global axes X, Y, Z, X, Y, Z) and have positive sign if their sign is the same of the axis considered, negative sign if their sign is opposite to the axis considered. For instance, a positive N is a tensile force (as it is directed as positive axis 1 in the face belonging to the piece including the first extremity).

3.7.2.6 Bending 3

COMMAND: Post-Stresses BT-Bending 3 - Mz

This command is used to display bending moment M3 or the internal bending component about gloabl axis z. Which of the two depends on the command [Local](#)^[739].

The rule adopted to compute these internal forces is the following. Imagine to break the beam in the point where the internal forces are read: you will get two pieces and two free faces. The internal forces acting over the two faces are equal and opposite (signs are reversed), and they are such that both the pieces will be in a balanced situation. *The program prints and displays the internal forces referred to the local tern or to the global one, as applied over the face belonging to the piece that includes the first extremity of the beam.*

To understand as they are directed, apply the local tern for N, T2, T3, M1, M2, M3 or the global tern for Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz over the face belonging to the piece including the first extremity of the beam. The internal forces applied there, those displayed or printed by the program, are directed as the pertinent axis (N, T2, T3, M1, M2, M3 as the local axes 1, 2, 3, 1, 2, 3; Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz as the global axes X, Y, Z, X, Y, Z) and have positive sign if their sign is the same of the axis considered, negative sign if their sign is opposite to the axis considered. For instance, a positive N is a tensile force (as it is directed as positive axis 1 in

the face belonging to the piece including the first extremity).

3.7.2.7 Local

COMMAND: Post-Sforzi BT-Locale

Questo command attiva o disattiva la rappresentazione locale delle azioni interne degli elementi. Se il flag è attivo (compare un segno di spunta ed il pulsante “L” nella barra POST è abbassato) le azioni interne verranno mostrate nel riferimento locale, ed i comandi di interrogazione si riferiscono alle azioni interne nel sistema locale. Se il flag è disattivato (manca il segno di spunta ed il button è alzato) allora le azioni interne verranno rappresentate ed interrogate nel sistema globale.

Nell'intento di rendere più immediatamente comprensibile il senso dei diagrammi, è stata dunque aggiunta la possibilità di mostrare il diagramma delle azioni interne nel riferimento globale. In pratica le azioni interne vengono composte per dare le azioni dirette secondo l'asse X, Y, Z. Le azioni risultanti coincidono con quelle interne solo se le due terne (quella locale e quella globale) hanno gli assi ordinatamente paralleli, per esempio se l'asse 2 è parallelo all'asse Y, $MY=M2$, mentre se l'asse 1 coincide con l'asse Z, $MZ=M1$, e così via.

Se le terne non si corrispondono in qualche modo le azioni globali non rappresentano fisicamente azioni taglienti, flettenti, assiali o torsionali, bensì una certa composizione vettoriale degli stessi.

Il command è utile quando interessa conoscere, indipendentemente dalla orientazione locale, una certa componente globale della sollecitazione.

Se ad esempio per una beam l' $M2$ è un MY , e per un'altra è l' $M3$ ad essere MY , ora si possono vedere contemporaneamente i due diagrammi semplicemente chiedendo “MY”.

I comandi che attivano questi diagrammi sono gli stessi che attivano i diagrammi locali. I comandi in questione cambiano il loro funzionamento sulla base di un nuovo pulsante che è stato aggiunto alla barra post: questo pulsante “L” (locale) serve a stabilire se i diagrammi sono locali (pulsante premuto) o globali (pulsante sollevato). Quando il pulsante è sollevato anziché N, T2, T3, M1, M2, M3 sui pulsanti soliti compaiono le sigle Tx, Ty, Tz, Mx, My, Mz.

3.7.2.8 Inquire Internal Actions

COMMAND: Post-Stress BT-Inquire Internal Actions

This command is used to get information about the value of the internal actions in the elements, at the extremities and inside the elements themselves. It is referred to the active load case or combination.

3.7.2.8.1 Beams or Trusses? (Dialog)

BEAMS OR TRUSSES? (DIALOG)

This dialog asks if the program has to refer to beams or trusses.

3.7.2.8.1.1 Internal Actions (Dialog)

INTERNAL ACTIONS (DIALOGO)

This dialog outputs:

- the number of the beam or truss element chosen (highlighted by the usually red dot);
- the internal point of the element related to the cursor position (x and csi).
- the six internal forces in the local (N, T2, T3, ..) or global (Tx, Ty, Tz ...)reference system (if used for trusses, all fields are null but that of the axial force)

3.7.2.8.1.2 Internal Actions Envelope (Dialog)

INTERNAL ACTIONS ENVELOPE (DIALOG)

This dialog is used to list the internal actions envelope for the chosen beam (number n).

3.7.2.9 Scale

COMMAND: Post-Sforzi BT-Scala

This command is used to change the diagram scale.

3.7.2.9.1 Diagram Scale (Dialog)

DIAGRAM SCALE (DIALOG)

This dialog is used to choose if using the or not the automatic scale. If not, the number of centimeters (cm) set will be mapped to the input value (using current units).

3.7.2.10 Selected

COMMAND: Post-Stresses BT-Selected

This command is used to display the internal forces diagrams only of selected elements, or of all elements. It is a flag.

3.7.2.11 N/A

COMMAND: Post-Stress BT-N/A

Axial stresses with sign. This command is used to display the color map with the related stress component. The command also works in envelope mode (as the diagram commands) and is affected by the number of cross-sections set to sample the distribution along the element axis. If there are extracted elements, the map will be displayed only for them.

3.7.2.12 T2/A

COMMAND: Post-Stresses BT-T2/A

Stress index related to shear T2, with sign (shear divided by gross area). This command displays the colour map with the pertinent stresses. The command also works in envelope mode (as well as the diagrams) and it is affected by the number of cross-sections used to sample the diagrams. If there are elements extracted, the map will be displayed only for them.

This stress index obviously works with any cross-section. By extracting the elements with a filter based on the cross-section type (i.e. the cross-section number), and switching on the envelope flag, it's easy to assess an upper and lower bound to the effective tangential stress, which will be equal to the stress index times a proper constant factor. The command is thus useful to execute simplified checks, helping to cross-check what has been done, in a more refined way, by the external checking modules.

3.7.2.13 T3/A

COMMAND: Post-Stresses BT-T3/A

Stress index related to shear T3, with sign (shear divided by gross area). This command displays the colour map with the pertinent stresses. The command also works in envelope mode (as well as the diagrams) and it is affected by the number of cross-sections used to sample the diagrams. If there are elements extracted, the map will be displayed only for them.

This stress index obviously works with any cross-section. By extracting the elements with a filter based on the cross-section type (i.e. the cross-section number), and switching on the envelope flag, it's easy to assess an upper and lower bound to the effective tangential stress, which will be equal to the stress index times a proper constant factor. The command is thus useful to execute simplified checks, helping to cross-check what has been done, in a more refined way, by the external checking modules.

3.7.2.14 T2/Tpl2

COMMAND: Post-Sforzi BT-T2/Tpl2

Sfruttamento plastico semplificato relativo al taglio T2. Questo command mostra la mappa a colori con gli sforzi corrispondenti. Il command funziona anche in modalità involuppo (così come i diagrammi) ed è sensibile al numero di sezioni indicate per campionare i diagrammi. Se ci sono elementi estratti, la mappa si vedrà solo su quelli.

Nel caso della maggior parte dei profili si usa un taglio limite coerente con Eurocodice 3. In altri casi un taglio limite semplificato. In altri casi ancora si usa convenzionalmente un'area resistente a taglio pari alla metà dell'area totale.

Eurocodice 3: Hsm, Ipn, O, Rhs, Thsm, Usm

Area resistente a taglio pari alla metà di quella totale: Composed, Generiche, Lcf, Lsh, L2CR, Poli, Zcf

Semplificata basata sulla direzione dei piatti: Hsh, Ush, Tsh, Tsm, Osh, Lsm, L2T, L4CR, Ucf, Omcf, Psh

3.7.2.15 T3/Tpl3

COMMAND: Post-Stresses BT-T3/Tpl3

Simplified shear exploitation, shear T3. This command is used to display the color map with the related stress index. The command also works in envelope mode (as the diagram commands) and is affected by the number of cross-sections set to sample the distribution along the element axis. If there are extracted elements, the map will be displayed only for them.

The most part of the cross-sections used a limit plastic shear computed according to Eurocode 3. For some other cross-section a simplified shear limit is used. In some special cases a shear resisting area equal to half the gross area is used.

Eurocode 3: Hsm, Ipn, O, Rhs, Thsm, Usm

Shear resisting area equal to half the gross area: Composed, Generic, Lcf, Lsh, L2CR, Poli, Zcf
Simplified based on the plates direction: Hsh, Ush, Tsh, Tsm, Osh, Lsm, L2T, L4CR, Ucf, Omcf, Psh

3.7.2.16 M1/W1

COMMAND: Post-Stresses BT-M1/W1

Maximum torque stress $M1/W1$ with sign. This command is used to display the color map with the related stress component. The command also works in envelope mode (as the diagram commands) and is affected by the number of cross-sections set to sample the distribution along the element axis. If there are extracted elements, the map will be displayed only for them.

Usually (open cross sections made up by thin walled plates) as $W1$ it is used the value Jt/t_{max} . For rounds it is used Jp/r . For thin walled closed cross-sections (pipes, tubes, Rhs, Osh) Bredt's formula is used. For other cross sections the value of $W1$ is undefined. They are: Composed cross-sections, cross-sections made up by polygons, and generic cross-sections.

3.7.2.17 M1/Mpl1

COMMAND: Post-Stresses BT-M1/Mpl1

Maximum plastic torque stress with sign. This command is used to display the color map with the related stress component. The command also works in envelope mode (as the diagram commands) and is affected by the number of cross-sections set to sample the distribution along the element axis. If there are extracted elements, the map will be displayed only for them.

Usually (open cross-sections composed by thin-walled plates) the value of $Wpl1$ is $1,5Jt/t_{max}$. For rounds it is used $1,5Jp/r$. For thin walled closed cross-sections (tubes, pipes, Rhs, Osh) Bredt's formula is used (with $Wpl1 = W1$). For other cross-sections $Wpl1$ is undefined. They are:

Composed cross-sections, cross-sections made by polygons, and generic.

3.7.2.18 M2/W2

COMMAND: Post-Stresses BT-M2/W2

Maximum bending stress with sign, bending M2. This command is used to display the color map with the related stress component. The command also works in envelope mode (as the diagram commands) and is affected by the number of cross-sections set to sample the distribution along the element axis. If there are extracted elements, the map will be displayed only for them

3.7.2.19 M3/W3

COMMAND: Post-Stresses BT-M3/W3

Maximum bending stress with sign, bending M3. This command is used to display the color map with the related stress component. The command also works in envelope mode (as the diagram commands) and is affected by the number of cross-sections set to sample the distribution along the element axis. If there are extracted elements, the map will be displayed only for them.

3.7.2.20 M2/Wpl2

COMMAND: Post-Stress BT-M2/Wpl2

Yield stress leading to full plasticization, when computed bending M2 is applied. This command is used to display the color map with the related stress component. The command also works in envelope mode (as the diagram commands) and is affected by the number of cross-sections set to sample the distribution along the element axis. If there are extracted

elements, the map will be displayed only for them.

3.7.2.21 M3/Wpl3

COMMAND: Post-Stress BT-M3/Wpl3

Yield stress leading to full plasticization, when computed bending M3 is applied. This command is used to display the color map with the related stress component. The command also works in envelope mode (as the diagram commands) and is affected by the number of cross-sections set to sample the distribution along the element axis. If there are extracted elements, the map will be displayed only for them

3.7.2.22 |N/A|+|M2/W2|+|M3/W3|

COMMAND: Post-Stress BT-|N/A|+|M2/W2|+|M3/W3|

Simplified normal stress. For circular hollow sections and rounds, the formula used is the following: $|N/A|+|M/W|$ being M the applied bending moment resultant. For not doubly symmetrical cross-sections, the formula usually leads to an overbound of the maximum normal stress. This command is used to display the color map with the related stress component. The command also works in envelope mode (as the diagram commands) and is affected by the number of cross-sections set to sample the distribution along the element axis. If there are extracted elements, the map will be displayed only for them.

3.7.2.23 |N/Npl|+|M2/Mpl2|+|M3/Mpl3|

COMMAND: Post-Stresses BT-|N/Npl|+|M2/Mpl2|+|M3/Mpl3|

Simplified plastic utilisation ratio. The value is usually an upper bound. The plastic limits are computed using f_y without safety factor. This command displays a colour map with

the related utilisation ratios. The command also works in envelope mode (as the diagrams) and is affected by the number of cross-sections set for the diagram sampling. If there are extracted elements, the map will be displayed only for those elements.

3.7.2.24 Inquire Stresses

COMMAND: Post-Stresses BT-Inquire stresses

This command is used to inquire the program about the value of the element internal stresses. The command works both with the stresses of the active load case or combination, and with the envelope stresses. Two different dialogs are used, respectively. The command is affected by the number of the cross-sections used to sample the stresses along the element axis. If there are extracted elements, only them will possibly be chosen.

3.7.2.25 Envelope

COMMAND: Post-Stresses BT-Envelope

This command is used to display the envelope of the requested diagram, keeping into account every combination, or the envelope of the stress requested, keeping into account every combination.

3.7.2.26 Envelope of Envelope

COMMAND: Post-Stress BT-Envelope of Envelope

This command prints a table in a message box, with the maximum and minimum values of the internal forces, keeping into account all selected combinations, and all selected elements. It is a very useful command for the pre-design of connections: you just have to select the similar elements to get useful information for connection design (not considering further design

amplification factors).

3.7.2.27 Number of Sections

COMMAND: Post-Stresses BT-Section Number

This command is used to change the number of cross-sections where the internal forces or the stress indexes will be computed. The number [here](#)^[748] set also affects the output listing created by Sargon: the diagram sampling here defined is also that used in the output file.

3.7.2.27.1 Number of Sections for the Diagrams (Dialog)

NUMBER OF CROSS SECTIONS FOR THE DIAGRAMS (DIALOG)

The diagrams can be displayed more or less refined (equally spacing is adopted).

This dialog is used to input how many cross sections (equally spaced, for each element) will be used to sample the diagrams.

3.7.3 Stresses PM SO

3.7.3.1 Stresses...

COMMAND: Post-Stresses PM and SO-Stresses

This command activates a colour map, displaying the 2D and 3D elements contoured in a way mapped to the intensity of the stress index that has been chosen. For a discussion about the program computes and displays this info see [Stresses in Plates, Membranes and Solids](#)^[234].

When the command is executed a proper [dialog](#)^[749] is opened, allowing to choose the stress index of interest, and the way it will be displayed.

Type: modal

Destination: view

3.7.3.1.1 Choice of Stress Components, Invariants, and Display Settings (Dialog)

SCELTA SFORZI, INVARIANTI E MODALITÀ DI RAPPRESENTAZIONE (DIALOGO)

Questo dialog serve a scegliere lo sforzo da rappresentare ed il modo in cui rappresentarlo. Serve anche a scegliere di vedere gli scarti quadratici medi nodali in modo da avere una stima della precisione della analisi.

Il dialog è diviso in sei sezioni: **invarianti, tensore di riferimento globale, tensore riferimento locale, sforzi piastra, modalità piastre e accuratezza.**

Le prime quattro sezioni servono a scegliere lo sforzo da visualizzare, mentre le ultime due decidono come visualizzarlo.

Il significato sei simboli contenuti nei primi quattro riquadri è chiaro. Le quantità I_1 , I_2 , I_3 sono rispettivamente il primo, il secondo ed il terzo invariante del tensore degli sforzi.

Negli "sforzi piastra" sono elencati sia gli sforzi nel sistema di riferimento locale (m_{11} , m_{22} , m_{12} , v_{33}) che quelli del riferimento globale (m_{xx} , m_{yy} , m_{zz} , m_{xy} , m_{yz} , m_{zx}). I tagli di piastra non sono presentemente resi dal programma in quanto l'elemento DKT non fornisce tale informazione. Il momento m_{xx} è positivo se genera una tensione normale σ_{xx} positiva (trazione) sulla faccia superiore della piastra. Analogamente, il momento m_{11} è positivo se genera una tensione normale σ_{11} positiva sulla faccia superiore della piastra. Analogamente per m_{22} , m_{yy} , m_{zz} . Il momento m_{12} è positivo se genera una τ_{12} positiva sulla faccia superiore. Non è detto che la faccia superiore sia quella visibile. Le tensioni sono positive se di trazione.

Il quinto riquadro è dedicato agli elementi piastra. In esso sono presenti dei controlli che consentono di scegliere quale sia la faccia sulla quale calcolare lo sforzo (**visibile, nascosta**), se quella visibile (come avviene per default) o quella nascosta. E' inoltre possibile depurare il tensore della parte flessionale o di quella membranale (**totali, membranali, flessionali**).

Il sesto riquadro, molto importante, serve a stabilire la precisione del calcolo degli sforzi. Attivando l'opzione **elimina scarti** si fa un *global smoothing* eseguendo, su ogni node, la media dei valori calcolati dai vari elementi attaccati a quel node. Questa opzione è tanto potente ed utile quanto pericolosa (si veda [Sforzi in Piastre e Membrane](#)^[234]). Attivando l'opzione **entità scarti** ciò che verrà rappresentato è lo scarto quadratico medio dello sforzo richiesto, diagrammato usando le stesse funzioni interpolanti impiegate per gli sforzi stessi. A partire dal valore calcolato ai nodi si genera una mappa in falsi colori che dà un'idea delle zone a minor precisione.

Per una discussione sul modo usato dal programma per rendere queste informazioni, e sul significato delle varie procedure si veda [Sforzi in Piastre e Membrane](#)^[234].

3.7.3.2 Envelope

COMMAND: Post-Stresses PM and SO-Envelope

This command drives a flag that can be active or inactive. If the flag is active, then the stress mapss and the inquire commands, always referring to stresses in plates, membranes and solids, will refer to the envelopes considering all active combinations. If otherwise the flag is inactive, the color-map display commands, and the inquire commands will be referred to the active load case or combination, only.

Type: immediate

Destination: view

3.7.3.3 Inquire PM

COMMAND: Post-Sforzi PM e SO-Inquire PM

Questo command attiva la interrogazione degli elementi piastra e membrana sugli sforzi in essi presenti. Per poter eseguire il command è necessario che sia stato fatto il solving e che

sia attiva una modalità di visualizzazione che rappresenta una delle componenti di sforzo degli elementi (command [Sforzi](#)^[748]). Appena eseguito si entra in una fase modeless per cui, muovendo il mouse si passa da elemento ad elemento. Il command dà accesso a informazioni diverse a seconda che il flag [Inviluppo](#)^[750] sia attivo o meno. Un opportuno [dialog](#)^[751] (o [dialog](#)^[751] se è attivo l'inviluppo) mostra, per l'elemento prescelto il valore della quantità correntemente rappresentata a video per ogni node. Per una discussione sul modo usato dal programma per rendere queste informazioni si veda [Sforzi in Piastre e Membrane](#)^[234].

Type: modeless

Destination: vista

3.7.3.3.1 Stresses plates / membranes (Dialog)

PLATE AND MEMBRANE STRESSES (DIALOG)

This dialog is used to output information about the stresses at the nodes of the element chosen. The following data of the element are output: the number, the type (plate or membrane), the number of its nodes, for each of its nodes the value of the stress currently displayed in the active generalized stress unit (force per unit surface, moment per unit length, and so on, depending on the generalized stress displayed).

For a discussion about how the program computes these information see [Stresses in Plates and Membranes](#)^[234].

3.7.3.3.2 Envelope Stresses (plates/membranes) (Dialog)

ENVELOPE STRESSES: PLATES/MEMBRANES (DIALOG)

This dialog is used to print information about the envelope stresses at the nodes of the element currently selected. The following information about the element is displayed: the number; the type (plate or membrane); the number of its nodes; for each node the value of the envelope stress currently displayed in the active units, and the combination where it is got.

For a detailed discussion about how the program computes this values, see [Stresses in Plates and Membranes](#)^[234].

3.7.3.4 Inquire SO

COMMAND: Post-Sforzi PM e SO-Inquire SO

Questo command attiva la interrogazione degli elementi solidi sugli sforzi in essi presenti. Per poter eseguire il command è necessario che sia stato fatto il solving e che sia attiva una modalità di visualizzazione che rappresenta una delle componenti di sforzo degli elementi (command [Sforzi](#)^[748]). Appena eseguito si entra in una fase modeless per cui, muovendo il mouse si passa da elemento ad elemento. Il command dà accesso a informazioni diverse a seconda che il flag [Inviluppo](#)^[750] sia attivo o meno. Un opportuno [dialog](#)^[752] (o [dialog](#)^[753] se è attivo l'inviluppo) mostra, per l'elemento prescelto il valore della quantità correntemente rappresentata a video per ogni node. Per una discussione sul modo usato dal programma per rendere queste informazioni si veda [Sforzi in Piastre Membrane e Solidi](#)^[234].

Type: modeless

Destination: vista

3.7.3.4.1 Stresses: solids (Dialog)

STRESSES: SOLIDS (DIALOGO)

This dialog lists, using the active units, the value of the stress in each node of the currently selected element. The stress is that currently displayed on screen (the one requested: Von Mises, principal, or tensor component, and so on).

A first row with the node numbers is followed by another row with the stresses in those nodes.

3.7.3.4.2 Envelope Stresses: solids (Dialog)

STRESS ENVELOPE: SOLIDS (DIALOG)

This dialog prints, using active stress units, the envelope stress in each node of the currently selected element, and the combination where it is read. The stress printed is the one currently displayed (the one requested by the user: Von Mises, principal, or tensor component, ecc.).

The first row lists the node numbers; the second row lists the envelope stresses in those nodes; the third row lists the number of the combination where that that envelope value is read. The first three rows-group refers to first four nodes; the second group to the other four (if existing).

3.7.4 Stresses Springs

3.7.4.1 Envelope

COMMAND: Post-Stresses Springs-Inquire

The command is used to get info about the stresses of the springs, by moving the mouse. It refers to the active load case or combination.

Type: modeless

Destination: view

3.7.4.2 Envelope of Envelope

COMMAND: Post-Stresses Springs-Envelope of envelope

This command is used to get the envelope stresses of the selected springs (envelope of envelope). This means considering the maximum and minimum of all selected springs, for every combination. Once the command is executed a window opens, printing the requested envelope

of envelope for the selected springs. If the set of selected springs changes, so does the envelope of envelope.

Type: modeless

Destination: view

3.7.5 Checks

3.7.5.1 Check

COMMAND: Post-Checks-Check!

This command runs the checks of the selected elements, using the active standard. Before running the checks it is necessary that the slenderness factors (effective-length factors) have been properly assigned, and that if superelements are needed (to check sets of aligned finite elements as a whole), these have been already added.

3.7.5.2 CSE!

COMMAND: Post-Checks-CSE!

This command runs the program [CSE](#) directly sending the current model so that it can be imported.

Type: immediate

Destination: CSE

3.7.5.3 RCSTUDIO!

COMMAND: Post-Checks-RCSTUDIO!

This command runs the program [RCSTUDIO](#) sending the current model so that it can be imported.

Type: immediate

Destination: RCSTUDIO

3.7.5.4 Number of Sections

COMMAND: Post-Checks-Number of Sections

This command is used to set the number of cross-sections used to sample the diagrams during the checks.

3.7.5.4.1 Number of Sections for the Checks (Dialog)

NUMBER OF CROSS-SECTIONS FOR THE CHECKS (DIALOG)

This dialog is used to set the number of cross-sections used to sample the diagrams during the checks.

3.7.5.5 Inquire

COMMAND: Post-Checks-Inquire

This command prints information about the utilisation ratios depending on the active map (envelope, resistance, stability, maximum).

If the [utilisation envelope](#)^[758] map is active, it is opened the dialog [Envelope Utilisation Ratio](#)^[756].

If the [resistance](#)^[758] or [stability](#)^[758] maps are active, in the current combination, it is opened the

dialog [Utilisation Ratios](#)⁷⁵⁶.

3.7.5.5.1 Envelope Utilisation Ratios (Dialog)

COEFFICIENTI DI SFRUTTAMENTO DI INVILUPPO (DIALOGO)

Questo dialog dà:

- Il numero dell'elemento N ed il tipo.
- Il coefficiente di sfruttamento di inviluppo.
- La causa che ha determinato quello sfruttamento.
- La combinazione corrispondente.
- Il numero di verifica (indica la formula che ha generato quel coefficiente di sfruttamento).
- La classe massima (indica - per le verifiche secondo l'EC3 - la massima classe del profilo).

Il tasto **Informazioni** dà informazioni sul significato del numero di verifica.

3.7.5.5.2 Utilisation Ratios (Dialog)

UTILISATION RATIO (DIALOG)

This dialog is used to list information about the utilisation ratio reached in the active load combination, in the element chosen by the user.

3.7.5.6 Statistics

COMMAND: Post-Checks-Statistics

This command prints statistical information about the utilisation ratios of the selected

beams and trusses. The utilisation ratio is the one displayed onto screen (envelope of load combinations, or, for a given combination, resistance, stability, or the maximum between resistance and stability). If no utilisation ratio is displayed, the command is inactive.

Once the set of the selected elements and their utilisation ratios are considered, the average, maximum, minimum values are computed, and so on. The data are summarized in a proper [dialog](#)^[757].

3.7.5.6.1 Statistics (Dialog)

STATISTICHE (DIALOGO)

Questo dialog è usato per elencare una serie di dati statistici calcolati da Sargon a partire dagli elementi selezionati. I dati si riferiscono al tipo di coefficiente di sfruttamento correntemente mostrato a schermo.

Valore Massimo Numero Type

Su questa linea si ha il massimo sfruttamento tra quelli degli elementi selezionati, il numero dell'elemento ove si ha il massimo ed il tipo di elemento corrispondente.

Valore Minimo Numero Type

Su questa linea si ha il minimo sfruttamento tra quelli degli elementi selezionati, il numero dell'elemento ove si ha il minimo ed il tipo di elemento corrispondente.

Valore Medio

Viene indicato il valor medio di sfruttamento ottenuto con l'insieme degli sfruttamenti degli elementi selezionati.

Varianza

Viene indicata la varianza dello sfruttamento del campione costituito dall'insieme degli sfruttamenti degli oggetti selezionati.

Scarto quadratico medio

Viene indicato lo scarto quadratico medio del campione costituito dall'insieme degli sfruttamenti degli oggetti selezionati.

Fattore di impiego del materiale

Supponiamo che lo sfruttamento di un elemento sia k ($k < 1$ se la struttura è verificata). Definiamo peso sfruttato W_k , il valore ottenuto moltiplicando il peso dell'elemento W per il suo coefficiente di sfruttamento

$$W_k = kW$$

Facendo la somma di tutti i pesi sfruttati degli elementi e dividendo per il peso totale si ottiene un indice della bontà di impiego del peso, ovvero di quanto peso è stato impiegato in percentuale sul totale.

3.7.5.7 Envelope

COMMAND: Post-Checks-Envelope

This command is used to display the utilisation ratios envelope.

3.7.5.8 Resistance

COMMAND: Post-Checks-Resistance

This command is used to display the resistance utilisation ratios, in the active load combination.

3.7.5.9 Stability

COMMAND: Post-Checks-Stability

This command is used to display the stability utilisation ratios, in the active load combination.

3.7.5.10 Maximum

COMMAND: Post-Checks-Maximum

This command is used to display the maximum utilisation ratios, between resistance and stability, in the active combination.

3.7.5.11 User's Checks

COMMAND: Post-Verifiche-Verifiche utente

Questo command consente di gestire, attraverso un apposito [dialog](#)^[759], il file EC3DATA.txt necessario all'esecuzione delle verifiche utente di sezioni in classe 4 e/o sezioni non standard in accordo all'Eurocodice 3 o alle NTC2008.

È comunque possibile modificare anche manualmente il file EC3DATA.txt aprendolo con programmi quali "Blocco Note" e simili, così come avveniva per versioni di Sargon precedenti alla 9.60.

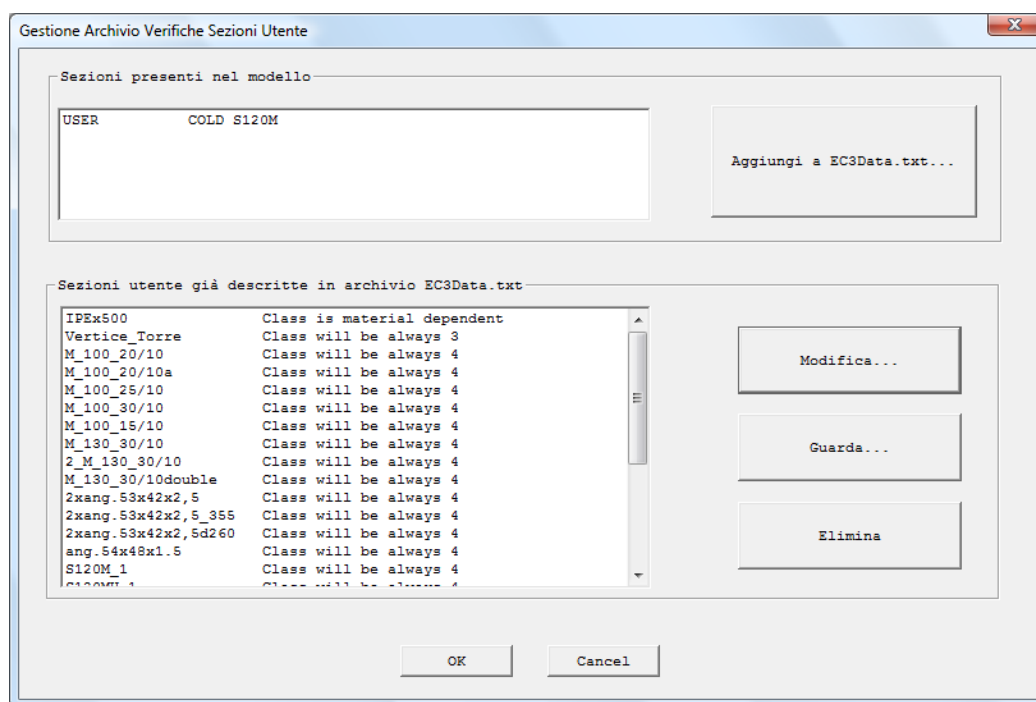
Per comprendere l'utilizzo e la gestione di questo file si rimanda alla [Guida tecnica alle verifiche secondo EC3](#)^[818] e in particolare alla descrizione delle [verifiche utente](#)^[831].

Type: modal

Destination: file EC3DATA.txt contenuto nella cartella di installazione del programma (es. C:\WSARGON\EC3DATA.txt)

3.7.5.11.1 User's Checks Cross-Sections Archive Management (Dialog)

GESTIONE ARCHIVIO VERIFICHE SEZIONI UTENTE (DIALOGO)



Per comprendere la gestione delle verifiche utente si rimanda alla [Guida tecnica alle verifiche secondo EC3](#)^[831].

Questo dialog consente di governare il file [EC3DATA.txt](#)^[838] presente nella **cartella di installazione** di Sargon. Nel box in alto a sinistra sono riportate tutte le forme sezionali presenti nel modello Sargon corrente; é possibile selezionare con il mouse una di esse e premere il button "Aggiungi a EC3Data.txt..." per aggiungere al file la sezione desiderata. Una volta premuto il button, si apre un opportuno [property sheet](#)^[761] che consente all'utente di compilare in modo guidato tutti i parametri necessari alla verifica del profilo scelto.

Nel box in basso a sinistra sono riportate tutte le sezioni già presenti nel file EC3DATA.txt e le sezioni del modello corrente appena aggiunte al file.

Selezionando un profilo da questa lista, é possibile

- cancellarlo dal file (button "Elimina", vengono eliminate dal file tutte le schede relative al profilo scelto)
- guardare le sue caratteristiche senza modificarle (button "Guarda", che dà accesso al

[property sheet](#)^[761] sopracitato)

- modificare le sue caratteristiche atbeamrso il medesimo [property sheet](#)^[761] (button "Modifica")

La pressione di OK in questo dialog comporta la riscrittura del file EC3DATA.txt, aggiornata in base ai profili aggiunti, eliminati o modificati.

N.B. quando si utilizza il command [Verifiche utente](#)^[759], tutti i dati dimensionali di tutti i profili presenti nel file EC3DATA.txt vengono convertiti ed espressi nel [property sheet](#)^[761] nelle unità di [misura correnti](#)^[117].

Per omogeneità e chiarezza, la riscrittura del file con il command di Sargon comporta la scrittura di tutti i dati in Newton, millimetri e unità derivate, indipendentemente dalle unità presenti nel file prima del command e indipendentemente dalle unità correnti.

3.7.5.11.1.1 Classification (Property page)

CLASSIFICAZIONE (PROPERTY PAGE)

Classificazione [Valori plastici \(1\)](#)^[763] [Valori plastici \(2\)](#)^[763] [Valori elastici](#)^[764] [Valori efficaci](#)^[768] [Instabilità](#)^[767] [Altro](#)^[769]

I parametri in questa property page sono gestiti dalle schede _CLASSIFICATION23, _CLASSIFICATION34 e _FIXEDCLASS del file EC3DATA.txt e sono descritti nella [Guida tecnica alle verifiche](#)^[843]. Essi servono a imporre una classe per il profilo in esame o a determinare i parametri per il calcolo automatico della classe da parte di Sargon.

Compilando opportunamente i campi di questa property page, i valori indicati verranno scritti nelle relative schede del file EC3DATA.txt.

Se si sceglie, ad esempio, la classe 1, 2, 3 o 4 nella sezione a sinistra, nella scheda _FIXEDCLASS della sezione corrente verrà scritto il valore 1, 2, 3 o 4 (in questi casi la classe viene imposta e i parametri a sinistra sono inutilizzati).

Se si sceglie invece di usare le soglie di $\epsilon_{ps} = \text{RADQ}(235/f_y)$, in _FIXEDCLASS verrà scritto il valore 0 e la classe verrà [calcolata](#)^[978] in funzione dei valori limite di ϵ_{ps} definiti a sinistra.

3.7.5.11.1.2 Plastic Values 1 (Property page)

VALORI PLASTICI 1 (PROPERTY PAGE)

[Classificazione](#)^[761] [Valori plastici \(1\)](#) [Valori plastici \(2\)](#)^[763] [Valori elastici](#)^[764] [Valori efficaci](#)^[768] [Instabilità](#)^[767] [Altro](#)^[769]

Dominio plastico

☒ Lineare

☐ Non lineare

0	A	0	M
0	B	0	N
0	C	0	O
0	D	0	P
0	E	0	Q
0	F	0	R
0	G	0	S
0	H	0	T
0	I	0	U
0	L	0	V

$$\frac{N}{N_{pl}} + \frac{M_2}{M_{2,pl}} + \frac{M_3}{M_{3,pl}} \leq 1$$

$$\left(\frac{M_2}{M_{N,2,Rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_3}{M_{N,3,Rd}} \right)^\beta \leq 1$$

$$n = \frac{N}{N_{pl,Rd}}$$

$$M_{N,2,Rd} = M_{pl,2,Rd} \cdot (A + Bn + Cn^2)$$

$$M_{N,3,Rd} = M_{pl,3,Rd} \cdot (D + En + Fn^2)$$

$$\alpha = \frac{G + Hn + In^2}{L + Mn + Nn^2} \geq 0$$

$$\beta = \frac{P + Qn + Rn^2}{S + Tn + Un^2} \geq V$$

OK Annulla Applica ?

I parametri in questa property page sono riportati nell'immagine a destra e sono descritti nella [Guida tecnica alle verifiche](#)^[845]. Essi definiscono il comportamento plastico per azione assiale e flessione dei profili in classe 1 e 2.

La scelta di un dominio lineare comporta la scrittura del valore '1' per il parametro "kind" della scheda [_PLASTICNMDOMAIN](#)^[845] del file EC3DATA.txt, la scelta di un dominio non lineare comporta invece il valore '2'. La compilazione delle caselle da A a V comporterà la scrittura dei valori specificati nei campi da "datum1" a "datum20" della scheda [_PLASTICNMDOMAIN](#).

3.7.5.11.1.3 Plastic Values 2 (Property page)

VALORI PLASTICI 2 (PROPERTY PAGE)

[Classificazione](#)^[761] [Valori plastici \(1\)](#)^[763] [Valori plastici \(2\)](#) [Valori elastici](#)^[764] [Valori efficaci](#)^[768] [Instabilità](#)^[767] [Altro](#)^[769]

Classificazione | Valori plastici (1) | Valori plastici (2) | Valori elastici | Valori efficaci | Instabilità | Altro

Interazione con il taglio

av2

av3

av2'

av3'

w2plAv2'

w2plAv3'

w3plAv2'

w3plAv3'

Torsione plastica

W1pl (non nullo)

a

$A_{V,2}$ shear modulus, for shear 2
 $A_{V,3}$ shear modulus, for shear 3
 $A_{V,2}'$ shear resistant area, for shear 2
 $A_{V,3}'$ shear resistant area, for shear 3
 $W_{ipI,A_{V,i}}$ plastic modulus around axis i of shear resistant area for shear j
 $a_{V2} = \frac{A_{V,2}}{A} \leq 1$ $a_{V3} = \frac{A_{V,3}}{A} \leq 1$ $a_{V2}' = \frac{A_{V,2}'}{A} \leq 1$ $a_{V3}' = \frac{A_{V,3}'}{A} \leq 1$
 $w_{2pl,av2'} = \frac{W_{2pl,A_{V,2}'}}{W_{2pl}} \leq 1$ $w_{2pl,av3'} = \frac{W_{2pl,A_{V,3}'}}{W_{2pl}} \leq 1$
 $w_{3pl,av2'} = \frac{W_{3pl,A_{V,2}'}}{W_{3pl}} \leq 1$ $w_{3pl,av3'} = \frac{W_{3pl,A_{V,3}'}}{W_{3pl}} \leq 1$
 $N_{pl,red} = (1 - a_{V2}' \cdot \rho_2 - a_{V3}' \cdot \rho_3)$
 $M_{2,pl,red} = M_{2,pl} (1 - w_{2pl,av2'} \cdot \rho_2 - w_{2pl,av3'} \cdot \rho_3)$
 $M_{3,pl,red} = M_{3,pl} (1 - w_{3pl,av2'} \cdot \rho_2 - w_{3pl,av3'} \cdot \rho_3)$
 $\rho_i = \left(\frac{2V_i}{V_{i,pl}} \right)^2$ $i = 2,3$
 $V_{i,pl,r} = V_{i,pl} \sqrt{1 - \frac{M_1}{a \cdot M_{1,pl}}}$
 $M_{1,pl} = \frac{W_{1pl} \cdot f_y}{\gamma_{M,0}}$
 $V_{i,pl} = \frac{A_{V,i} \cdot f_y}{\gamma_{M,0}}$

OK Annulla Applica ?

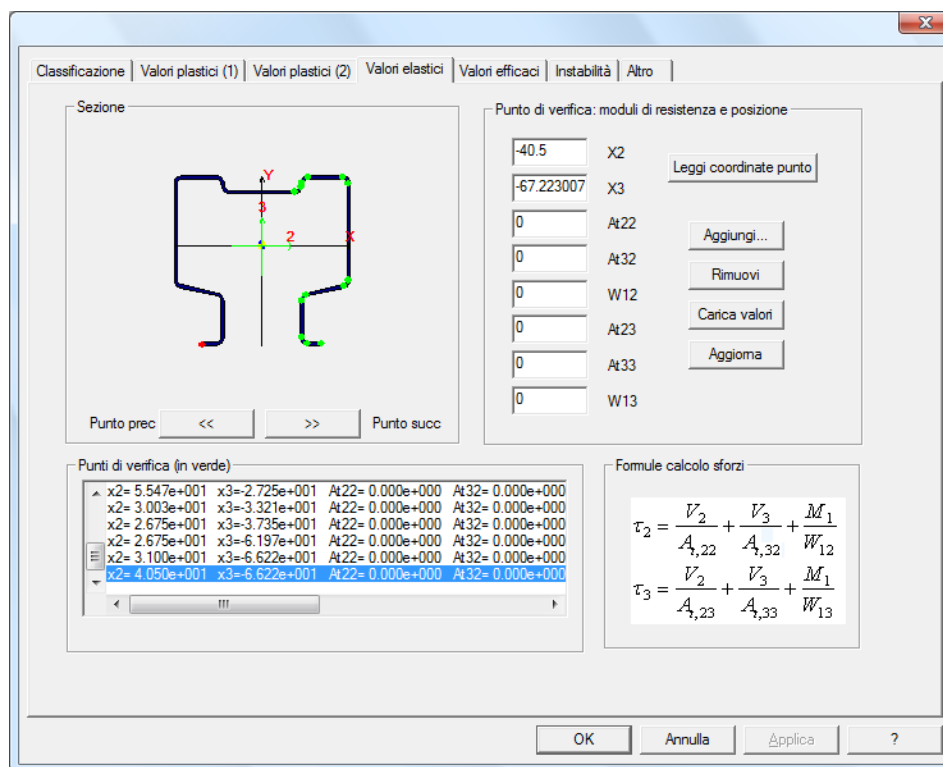
I parametri in questa property page sono riportati nell'immagine a destra e sono descritti nella [Guida tecnica alle verifiche](#)^[846]. Essi definiscono il comportamento plastico a taglio e a torsione dei profili in classe 1 e 2.

La compilazione delle varie caselle comporterà la scrittura dei valori specificati nei campi delle schede [SHEAR](#)^[846] e [TORSION](#)^[848] del file EC3DATA.txt.

3.7.5.11.1.4 Elastic Values (Property page)

VALORI ELASTICI (PROPERTY PAGE)

[Classificazione](#)^[761] [Valori plastici \(1\)](#)^[763] [Valori plastici \(2\)](#)^[763] [Valori elastici](#) [Valori efficaci](#)^[768] [Instabilità](#)^[767] [Altro](#)^[769]



I parametri in questa property page sono descritti nella [Guida tecnica alle verifiche](#)^[848]. Essi definiscono il comportamento elastico dei profili in classe 3.

Compilando gli 8 campi nella sezione "Punto di verifica" (espressi nelle unità di misura correnti) e premendo il button "Aggiungi!" a destra, l'insieme dei valori viene aggiunti a quelli eventualmente già presenti per il profilo in esame. Tutti gli insiemi già definiti compaiono nel box in basso.

Ogni insieme viene scritto in una scheda [ELASTICPOINT](#)^[848] nel file EC3DATA.txt.

Utilizzando i bottoni "Punto prec." e "Punto succ." è possibile selezionare (pallino rosso) il punto desiderato e, premendo il button "Leggi coordinate punto", le sue coordinate verranno scritte nelle caselle X2 e X3.

Selezionando un insieme nel box in basso, è possibile eliminarlo con il button "Rimuovi!"; è anche possibile modificare un insieme esistente selezionandolo, premendo "Carica valori", quindi apportando le necessarie modifiche e premendo infine il button "Aggiorna".

N.B. l'immagine del profilo viene mostrata nei seguenti casi: si sta aggiungendo un nuovo profilo presente nel modello Sargon corrente o si sta guardando/modificando un profilo già presente nel file EC3DATA.txt e presente anche nel modello Sargon corrente. Se si guarda/modifica un profilo presente nel file ma non nel modello, l'immagine non é disponibile.

3.7.5.11.1.5 Effective Values (Property page)

VALORI EFFICACI (PROPERTY PAGE)

[Classificazione](#)^[761] [Valori plastici \(1\)](#)^[763] [Valori plastici \(2\)](#)^[763] [Valori elastici](#)^[764] Valori efficaci [Instabilità](#)^[767] [Altro](#)^[769]

I parametri in questa property page sono descritti nella [Guida tecnica alle verifiche](#)^[848]. Essi definiscono le caratteristiche efficaci dei profili in classe 4.

Compilando gli 8 campi nella sezione "Nuovo insieme di valori efficaci" (espressi nelle unità

di misura correnti) e premendo il button "Aggiungi!" a destra, l'insieme dei valori viene aggiunti a quelli eventualmente già presenti per il profilo in esame. Tutti gli insiemi già definiti compaiono nel box in basso.

Ogni insieme viene scritto in una scheda [EFFECTIVE](#)^[848] nel file EC3DATA.txt; é possibile definire più schede per lo stesso profilo, ad esempio in funzione di diversi materiali.

Selezionando un insieme nel box in basso, é possibile eliminarlo con il button "Rimuovi!"; é anche possibile modificare un insieme esistente selezionandolo, premendo "Carica valori", quindi apportando le necessarie modifiche e premendo infine il button "Aggiorna".

N.B. l'immagine del profilo viene mostrata nei seguenti casi: si sta aggiungendo un nuovo profilo presente nel modello Sargon corrente o si sta guardando/modificando un profilo già presente nel file EC3DATA.txt e presente anche nel modello Sargon corrente. Se si guarda/modifica un profilo presente nel file ma non nel modello, l'immagine non é disponibile.

3.7.5.11.1.6 Buckling (Property page)

INSTABILITÀ (PROPERTY PAGE)

[Classificazione](#)^[761] [Valori plastici \(1\)](#)^[763] [Valori plastici \(2\)](#)^[763] [Valori elastici](#)^[764] [Valori efficaci](#)^[766] Instabilità [Altro](#)^[769]

Classificazione | Valori plastici (1) | Valori plastici (2) | Valori elastici | Valori efficaci | Instabilità | Altro

Asse 2

0.49 Alpha (fattore di imperfezione)

Curva a0 Curva a Curva b

Curva c Curva d

Asse 3

0.49 Alpha (fattore di imperfezione)

Curva a0 Curva a Curva b

Curva c Curva d

Instabilità torsionale e flessio-torsionale (Ncr,T Ncr,TF)

☐ Nessun asse di simmetria (nessuna verifica)

☒ Asse 2

☐ Asse 3

☐ Asse 2 e 3

Centro di Taglio

30.1 x2 (y0)

0 x3 (z0)

210000000 lw (costante ingobbamento)

Svergolamento

2 Asse (2 o 3)

0.49 Alpha,LT

par. 6.3.2.4. (EC3)

0 i,f,z (cfr 6.3.2.4)

1 kfi (6.3.2.4.(2))

0 W

Metodo M critico

0 lw

0 lz

0 lt

0 zs

0 zj

Se i,f,z=0 e anche lz=lt=0 allora la verifica è omessa

Se i,f,0 e lz e lt sono tutti diversi da 0 allora metodo Mcritico

Se lz o lt = 0 allora metodo piattabanda compressa (6.3.2.4. EC3)

Se i,f,z = 0 allora metodo Mcritico

i,f,z raggio di inerzia piattabanda compressa

W modulo di resistenza a flessione piattabanda compressa

lw costante di ingobbamento

lz momento di inerzia asse debole (non asse flessione)

lt momento di inerzia flessionale

OK Annulla Applica ?

I parametri in questa property page sono descritti nella [Guida tecnica alle verifiche secondo EC3, NTC^{\[849\]}](#). Essi governano le verifiche di instabilità e sono coerenti con le schede definite nel file EC3DATA.TXT, [BUCKLCURVE^{\[849\]}](#), [LATERALTORSIONAL^{\[850\]}](#), [2LATERALTORSIONAL^{\[850\]}](#) e [TORFLEX^{\[851\]}](#); compilando le varie caselle, i valori specificati verranno scritti nelle relative schede.

Il riquadro **Asse 2** si riferisce alla instabilità flessionale (euleriana) attorno all'asse 2.

Cliccando uno dei bottoni "Curva a0" - "Curva d", viene automaticamente scritto nella relativa casella il valore di alpha corrispondente alla curva scelta.

Il riquadro **Asse 3** si riferisce alla instabilità flessionale (euleriana) attorno all'asse 3.

Cliccando uno dei bottoni "Curva a0" - "Curva d", viene automaticamente scritto nella

relativa casella il valore di alpha corrispondente alla curva scelta.

Il riquadro **Instabilità torsionale o flesso-torsionale** ($N_{cr,T}$, $N_{cr,TF}$) si riferisce alla instabilità torsionale o flesso-torsionale in presenza di azione assiale.

Se i campi I_z e I_t sono entrambi non nulli, verrà utilizzato il metodo dell'Mcr.

Se I_z e/o I_t sono nulli e il campo $i_{f,z}$ è non nullo verrà utilizzato il metodo della piattabanda compressa.

Se i valori precedenti sono tutti nulli, la verifica di svergolamento verrà omessa.

Il riquadro **Svergolamento** si riferisce alla instabilità latero-torsionale causata da momento flettente.

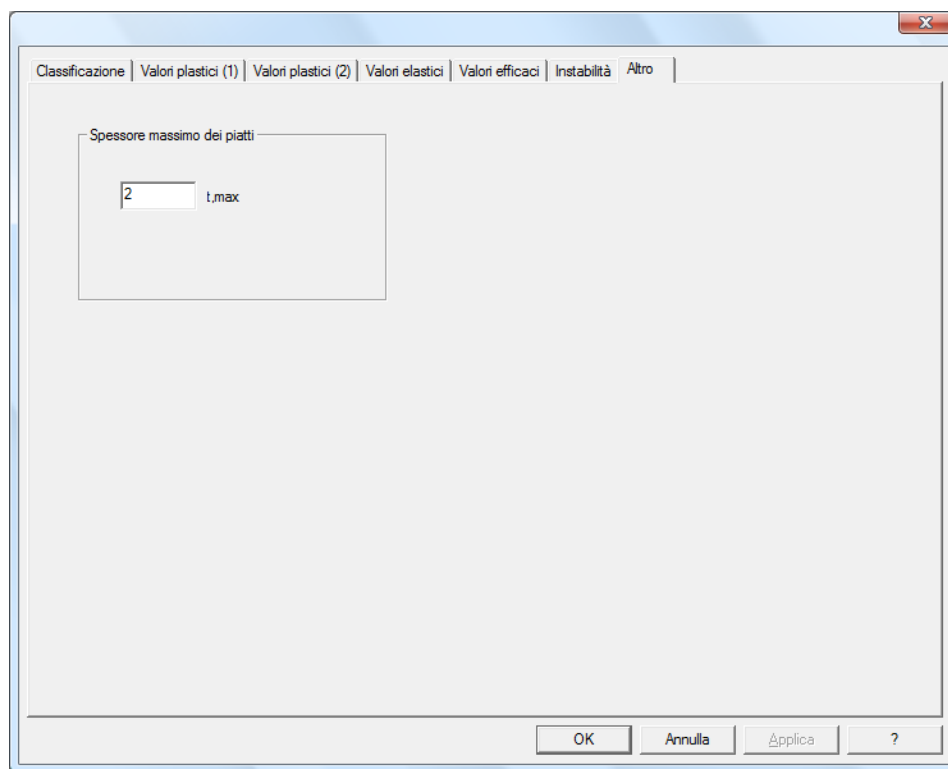
Se non esiste alcun asse di simmetria le verifiche per instabilità torsionale o flesso-torsionale saranno omesse, e, viceversa,

se si vogliono omettere le verifiche in questione è sufficiente indicare che non esiste alcun asse di simmetria. La costante di ingobbamento va introdotta nelle unità di misura attive (ha una dimensione di L^6).

3.7.5.11.1.7 Other (Property page)

OTHER (PROPERTY PAGE)

[Classification](#)^[761] [Plastic Values \(1\)](#)^[763] [Valori plastici \(2\)](#)^[763] [Elastic Value](#)^[764] [Effective Values](#)^[766] [Buckling](#)^[767] Other



The parameter in this property page is described in the [Technical guide to checks](#)⁸⁵².

3.7.6 Class

COMMAND: Post-Class

This command is used to display a color map related to (maximum) cross-section class. The class is defined by Eurocode 3 standard, while it is not explicitly defined by CNR and AISC standards. The color map displays in white color the cross-section satisfying the width-to-thickness ratio limits, in red color those which do not. If Eurocode 3 is used, then the color is mapped against the class number, according to this rules: white for class 1; green for class 2, blue for class 3, and red for class 4.

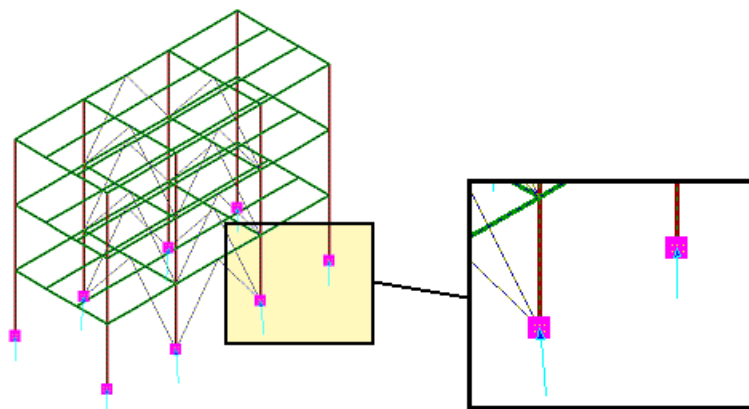
3.7.7 Reactions

3.7.7.1 Display

COMMAND: Post-Reazioni vincolari-View



Questo command consente di attivare/disattivare la visualizzazione delle reazioni vincolari nel caso di carico o nella combinazione corrente. La direzione di ciascuna freccia dipende dal rapporto delle sue componenti in X, in Y e in Z. La lunghezza di ciascuna freccia è scalata in base alla massima reazione vincolare del caso o della combinazione corrente. Ad esempio, se su un node la reazione vincolare è di 100kN e su un altro di 50kN, la prima freccia sarà lunga il doppio della seconda.



Type: immediato

Destination: vista

3.7.7.2 Inquire

COMMAND: Post-Reactions-Inquire

This command is used to get information about nodal reactions in the active load case or combination.

Type: modeless

Destination: view

3.7.7.2.1 Constraint reactions (Dialog)

CONSTRAINT REACTIONS (DIALOG)

This dialog is used to print the constraint reactions of the chosen node, in the active load case or combination.

3.7.7.3 Envelope of Envelope

COMMAND: Post-Reactions-Envelope of Envelope

This command prints the envelope of the envelope of the constraint reactions of the selected nodes. Combinations must have previously been defined, and some of them must be active. The command is very useful to assess the extreme values of the constraint reactions of a set of nodes (also all or even one) considering all the active combinations of the currently active combi set.

For example, by this command you can check if there are pulled constraints or which are the maximum and minimum values of the reactions acting over a set of foundation plynths.

Type: modal

Destination: view

3.7.7.4 Sum

COMMAND: Post-Reactions-Sum

This command outputs the sum of the constraint reactions of the selected nodes in the active load case or combination. If a degree of freedom is free, the program outputs the residual and

sum that value to the other reactions.

Type: modal

Destination: view

3.7.8 Modal

3.7.8.1 Display

COMMAND: Post-Modal-Display

This command is used to display the deformed view of the normal mode chosen by the user.

Type: immediate

Destination: view

3.7.8.1.1 Modal Deformed Shape (Dialog)

MODAL DEFORMATION (DIALOG)

This dialog is used to set the modal deformation display mode.

3.7.8.2 Map

COMMAND: Post-Modal-Map

This command is used to display a color map referring to one of the components of the modal displacement. When the command is executed a proper [dialog](#)⁷⁷⁴ is opened, so as to choose the required component.

Type: modal

Destination: view

3.7.8.2.1 Choice of a Component (Dialog)

CHOICE OF A COMPONENT (DIALOG)

This dialog is used by several commands. It is used to choose which displacement component will be displayed. You can choose a displacement component, a rotational component, or the translation resultant.

3.7.8.3 Inquire

COMMAND: Post-Modal-Inquire

This command prints [information](#)^[774] about modal analysis results. It is a very important command because using this command very important informations in order to assess analysis effectiveness are got: it is this command that must be used to get modal mass participation percentage of each mode, and the total of all modes.

Type: modal

Destination: document

3.7.8.3.1 Modal Analysis Information (Dialog)

MODAL ANALYSIS RESULTS INQUIRE (DIALOG)

This dialog collects information about modal analysis results.

3.7.8.4 Mode Next!

COMMAND: Post-Modal-Mode Next!

This command is used to set the next mode as active mode. The command is available only if a mode deformed shape is currently displayed.

Type: immediate

Destination: view

3.7.8.5 Mode Previous!

COMMAND: Post-Modal-Mode Prev!

This command sets the previous mode as active. The command is active only if a mode deformed shape is currently displayed.

Type: immediate

Destination: view

3.7.9 Buckling

3.7.9.1 Display

COMMAND: Post-Buckling-Display

This command is used to display the deformed view of the chosen critical mode.

Type: immediate

Destination: view

3.7.9.1.1 Critical Mode Deformed (Dialog)

MODAL DEFORMED (DIALOG)

This dialog is used to choose the modal deformation mode.

3.7.9.2 Map**COMMAND: Post-Buckling-Map**

This command is used to display a color map referring to the displacement components of the critical mode. When the command is executed a proper [dialog](#)⁷⁷⁴ is opened, and this enables the user to choose the requested component.

Type: modal

Destination: view

3.7.9.2.1 Choice of a Component (Dialog)

CHOICE OF A COMPONENT (DIALOG)

This dialog is used by several commands. It is used to choose which displacement component will be displayed. You can choose a translational component, a rotational component, or the translation resultant.

3.7.9.3 Inquire**COMMAND: Post-Buckling-Inquire**

This command displays [information](#)⁷⁷⁷ about buckling analysis results. It is a very

important command because with this command one can see the value of each critical multiplier in each load combination.

Type: modal

Destination: document

3.7.9.3.1 Information about Buckling Analysis (Dialog)_2

INFORMATION ABOUT BUCKLING ANALYSIS (DIALOG)

This dialog outputs information about the buckling analysis results: in particular, for each critical mode of every load combination, the critical multiplier is printed.

If the multiplier is 0 then the combination was not selected when the buckling analysis has been run. If the multiplier is (notionally) equal to 10000, then the buckling analysis would have required a negative multiplier (i.e. the loads would have to change sign in order to lead to buckling phenomena: so the buckling is considered impossible and the critical load multiplier set to a very high value).

3.7.9.4 General Method

COMMAND: Post-Buckling-Metodo generale

Questo command può essere eseguito solo se è già stata eseguita una analisi statica ed una analisi di buckling. Si raccomanda di controllare che i primi modi della analisi di buckling siano positivi: se ciò non avviene si consiglia di rieseguire la medesima analisi di buckling chiedendo un ordine del sottospazio maggiore, in modo da includere anche modi con moltiplicatore positivo.

Il command consente di usare il [metodo generale](#)^[280] già descritto in precedenza e molto utile per lo studio dei fenomeni di instabilità globale o semi-globale (non locale ovvero di singole aste) delle strutture.

Alla esecuzione del command compare un opportuno [dialog](#)⁷⁷⁸, che consente di fare tutte le scelte necessarie.

Type: modal

Destination: vista

3.7.9.4.1 General Method: Alpha,R Multipliers Computation (Dialog)

METODO GENERALE: DETERMINAZIONE DEI MOLTIPLICATORI ALPHA,R (DIALOGO)



Il dialog consente di avere i risultati sia in forma di grafico (nel grande riquadro a destra) che in formato testo (creando un file opportuno). Nel primo caso l'immagine può essere copiata negli appunti (**Copia**) e da lì incollata dove si vuole, o direttamente stampata (**Stampa**). Nel secondo caso il file, aperto automaticamente dopo aver premuto il button **Crea Report!**, può essere a sua volta copiato e incollato o direttamente stampato.

Per prima cosa si sceglie un **fattore di imperfezione**, o cliccando su uno dei bottoni relativi alle curve di stabilità (a_0 , a, b, c, d) o introducendo direttamente il fattore di imperfezione desiderato e premendo il button **Aggiorna!**.

Poi si scegli il modo con cui, per ogni combinazione, il programma valuta α_u . Si danno tre possibilità:

1. Si usa un criterio elastico semplificato e il moltiplicatore desiderato è il numero che, moltiplicato per la combinazione dà luogo al raggiungimento del limite elastico in un elemento; ovviamente se la combinazione deve avere qualche speranza di essere sostenibile, tale moltiplicatore deve essere maggiore di 1. Si usano 11 sezioni per gli elementi beam. Il criterio è: $|N/N_{el}| + |M_2/M_{2el}| + |M_3/M_{3el}| = 1$, con $N_{el} = A f_y$, e $M_{2el} = W_{2el} f_y$, ecc.. Non sono applicati

fattori γ_M .

2. Si usa un criterio plastico semplificato e il moltiplicatore desiderato è il numero che, moltiplicato per la combinazione, dà luogo al raggiungimento del limite plastico in una sezione di un certo elemento. Si usano 11 sezioni per gli elementi beam. Il criterio è: $|N/N_{pl}| + |M_2/M_{2pl}| + |M_3/M_{3pl}| = 1$, con $N_{pl} = A f_y$, e $M_{2pl} = W_{2pl} f_y$, ecc.. Non sono applicati fattori γ_M .
3. Si usa, per tutte le combinazioni, un medesimo moltiplicatore indicato nella casella "Alpha, u". Tale metodo può essere utile se si hanno migliori informazioni sui valori attesi di α_u e li si vogliono utilizzare.

E' importante osservare che i primi due metodi analizzano *solo gli elementi selezionati al momento della esecuzione del command*. Se non ci sono elementi selezionati il moltiplicatore è indefinito. La possibilità di escludere dalla selezione elementi reputati non significativi consente di meglio valutare il moltiplicatore a cui si è interessati.

Il disegno riporta in ascissa le combinazioni ordinate da 1 a N, dove N è il numero totale di combinazioni. In ordinata è riportato l' α_R associato a ogni combinazione.

Nel disegno, il punto corrispondente alla combinazione con il massimo α_R è verde, rosso quello corrispondente al minimo α_R .

Per non avere un disegno troppo affollato di numeri vengono stampati solo circa 10 numeri di combinazione, ad intervallo circa eguale a N/10. La lista esatta dei valori può essere ottenuta dal report in formato testo.

3.7.9.5 Mode next!

COMMAND: Post-Buckling-Modo successivo

This command is used to set the next critical mode as active. The command is active only if a critical mode deformed shape is displayed.

Type: immediate

Destination: view

3.7.9.6 Mode previous!

COMMAND: Post-Buckling-Mode Prev!

This command is used to set as active critical mode the mode preceding the current one. The command is active only if the critical deformed view of a critical mode is currently displayed, and if a combination is active. Critical modes are referred to load combinations: each load combination has its own critical modes.

Type: immediato

Destination: vista

3.7.10 Response Spectrum

3.7.10.1 Set Periods...

Questo command è utile dopo aver eseguito una analisi modal, al fine di avere informazioni sui coefficienti di risposta associati a ciascun modo, insieme con la relativa massa partecipante.

Il command è attivo solo se ci si posiziona in un caso di carico con etichetta "SISMA MODALE", solo se l'etichetta di tale caso di carico consente di scegliere tra uno dei sismi attualmente definiti, e solo se è stata eseguita la analisi modal. Non è necessario che sia (già) stata eseguita la analisi a spettro di risposta.



Una volta eseguito il command compare un opportuno dialog di tipo modal, all'interno del quale possono essere fatte alcune scelte. Le immagini di interesse vengono visualizzate all'interno del dialog, e, da lì, possono essere stampate o copiate negli appunti per essere trasferite ad altre applicazioni (Word, Blocco Note, Paint, eccetera).

Nella figura precedente si vede uno spettro di risposta (associato alle norme NTC) e la evidenziazione dei vari periodi corrispondenti ai modi estratti al di sopra della curva. La dimensione dei cerchi è in relazione con la percentuale di massa partecipante. Il pallino di

colore magenta corrisponde al modo selezionato, che è anche indicato nel titolo "SLV - Dir Y - m# 1 - T = 0.163 sec". In questo caso il modo numero 1.



Sopra la rappresentazione dello spettro sono mostrate le percentuali di massa partecipante di ciascun modo estratto, sotto forma di cerchi di diversa

dimensione.

Infine, in calce, è indicato il coefficiente di risposta, S_d/g , in unità g, il fattore di struttura, e la percentuale di massa partecipante del modo scelto.

Per il funzionamento del command si rimanda alle note relative al dialog Spettro di risposta: risultati.

3.7.10.1.1 Response Spectrum: results (Dialog)

Questo dialog serve a estrarre in forma grafica alcuni risultati relativi alla analisi a spettro di risposta.



Per prima cosa si decide la direzione (**X**, **Y**, **Z**), il che consente di prendere lo spettro opportuno, tra i tre associati ad ogni sisma. Tra gli spettri definiti sarà scelto quello relativo al caso di carico attivo. Poi si sceglie se vedere lo spettro di progetto (ovvero diviso per il fattore di struttura) o quello elastico ($q=1$). Si può anche scegliere di vedere entrambi gli spettri contemporaneamente.

Per evitare di vedere parti di spettro inutili, si può decidere sino a che massimo periodo **T_{max}** lo spettro sarà rappresentato.

I controlli "<<", ">>", "**Aggiornal**", servono a determinare quale sia il modo selezionato. In corrispondenza ad esso, nei campi read only $S_e(T)/g$ ed $S_d(T)/g$ si hanno i valori del coefficiente di risposta in unità g per lo spettro elastico e per quello di progetto (diviso per q), rispettivamente.

Il button "**Stampa...**" manda direttamente in stampa l'immagine.

Il button "**Copia**" copia l'immagine negli appunti.

I cursori "**Zoom**", "**Pan X**" e "**Pan Y**" servono a modificare il livello di zoom ed a spostare l'immagine.

Infine, le frecce associate alla "**Dimensione font**" servono a modificare la dimensione delle scritte nella finestra.

3.7.11 Fiber

3.7.11.1 Next Section

COMMAND: Post-Fibre-Sezione successiva



Quando sono visualizzati i [risultati nelle sezioni a fibre](#)⁷⁸², questo command fa passare alla sezione successiva dell'elemento corrente.

Type: immediato

Destination: vista

3.7.11.2 Previous Section

COMMAND: Post-Fibre-Sezione precedente



Quando sono visualizzati i [risultati nelle sezioni a fibre](#)⁷⁸², questo command fa passare alla sezione precedente dell'elemento corrente.

Type: immediato

Destination: vista

3.7.11.3 Display Section Stresses

COMMAND: Post-Fibre-View sforzi sezione





Questo command fa vedere gli **sforzi** nelle sezioni a fibre, calcolati con l'analisi nonlineare (solutore CURAN). Il command è attivo quando:

1. è stata eseguita un'analisi nonlineare con Curan;
2. è selezionato uno e un solo elemento beam;
3. tale elemento è a fibre.

Se le condizioni suddette sono soddisfatte, nella vista di Sargon viene mostrata una sezione trasversale dell'elemento selezionato, modellata a fibre. La vista piana della sezione sostituisce la vista tridimensionale della struttura. Per tornare alla struttura, basta eseguire nuovamente questo command oppure eseguire il command [No_post](#)^[794]. Per visualizzare la sezione di un altro elemento, è necessario tornare alla struttura, deselezionare l'elemento corrente e selezionare l'elemento desiderato.



Con questo command vengono mostrati gli sforzi; è disponibile un command simile per visualizzare le [deformazioni](#)^[784].

Per ogni elemento sono disponibili più sezioni, in numero pari al numero di [punti di Lobatto](#)^[354] richiesto nelle impostazioni dell'analisi nonlineare. Ogni sezione è in corrispondenza di un punto di Lobatto. Per passare da una sezione all'altra si usano i comandi [Sezione successiva](#)^[782] e [Sezione precedente](#)^[782], eseguibili anche con i bottoni  . Inoltre, si possono usare anche i tasti destro e sinistro del mouse.

Durante la visualizzazione delle sezioni a fibre è possibile utilizzare i comandi di zoom e pan della vista (menu **Draw**), nonché copiare negli appunti la vista corrente, con il command [Copia](#)^[537] del menu **Edit**.

Per informazioni dettagliate sulla resa grafica delle fibre e sull'interpretazione dei risultati, si veda la sezione dedicata alle fibre nell'argomento [Analisi non lineari con il solutore CURAN](#)^[172].

Type: immediato

Destination: vista

3.7.11.4 Display Section Strains

COMMAND: Post-Fibre-View deformazioni sezione




Questo command fa vedere le **deformazioni** nelle sezioni a fibre, calcolate con l'analisi nonlineare (solutore CURAN). Il command è attivo quando:

1. è stata eseguita un'analisi nonlineare con Curan;
2. è selezionato uno e un solo elemento beam;
3. tale elemento è a fibre.

Se le condizioni suddette sono soddisfatte, nella vista di Sargon viene mostrata una sezione trasversale dell'elemento selezionato, modellata a fibre. La vista piana della sezione sostituisce la vista tridimensionale della struttura. Per tornare alla struttura, basta eseguire nuovamente questo command oppure eseguire il command [No_post](#)^[794]. Per visualizzare la sezione di un altro elemento, è necessario tornare alla struttura, deselezionare l'elemento corrente e selezionare l'elemento desiderato.



Con questo command vengono mostrate le deformazioni; è disponibile un command simile per visualizzare gli [sforzi](#)^[782].

Per ogni elemento sono disponibili più sezioni, in numero pari al numero di [punti di Lobatto](#)^[354] richiesto nelle impostazioni dell'analisi nonlineare. Ogni sezione è in corrispondenza di un punto di Lobatto. Per passare da una sezione all'altra si usano i comandi [Sezione successiva](#)^[782] e [Sezione precedente](#)^[782], eseguibili anche con i bottoni . Inoltre, si possono usare anche i tasti destro e sinistro del mouse.

Durante la visualizzazione delle sezioni a fibre è possibile utilizzare i comandi di zoom e pan della vista (menu **Draw**), nonché copiare negli appunti la vista corrente, con il command [Copia](#)^[537] del menu **Edit**.

Per informazioni dettagliate sulla resa grafica delle fibre e sull'interpretazione dei risultati, si veda la sezione dedicata alle fibre nell'argomento [Analisi non lineari con il solutore CURAN](#)^[172].

Type: immediato

Destination: vista

3.7.12 Idrift

COMMAND: Post-Idrift

Questo command dà la lista degli spostamenti relativi di interpiano (per un chiarimento di cosa ciò significhi e di come usare questi risultati si veda [Coefficienti di libera inflessione](#)^[225]).

Per eseguire il command è necessario che il post processing (la deformata) sia disponibile e che esista almeno una combinazione. E' inoltre necessario che sia stata definita la serie di quote alle quali identificare i vari piani ([Multipiano](#)^[728]).

Il programma considera “colonna” ogni elemento beam verticale che vada da un livello al livello immediatamente successivo. I livelli sono solo e soltanto quelli elencati con il command [Multipiano](#)^[728].

Per ogni combinazione di carico, per ogni “colonna” e per ogni direzione (x, y) Sargon calcola l'interstorey drift. Nella tabella finale, organizzata per livelli, viene dato, per ogni livello e per ogni direzione, il massimo valore di interstorey drift. Alla fine della tabella viene inoltre stampato il massimo al variare dei livelli.

Dalla versione 9.60, inoltre, Sargon calcola l'interstorey drift anche se vi sono due nodi

allineati verticalmente e giacenti su due livelli adiacenti, anche se tali nodi non sono connessi da un elemento beam. Nel dialog con i risultati, se si tratta di nodi non collegati da "colonne", al numero identificativo viene anteposto il segno meno.

Il contenuto della tabella può essere copiato negli appunti con le ordinarie tecniche OLE e trasferito fuori da Sargon in un opportuno file (ad esempio con Blocco Note).

Type: immediato

Destination: active view

3.7.13 Curve

COMMAND: Post-Curve

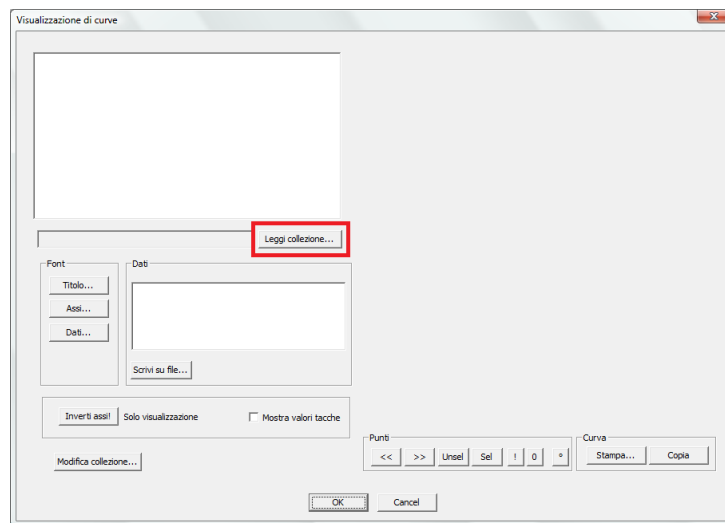
The command is used to display the [curves](#)^[195] which depend on the load parameter, created by Curan during non linear analysis. When the command is executed, a proper [dialog](#)^[786] opens.

Type: modal

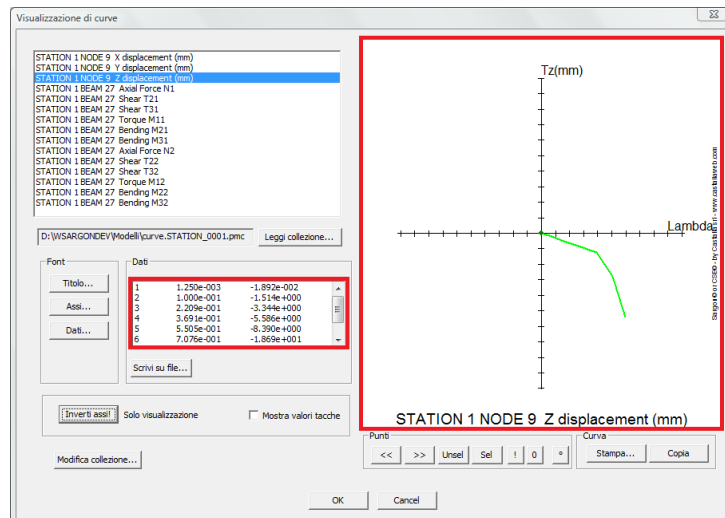
Destination: view

3.7.13.1 Curve Display (Dialog)

VISUALIZZAZIONE DI CURVE (DIALOGO)



Questo dialog si presenta inizialmente vuoto (a meno che non ci si sia arrivati dal dialog sulle leggi costitutive dei materiali, nel qual caso la curva è già preimpostata). Dopo aver premuto il button **Leggi collezione**, viene chiesto di indicare il file *.pmc* desiderato, ovvero quello contenente le [curve](#)^[195] che si vogliono visualizzare. Scelto il file, tutte le curve in esso contenute vengono elencate nel riquadro in alto a sinistra. La curva selezionata nella lista viene visualizzata nel riquadro a destra, e i suoi punti vengono riportati nella sezione *Dati*.



A ogni elemento (node, beam, truss) corrisponde un determinato numero di curve, secondo il prospetto seguente.

Nodo (6 curve)

TX	traslazione in direzione dell'asse globale X (unità di lunghezza attiva)
TY	traslazione in direzione dell'asse globale Y (unità di lunghezza attiva)
TZ	traslazione in direzione dell'asse globale Z (unità di lunghezza attiva)
RX	rotazione in direzione dell'asse globale X (radianti)
RY	rotazione in direzione dell'asse globale Y (radianti)
RZ	rotazione in direzione dell'asse globale Z (radianti)

Truss (1 curva)

N	Azione assiale
---	----------------

Beam (12 curve)

N1	Azione assiale all'estremo 1
T21	Taglio in direzione dell'asse locale 2 all'estremo 1
T31	Taglio in direzione dell'asse locale 3 all'estremo 1
M11	Momento torcente all'estremo 1
M21	Momento flettente attorno all'asse locale 2 all'estremo 1
M31	Momento flettente attorno all'asse locale 2 all'estremo 1
N2	Azione assiale all'estremo 2
T22	Taglio in direzione dell'asse locale 2 all'estremo 2
T32	Taglio in direzione dell'asse locale 3 all'estremo 2
M12	Momento torcente all'estremo 2
M22	Momento flettente attorno all'asse locale 2 all'estremo 2
M32	Momento flettente attorno all'asse locale 2 all'estremo 2

Ciascuna curva descrive l'andamento della relativa grandezza in funzione del parametro di carico λ (lambda). Avremo quindi TX(λ), N(λ), M22(λ), ecc.

La curva corrente può essere *copiata* negli appunti o *stampata* direttamente.

Come detto, oltre alla visualizzazione grafica della curva sono fornite, nella sezione *Dati*, anche le coordinate dei punti che la compongono. Ogni riga corrisponde a un punto, e contiene

tre dati: numero progressivo del punto, valore del parametro di carico λ , valore della grandezza in esame (TX, M12, ecc.).

Il button ***Scrivi su file*** consente di stampare le coordinate dei punti in un file di testo, così che possano essere utilizzate al di fuori di Sargon (ad esempio si possono importare in Excel).

Veniamo infine ai controlli nella sezione *Punti* posta sotto il grafico, che consentono di mostrare nel grafico stesso le coordinate dei vari punti della curva (le stesse coordinate riportate nella sezione *Dati*).

>> Passa al punto successivo, che diventa quello corrente (visualizzato con un pallino verde)

<< Passa al punto precedente, che diventa quello corrente (visualizzato con un pallino verde)

Unsel Nasconde le coordinate del punto corrente, se sono visualizzate

Sel View le coordinate del punto corrente

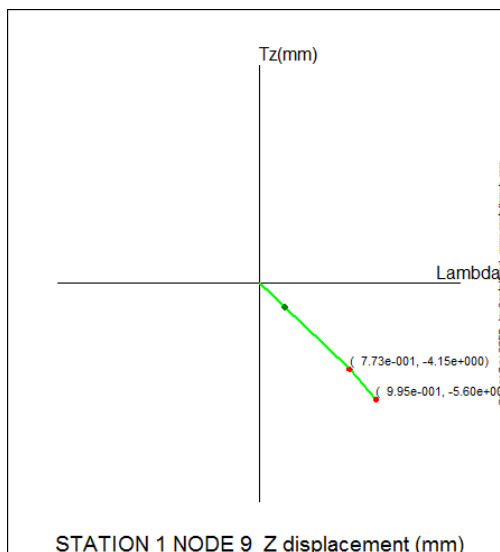
! View le coordinate di tutti i punti

0 Nasconde le coordinate di tutti i punti

° View tutti i punti, senza stamparne le coordinate

Se di un punto sono mostrate le coordinate, questo viene visualizzato in rosso (a meno che non sia il punto corrente, nel qual caso prevale il pallino verde che evidenzia la selezione).

Nell'immagine seguente, ad esempio, sono mostrate le coordinate di due punti non correntemente selezionati, mentre non sono mostrate le coordinate di quello selezionato.



I **font** utilizzati per le etichette del grafico (titolo, assi e dati) possono essere modificati singolarmente attraverso i tre bottoni disponibili.

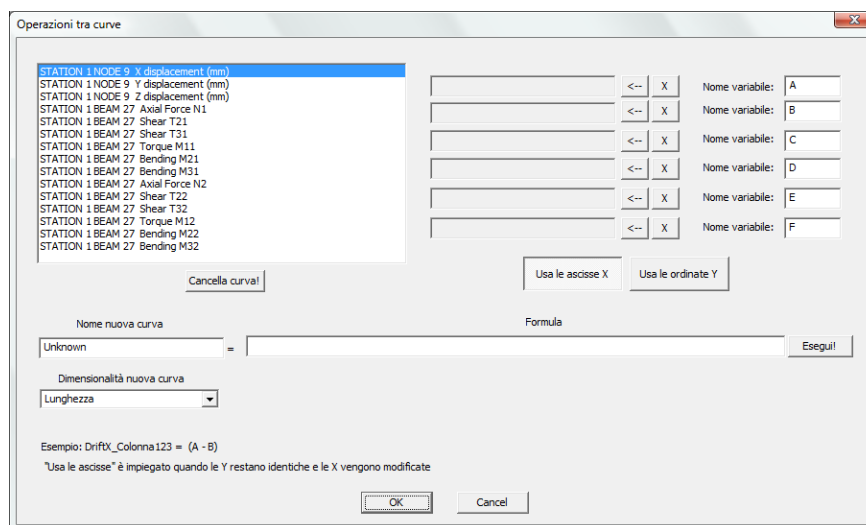
Il button **Inverti assi**, come suggerisce il nome, serve a scambiare gli assi del grafico. La casella **View tacche** serve a visualizzare i valori delle tacche sugli assi.

Il button **Modifica collezione** fa accedere a un ulteriore [dialog](#)⁷⁹⁰ in cui si possono compiere operazioni sulle curve esistenti. Tali operazioni sono:

- eliminazione di curve;
- aggiunta di nuove curve combinando quelle esistenti.

3.7.13.1.1 Curve Mixing Operations (Dialog)

OPERAZIONI TRA CURVE (DIALOGO)



Questo dialog consente di modificare la [collezione](#)⁷⁸⁶ di curve corrente, **eliminando** eventuali curve non ritenute rilevanti o **aggiungendo nuove curve** ritenute necessarie, tramite operazioni sulle curve esistenti.

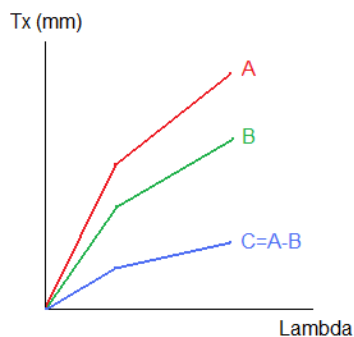
Per salvare le modifiche fatte sulle curve, occorre premere OK, quindi premere OK anche nel dialog principale delle curve.

Eliminazione di una curva

Per eliminare una curva dalla collezione, la si seleziona nell'elenco cliccandola con il mouse (verrà evidenziata in blu), quindi si preme il button ***Cancella curva***.

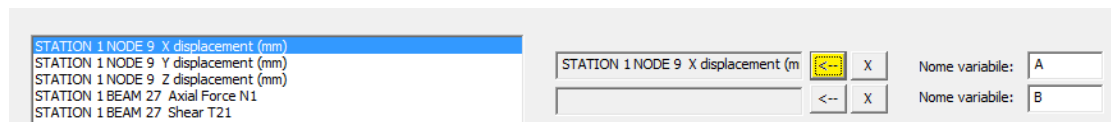
Aggiunta di una nuova curva

E' possibile aggiungere nuove curve compiendo operazioni su curve esistenti. Ad esempio, date una curva "A" e una curva "B", scelte tra quelle disponibili, potremo definire una nuova curva "C" data dalla differenza tra le prime due curve (si veda l'immagine seguente).

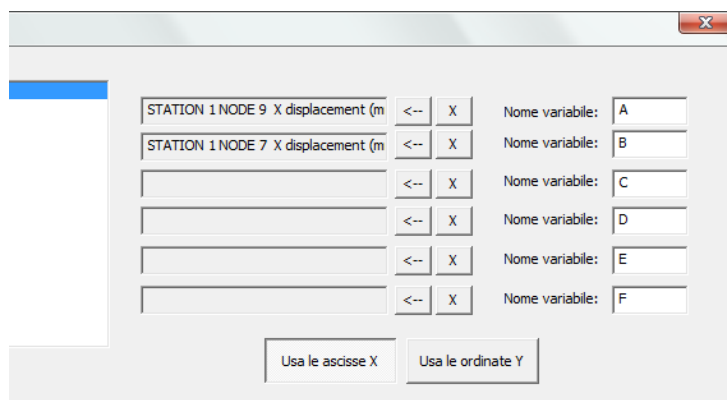


L'esempio suddetto è un caso molto semplice, che però può essere utilizzato per valutare l'interstorey drift, scegliendo ad esempio come curva A lo spostamento in direzione X del node inferiore di una colonna ($TX_{N1(\lambda)}$) e come curva B lo spostamento in direzione X del node superiore della stessa colonna ($TX_{N2(\lambda)}$). Le operazioni possono però essere anche più complesse: rimanendo nel campo degli spostamenti, ad esempio, potremmo fare la composizione degli spostamenti in direzione X e in direzione Y dei nodi citati, quindi fare la sottrazione delle loro risultanti: $\sqrt{TX_{N1(\lambda)}^2 + TY_{N1(\lambda)}^2} - \sqrt{TX_{N2(\lambda)}^2 + TY_{N2(\lambda)}^2}$. Oppure potremo combinare curve di azioni interne, o ancora combinare curve relative a grandezze diverse. Si ricorda che le curve sono in funzione di lambda, che è il [parametro di carico](#)¹⁹⁵.

Da un punto di vista operativo, occorre innanzitutto indicare le curve che si vogliono utilizzare, associandole alle **variabili** A, B, C, ecc. Sono disponibili fino a 6 variabili, che possono essere eventualmente rinominate, se necessario (ad esempio si può usare "x1", o "pippo" o "Area": per semplicità vengono proposti inizialmente i nomi A, B, C, D, E, F). Per associare una curva a una variabile, la si seleziona nella lista a sinistra e si preme il button <-- corrispondente alla variabile desiderata, ad esempio la A.

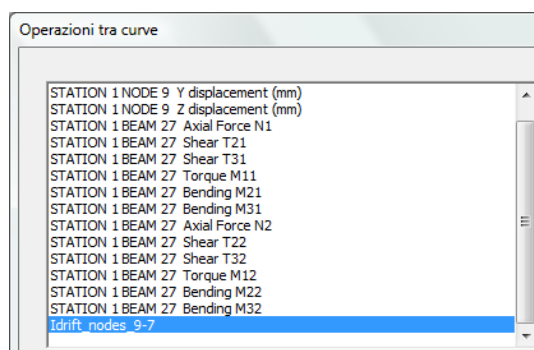


Se è necessaria una seconda curva, la si seleziona nella lista e la si associa, ad esempio, alla variabile B. E così via. Nell'esempio sottostante abbiamo definito due variabili A e B che sono le curve associate allo spostamento in direzione X dei nodi 9 e 7 (il node superiore e quello inferiore della colonna dell'esempio iniziale).



Si sceglie quindi se utilizzare le ascisse X o le ordinate Y delle curve. Nel primo caso sono le ascisse X a cambiare, mentre le ordinate Y rimangono invariate. Nel secondo caso si ha la situazione inversa.

Definite le variabili, possiamo aggiungere la nuova curva. Indichiamo un **nome** (opzionale) e la **dimensionalità** della curva (se sottraiamo due curve relative allo spostamento, avremo una lunghezza; se dividiamo una forza per un'area, avremo uno sforzo, ecc.). Definiamo infine la **formula** della nuova curva: nell'esempio corrente, digiteremo A-B per indicare una sottrazione tra le curve A e B. Premendo il button Esegui, la nuova curva verrà aggiunta alla lista.



Premendo OK, torneremo al dialog con la [collezione](#)^[786] delle curve, che includerà

anche quella appena aggiunta e non conterrà più curve eventualmente eliminate. Premendo OK nel dialog principale delle curve, salveremo le modifiche nel corrispondente file *.pmc*.

Note importanti

La formula che definisce le operazioni tra curve, oltre alle **variabili**, agli **operatori matematici**, alle parentesi anche annidate, ecc. può contenere anche **valori numerici**. Tali valori possono essere **adimensionali** o **dimensionali**. Nel secondo caso, i valori vanno indicati nelle **unità di misura correnti**, e il programma sarà in grado di interpretarli correttamente, sulla base della dimensionalità delle curve utilizzate e della dimensionalità specificata per la curva risultante.

Ad esempio, se vogliamo sottrarre 10mm a una curva di spostamento, potremo definire una nuova curva, avente come dimensionalità la lunghezza, tramite la formula *A-10*, dove la variabile A è la curva relativa allo spostamento nodale di un dato node, in una data direzione, mentre 10 verrà interpretato in millimetri, essendo questa l'unità corrente per le lunghezze. Se invece definiremo una curva *2*A*, cioè pari al doppio di A, il programma sa che A ha la dimensionalità di una lunghezza e che la curva finale ha la dimensionalità di una lunghezza, quindi interpreterà il 2 come adimensionale, e non lo convertirà in caso di cambiamento di unità di misura.

3.7.14 No post

COMMAND: Post-No Post

This command switches to a display mode based on cross-sections, removing every post processing information from the screen.

3.7.15 Legend

COMMAND: Post-Legend

This command is used to customize the stress legend and to modify contour mapping

([Stresses in Plates and Membranes](#)^[234]).

When the command is executed, a proper [dialog](#)^[795] is opened, to input the desired settings. The choices can be saved by the command [Save Configuration](#)^[345].

Type: modal

Destination: active view

3.7.15.1 Legend (Dialog)

LEGEND (DIALOG)

This dialog is used to customize the legend. You can decide the number of intervals and choose the colors to be used to display the stresses. Each choice can be saved by the command [Save Configuration](#)^[345].

To change the number of intervals, specify the number and press the button **Update!**. Once this is done, you will see that the number of intervals of the legend has changed. To modify a color, it's enough clicking over it: the usual system dialog used to choose a color will open, so that the chosen color can be set.

Another important feature is **setting the scale limits arbitrarily**: this is very useful to mark the zones crossing (or not-crossing, or within) a given interval. The data refer to the stress currently displayed, and are read according to the active units.

The last feature, is choosing to display the isolines by a simpler algorithm, and therefore easier, of the one used by default: from side to side are usually used seven points, in the coarse mode are used only two, so that the isoline is straight.

3.7.16 Import

COMMAND: Post-Importa

Il command può essere eseguito solo su modelli per i quali sia stato fatto il solving. Ci si posiziona in un caso di carico (del modello attivo, detto "padre"), la risposta al quale (in

termini di reazioni vincolari, spostamenti, sforzi in tutti gli elementi), si vuole sostituire con la risposta di un altro modello simile, esterno al modello dato (modello "figlio"). Il modello figlio ed il modello padre devono avere lo stesso numero di nodi, e lo stesso numero di elementi (beam, truss, molla, piastra, membrana, solido).

Si sceglie il modello esterno ("figlio"), anch'esso già risolto, dal quale si vuole prendere la risposta per sostituirla alla risposta del modello corrente, nel caso di carico corrente. Poi si specifica che caso di carico del modello esterno si vuole considerare al fine di sostituire la risposta.

Al termine del command la risposta del modello corrente non sarà quella ottenuta dalla risoluzione del modello corrente, ma quella letta nel modello esterno.

Operativamente:

- viene aperto il file "figlio.ddb" del modello esterno e letto l'insieme degli spostamenti del caso di carico specificato del modello figlio;
- gli spostamenti letti vengono sostituiti agli spostamenti del caso di carico attivo nel file "padre.ddb";
- si ripete la stessa operazione con le reazioni vincolari (file "figlio.rdb" e "padre.rdb") e con le azioni interne (file "figlio.sdb" e "padre.sdb")
- si reinizializza la vista

Una nuova esecuzione del solving riporta la risposta ad essere coerente con il solving del modello "padre" annullando il command precedentemente dato.

Type: modal

Destination: dati per il post processing

3.8 Structure

3.8.1 Typical

3.8.1.1 Complete

COMMAND: Structure-Tipica-Completa

Atbeamrso questo command è possibile creare in modo automatico modelli fem di

strutture tipiche. Questi modelli sono costituiti da elementi unifilari di tipo beam a cui dovranno essere attribuiti sezione e materiale.

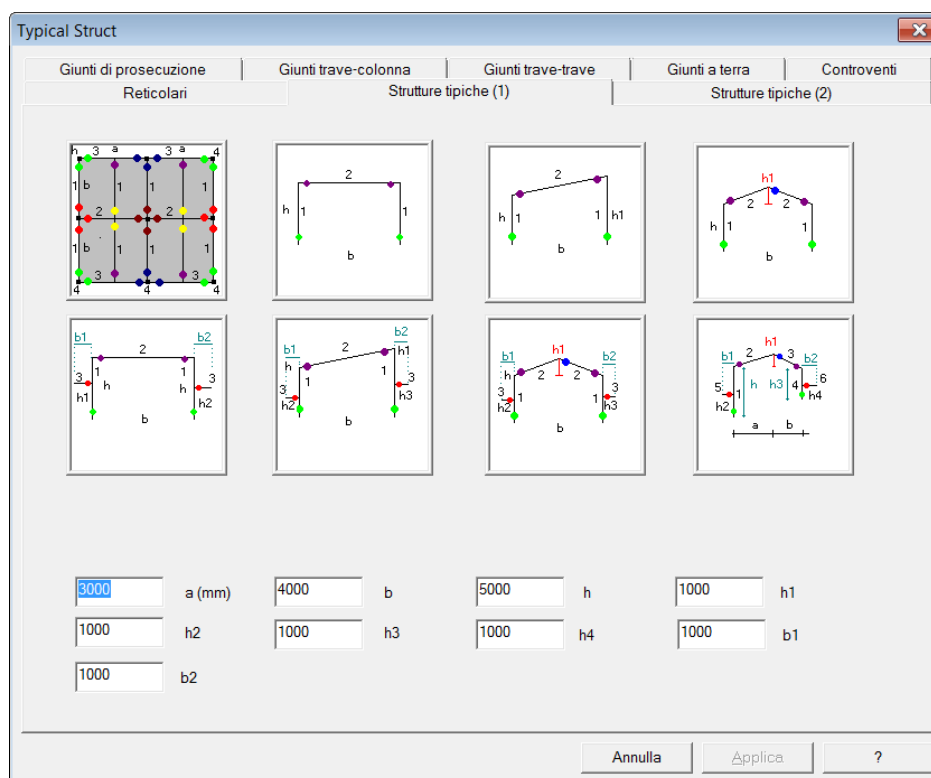
La struttura, inoltre, potrà poi essere modificata secondo le esigenze, aggiungendo ulteriori elementi, eliminandone alcuni, spostando i nodi, ecc, con i comandi standard.

All'esecuzione del command, si accede a un opportuno property sheet in cui si potrà scegliere lo [schema della struttura](#)^[797], quindi atbeamrso un [dialog](#)^[800] si assegneranno materiale e forma sezionale agli elementi.

Type: modal

3.8.1.1.1 Typical structures (1)

TYPICAL STRUCTURES (1)



This dialog is used to choose one of the available typical structures. When the user clicks over the desired structural scheme, a proper [dialog](#)⁸⁰⁰ is opened, in which you can assign the material and the cross-sections of each member.

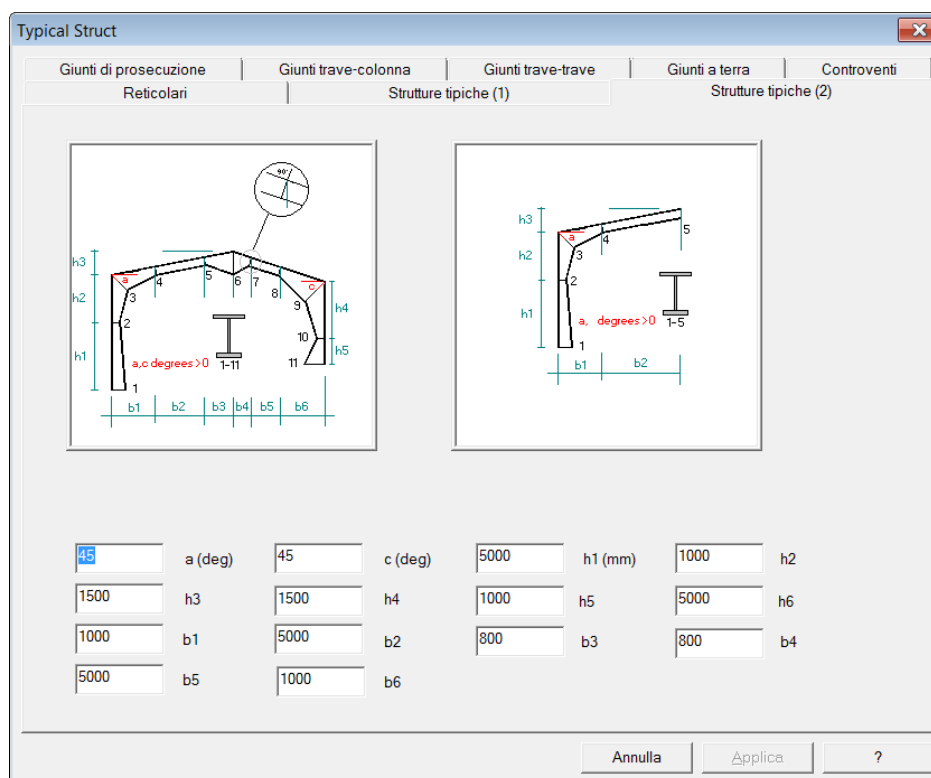
The sizes referenced in the image of the chosen scheme must be defined in the bottom edit boxes.

The first typical structure has also the columns of a typical floor structure, and their height must also be specified. The numbers refer to the members. The coloured dots refer to the different connections. "a" e "b" are the distance of one column to the other immediately after. The members number 1 are the secondary beams. Members number 4 are the columns.

The other typical structures are portal frames.

3.8.1.1.2 Typical structures (2)

STRUTTURE TIPICHE (2)



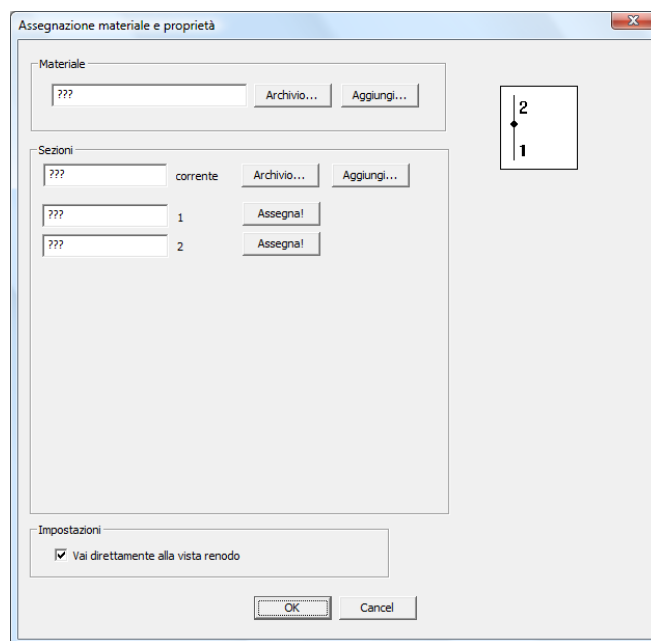
Questo dialog consente di scegliere una tra le strutture tipiche disponibili. Quando l'utente clicca sul button desiderato, appare un opportuno [dialog^{\[800\]}](#), nel quale il materiale e le sezioni trasversali possono essere assegnati alle membrature.

Le dimensioni nella immagine associata a ciascuno schema devono essere introdotte nelle caselle poste in basso.

In questo dialog possono essere definiti portali che impieghino elementi rastremati. Qui il numero si riferisce a diverse sezioni trasversali, da 1 a 11 per il portale completo, e da 1 a 5 per metà portale. Il programma aggiungerà solo gli elementi finiti necessari, con le pertinenti sezioni trasversali già assegnate, in modo da definire non solo gli elementi rastremati, ma anche le lavorazioni necessarie nei diversi Renodi, così che si possa ottenere un corretto modello 3D.

Al momento solo le sezioni ad I o ad H con spigoli vivi sono disponibili, e quindi l'utente dovrà definire direttamente le sezioni trasversali premendo preferibilmente il tasto "Aggiungi" nel dialog ["Assegnazione di materiale e proprietà^{\[800\]}"](#), il che condurrà direttamente all'opportuno dialog di aggiunta della sezione trasversale.

3.8.1.1.3 Properties and material assign (Dialog)

ASSEGNAZIONE MATERIALE E PROPRIETA' (DIALOGO)

In questo dialog si assegnano materiale e sezione alle membrature del node tipico che si sta definendo.

Premendo il button *Archivio* nel riquadro *Materiale* si accede all'[archivio dei materiali](#)^[660] di SARGON, dal quale si sceglie quello desiderato. Tutte le membrature avranno lo stesso materiale, che potrà comunque essere modificato con i normali comandi di gestione del modello fem. Premendo il button *Aggiungi* è invece possibile definire un nuovo materiale, atbeamrso un apposito [dialog](#)^[661].

Nel riquadro *Sezioni*, cliccando il button *Assegna!* accanto alla casella corrispondente a ciascuna membratura (numerata da 1 a n secondo quanto mostrato nell'immagine a destra) si assegna a ciascuna membratura la sezione corrente, cioè quella riportata nella casella *corrente*. Tale casella è inizialmente vuota; per definire una sezione corrente si utilizzano il button *Archivio*, che permette di scegliere uno dei profili dell'[archivio](#)^[553] di SARGON, o il button *Aggiungi* che consente di definire una nuova sezione. Cambiando la sezione corrente, è possibile assegnare

sezioni diverse alle varie membrature.

La casella *Vai direttamente alla vista renode* in *Impostazioni*, non si riferisce all'uso con Sargon.

3.8.1.2 Mesh only

COMANDO: Struttura-Tipica-Solo Mesh

The command is being developed.

3.8.2 Texts

3.8.2.1 Description

COMMAND: Structure-Text-Description

This command is used to input a text that will be stored and inserted in a specific point of the [report ePUB](#)^[340]. The text must be written using html rules. If pure text (unformatted) is input, there is no extra need of html. If otherwise some formatting is needed, then: bold must be placed within ` e `. Italics between `<i> e </i>`. Each new line should be managed with paragraphs opening (`<p>`) and closing (`</p>`).

The text refers to: a general description of the model.

3.8.2.2 Static

COMMAND: Structure-Text-Static Analysis

This command is used to input a text that will be stored and inserted in a specific point of the [report ePUB](#)^[340]. The text must be written using html rules. If pure text (unformatted) is input, there is no extra need of html. If otherwise some formatting is needed, then: bold must be placed within ` e `. Italics between `<i> e </i>`. Each new line should be managed with paragraphs opening (`<p>`) and closing (`</p>`).

The text refers to: comment to static analysis.

3.8.2.3 Modal

COMMAND: Structure-Text-Modal Analysis

This command is used to input a text that will be stored and inserted in a specific point of the [report ePUB](#)^[340]. The text must be written using html rules. If pure text (unformatted) is input, there is no extra need of html. If otherwise some formatting is needed, then: bold must be placed within ` e `. Italics between `<i> e </i>`. Each new line should be managed with paragraphs opening (`<p>`) and closing (`</p>`).

The text refers to: comments to modal analysis.

3.8.2.4 Buckling

COMMAND: Structure-Text-Buckling Analysis

This command is used to input a text that will be stored and inserted in a specific point of the [report ePUB](#)^[340]. The text must be written using html rules. If pure text (unformatted) is input, there is no extra need of html. If otherwise some formatting is needed, then: bold must be placed within ` e `. Italics between `<i> e </i>`. Each new line should be managed with paragraphs opening (`<p>`) and closing (`</p>`).

The text refers to: comments to buckling analysis.

3.8.2.5 Checks

COMMAND: Structure-Text-Checks

This command is used to input a text that will be stored and inserted in a specific point of the [report ePUB](#)^[340]. The text must be written using html rules. If pure text (unformatted) is input, there is no extra need of html. If otherwise some formatting is needed, then: bold must be placed within ` e `. Italics between `<i> e </i>`. Each new line should be managed with paragraphs opening (`<p>`) and closing (`</p>`).

The text refers to: comments to the results of the checks.

3.8.4 Capacity

3.8.4.1 Add DZone

COMMAND: Structure-Capacity-Add DZONE

The command is similar to the [command used to assign end-releases](#)^[680]. Once the command is executed, a proper dialog opens, which is used to choose the ([automatic or manual](#)^[680])

assignment mode and if the dissipative zone must be assigned or removed.

Dissipative zones are assigned clicking near the extremity of the elements, and are displayed with a pink circle, similar to that of the end-releases, but of size doubled.

3.8.4.2 Remove!

COMMAND: Structure-Capacity-Remove!

This command removes all the dissipative zones (or DZONE) from all the selected beam and truss elements.

3.8.4.3 Set

COMMAND: Structure-Gerarchia-Imposta

Questo command consente di impostare, tramite un opportuno [dialog](#)⁸⁰³, le verifiche a capacità.

Se si esegue il command e si esce con "OK", si perdono le precedenti verifiche a capacità.

Analogamente, le verifiche a capacità si perdono ogni qual volta si applicano modifiche che comportino la necessità di rieseguire l'analisi statica.

3.8.4.3.1 Capacity Design Settings (Dialog)

IMPOSTAZIONI VERIFICA DI GERARCHIA DELLE RESISTENZE (DIALOG)

Impostazioni Verifica di Gerarchia delle Resistenze

Coefficienti parziali

1 Gamma,M0
1 Gamma,M1
1.25 Gamma,M2

Verifica di classe per elementi beam dissipativi

☒ Massima classe N, M2, M3
☐ Classe a N
☐ Classe a M2
☐ Classe a M3

Classe di duttilità

☒ Bassa
☐ Alta

Elementi beam dissipativi

2000 Lunghezza
Vpl= 2Mpl / Lunghezza

Intervallo di snellezza adimensionale truss dissipativi

1.3 Lam,s,Minima
2 Lam,s,Massima

Lunghezza beam considerati link

se < 0 Corti
se > 0 Lunghi
entrambe nulle: no link

Fattori azioni interne spurie

0.15 (V2/V2,pl),max
0.15 (M3/M3,pl),max
0.15 (M1/M1,pl),max
beam dissipativi

OK Cancel

Questo dialog consente di impostare alcuni dati importanti per la esecuzione delle verifiche a capacità (la così detta "gerarchia delle resistenze).

Per maggiori informazioni si veda [Come eseguire la verifica di capacità](#)³¹⁸.

- I "Coefficienti parziali" possono essere descritti in modo indipendente da quanto previsto per le verifiche secondo EC3/NTC. In particolare, γ_{M0} serve a determinare i valori di progetto delle sollecitazioni a resistenza (valori "Rd").
- La "verifica di classe per elementi beam dissipativi" si riferisce a elementi beam dissipativi (per i truss dissipativi si usa sempre la classe ad azione assiale). Si deve verificare che la classe sia almeno 1 o 2, a seconda dei casi, ma occorre stabilire la classe *secondo quale sollecitazione elementare*. Una interpretazione certamente a favore di sicurezza è eseguire il controllo per la classe massima, che normalmente si ha per azione assiale di compressione. Se l'elemento si plasticizza prevalentemente in condizioni inflesse, è possibile "accontentarsi" della sola verifica sull'asse di flessione 2 (o 3), una condizione più semplice

da soddisfare, ma, a nostro parere, non necessariamente sicura, dato che negli elementi dissipativi entrano anche certamente azioni assiali di compressione.

- La "classe di duttilità" può essere alta o bassa (cfr. Eurocodice 3 e NTC). Se è alta, il fattore di sovrarresistenza è più alto, ed anche i requisiti sulla classe sono più severi.
- La "lunghezza dei beam dissipativi" serve ad eseguire la verifica di capacità sugli elementi inflessi, in particolare serve alla verifica sul taglio (e.g. equazione 7.5.5 NTC 2008). Al momento il programma fa l'ipotesi che gli elementi dissipativi siano prismatici e tutti con lunghezze simili. Così che $V_{Ed,M} = 2M_{pl}/L$. M_{pl} è il momento plastico dell'elemento dissipativo (privo di riduzioni) e L la sua lunghezza. Non si può usare la lunghezza dell'elemento finito perché a causa delle esigenze di meshing questa può non essere in relazione con la lunghezza della membratura dissipativa.
- L'"intervallo di snellezza adimensionale" per i truss dissipativi è l'intervallo all'interno del quale il programma verifica che sia contenuta la snellezza adimensionale degli elementi truss dichiarati dissipativi.

3.8.4.4 Check!

COMMAND: Structure-Capacity-Check!

This command runs the capacity checks of all the dissipative zones, and of all the elements connected to nodes in the nearby of dissipative zones, as explained in [How to manage capacity design](#)^[318].

3.8.4.5 Display Results

COMMAND: Structure-Gerarchia-View Risultati

Se in precedenza è stata eseguita una analisi di capacità, allora con questo command si possono vedere sinteticamente i risultati sulla zone dissipative.

Un cerchio giallo sulla zona dissipativa indica che la verifica non è stata eseguita.

Un cerchio verde indica che la verifica è stata eseguita ed è soddisfatta.

Un cerchio rosso indica che la verifica è stata eseguita e non è soddisfatta.

Le verifiche non soddisfatte che pertengono elementi non dissipativi comportano la marcatura NON VERIFICATA su tutte le zone dissipative affluenti al node. Viceversa, se delle zone dissipative affluenti al node alcune sono soddisfatte ed altre no, ciò implica che solo le verifiche sugli elementi dissipativi non verificati siano non soddisfatte, mentre gli altri elementi dissipativi verificati, e tutti gli elementi non dissipativi affluenti al node, sono da considerarsi verificati.

Per maggiori informazioni si veda [Come eseguire la verifica di capacità](#)³¹⁸.

3.8.4.6 Open file!

COMMAND: Structure-Capacity-Open file!

If a capacity analysis has already been done, this command is used to open the results output listing file (file MODELNAME.CAPACITY.TXT). For a description of the output listing, see [How to manage capacity design](#)³¹⁸.

3.9 Validation

3.9.1 Normalize

COMMAND: Validation-Normalizza

Questo command serve a **modificare permanentemente i dati del modello** corrente specificando il modo di normalizzare i dati a un certo livello di precisione desiderato. Le varie grandezze disponibili sono:

- le coordinate nodali;
- le proprietà sezionali e dei materiali;
- gli spessori e i momenti di inerzia delle piastre;
- l'entità delle azioni;
- le rigidezze traslazionali e rotazionali;
- i fattori di combinazione.

All'esecuzione del command viene proposto un [dialog](#)^[807] dove si possono impostare i valori desiderati. Se ad esempio, per le coordinate nodali impostiamo il valore 0.1, la coordinata $X=1000.09\text{mm}$ di un node diventerà $X=1000.1\text{mm}$, ovvero il dato sarà ricalcolato arrotondando al decimo di millimetro.

Se per una grandezza si lascia 0, i valori corrispondenti non verranno modificati.

Poiché il **modello viene modificato** da questo command, può essere opportuno **salvarne una copia** prima di normalizzarlo. Le unità di misura con le quali si forniscono le potenze di dieci sono fisse (vedi [dialog](#)^[807]).

La normalizzazione ha un senso per ripulire il modello da quelle cifre significative illusorie ed in eccesso che si generano mediante operazioni di geometria analitica o di algebra che tipicamente il programma fa (ad esempio per generare le coordinate di nodi intermedi, o per generare carichi equivalenti a certe pressioni su certe aree di influenza).

Type: modal

Destination: document

3.9.1.1 Normalization (Dialog)

NORMALIZE (DIALOGO)

Normalizzazione

Nodi
 Coordinate (mm)

Materiali
 E (N/mm²)
 Nu
 g (N/mm³)
 fy.. (N/mm²)

Sezioni
 Quote (mm)
 Aree (mm²)
 J (mm⁴)
 W (mm³)
 Modificatori


Piastre e membrane
 PM: spessori (mm)
 PM: j (mm³)

Azioni
 Forze (N)
 Coppie (Nmm)
 p (N/mm = kN/m)
 m (Nmm/mm)
 Temperature (°C)

Rigidzze
 Traslazionali: N/mm
 Rotazionali: Nmm/rad

Combinazioni
 Fattori

Se si introduce 0 i dati saranno invariati; invece, se per esempio è indicato 0.01, 123.45678 diventerà 123.46



OK Proponi Default Cancel

This dialog is used to define the settings in order to [normalize](#)⁸⁰⁸ the model data.

The values must be input as powers of 10: 0.1 0.01 0.001 or 1, 10, 100, etc. These numbers are read according to fixed units, not according to the units active when the command is executed.

For instance, if I input 1 for the coordinates, all the coordinates will be rounded to 1 millimeter. If I input 10 for the elastic modulus, these will be rounded to 10MPa. N, mm and derived units are used.

3.9.2 Change coordinate-system

3.9.2.1 Pan...

COMMAND: Validation-Change Reference System-Pan...

The command is used to shift the selected nodes. By selecting All and so selecting all the nodes of the model before the command execution, it is possible to shift the whole structure

with reference to the global system.

After this command is executed, by a proper [dialog](#)^[458] the shift vector components, X, Y, Z, are asked (and they must be input using current length unit).

Type: modal

Destination: document

3.9.2.2 Rotate on Z axis...

COMMAND: Validation-Change Coordinate-System-Rotate on Z axis...

The command is used to rotate the current model about global axis Z (the vertical axis). Once the command is executed, the user must input the rotation angle, using degrees and considering an angle positive if counterclockwise, according to the right-hand rule..

Type: modal

Destination: document

3.9.3 Create signature...

COMMAND: Validation-Crea targa...

Il command serve a creare una [targa](#)^[299] del modello corrente, al fine di poter [confrontare](#)^[813] targhe coerenti tra loro in termini di cifre significative. All'esecuzione del command viene proposto un [dialog](#)^[810] in cui si definisce il numero di **cifre significative** desiderato per le varie grandezze. Tali grandezze sono:

- i luoghi 0D (adimensionali);

- i luoghi 1D (monodimensionali);
- i luoghi 2D (bidimensionali);
- i luoghi 3D (tridimensionali);
- i luoghi misti;
- le azioni;
- le masse.

La targa verrà stampata in un file txt chiamato *[nome modello sargon].SIGNATURE.TXT* creato nella stessa cartella del modello Sargon.

Type: modal

Destination: file txt

3.9.3.1 Number of significant digits (Dialog)

NUMBER OF SIGNIFICANT FIGURES (DIALOG)

This dialog is used to define the settings needed to [create the signature](#)⁸⁰⁹ of the current model.

The edit box referring to mixed loci is also used to test the effect of the choice made. For example, considering the number 123456.789, if three digits are asked for, then this number

will be rounded to **123000**; if 5 figures are asked, it will get **123460**.

Each edit box can be set independently on the others. The buttons *All at...* are used to set all the numbers of digits in all the edit boxes to the desired value, depending on the button pressed.

3.9.4 Create signature of selected...

COMMAND: Validation-Create signature of selected...

This command is similar to the command [Create signature](#)^[809], but by this command the signature is created considering only the elements selected before the execution of the command itself.

The signature will be placed in a txt file named *[name of the Sargon model].SIGNATURE.SELECTED.TXT* that will be placed in the same folder of the Sargon model.

Type: modal

Destination: file txt

3.9.5 Create info...

COMMAND: Validation-Crea info...

The command is used to create an [informational file](#)^[297] of the current model

The informational file will be a txt file named *[name of the sargon model].INFORMATION.TXT* and placed in the same folder of the Sargon model. This informational file is a synthetic description of the model, more extended and easy to understand than the signature.

Type: modal

Destination: file txt

3.9.6 Create info selected...

COMMAND: Validation-Create info selected...

This command is similar to the command [Create info](#)^[811], but by this command the informational file is created only referring to the objects selected before the command execution.

The information will be printed in a file named *[name of the Sargon model].INFORMATION.SELECTED.TXT* and placed in the same folder of the Sargon model.

Type: modal

Destination: file txt

3.9.7 Compare with (WSR)...

COMMAND: Validation-Compare with (WSR)...

This command is used to directly compare two Sargon models, without creating their signatures. The reference Sargon model, is the current one. When the command is executed the number of [significant figures](#)^[810] to be considered for the outputs is asked, and then a second Sargon model is specified by browsing the hard disk.

For a description of the compared quantities, read [How to manage validation \(menu Validation\)](#)

^[294]

Type: modal

Destination: file txt

3.9.8 Compare selected with (WSR)...

COMMAND: Validation-Compare selected with...

The command is similar to [Compare with \(WSR\)](#)^[812]. The difference is that in this case the comparison is done considering only the objects selected in model A and only the objects selected in model B.

Type: modal

Destination: file txt

3.9.9 Compare TXT signatures...

COMMAND: Validation-Compara targhe TXT...

Questo command serve a confrontare in modo automatico due [targhe](#)^[299] di modelli diversi della stessa struttura.

Dopo l'esecuzione del command occorre indicare le due targhe da confrontare. La **prima targa** può essere un file precedentemente creato, oppure si può creare in tempo reale la targa del modello corrente. La **seconda targa** deve essere stata creata in precedenza e va indicata dopo aver scelto o creato la prima targa.

Prima targa (modello A)

Dopo l'esecuzione del command viene chiesto se la prima targa deve essere creata del modello corrente (SI) o se si vuole scegliere una targa esistente su disco (NO).

Nel primo caso (SI), la modalità operativa è la stessa di quando si [crea una targa](#)^[809]: viene

proposto il [dialog](#)^[810] in cui si specifica il numero di cifre significative desiderato per le varie grandezze, quindi viene chiesto se creare la targa dell'intero modello o relativa ai soli oggetti selezionati, infine il file txt contenente la targa viene creato nella cartella del modello. Nel secondo caso (NO), si specifica direttamente il file txt della targa creata in precedenza.

Seconda targa (modello B)

Si specifica il file txt della targa desiderata, che era stata creata in precedenza.

Confronto

Viene chiesto di specificare il nome del file di confronto tra le targhe (di default viene proposto *[nome targa 1]+[nome targa 2].COMPARE.TXT*). Viene infine eseguito il confronto tra le targhe e il programma chiede se aprire automaticamente il file [txt](#)^[304] con le informazioni sul confronto stesso.

Per informazioni dettagliate sul confronto tra modelli indipendenti di una stessa struttura, si veda [Come affrontare la validazione \(menu Validation\)](#)^[294].

Type: modal

Destination: file txt

3.10 Window

3.10.1 New window

COMMAND: Window-New Window

This is used to open a new window with the model currently active, so that several different views of the same model can be seen, each one independent on the others.

Type: immediate

3.10.2 Cascade

COMMAND: Window-Cascade

This command arranges all the open windows in a cascade.

Type: immediate

3.10.3 Tile

COMMAND: Window-Tile

This command tiles all the open windows.

Type: immediate

3.10.4 Arrange icons

COMMAND: Window-Arrange Icons

This command re-arranges, from the bottom-left corner of the screen, all the icons of the open windows.

Type: immediate

3.10.5 Window manager

This command is used to manage active windows. When the command is executed, a standard dialog appears allowing the activation and positioning of the different windows in a proper way. Besides it is also possible to save one or more files.

3.11 Help

3.11.1 Index

COMMAND: Help-Index

Use this command to display the opening screen of Help. From the opening screen, you can jump to step-by-step instructions for using <<YourApp>> and various types of reference information.

Once you open Help, you can click the Contents button whenever you want to return to the opening screen.

3.11.2 Use of help

COMMAND: Help-Using Help command (Help menu)

Use this command for instructions about using Help.

3.11.3 About Sargon

COMMAND: Help-About Sargon

This command prints a [dialog](#)^[816] with information about Sargon.

3.11.3.1 About Sargon (Dialog)

ABOUT SARGON (DIALOG)

This dialog is used to get information about the program.

Part

IV

4 Technical guide to checks

4.1 Eurocode 3 - EN 1993

EC3: GUIDA TECNICA

VERSIONE EN:1993-1-1 (RILASCIATA CON LA VERSIONE 8.40 NEL NOVEMBRE 2007)

VERSIONE ENV (NON PIÙ RILASCIATA A PARTIRE DAL NOVEMBRE 2007).

VERSIONE EN:1993-1-1 (RILASCIATA CON LA VERSIONE 8.40 NEL NOVEMBRE 2007)

Sommario:

- 1 Generalità
- 2 Paragrafi implementati
- 3 Classificazione delle sezioni
- 4 Verifiche standard
 - 4.1 Verifiche di resistenza
 - 4.2 Verifiche di stabilità
 - 4.2.1 Il problema dello svergolamento
 - 4.2.2 Il nuovo formato delle verifiche di pressoflessione (metodo 1 e metodo 2)
 - 4.2.3 Le verifiche di instabilità torsionale e flesso-torsionale (versione 9.90, Luglio 2012)
- 5 Verifiche utente
 - 5.1 Approccio
 - 5.2 Il file “ec3data.txt”
 - 5.3 Esempio di aggiunta di una sezione al file: IPE500
- 6 Il tracciamento dei calcoli
- 7 L'uso di checksolvers
- 8 Le schede di validazione
- 9 Bibliografia

1 Generalità

L'aggiornamento del verificatore dalla versione ENV della norma alla versione EN ha richiesto un considerevole lavoro. La stesura di un verificatore in accordo ad EN1993-1-1 si presenta come un lavoro molto vasto e complesso, tenuto conto dei notevoli problemi di interpretazione e di applicazione che la norma pone, quando applicata in un contesto generale. Il problema è così vasto che sarà oggetto di una trilogia di pubblicazioni [1]-[3] delle quali al momento (novembre 2007) è disponibile solo la prima. Non si ritiene di poter dare in questa sede che indicazioni di massima, riservando alle pubblicazioni [1]-[3] l'approfondimento necessario.

Nel passaggio dalla versione ENV alla versione EN sono profondamente cambiate le formule di verifica a pressoflessione, e ciò ha posto considerevoli problemi di interpretazione e di applicazione. Inoltre, per le sezioni in classe 3, di fatto è stato ripristinato il calcolo tensionale puntuale tradizionale, sia pur con una mitigazione legata alla possibilità di redistribuire plasticamente le sollecitazioni taglianti e torcenti applicate.

I maggiori problemi riguardano la mancata generalità di numerose parti che sono state messe a punto avendo in mente problemi particolari. Le stesse formule di pressoflessione non sono di fatto applicabili se non a profili doppiamente simmetrici. Si tratta di una grave limitazione, che non è mitigata da alcuna formula alternativa.

Il lavoro di studio e approfondimento ha abbracciato alcuni mesi. Da questo lavoro è scaturita anche una serie di importanti migliorie rispetto alla versione ENV precedentemente rilasciata. Tali migliorie sono le seguenti:

- È stata inclusa la torsione che precedentemente non era nominata dalla norma;
- Sono stati affrontati tutti i complessi problemi di interazione tra taglio e torsione anche se non chiariti dalla norma;
- È stato aggiunto il tracciamento dei calcoli, una funzionalità che consente di ricostruire passo passo i calcoli fatti e di disporre della gran parte dei risultati intermedi;
- Sono state messe a punto ben 100 schede di validazione ed alcuni worked example, che entreranno a far parte della documentazione del programma non appena pubblicate ufficialmente in [2] e [3], oggi in corso di stesura;
- È stato ampliato enormemente il raggio di azione del programma consentendo la esecuzione di verifiche utente su sezioni di forma qualsiasi;
- È stata migliorata la parte relativa al calcolo a svergolamento;

- E' stata data la possibilità di usare vari tipi diversi di calcoli, scegliendo il miglior modo di eseguire il verificatore.
- E' stata aggiunta a checksolvers la possibilità di eseguire controlli sui coefficienti di sfruttamento ottenuti con la norme EC3.

2 Paragrafi implementati

3.2.3 (per spessori $t > 80\text{mm}$ si è assunta una riduzione di 40N/mm^2); 3.2.6, 5.5.2, 6.2.1 (ma non (2) e (10)), 6.2.2.1, 6.2.2.2 (l'area netta è tenuta in conto da un fattore riduttivo dell'area lorda), 6.2.2.5 (1) (2) i formati a freddo sono fuori dal campo di applicazione, (3), (4); 6.2.3; 6.2.4; 6.2.5; 6.2.6 ad esclusione delle clausole (5) applicata sempre e (6); 6.2.7 ma tenendo solo conto della torsione primaria; 6.2.8; 6.2.9.1 (ma non clausola (4)); 6.2.9.2; 6.2.9.3; 6.2.10; 6.3.1.1; 6.3.1.2 ma non clausola (4); 6.3.1.3; 6.3.1.4; 6.3.2.1; 6.3.2.2; 6.3.2.4. per alcuni profili prendendo $k_c=1$ clausola (2) e (3); 6.3.3.; annesso A; annesso B

3 Classificazione delle sezioni

A parte qualche piccola differenza nella definizione dei rapporti larghezza spessore, e, conseguentemente, nella definizione dei limiti, il problema della classificazione è stato affrontato in modo identico a quanto già previsto dalla precedente versione del verificatore. L'argomento è molto complesso quando affrontato nella sua generalità, ed è stato oggetto di una specifica pubblicazione ([1]) che costituisce il fondamentale riferimento bibliografico dal quale trarre tutte le informazioni del caso.

Nella documentazione del programma è disponibile l'articolo [\[articolo1\]^{\[976\]}](#), che originariamente fu scritto per spiegare la metodologia impiegata.

SARGON risolve completamente il problema nel caso di sezioni ad I ed H laminato ed a I saldato (IPE, HEA, ecc.) così come chiarito in [1], mentre relativamente agli altri profili SARGON assume come classe la massima classe tra quelle dovute a sollecitazioni pure (sola N, solo M2, solo M3). Nel caso di elementi truss SARGON assume come classe la classe 1 se l'elemento è in trazione, la classe a compressione semplice in caso contrario.

Il caso di classe 4 è da considerare un caso a sè. Il calcolo delle grandezze efficaci viene eseguito per i soli profili ad I laminati. Negli altri casi tali grandezze sono poste eguali a zero. E' tuttavia sempre possibile mediante le verifiche utente definire i moduli di resistenza efficaci pertinenti.

Un profilo che risulti di classe 4 e non sia un profilo ad I o un profilo-utente viene considerato non verificato, ed a esso è associato il coefficiente di sfruttamento convenzionale 99.

Profili che non siano doppiamente simmetrici presentano particolari problemi allorchè ci si trovi a calcolarne le grandezze efficaci. In tal caso infatti, anche sotto sollecitazioni semplici, gli assi principali della sezione efficace sono ruotati rispetto a quelli della sezione lorda, facendo con ciò perdere un pò di vista il significato delle verifiche a stabilità.

Quando per profili classificati in accordo a quanto chiarito nell'articolo citato uno qualsiasi di questi tre rapporti, in valore assoluto

$$N/N_{pl}$$

$$M_2/M_{2pl}$$

$$M_3/M_{3pl}$$

è minore di $1 \cdot 10^{-4}$ (0.0001), allora la corrispondente componente di sollecitazione è assunta nulla ai fini della classificazione. Tale accorgimento evita che compressioni puramente numeriche (piccoli valori di compressione in presenza di momento nullo) possano portare a classificazioni troppo severe.

4 Verifiche standard

Con il nome di “verifiche standard” si intendono tutte quelle verifiche che vengono eseguite sui profili in modo automatico ovvero senza che l'utente “insegni” al programma come fare. Chiaramente, data l'estrema complessità della norma, è talvolta necessario impiegare “sezioni utente” al fondamentale fine di chiarire in che modo trattare profili di forma particolare, oppure al fine di specializzare le verifiche secondo i propri desideri.

4.1 Verifiche di resistenza

4.1.1 *Sezioni in classe 1 o in classe 2*

Per queste sezioni vengono utilizzati, dove disponibili, domini nonlineari eventualmente corretti per tener conto della presenza di taglio e torsione. Nel caso in cui tali domini non siano disponibili viene impiegata una formula di interazione di tipo lineare, corretta per tener conto della presenza di taglio e momento torcente. In questo caso gli sfruttamenti plastici vengono calcolati impiegando una tensione di snervamento ridotta $(1-\rho_2-\rho_3)f_y$ al posto della tensione di snervamento originaria. Di solito gli sfruttamenti calcolati non sono coefficienti di sfruttamento ma meri indici di sfruttamento, essi non esprimono cioè una reale distanza dalla soglia. Per una estesa trattazione del problema, non sintetizzabile

nelle note di rilascio di un programma, si rimanda a [3].

4.1.2 *Sezioni in classe 3*

In questo caso le verifiche sono verifiche puntuali ed il criterio adottato è quello di Von Mises. Le sezioni si dividono in due gruppi: il gruppo delle sezioni per le quali vengono adottate delle verifiche convenzionali, ottenute sovrapponendo le tensioni normali e tangenziali in modo che siano a favore di sicurezza; ed il gruppo di sezioni per le quali viene definito un insieme di punti nei quali vengono definiti dei moduli di resistenza generalizzati atti a far calcolare la tensione normale e la tensione tangenziale, combinate poi con la regola di Von Mises.

Al primo gruppo appartengono le sezioni: circolari; a $[\]$, a $]\]$, angolari composti a T ed a croce, nonché angolari semplici;

Al secondo gruppo appartengono le sezioni ad I o H laminato, ad I o H saldato, a T laminato o saldato, RHS (rectangular hollow section), a cassone, piatti o rettangolari, ed UPN nonché C saldati.

Poiché la norma consente una redistribuzione plastica anche nel caso di calcoli elastici in nessuno di questi casi la tensione tangenziale dovuta al taglio è calcolata usando la formula di Jouravskij. Invece viene sempre adottata una ripartizione costante.

4.1.3 *Sezioni in classe 4*

Alcune tipologie di sezione possono essere verificate anche se di classe 4. Tali tipologie sono:

- profili a I o H laminato;
- profili ad I o H saldato;
- profili ad I o H laminato a flange asimmetriche;
- profili ad U saldato;
- profili a T ottenuti per taglio di profili ad I o H laminato;
- profili a T saldato;
- profili a cassone;
- profili rettangolari cavi (RHS);
- Profili a C a flange parallele.
-

Perché questi profili siano verificati automaticamente benché in classe 4, il verificatore deve poter conoscere i valori efficaci. I valori efficaci vengono definiti dopo aver assegnato le sezioni agli elementi nel modello sotto esame. Tali valori efficaci dipendono anche dal materiale e quindi non possono essere considerati una proprietà della sezione immutabile, ma piuttosto sono una proprietà della sezione una

volta che sia noto il materiale con cui è costituita.

Per far calcolare al programma i valori efficaci di un profilo ricadente nelle tipologie anzi dette, l'utente deve eseguire il command [Edit-Proprietà-Modifica sezione](#)^[656] scegliere la sezione a cui è interessato e poi premere il button "Valori Efficaci".

A quel punto si apre un [opportuno dialog](#)^[610] che chiede essenzialmente le tensioni di snervamento e rottura del materiale e il valore di γ_{m0} da usare. L'utente dovrà introdurre i valori che corrispondono agli elementi a cui quella sezione è stata assegnata. Se la sezione è stata assegnata a elementi aventi materiale diverso, sarà necessario (se per tutti è necessario un calcolo in classe 4) distinguere i profili introducendo nuovi profili identici a con nome diverso.

Ad esempio se gli elementi A hanno la sezione HE200B in S235 e gli elementi B hanno la stessa sezione in S355, agli elementi B si potrà assegnare una sezione "HE200B_2" in modo da poter definire due volte i valori efficaci, una volta (HE200B) con S235, ed una volta (HE200B_2) con S355.

Il verificatore utilizzerà i valori efficaci solo se riconoscerà che questi sono stati definiti per il medesimo materiale dell'elemento da verificare. Ciò che rileva è f_y/γ_{m0} .

Nel caso in cui sia presente anche taglio e torsione la formula viene corretta riducendo da 1 a $(1-\rho_2-\rho_3)$ la soglia massima. In questo caso

$$\rho_2 = \frac{2V_2}{V_{p12,T}} - 1$$

$$V_{p12,T} = V_{p12} \left(1 - \frac{M_1}{M_{1,lim}} \right)$$

E di conseguenza ρ_3 .

4.2. Verifiche di stabilità

Le formule di stabilità presenti nell'Eurocodice 3 sono relative alle verifiche di compressione, di svergolamento, di pressoflessione con o senza svergolamento. Per quanto riguarda la verifica di compressione semplice questa non presenta particolari difficoltà nota che sia la snellezza e la curva di stabilità da adottare per la verifica. Ove l'azione assiale sia variabile il programma assume la massima compressione come valore di riferimento sulla membratura. Per quanto invece riguarda le verifiche di svergolamento e di pressoflessione, esistono considerevoli problemi che necessitano di essere menzionati.

4.2.1 Il problema dello svergolamento

Le verifiche a svergolamento possono essere eseguite essenzialmente mediante tre distinti metodi, in EN1993. Il primo metodo impiega una formula chiusa per il calcolo del momento critico; il secondo metodo impiega i moltiplicatori critici e limite ottenuti con calcoli di buckling e di analisi nonlineare; il terzo metodo, semplificato, verifica la piattabanda compressa. Il verificatore usa quando possibile il metodo che impiega la formula chiusa per il valore di M_{crit} , mentre quando ciò non è possibile (sezioni aperte o sezioni a C) si esegue di fatto una verifica della piattabanda compressa pensata isolata dal resto della sezione.

Il primo metodo può essere applicato solo a sezioni inflesse nel piano di simmetria, e consiste nell'applicare una complicata formula (non più esplicitamente presente nella norma) che può essere scritta come segue:

$$M_{crit} = C_1 \frac{\pi^2 EI_3}{(\beta_1 L)^2} \left\{ \left[\left(\frac{\beta_1}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_3} + \frac{(\beta_1 L)^2 GI_t}{\pi^2 EI_3} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - (C_2 z_g - C_3 z_j) \right\}$$

Se il carico è applicato nel centro di taglio $z_g=0$. Inoltre per sezioni doppiamente simmetriche $z_j=0$. In questi casi la formula precedente si semplifica e viene unicamente a dipendere dal coefficiente di distribuzione C_1 . Il termine k_w è un coefficiente che vale 1 quando l'ingobbamento è libero agli estremi, 0,5 se è impedito. Il coefficiente β_1 (anche indicato da k , in alcune fonti), dà conto della lunghezza compresa tra due ritegni torsionali successivi e di solito coincide con 1. Il termine I_w è la costante di ingobbamento mentre I_t è il momento di inerzia torsionale.

Nel caso di sezioni ad I o ad H laminato ed a I saldato, la formula precedente fornisce direttamente il valore del momento critico elastico associato allo svergolamento. Tale formula dipende, come si è detto, dal coefficiente di distribuzione C_1 che per momento costante vale 1 mentre per momento variabile è generalmente maggiore di 1. Sebbene siano disponibili tabelle capaci di fornire questo coefficiente in una certa casistica, nella maggior parte dei casi tale coefficiente non risulta determinabile in modo semplice. Alcuni studi, eseguiti su un gran numero di simulazioni numeriche, hanno permesso di mettere a punto delle formule semplificate che, campionando il diagramma di momento M associato allo svergolamento (di solito M_2) esprimono C_1 in forma chiusa.

Tra queste formule l'ultima e più attendibile è quella di Serna (vedasi il [dialog^{\[548\]}](#)) che consente di scegliere il modo in cui valutare C_1). Altre formulazioni sono dovute a Kirby-Nethercot (norme americane) ed alle normative BS.

Il programma verificatore è in grado di calcolare C_1 partendo da una generica distribuzione di momento, mediante l'uso delle formule anzi dette. E' anche possibile fissare un valore unico e costante per C_1 .

Calcolato il momento M_{crit} (che come si vede dipende dalla combinazione a causa della

dipendenza di C_1 dal diagramma di momento sollecitante). Il programma può calcolare la snellezza per lo svergolamento λ_{LT} e da questa un coefficiente riduttivo da applicare al momento limite per ottenere la soglia di momento da associare alla instabilità laterale per svergolamento.

Quando viene applicato il metodo della piattabanda compressa, di fatto si valuta la snellezza di questa mediante il suo raggio di inerzia i_f . Anche in questo caso è previsto un coefficiente, denominato k_c , che consente di dosare la verifica in funzione della distribuzione di momento, ma, data l'indisponibilità di formule generali per la sua valutazione esso, a favore di sicurezza, viene posto eguale ad 1.

4.2.2 Il nuovo formato delle verifiche di pressoflessione (metodo 1 e metodo 2)

Le nuove norme EN differiscono dalle precedenti ENV in specie per il formato delle verifiche a pressoflessione, che è stato profondamente cambiato pervenendo, nella intenzione degli autori, ad un formato al tempo stesso più chiaro e più accurato. In realtà da un punto di vista operativo il nuovo formato si presenta notevolmente complesso e macchinoso, tanto che di fatto risulta inapplicabile a mano. Inoltre il nuovo formato si riferisce a sezioni doppiamente simmetriche mentre non è ben chiaro come regolarsi quando il profilo da verificare possenga un solo asse di simmetria o al limite nessuno.

Il formato generale delle verifiche prevede due formule, una per lo sbandamento nel piano 1-2 ed una per lo sbandamento nel piano 1-3. Queste formule devono poi essere diversamente applicate a seconda che il profilo sia in classe 1 o 2 o in classe 3, ed a seconda che lo svergolamento sia considerato possibile o impedito. Inoltre le formule generali vengono poi a specializzarsi in due differenti approcci, che comportano due metodi differenti per il calcolo dei coefficienti: un formato denominato “Metodo 1”, e dovuto alla ricerca franco-belga, ed un formato denominato “Metodo 2” e dovuto alla ricerca austro-tedesca.

Il formato generale delle verifiche è il seguente:

$$\frac{N}{\chi_2 N_{Rk}} + k_{22} \frac{M_2 + \Delta M_2}{\chi_{LT} M_{2,Rk}} + k_{23} \frac{M_3 + \Delta M_3}{M_{3,Rk}} \leq \frac{1}{\gamma_{M1}}$$

$$\frac{N}{\chi_3 N_{Rk}} + k_{32} \frac{M_2 + \Delta M_2}{\chi_{LT} M_{2,Rk}} + k_{33} \frac{M_3 + \Delta M_3}{M_{3,Rk}} \leq \frac{1}{\gamma_{M1}}$$

I due metodi differiscono per il modo in cui vengono calcolati i coefficienti k_{ij} . Nelle formule precedenti le grandezze a denominatore cambiano in funzione della classe. Per la classe 1 e 2 si usano i moduli plastici, per la 3 quelli elastici e per la 4 l'area ed i moduli di resistenza efficaci. Le variazioni di momento Δ sono nulle se la classe non è la 4.

Il verificatore è in grado di applicare entrambi i metodi, a scelta (vedasi il [dialog](#)^[546] opportuno).

Data la possibilità di eseguire i calcoli con entrambi i metodi, si consiglia di avvalersi di tale funzionalità come procedura standard onde migliorare il grado di affidabilità dei calcoli. Tra i due metodi quello maggiormente affidabile e preciso dovrebbe essere, nella maggior parte dei casi, il metodo franco-belga (il metodo 1).

Vediamo nel seguito in che modo i due metodi provvedano a calcolare i coefficienti.

4.2.2.1 Metodo 1 (franco-belga)

Le formule che danno i coefficienti k_{ij} sono molto complesse, in specie nel caso di dimensionamento plastico. Non è questa la sede per entrare nel dettaglio, ci si limita ad osservare che in questo approccio la dipendenza dei coefficienti da ciascun fenomeno fisico (plasticità, svergolamento, distribuzione di momento, ecc.) è chiaramente evidenziata da termini a questi associati. Particolare rilevanza hanno le formule che si riferiscono al calcolo dei coefficienti $C_{mi,0}$ per le quali (cfr. tabella A.2 della norma) esiste una dipendenza dalla freccia massima sotto i carichi applicati, almeno nel caso in cui la distribuzione di momento non sia lineare. La formula è questa:

$$C_{mi,0} = 1 + \left(\frac{\pi^2 EI_i |\delta|}{L^2 |M_{i,max}|} - 1 \right) \frac{N}{N_{cr,i}}$$

nella quale compare il massimo momento e la massima freccia δ . La massima freccia δ può essere valutata in vari modi (vedasi il [dialog](#)^[546] opportuno). Il programma ne propone due: una frazione costante della luce ed un valore ottenuto integrando l'equazione della linea elastica.

Si segnala che la formula per il coefficiente C_{zz} presente nel testo della norma oggi (novembre 2007) disponibile, contiene un errore. Tale errore è stato corretto e non figura nel verificatore.

4.2.2.2 Metodo 2 (austro-tedesco)

Nelle intenzioni degli Autori, il metodo austro tedesco dovrebbe consentire una maggior semplicità d'uso rispetto a quello franco-belga. In effetti la sua applicazione nei calcoli a mano è più semplice, benchè, a nostro parere, pur sempre proibitiva. Relativamente a questo metodo si deve segnalare una certa equivocità nella definizione dei coefficienti α_s ed α_h , dovuta ad una non piena comprensibilità della tabella B.3. Anche nella tabella B.3 figura un errore corretto nel verificatore (nell'ultima riga ed ultima colonna il termine 0,9-.... Deve essere sostituito da 0,9+...). Un motivo di serio imbarazzo nell'applicazione del metodo è la ambiguità nella definizione dei coefficienti C_m legata alle differenti formule previste per il caso di “carico uniforme” e “carico concentrato”. In realtà, come è

ben evidente, il caso normale è quello in cui sono presenti entrambi. Il programma assume sempre che il caso sia quello di carico uniforme essendo questo più severo dell'altro.

4.2.3 Le verifiche di instabilità torsionale e flesso-torsionale (versione 9.90, Luglio 2012)

Un elemento soggetto a compressione semplice può instabilizzarsi mediante due modalità dette torsionale e flesso-torsionale. Tali modalità sono diverse dalle modalità flessionali tipiche del problema di Eulero. Queste modalità di instabilizzazione sono assenti normalmente nella maggior parte dei profili di impiego comune, tuttavia, per profili in parete sottile, esse possono rivelarsi determinanti ai fini delle verifiche. La situazione di compressione semplice deve dunque essere indagata sia per il rischio di instabilità flessionale, sia per il rischio di instabilità torsionale e flesso-torsionale.

La formula per il carico critico torsionale $N_{cr,T}$ è la seguente:

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left(GI_t + \frac{\pi^2 EI_w}{l_T^2} \right)$$

$$i_0^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2$$

nella quale

G è il modulo di elasticità tangenziale.

I_t è il momento di inerzia torsionale primario.

E è il modulo di Young

I_w è la costante di ingobbamento

l_T è identica alla lunghezza di libera inflessione per svergolamento, dominata dal coefficiente di libera inflessione β_1

i_y ed i_z sono i raggi di inerzia si riferiscono agli assi principali 2 e 3 rispettivamente ($i_y=i_2$, $i_z=i_3$).

y_0 è la coordinata del centro di taglio rispetto al baricentro lungo l'asse principale y (asse 2).

z_0 è la coordinata del centro di taglio rispetto al baricentro lungo l'asse principale z (asse 3).

Nel caso in cui sia presente almeno un asse di simmetria, allora il carico critico $N_{cr,TF}$ è esprimibile in forma chiusa, se non c'è nessun asse di simmetria allora la formula non è disponibile in forma chiusa. Se la simmetria è doppia allora $N_{cr,TF} = N_{cr,T}$. In caso contrario, nella ipotesi in cui l'asse di simmetria sia l'asse y (o asse principale 2), la formula per $N_{cr,TF}$ è la seguente:

$$N_{cr,TF} = \frac{N_{cr,y}}{2\beta} \left(1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}} - \sqrt{\left(1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}} \right)^2 + 4 \left(\frac{y_0}{i_0} \right)^2 \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}}} \right)$$

$$\beta = 1 - \left(\frac{y_0}{i_0} \right)^2$$

nella quale $N_{cr,y}$ è il carico critico per instabilità flessionale attorno all'asse y (asse 2, di simmetria). Si noti che se y (2) è di simmetria allora $z_0=0$.

Se invece la simmetria è relativa all'asse z (o asse 3, symmetry = 3), le formule diventano le seguenti:

$$N_{cr,TF} = \frac{N_{cr,z}}{2\beta} \left(1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}} - \sqrt{\left(1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}} \right)^2 + 4 \left(\frac{z_0}{i_0} \right)^2 \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}}} \right)$$

$$\beta = 1 - \left(\frac{z_0}{i_0} \right)^2$$

Calcolati $N_{cr,y}$, $N_{cr,z}$ con le ben note formule seguenti, relative al carico critico euleriano:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{(\beta_y L)^2}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{(\beta_z L)^2}$$

si ha infine il carico critico elastico

$$N_{cr} = \min \{ N_{cr,y}, N_{cr,z}, N_{cr,T}, N_{cr,TF} \}$$

Ad ognuno dei carichi critici è associata una curva di stabilità. Per $N_{cr,T}$ ed $N_{cr,TF}$ si usa la curva associata all'asse 3.

Ne consegue che il carico di progetto finale $N_{b,Rd}$ sarà dato, per le sezioni in classe 1, 2 e 3, da

$$N_{b,Rd} = \min\{\chi_y, \chi_z, \chi_T, \chi_{TF}\} \cdot \frac{Af_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd,y} = \chi_y \cdot \frac{Af_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd,z} = \chi_z \cdot \frac{Af_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd,TF} = \min\{\chi_T, \chi_{TF}\} \cdot \frac{Af_y}{\gamma_{M1}}$$

e per le sezioni in classe 4 da

$$N_{b,Rd} = \min\{\chi_y, \chi_z, \chi_T, \chi_{TF}\} \cdot \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd,y} = \chi_y \cdot \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd,z} = \chi_z \cdot \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd,TF} = \min\{\chi_T, \chi_{TF}\} \cdot \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}$$

I coefficienti riduttivi χ si trovano nota la curva di stabilità e nota la snellezza adimensionale. Questa ultima è data, per le sezioni in classe 1, 2 e 3 da

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}}$$

mentre per le sezioni in classe 4, da

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}}$$

dove al posto di N_{cr} andrà messo il carico critico opportuno tra i 4 disponibili.

La verifica alla instabilità torsionale e flessio-torsionale viene fatta per alcune forme sezionali in modo automatico, mentre per altre no.

Per queste ultime, generalmente o sezioni non standard o sezioni non simmetriche. è sempre possibile utilizzare le [sezioni utente](#)^[831] e "spiegare" al programma come fare.

Per le seguenti sezioni il calcolo è fatto automaticamente (anche facendo uso di formule interne *hard*

coded sia per il calcolo della posizione del centro di taglio, sia per il calcolo di I_w):

- sezioni a I o H laminate (doppia simmetria)
- piatti e sezioni rettangolari (doppia simmetria)
- tubi circolari (doppia simmetria)
- RHS (doppia simmetria)
- sezioni saldate a I o a H (simmetria asse 3)
- sezioni a T a lati rastremati (simmetria asse 3)
- sezioni a T saldate (simmetria asse 3)
- sezioni a T ottenute per taglio da sezioni ad I o ad H (simmetria asse 3)
- sezioni a U laminate (simmetria asse 2)
- sezioni a U saldate (simmetria asse 2)
- sezioni composte da 4 angolari a croce (doppia simmetria)
- sezioni composte da due angolari a $_||_$ (simmetria asse 3)
- sezioni a L laminate a lati eguali (simmetria asse 2)
- sezioni a L saldato a lati e spessore eguale (simmetria asse 2)

Una volta calcolato $N_{b,Rd}$ occorre ben comprendere come questo viene utilizzato.

Per elementi truss esso è il carico assiale effettivamente sopportabile (non c'è interazione con il momento flettente).

Per elementi beam il dato è utilizzato per una verifica iniziale sull'effetto della azione assiale presa da sola, e viene poi impiegato o meno a seconda di quale formula si usi per la presso-flessione:

- se si usano i Metodi 1 e 2 di Eurocodice 3, nelle formule di interazione si prendono in considerazione solo $N_{b,Rd,y}$ e $N_{b,Rd,z}$.
- se si usano le NTC Metodo A, allora nelle formule di interazione si prendono in considerazione solo $N_{b,Rd,y}$ e $N_{b,Rd,z}$.
- se si usano le formule della versione ENV, allora il primo termine ha a denominatore $N_{b,Rd}$ e dunque si tiene anche conto di $N_{cr,T}$ e $N_{cr,TF}$.

Limitatamente ai soli elementi formati a freddo la EN 1993-1-3 dà una formula di interazione per la presso flessione, che tiene anche conto delle modalità di instabilizzazione torsionale e flesso-torsionale. La formula è la seguente:

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \right)^{0.8} + \left(\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \right)^{0.8} \leq 1,0$$

tale formula non è al momento ancora implementata dal verificatore, dato che è una formula di presso-flessione retta e non deviata come necessario.

5 Verifiche utente

Approccio

La complessità delle formulazioni previste nella norma e la loro mancanza di esaustività da un lato, l'esigenza di personalizzare e specificare meglio le verifiche dall'altro, ha portato alla necessità di mettere a punto un formato di verifica più generale, che consentisse in tutti i casi di poter eseguire verifiche automatiche usando un format praticamente coincidente con quello della norma. Si è quindi dovuto mettere a punto un insieme di regole e di parametri di nuova concezione, in grado di consentire all'utente di lavorare con qualsiasi forma sezionale. Tale ampliamento è stato molto complicato ma realizza un importantissimo obiettivo, in specie quando usato in congiunzione con la funzionalità del tracciamento. Il verificatore automatico diviene uno strumento di lavoro personalizzabile ed adattabile alle più svariate esigenze.

Da un punto di vista pratico il funzionamento è il seguente (affine a quanto avviene per le CNR e per le BS). Se una sezione figura all'interno di un file denominato "EC3DATA.txt" e collocato nella cartella di installazione del programma, questa sezione non viene verificata impiegando le regole normali ma applicando delle regole di verifica particolari. Tutti gli elementi e le membrature che utilizzano quella sezione saranno verificate impiegando queste regole particolari e non le regole normali previste dal verificatore. Ciò vale per tutti i profili, anche quelli standard: è sufficiente che il nome del profilo figuri all'interno del file EC3DATA.TXT in un opportuno blocco di istruzioni, perché questo venga trattato in modo diverso e verificato con le regole utente.

Naturalmente è sempre possibile attivare o meno questa opzione semplicemente cambiando il nome delle forme sezionali all'interno di EC3DATA.TXT in modo che siano/non siano identiche a quelle definite nel modello del programma. In linea di principio sarebbe possibile bypassare completamente il normale funzionamento del verificatore, semplicemente includendo le forme sezionali nel file EC3DATA.TXT. Produttori che abbiano particolari profili o particolari esigenze di verifica possono creare o commissionare programmi in grado di compilare da soli il file EC3DATA in modo da personalizzare pienamente le verifiche.

Una analitica rassegna del formato del file potrà consentire di comprendere in che modo debba

essere compilato il file, il successivo paragrafo dà invece un esempio di compilazione relativo ad un profilo IPE500. Dalla versione 9.60 non è più necessario gestire manualmente il file EC3DATA.txt: è infatti disponibile un [command](#)^[759] che atbeamrso un'opportuna interfaccia guida l'utente nella compilazione del file in modo più semplice e veloce.

In quanto segue verranno fornite le spiegazioni necessarie a comprendere il significato dei dati da introdurre nel file. A tale fine verranno essenzialmente trattati i seguenti problemi, dal punto di vista di chi deve verificare un profilo generico:

- Il problema della classificazione;
- Il problema delle verifiche di resistenza;
- Il problema delle verifiche a stabilità con particolare riguardo per lo svergolamento

Il problema della classificazione

In generale la classificazione di un piatto sotto l'azione di una certa distribuzione di tensione, plastica o elastica, può essere espressa da disequazioni del tipo

$$(c/t) < f(\varepsilon)$$

dove c/t è il rapporto larghezza spessore per il piatto considerato ed $f()$ è una opportuna funzione delle caratteristiche geometriche del profilo impiegato nonché della classe considerata. La precedente relazione può essere invertita fornendo una disequazione di questo tipo:

$$\varepsilon > g(c/t)$$

essendo g una opportuna funzione del rapporto larghezza spessore e dei dati geometrici della sezione. Ad ogni sollecitazione elementare può essere associato un valore ε di soglia oltre il quale la sezione deve essere classificata, per quella data sollecitazione, con una classe superiore. Si consideri ad esempio un profilo a T che in flessione plastica compatti, per flessione positiva, un tratto compresso pari a 0,6 volte l'altezza dell'anima ed un tratto teso pari a 0,4 volte tale altezza. In questo caso potremo scrivere per la delimitazione tra classe 2 e 3:

$$c/t < 456\varepsilon/(13 \times 0,6 - 1)$$

Tale equazione può essere invertita fornendo:

$$\varepsilon > (c/t)(13 \times 0,6 - 1)/456 = 0,0149(c/t)$$

ed ammettendo che c/t sia pari a 50

$$\varepsilon > 0,7456$$

Questa disequazione vuol dire che l'anima potrà essere classificata in classe 2 per flessioni positive, solo a patto che il materiale impiegato soddisfi la condizione, precedente che si traduce nella seguente:

$$\sqrt{\frac{235}{f_y}} > 0,7456$$

e quindi di fatto

$$f_y < 130,64 \frac{N}{mm^2}$$

Nel caso in cui la flessione inverta il suo segno, le precedenti considerazioni devono essere modificate come segue:

$$c/t < 456\varepsilon/(13 \times 0,4 - 1)$$

$$\varepsilon > (c/t)(13 \times 0,4 - 1)/456 = 0,00921(c/t) = 0,46052$$

dal che si evince che il valore di soglia per ε cambia a seconda del segno del momento flettente applicato.

Il ragionamento fatto per un piatto può essere ripetuto per tutti i piatti componenti la sezione, pervenendo infine ad una condizione che involuppi tutte le altre sempre del tipo

$$\varepsilon > \varepsilon_{M2p}$$

Pensando al momento positivo secondo l'asse 2. Analoga quantità limite per la classe 2-3 potrà essere definita per tutte le componenti di sollecitazione, in particolare per l'azione assiale (ε_N) per il momento $M2$ positivo (ε_{M2p}) e negativo (ε_{M2m}) e per il momento $M3$ positivo (ε_{M3p}) e negativo (ε_{M3m}). Tali quantità limite, tutte associate al passaggio tra la classe 2 e la classe 3 mettono in condizione il verificatore di classificare il profilo noto che sia il materiale ad esso applicato. Basterà calcolare il valore di ε del materiale in questione e poi confrontare tale numero con le soglie specificate. Il problema della classificazione sotto sollecitazioni elementari viene così ad essere affrontato in modo sistematico e formale mediante la definizione del limite di snervamento dell'acciaio da usare per ottenere

una certa classe.

Come è noto (se si è letto il lavoro [1]) il problema della classificazione sotto sollecitazioni miste è tutt'altro che banale ed è stato affrontato al momento solo per le sezioni ad I laminato e saldato (I ed H). Per le sezioni generiche l'algoritmo che classifica il profilo quando assoggettato ad una terna di sollecitazioni del tipo (N, M2, M3) è diverso. Per ogni sollecitazione si valuta dapprima se questa è significativa. Per essere significativa deve superare un valore di soglia che è 1/10000 dei valori limite (Afy o Wfy). Se la sollecitazione è significativa se ne valuta il segno e si attribuisce la classe che le compete sulla base dei valori di ϵ di soglia specificati. Infine si classifica il profilo con la massima classe tra quelle delle sollecitazioni elementari così valutate.

Il problema delle verifiche di resistenza

Il problema delle verifiche di resistenza per le sezioni utente consiste nell'“insegnare” al programma in che modo eseguire tali verifiche in tutti e tre i possibili casi che si possono presentare: sezione in classe 1 o 2; sezione in classe 3; sezione in classe 4.

Classe 1 o 2

Nel primo caso si può scegliere se adottare un dominio limite plastico linearizzato oppure no. Se il dominio plastico è di tipo non lineare, esso ricade nel formato specificato dalla norma, e richiede 20 distinti parametri per poter essere identificato. In genere molti di questi parametri sono nulli, ma taluni di essi possono assumere speciali valori da calcolarsi a mano. I parametri sono individuati da lettere comprese tra “A” e “V” secondo il formato seguente:

$$\left(\frac{M_2}{M_{N,2,Rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_3}{M_{N,3,Rd}} \right)^\beta \leq 1$$

$$n = N / N_{pl,Rd}$$

$$M_{N,2,Rd} = M_{pl,2,Rd} \times [A + Bn + Cn^2]$$

$$M_{N,3,Rd} = M_{pl,3,Rd} \times [D + En + Fn^2]$$

$$\alpha = \frac{G + Hn + In^2}{L + Mn + Nn^2} > 0$$

$$\beta = \frac{P + Qn + Rn^2}{S + Tn + Un^2} > V$$

Una opportuna scelta dei parametri consente di sposare tutte le formule presenti nella normativa ed una ampia classe di domini plastici limite.

Nel caso in cui il dominio limite sia lineare la formula di verifica è la seguente:

$$\frac{N}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_2}{M_{2,pl,Rd}} + \frac{M_3}{M_{3,pl,Rd}} \leq 1$$

Se non ci fossero la torsione ed il taglio il problema potrebbe dirsi risolto. In realtà tali domini sono entrambi bisognosi di modifiche per tenere in conto la possibilità che siano applicati tagli o momenti torcenti rilevanti.

Per fare questo si deve applicare la clausola della norma che indica di usare, per le aree resistenti a taglio, una tensione ridotta al valore $(1-\rho)f_y$, dove ρ è un numero adimensionale funzione del livello di taglio e torsione applicati.

Purtroppo le prescrizioni di normativa sono deficitarie a riguardo della modifica da applicare alle formule che danno i domini in pressoflessione deviata, nella condizione di taglio rilevante. Si è quindi dovuta sviluppare una teoria ad hoc che abbracci il problema in modo generale. L'argomento è piuttosto vasto e non può essere trattato in questa sede se non per sommi capi.

Si definiscono dapprima i tagli plastici ridotti per tener conto della presenza della torsione:

$$V_{2,pl,T} = V_{2,pl} \sqrt{1 - \frac{M_1}{\alpha M_{1,pl}}}$$

$$V_{3,pl,T} = V_{3,pl} \sqrt{1 - \frac{M_1}{\alpha M_{1,pl}}}$$

Noti questi si possono definire i fattori ρ :

$$\rho_2 = \left(\frac{2V_2}{V_{2,pl,T}} - 1 \right)^2$$

$$\rho_3 = \left(\frac{2V_3}{V_{3,pl,T}} - 1 \right)^2$$

Se risulta $\rho_i < 0,5$ si deve porre $\rho_i = 0$.

Una volta calcolati questi parametri ρ è possibile modificare le formule che danno i domini limite in questo modo:

$$\frac{N}{N_{piRd}(1-a_{v2}\rho_2-a_{v3}\rho_3)} + \frac{M_2}{M_{2piRd}(1-w_{2pian2}\rho_2-w_{2pian3}\rho_3)} + \frac{M_3}{M_{3piRd}(1-w_{3pian2}\rho_2-w_{3pian3}\rho_3)} \leq 1$$

E per il dominio non lineare:

$$\left(\frac{M_2}{M_{N,2,Rd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_3}{M_{N,3,Rd}}\right)^\beta \leq 1$$

$$n = \frac{N}{N_{piRd}(1-a_{v2}\rho_2-a_{v3}\rho_3)}$$

$$M_{N,2,Rd} = M_{2pi,Rd} [A + Bn + Cn^2] (1 - w_{2pian2}\rho_2 - w_{2pian3}\rho_3)$$

$$M_{N,3,Rd} = M_{3pi,Rd} [D + En + Fn^2] (1 - w_{3pian2}\rho_2 - w_{3pian3}\rho_3)$$

Dove i termini avi e wiplavj esprimono il rapporto tra le proprietà delle zone di sezione coincidenti con le aree resistenti a taglio ed i corrispondenti moduli resistenti sezionali. Pertanto:

$$a_{v2} = \frac{A_{v2}}{A}$$

$$a_{v3} = \frac{A_{v3}}{A}$$

$$w_{2pian2} = \frac{W_{2pi,Av2}}{W_{2pi}}$$

$$w_{2pian3} = \frac{W_{2pi,Av3}}{W_{2pi}}$$

$$w_{3pian2} = \frac{W_{3pi,Av2}}{W_{3pi}}$$

$$w_{3pian3} = \frac{W_{3pi,Av3}}{W_{3pi}}$$

Se non si vuole calcolare i wiplavi, è sempre possibile adottare per essi, a favore di sicurezza, il valore 1. Se si fa così anche per gli avi si perviene alle seguenti formule semplificate che tengono in conto anche taglio e torsione:

$$\frac{N}{N_{piRd}} + \frac{M_2}{M_{2piRd}} + \frac{M_3}{M_{3piRd}} \leq (1 - \rho_2 - \rho_3)$$

E nel caso di dominio non lineare:

$$\left(\frac{M_2}{M_{N,2,Rd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_3}{M_{N,3,Rd}}\right)^\beta \leq 1$$

$$n = \frac{N}{N_{pl,Rd}(1 - \rho_2 - \rho_3)}$$

$$M_{N,2,Rd} = M_{2,pl,Rd} \left[A + Bn + Cn^2 \right] (1 - \rho_2 - \rho_3)$$

$$M_{N,3,Rd} = M_{3,pl,Rd} \left[D + En + Fn^2 \right] (1 - \rho_2 - \rho_3)$$

Classe 3

In questo caso occorre definire i moduli di resistenza generalizzati per un certo numero di punti sulla sezione. Da questi moduli di resistenza generalizzati sarà poi possibile calcolare le tensioni normali e le tensioni tangenziali associate al taglio ed alla torsione. Infine verrà applicata la verifica di resistenza secondo Von Mises.

Precisamente si pone in ogni punto “i”:

x_{2i}	$W_{3i} = I_3 / x_{2i}$
x_{3i}	$W_{2i} = I_2 / x_{3i}$
A_{t22}	modulo di resistenza per calcolare la τ_2 dovuta a T_2 .
A_{t32}	modulo di resistenza per calcolare la τ_2 dovuta a T_3 .
W_{12}	modulo di resistenza per calcolare la τ_2 dovuta a M_1 .
A_{t23}	modulo di resistenza per calcolare la τ_3 dovuta a T_2 .
A_{t33}	modulo di resistenza per calcolare la τ_3 dovuta a T_3 .
W_{13}	modulo di resistenza per calcolare la τ_3 dovuta a M_1 .

E poniamo, in ogni punto di verifica “i”:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_2}{I_2} x_{3i} - \frac{M_3}{I_3} x_{2i}$$

$$\tau_2 = \frac{T_2}{A_{22}} + \frac{T_3}{A_{32}} + \frac{M_1}{W_{12}}$$

$$\tau_3 = \frac{T_2}{A_{23}} + \frac{T_3}{A_{33}} + \frac{M_1}{W_{13}}$$

$$\tau = \sqrt{\tau_2^2 + \tau_3^2}$$

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} < \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Se uno dei moduli A_{22} , A_{32} , W_{12} , A_{23} , A_{33} , W_{13} viene convenzionalmente posto eguale a zero la corrispondente tensione viene posta eguale a 0 (e non a infinito).

Classe 4

In questo caso occorre dapprima insegnare al programma quali siano i valori efficaci dell'area e dei moduli resistenti a flessione. Questi ultimi possono in generale assumere valori diversi a seconda che la flessione sia positiva o negativa. Inoltre occorre specificare le distanze con segno del baricentro della sezione efficace rispetto a quella lorda, in modo che i momenti aggiuntivi siano rispettivamente:

$$\Delta M_2 = N \times D e_2$$

$$\Delta M_3 = N \times D e_3$$

E' da notare che i valori efficaci sono funzione della tensione di progetto. Essi dovranno quindi essere associati ad una certa tensione di progetto che dovrà corrispondere a quella dei profili effettivamente adottati nel modello da verificare.

In assenza di taglio e torsione le verifiche si scrivono in questo modo:

$$\frac{N}{A_{eff} f_y} + \frac{M_2 + N e_2}{W_{2eff,min} f_y} + \frac{M_3 + N e_3}{W_{3eff,min} f_y} < \frac{1}{\gamma_{M0}}$$

Il verificatore impiegherà il W_{eff} pertinente anche in funzione del segno del momento applicato complessivamente. Si noti che tutti gli addendi devono essere positivi, e quindi la norma sottointende un valore assoluto in essa mancante.

In presenza di taglio e torsione, la verifica viene eseguita in modo semplificato con la seguente formula:

$$\frac{N}{A_{eff} f_y} + \frac{M_2 + N e_2}{W_{2eff,min} f_y} + \frac{M_3 + N e_3}{W_{3eff,min} f_y} < \frac{1 - \rho_2 - \rho_3}{\gamma_{M0}}$$

Dove ρ_2 ed ρ_3 sono stati definiti precedentemente quando si è parlato delle verifiche di resistenza in classe 1 o 2.

5.2. Il file Ec3data.txt

Il file EC3DATA.TXT è costituito da un insieme di blocchi che delimitano ogni forma sezionale. Ogni blocco comincia con la scheda `_EC3SHAPE` e termina con la scheda `_ENDSHAPE`. Sono possibili commenti, individuati da righe inizianti con "\$" oppure posti in coda a una riga di dati a cominciare da un ":",

Si rimanda alla spiegazione del command per la descrizione dei

Qui di seguito si dà un esempio di file EC3DATA.TXT, che sarà anche utile per commentare le

[illegible]

Sargon - 1991-2014 - Copyright Castalia srl - Milan - Italy - www.castaliaweb.com

Sargon - 1991-2014 - Copyright Castalia srl - Milan - Italy - www.castaliaweb.com

```

_ELASTICPOINT 100. -234. 6400. 0. -55750. 0. 0. 0. ; x2i x3i At22 At32 W12 At23
At33 W13
_ELASTICPOINT 20.1 -234. 6400. 0. -55750. 0. 0. 0. ; x2i x3i At22 At32 W12 At23
At33 W13
_ELASTICPOINT 5.1 -213. 0. 0. 0. 0. 5100. 87450. ; x2i x3i At22 At32 W12 At23
At33 W13
_ELASTICPOINT 5.1 0. 0. 0. 0. 0. 5100. 87450. ; x2i x3i At22 At32 W12 At23
At33 W13
_ELASTICPOINT 5.1 213. 0. 0. 0. 0. 5100. 87450. ; x2i x3i At22 At32 W12 At23
At33 W13
_ELASTICPOINT 20.1 234. 6400. 0. 55750. 0. 0. 0. ; x2i x3i At22 At32 W12 At23
At33 W13
_ELASTICPOINT 100 234. 6400. 0. 55750. 0. 0. 0. ; x2i x3i At22 At32 W12 At23
At33 W13
_ELASTICPOINT 100 250. 6400. 0. -55750. 0. 0. 0. ; x2i x3i At22 At32 W12 At23
At33 W13
_ELASTICPOINT 0 250. 6400. 0. -55750. 0. 5100. 0. ; x2i x3i At22 At32 W12 At23
At33 W13
_ELASTICPOINT -100 250. 6400. 0. -55750. 0. 0. 0. ; x2i x3i At22 At32 W12 At23
At33 W13
_ELASTICPOINT -100 234. 6400. 0. 55750. 0. 0. 0. ; x2i x3i At22 At32 W12 At23
At33 W13
_ELASTICPOINT -20.1 234. 6400. 0. 55750. 0. 0. 0. ; x2i x3i At22 At32 W12 At23
At33 W13
_ELASTICPOINT -5.1 213. 0. 0. 0. 0. 5100. -87450. ; x2i x3i At22 At32 W12 At23
At33 W13
_ELASTICPOINT -5.1 0. 0. 0. 0. 0. 5100. -87450. ; x2i x3i At22 At32 W12 At23
At33 W13
_ELASTICPOINT 0 0. 0. 0. 0. 0. 5100. -87450. ; x2i x3i At22 At32 W12 At23
At33 W13
_ELASTICPOINT -5.1 -213. 0. 0. 0. 0. 5100. 0. ; x2i x3i At22 At32 W12 At23
At33 W13
_ELASTICPOINT -20.1 -234. 6400. 0. -55750. 0. 0. 0. ; x2i x3i At22 At32 W12 At23
At33 W13
_ELASTICPOINT -100 -234. 6400. 0. -55750. 0. 0. 0. ; x2i x3i At22 At32 W12 At23
At33 W13
_SHEAR 0.48172 0.51828 0.70589 0.47835 0.95272 0.11218 ; av2 av3 (6.2.6) w2plAv2 w2plAv3
w3plAv2 w3plAv3
_TORSION 37772. 1.25 ; W1pl a
_PLASTICNMDOMAIN 2 1.287 -1.287 0. 0.3518 2.9063 ; kind datum1 datum2 datum3
datum4 datum5
-3.2582 2. 0. 0. 1. ; datum6 datum7
datum8 datum9 datum10
0. 0. 0. 0. 5. ; datum11
datum12 datum13 datum14 datum15
0. 1. 0. 0. 1. ; datum16 datum17 datum18 datum19
datum20
$
$ stability checks
$
_BUCKLCURVE 0.21 0.34 ; buckling
curve alpha values
_LATERALTORSIONAL 2 54.46 0.49 1.1 1991673. 1.249e12 ; axis i,f,z
alfa(curve) kfl W Iw
_2LATERALTORSIONAL 21416800. 892900. 0. 0. ; Iz It zs zj$
_TORFLEX 2 3.010e+001 0.000e+000 2.100e+008 ; 'symmetry', 'x2=y0', 'x3=z0', 'Iw'
_OTHER 16. ; tmax
$
_ENDSHAPE
$-----

```

Di seguito la descrizione del formato delle varie schede.

_UNITS len for

len indica l'unità di lunghezza e può essere "mm", "cm", "m", "in", "ft", "yd"

for indica l'unità di forza e può essere "N", "daN", "kN", "kg", "t", "lb", "kip"

Tutti i dati successivi a questa scheda saranno interpretati usando queste unità di misura o le unità di misura derivate: Se si gestisce il file atbeamrso l'opportuno [command](#)^[759] di Sargon, i dati dimensionali di tutte le sezioni sono espressi nelle unità correnti del modello. L'utilizzo del command comporta inoltre la riscrittura automatica di tutti i dati nel file EC3DATA.txt con la loro conversione in N, mm e unità derivate.

_EC3SHAPE name

Name nome del profilo (sono consentiti gli spazi). Il nome non può essere più lungo di 19 caratteri

Questa scheda apre il blocco di dati relativo ad un profilo. Se si gestisce il file atbeamrso l'opportuno [command](#)^[759] di Sargon, questa scheda viene compilata automaticamente in base al nome della sezione scelta.

_ENDSHAPE

Questa scheda chiude il blocco di dati relativo a un profilo. Se si gestisce il file atbeamrso l'opportuno [command](#)^[759] di Sargon, questa scheda viene compilata automaticamente.

_CLASSIFICATION23 epsN epsM2p epsM2m epsM3p epsM3m

epsN numero reale

epsM2p numero reale

epsM2m	numero reale
epsM3p	numero reale
epsM3m	numero reale

Questa scheda, gestita dalla property page [Classificazione^{\[761\]}](#), definisce i valori limite che la ε del materiale deve soddisfare per considerare il profilo in classe 2, sotto l'azione di: una compressione semplice (epsN); un momento M2 positivo (epsM2p); un momento M2 negativo (epsM2m); un momento M3 positivo (epsM3p); un momento M3 negativo (epsM3m). Ricordiamo qui la definizione di ε :

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

dove f_y è la tensione di snervamento del materiale adottato in N/mm². Se risulta ε minore dei valori di soglia indicati allora la classe associata al tipo di sollecitazione indicato è la 3, altrimenti la classe è assunta pari a 2.

_CLASSIFICATION34 epsN epsM2p epsM2m epsM3p epsM3m

epsN	numero reale
epsM2p	numero reale
epsM2m	numero reale
epsM3p	numero reale
epsM3m	numero reale

Questa scheda, gestita dalla property page [Classificazione^{\[761\]}](#), definisce i valori limite che la ε del materiale deve soddisfare per considerare il profilo in classe 3, sotto l'azione di: una compressione semplice (epsN); un momento M2 positivo (epsM2p); un momento M2 negativo (epsM2m); un momento M3 positivo (epsM3p); un momento M3 negativo (epsM3m). Ricordiamo qui la definizione di ε :

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

dove f_y è la tensione di snervamento del materiale adottato in N/mm². Se risulta ε minore dei valori di soglia indicati allora la classe associata al tipo di sollecitazione indicato è la 4, altrimenti la classe è assunta pari a 3.

_FIXEDCLASS**class**

class numero compreso tra 0 e 4.

Questa scheda, gestita dalla property page [Classificazione](#)^[761], forza il verificatore a classificare il profilo con una certa classe, indicata dal numero, indipendentemente dalle sollecitazioni applicate e/o dal materiale utilizzato. Se il numero è 0 tale opzione non risulta attivata.

_PLASTICNMDOMAIN**kind datum1 datum2 datum3 datum4 datum5****datum6 datum7 datum8 datum9 datum10****datum11 datum12 datum13 datum14 datum15****datum16 datum17 datum18 datum19 datum20**

kind 1 dominio lineare, 2 dominio non lineare

datum1	A	parametro reale
datum2	B	parametro reale
datum3	C	parametro reale
datum4	D	parametro reale
datum5	E	parametro reale
datum6	F	parametro reale
datum7	G	parametro reale
datum8	H	parametro reale
datum9	I	parametro reale
datum10	L	parametro reale
datum11	M	parametro reale
datum12	N	parametro reale
datum13	O	parametro reale
datum14	P	parametro reale
datum15	Q	parametro reale
datum16	R	parametro reale
datum17	S	parametro reale

datum18	T	parametro reale
datum19	U	parametro reale
datum20	V	parametro reale

Questa scheda é gestita dalla property page [Valori plastici \(1\)](#)^[763].

Se kind è eguale a 1 la verifica di resistenza viene condotta con un dominio limite semplificato lineare del tipo:

$$\frac{N}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_2}{M_{2,pl,Rd}} + \frac{M_3}{M_{3,pl,Rd}} \leq 1$$

Se invece kind è eguale a 2, allora la verifica è di questo tipo:

$$\left(\frac{M_2}{M_{N,2,Rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_3}{M_{N,3,Rd}} \right)^\beta \leq 1$$

$n = N / N_{pl,Rd}$

$M_{N,2,Rd} = M_{pl,2,Rd} \times [A + Bn + Cn^2]$

$M_{N,3,Rd} = M_{pl,3,Rd} \times [D + En + Fn^2]$

$$\alpha = \frac{G + Hn + In^2}{L + Mn + Nn^2} > 0$$

$$\beta = \frac{P + Qn + Rn^2}{S + Tn + Un^2} > V$$

Dove i parametri da A a V (in tutto 20) devono essere stabiliti dall'utente.

_SHEAR av2 av3 av2' av3' w2plav2' w2plav3' w3plav2' w3plav3'

av2 rapporto tra il modulo di resistenza al taglio V2 e l'area totale: $av2 = Av2/A$

av3 rapporto tra il modulo di resistenza al taglio V3 e l'area totale: $av3 = Av3/A$

av3' rapporto tra l'area resistente al taglio V2 e l'area totale: $av2 = Av2'/A$ (solo NTC)

av3' rapporto tra l'area resistente al taglio V3 e l'area totale: $av3 = Av3'/A$ (solo NTC)

w2plav2' rapporto tra il modulo di resistenza plastico per flessioni attorno all'asse 2 dell'area resistente a taglio Av2' ed il modulo di resistenza plastico complessivo: $w2plAv2' = W2plAv2'/Wpl2$

w2plav3' rapporto tra il modulo di resistenza plastico per flessioni attorno all'asse 2 dell'area resistente a taglio Av3' ed il modulo di resistenza plastico complessivo: $w2plAv3' =$

- W_{2plAv3}/W_{pl2}
- w_{3plav2}' rapporto tra il modulo di resistenza plastico per flessioni attorno all'asse 3 dell'area resistente a taglio Av_2' ed il modulo di resistenza plastico complessivo: $w_{3plAv2}' = W_{3plAv2}'/W_{pl3}$
- w_{3plav3}' rapporto tra il modulo di resistenza plastico per flessioni attorno all'asse 3 dell'area resistente a taglio Av_3' ed il modulo di resistenza plastico complessivo: $w_{3plAv3}' = W_{3plAv3}'/W_{pl3}$

Nota: Av è il modulo di resistenza al taglio indicato sia nell'EN1993-1-1 che nelle NTC: ad Av corrisponde, nel file `EC3data.txt`, il valore adimensionalizzato av . Nelle NTC viene inoltre utilizzato il simbolo Av^ che è l'area resistente al taglio, cioè quella porzione dell'area totale fisicamente coinvolta nella resistenza a taglio, utilizzata nelle verifiche con sollecitazioni miste. Poiché nelle NTC ad Av^* corrisponde il valore adimensionalizzato av senza asterisco, qui già utilizzato come adimensionalizzazione di Av , nel file `EC3data.txt` si è scelto di utilizzare questa convenzione: i simboli presenti **solo nelle NTC** sono indicati con l'apostrofo; nella tabella seguente sono riportate le corrispondenze tra i simboli adottati nel file `EC3data.txt` e quelli riportati nelle normative.*

Significato	EC3data.txt	Eurocodice	NTC
modulo resistente a taglio	Av	Av	Av
modulo res. a taglio diviso area totale	av	non definito	non definito
area resistente a taglio	Av'	-	Av^*
area res. a taglio diviso area totale	av'	-	av

Questi termini consentono di eseguire una verifica di resistenza in ambito plastico. I moduli di resistenza a taglio e le aree resistenti a taglio si ottengono dai corrispondenti numeri adimensionali moltiplicandoli per l'area del profilo. I termini w_{iplavi}' possono essere posti, a favore di sicurezza, eguali ad 1 (la riduzione del modulo plastico viene fatta su tutta la sezione). Verifiche più raffinate possono essere condotte assegnando a questi numeri il loro reale valore. In questo modo il depauperamento dovuto alla presenza del taglio non verrà associato alla intera sezione ma solo alla area di taglio associata al taglio considerato. Tale regola è coerente con quella prescritta in Eurocodice, che richiede di assumere una tensione di snervamento ridotta $(1-\rho)f_y$ per l'area di taglio. Questa scheda è gestita dalla property page [Valori plastici \(2\)](#)^[763].

_TORSION W1pl a

W1pl è il modulo di resistenza plastico a torsione

a è il numero reale che compare nella formula 6.26 di normativa con il valore 1,25. Può essere posto eguale a 1 a favore di sicurezza

Questa scheda é gestita dalla property page [Valori plastici \(2\)](#)^[763] e consente di eseguire le verifiche a torsione e di valutare (tramite a) il taglio ridotto a causa della presenza della torsione.

_ELASTICPOINT x2i x3i At22 At32 W12 At23 At33 W13

X2i coordinata x2 del punto i considerato

X3i coordinata x3 del punto i considerato

At22 modulo resistente a taglio per taglio V2, direzione 2: $\tau_2 = V_2/At_{22}$

At32 modulo resistente a taglio per taglio V3, direzione 2: $\tau_2 = V_3/At_{32}$

W12 modulo resistente a torsione, direzione 2: $\tau_2 = M_1/W_{12}$

At23 modulo resistente a taglio per taglio V2, direzione 3: $\tau_3 = V_2/At_{23}$

At33 modulo resistente a taglio per taglio V3, direzione 3: $\tau_3 = V_3/At_{33}$

W13 modulo resistente a torsione, direzione 3: $\tau_3 = M_1/W_{13}$

Questi moduli di resistenza, in generale dotati di segno, vengono impiegati per le verifiche di resistenza di profili considerati in classe 3. Quando il modulo di resistenza è nullo è nulla anche la corrispondente tensione. Le verifiche di resistenza vengono condotte sommando tutte le τ in una direzione, le τ nell'altra direzione, calcolando la τ risultante ed infine applicando la formula di Von Mises. Questa scheda é gestita dalla property page [Valori elastici](#)^[764].

_EFFECTIVE fd Aeff W2effp W2effm W3effp W3effm De2 De3

fd tensione di progetto da associare ai dati forniti nel seguito ($f_y/\gamma M_0$)

Aeff area efficace

W2effp	modulo di resistenza per flessioni attorno all'asse 2 momento positivo
W2effm	modulo di resistenza per flessioni attorno all'asse 2 momento negativo
W3effp	modulo di resistenza per flessioni attorno all'asse 2 momento positivo
W3effm	modulo di resistenza per flessioni attorno all'asse 2 momento negativo
De2	traslazione del baricentro sotto azione assiale di compressione $\Delta M2 = N \times De2$
De3	traslazione del baricentro sotto azione assiale di compressione $\Delta M3 = N \times De3$

Questa scheda, gestita dalla property page [Valori efficaci](#)^[766], definisce le caratteristiche efficaci ed è tipicamente da usare per le verifiche di sezioni in classe 4. Perché il programma possa verificare, la tensione di snervamento indicata deve effettivamente corrispondere a quella associata alla sezione indicata nel modello all'esame. Si noti che il programma usa una formula lievemente diversa da quella di normativa in quanto associa ciascun modulo efficace al segno della corrispondente azione flettente, tenendo quindi conto del fatto che il modulo efficace può mutare invertendo il segno della sollecitazione flettente.

_BUCKLCURVE alpha2 alpha3

alpha2	parametro di imperfezione associato allo sbandamento per flessioni attorno all'asse 2
alpha3	parametro di imperfezione associato allo sbandamento per flessioni attorno all'asse 3

Questi parametri di imperfezione devono valere:

0,13	per la curva a0
0,21	per la curva a
0,34	per la curva b
0,49	per la curva c
0,76	per la curva d

Questa scheda è gestita dalla property page [Instabilità](#)^[767] e determina le verifiche a stabilità (escluso lo svergolamento).

Il programma consente, tuttavia, anche di specificare valori diversi da questi, ove specifiche esigenze di verifica lo richiedano. Il parametro di imperfezione può essere definito mediante un valore intermedio tra quelli di due curve o maggiore di quello della curva d. Si sconsiglia di adoperare valori non normati se

non si è ben certi di ciò che si sta facendo.

_LATERALTORSIONAL axis i,f,z alphaLT kfl W Iw

Axis	può valere 2 o 3: è l'asse di flessione che causa lo svergolamento
Ifz	è il raggio di inerzia della piattabanda compressa
alphaLT	è il fattore di imperfezione della curva di stabilità da adottare
kc=kfl	è un coefficiente che mitiga la severità della verifica
W	è il modulo di resistenza da associare alla flessione per il calcolo della tensione di compressione nella piattabanda compressa
Iw	è la costante di ingobbamento

Nella verifica a svergolamento le sezioni utente utilizzano il metodo della piattabanda equivalente compressa (par. 6.3.2.4. della norma). Tutti i dati forniti in questa scheda servono a questa verifica ad eccezione della costante di ingobbamento che serve per valutare N_{crT} nella formula per C_{mLT} del metodo 1 (cfr. tabella A.1). E' possibile porre un valore 0 per la costante di ingobbamento. Questa scheda è gestita dalla property page [Instabilità](#)^[767].

_2LATERALTORSIONAL Iz It zs zj

Iz	il momento di inerzia attorno all'asse di simmetria
It	il momento di inerzia torsionale
zs	$z_{ct} - z_g$
zj	indice di non simmetria

Questi dati, gestiti dalla property page [Instabilità](#)^[767], servono a calcolare il momento critico secondo la formula canonica per sezioni aventi un asse di simmetria (cfr. ad esempio ENV 1993-1-1 appendice F, [F2]). In effetti, se e solo se viene aggiunta la scheda "_2LATERALTORSIONAL", allora il momento critico non verrà calcolato con il metodo della piattabanda compressa, bensì con la formula teorica seguente:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(kL)^2} \left\{ \left[k^2 \frac{I_w}{I_z} + k^2 \frac{GI_t}{\pi^2 EI_z} + z_j^2 \right]^{0.5} + z_j \right\}$$

nella quale I_z , I_t , e z_j sono letti nella scheda "_2LATERALTORSIONAL", mentre I_w è letto nella scheda "_LATERALTORSIONAL". k è il β_1 . Si è fatta l'ipotesi che il carico sia applicato nel centro di taglio ($z_g=0$) e che C_3 sia eguale ad 1. E' da notare che le quantità I_w e z_j sono fornite da Sargon per alcune forme sezionali (button **Dettagli** del dialog della forma sezionale formata a freddo) e dovranno essere riportate manualmente nel file EC3DATA.TXT. In caso di doppia simmetria z_s e z_j sono nulli. L'asse attorno al quale la flessione provoca lo svergolamento è specificato nella scheda "LATERALTORSIONAL" e può essere il 2 o il 3. Se nonostante sia presente la scheda "_2LATERALTORSIONAL" non si vuole calcolare il momento critico con la formula canonica, ma usare il metodo della piattabanda compressa, basta porre eguale a zero I_z o I_t .

_TORFLEX symmetry y0 z0 Iw

symmetry codice che dice se la sezione è simmetrica. 0: non simmetrica; 2: simmetrica rispetto all'asse 2; 3 simmetrica rispetto all'asse 3; 5 doppiamente simmetrica (assi 2 e 3). Si ricorda che asse 2 = asse y; asse 3: asse z.

y0 distanza con segno tra il baricentro e il centro di taglio lungo l'asse 2 (asse y).

z0 distanza con segno tra il baricentro e il centro di taglio lungo l'asse 3 (asse z).

Iw costante di ingobbamento

Questi dati, gestiti dalla property page [Instabilità](#)^[767], servono a calcolare l'azione assiale critica per instabilità torsionale (T) o torsoflessionale (TF) secondo la formula canonica per sezioni aventi un asse di simmetria (cfr. ad esempio EN 1993-1-3, e si veda [la sezione](#)^[827] dedicata alle verifiche a instabilità torsionale e flesso-torsionale). In effetti, se e solo se viene aggiunta la scheda "_TORFLEX", allora l'azione assiale critica $N_{cr,T}$ verrà calcolata, altrimenti no. Essa non verrà calcolata anche nel caso in cui symmetry = 0. In tal caso le verifiche a instabilità per azione assiale terranno conto solo della instabilità flessionale (euleriana).

Il carico critico $N_{cr,T}$ viene calcolato con la formula teorica seguente:

nella quale y_0 , z_0 , e I_w sono letti nella scheda "_TORFLEX". I raggi di inerzia i_y ed i_z si riferiscono agli assi principali 2 e 3 rispettivamente ($i_y=i_2$, $i_z=i_3$). I_t è il momento di inerzia torsionale primario e I_T è identica alla lunghezza di libera inflessione per svergolamento, dominata dal coefficiente β_1 .

Se la simmetria è doppia (symmetry = 5) allora $N_{cr,TF} = N_{cr,T}$. In caso contrario, nella ipotesi in cui l'asse di simmetria sia l'asse y (o asse principale 2), la formula per $N_{cr,TF}$ è la seguente:

$$N_{cr,TF} = \frac{N_{cr,y}}{2\beta} \left(1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}} - \sqrt{\left(1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}} \right)^2 + 4 \left(\frac{y_0}{i_0} \right)^2 \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}}} \right)$$

$$\beta = 1 - \left(\frac{y_0}{i_0} \right)^2$$

nella quale $N_{cr,y}$ è il carico critico per instabilità flessionale attorno all'asse y (asse 2, di simmetria). Si noti che se y (2) è di simmetria allora $z_0=0$.

Se invece la simmetria è relativa all'asse z (o asse 3, symmetry = 3), le formule diventano le seguenti:

$$N_{cr,TF} = \frac{N_{cr,z}}{2\beta} \left(1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}} - \sqrt{\left(1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}} \right)^2 + 4 \left(\frac{z_0}{i_0} \right)^2 \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}}} \right)$$

$$\beta = 1 - \left(\frac{z_0}{i_0} \right)^2$$

_OTHER

tmax

tmax

spessore massimo dei piatti costituenti il profilo

Questo dato, gestito dalla property page [Altro^{\[769\]}](#), consente se necessario di ridurre la tensione di snervamento del materiale (spessori maggiori di 40mm).

5.3

Esempio di aggiunta di una sezione al file: IPE500

IPE500

$$h=500\text{mm}$$

$$b=200\text{mm}$$

$$t_w=10.2\text{mm}$$

$$t_f=16\text{mm}$$

$$r=21\text{mm}$$

$$A= 11552\text{mm}^2$$

$$J_2= 481985120\text{mm}^4$$

$$J_3= 21416800 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl2}= 2194120 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl3}= 335880 \text{ mm}^3$$

Classificazione**Flangia**

$$c/t_f = (200-10.2-21-21)*0.5/16 = 4.61$$

In compressione:

$$\epsilon_{sN23} = (c/t_f)/10 = 0.461$$

$$\epsilon_{sN34} = (c/t_f)/14 = 0.329$$

In flessione M2

$$\epsilon_{sM223} = (c/t_f)/10 = 0.461$$

$$\epsilon_{sM234} = (c/t_f)/14 = 0.329$$

In flessione M3

$$\text{epsM323} = (c/tf)/10 = 0.461$$

$$\text{epsM334} = (c/tf)/14 = 0.329$$

Anima

$$c/tw = (500 - 32 - 42)/10.2 = 41,76$$

In compressione:

$$\text{epsN23} = (c/tw)/38 = 1.099$$

$$\text{epsN34} = (c/tw)/42 = 0.994$$

In flessione M2

$$\text{epsM223} = (c/tw)/83 = 0.503$$

$$\text{epsM234} = (c/tw)/124 = 0.336$$

In flessione M3

Indefinito

Pertanto concludo

$$\text{epsN23} = \max(0.461, 1.099) = 1.099$$

$$\text{epsM223} = \max(0.461, 0.503) = 0.503$$

$$\text{epsM323} = \max(0.461, -) = 0.461$$

$$\text{epsN34} = \max(0.329, 0.994) = 0.994$$

$$\text{epsM234} = \max(0.329, 0.336) = 0.336$$

$$\text{epsM334} = \max(0.329, 0.994) = 0.994$$

Pertanto

Se	$\varepsilon > 1.099$	classe in compressione N	2 o 1
Se	$\varepsilon > 0.503$	classe in flessione M2	2 o 1
Se	$\varepsilon > 0.461$	classe in flessione M3	2 o 1
Se	$\varepsilon > 0.994$	classe in compressione N	3
Se	$\varepsilon > 0.336$	classe in flessione M2	3
Se	$\varepsilon > 0.994$	classe in flessione M3	3
Se	$\varepsilon < 0.994$	classe in compressione N	4
Se	$\varepsilon < 0.336$	classe in flessione M2	4
Se	$\varepsilon < 0.994$	classe in flessione M3	4

Caratteristiche efficaci (S275)

$$\eta = \varepsilon = \sqrt{235/275} = 0.924$$

Classe in compressione:	4	De2=De3=0
Classe per M2:	1	
Classe per M3:	4	

Sotto azione assiale e momento M3 l'anima si parzializza nel tratto centrale per una lunghezza pari a $b_{\text{neff}} = 1000 \text{ mm}$. Sotto M2 il profilo resta interamente reagente. Quindi sotto M2 i W efficaci coincidono con quelli elastici. La variazione di W sotto M3 è trascurabile (perché la parzializzazione riguarda l'anima). Resta pertanto da calcolare l'area efficace per sottrazione. Non vi è spostamento di baricentro in questo caso.

$$k\sigma=4$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{b_p}{t}}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{500 - 32 - 42}{10,2}}{28,4 \times 0,924 \times 2} = 0,79577$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,22}{\bar{\lambda}_p^2} = 0,9092$$

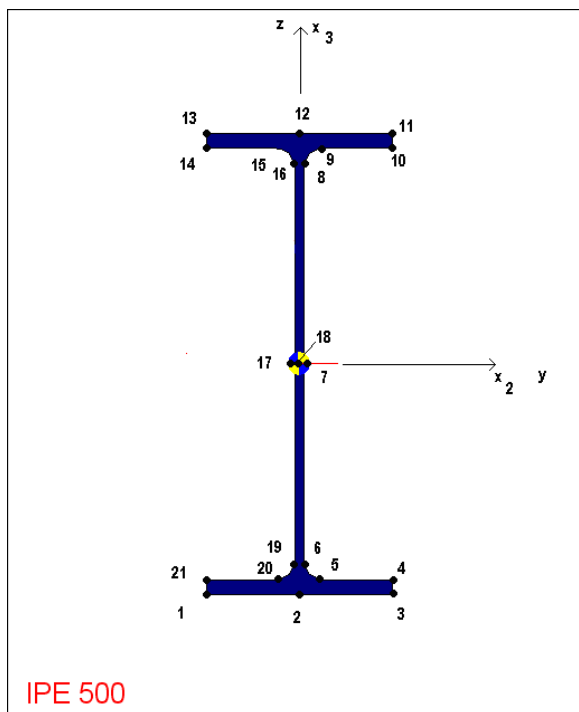
$$h_{\text{neff}} = (1 - 0,9092) \times 426 = 38,68$$

$$A_{\text{eff}} = A - t \times h_{\text{neff}} = 11552 - 10,2 \times 38,68 = 11157 \text{ mm}^2.$$

$$W_{2\text{effp}} = W_{2\text{effm}} = W_2 = 1\,927\,940 \text{ mm}^3.$$

$$W_{3\text{effp}} = W_{3\text{effm}} = W_3 = 214\,170 \text{ mm}^3.$$

Punti elastici



Il calcolo dei moduli di resistenza viene eseguito in 21 punti come da immagine allegata.

Per quanto riguarda la flessione il programma chiede le coordinate rispetto al sistema di riferimento principale tenendo presente che x_2 è misurata lungo l'asse 2 (e quindi corrisponde alla y dei disegni in Eurocodice 3) mentre x_3 è misurata lungo l'asse 3 e quindi corrisponde alla z dei disegni dell'Eurocodice

3.

Per il taglio si invoca una redistribuzione (cosa consentita) e quindi si assume una τ diretta come l'asse 2 e costante sulle ali, diretta come l'asse 3 e costante nell'anima. Il modulo di resistenza è dato dalla somma delle aree delle ali e dall'area dell'anima (con l'altezza totale).

Per la torsione si ipotizza una distribuzione lineare nello spessore con valore nullo nel punto medio dello stesso spessore. Il modulo di resistenza di un piatto di spessore t si ottiene da Jt/t , e quindi per l'anima $892900/10.2=87450\text{mm}^3$, mentre per le ali $892000/16=55750\text{mm}^3$.

I segni dipendono dal corrispondente segno della tensione nel sistema di riferimento principale. Sono positive le trazioni e le tensioni tangenziali nel verso positivo degli assi.

In definitiva la tabella dei numeri da introdurre è la seguente (tutti i dati in mm, mm² o mm³):

Punto	X2i	X3i	At22	At32	W12	At23	At33	W13
1	-100	-250	6400	0	55750	0	0	0
2	0	-250	6400	0	55750	0	5100	0
3	100	-250	6400	0	55750	0	0	0
4	100	-234	6400	0	-55750	0	0	0
5	20.1	-234	6400	0	-55750	0	0	0
6	5.1	-213	0	0	0	0	5100	87450
7	5.1	0	0	0	0	0	5100	87450
8	5.1	213	0	0	0	0	5100	87450
9	20.1	234	6400	0	55750	0	0	0
10	100	234	6400	0	55750	0	0	0
11	100	250	6400	0	-55750	0	0	0
12	0	250	6400	0	-55750	0	5100	0
13	-100	250	6400	0	-55750	0	0	0
14	-100	234	6400	0	55750	0	0	0
15	-20.1	234	6400	0	55750	0	0	0
16	-5.1	213	0	0	0	0	5100	-87450
17	-5.1	0	0	0	0	0	5100	-87450
18	0	0	0	0	0	0	5100	-87450
19	-5.1	-213	0	0	0	0	5100	0
20	-20.1	-234	6400	0	-55750	0	0	0
21	-100	-234	6400	0	-55750	0	0	0

Aree di taglio (per il calcolo plastico)

Per questo profilo in accordo all'Eurocodice 3 si ha:

$$Av3 = 11552 - 2 \cdot 200 \cdot 16 + (10,2 + 2 \cdot 21) \cdot 16 = 5987,2 \text{ mm}^2.$$

Per quanto riguarda l'are per taglio parallelo alle ali, in mancanza di specificazioni:

$$Av2 = 11552 - 5987,2 = 5564,8 \text{ mm}^2.$$

Da cui

$$av2 = 5564,8 / 11552 = 0,48172$$

$$av3 = 0,51828$$

Il calcolo dei w viene eseguito ipotizzando che Av2 coincida con le ali ed Av3 coincida con la quantità definita dalla norma come $(A - 2btf + (tw + 2r)tf)$ ovvero la sezione totale depurata dei quattro monconi d'ala di area $(0,5b - 0,5tw - r)tf$.

$$w2,pl,Av2 = 2 \cdot 200 \cdot 16 \cdot (250 - 8) / 2194120 = 0,70589$$

$$w2,pl,Av3 = [2194120 - 2 \cdot 16 \cdot (200 - 2 \cdot 21 - 10,2) \cdot (250 - 8)] / 2194120 = 0,47835$$

$$w3,pl,Av2 = 2 \cdot 200 \cdot 16 \cdot (200 / 4) / 335880 = 0,95272$$

$$w3,pl,Av3 = [335880 - 4 \cdot 16 \cdot (100 - 5,1 - 21) \cdot (50 + 2,55 + 10,5)] / 335880 = 0,11218$$

Si noti come tali valori risultino, anche talvolta significativamente, minori di 1.

Torsione (per il calcolo plastico)

Il momento resistente plastico può essere ottenuto da:

$$M1pl = 2 \cdot 200 \cdot 16 \cdot [fy / \sqrt{3}] \cdot 16 / 4 + (500 - 16 \cdot 2) \cdot 10,2 \cdot [fy / \sqrt{3}] \cdot 10,2 / 4 = 37772 [fy / \sqrt{3}]$$

E quindi

$$W_{1pl} = 37772 \text{ mm}^3$$

Dominio plastico

Calcolo dei momenti ridotti

Il modello è

$$M_{N,i,Rd} = M_{pl,i,Rd} \times [A + B_n + C_n^2]$$

Dove per definizione

$$n = N / N_{pl,Rd}$$

Nel caso dei profili IPE si sposa la formula di normativa ponendo:

per i=y=asse2:

$$(1-n)/(1-0,5a) = [A + B_n + C_n^2]$$

Essendo

$$a = (A - 2b_t f) / A = (11552 - 2 \cdot 200 \cdot 16) / 11552 = 0.446$$

E quindi

$$A = 1 / (1 - 0,5a) = 1,287$$

$$B = -1 / (1 - 0,5a) = -1,287$$

$$C = 0$$

Per i=z=asse 3

$$1-[(n-a)/(1-a)]^2=[D+En+Fn^2]$$

E con un pò di conti si vede che deve essere

$$D=(1-2a)/(1-a)^2=0,3518$$

$$E=2a/(1-a)^2=2,9063$$

$$F=-1/(1-a)^2=-3,2582$$

Determinazione di α e β

Il modello prevede (6.41):

$$\alpha = \frac{G + Hn + In^2}{L + Mn + Nn^2} > 0$$

$$\beta = \frac{P + Qn + Rn^2}{S + Tn + Un^2} > V$$

Nel caso di una ipe 500 deve essere

$$\alpha=2$$

$$\beta=5n > 1$$

E quindi:

$$G=2$$

$$H=0$$

$$I=0$$

$$L=1$$

$$M=0$$

$$N=0$$

$$O=0$$

$$P=0$$

$$Q=5$$

R=0

S=1

T=0

U=0

V=1

Curve di stabilità

Curva per asse 2: a $\alpha=0.21$

Curva per asse 3: b $\alpha =0.34$

Comportamento a svergolamento

Si assume il raggio di inerzia della piattabanda compressa.

$$h_1 = 500 - 16 \times 2 - 21 \times 2 = 426$$

$$I_f = 0,5 \times [I_3 - (1/12)(10,23 \times 426)] = 0,5 \times [I_3 - 37672,9] = 0,5 \times [21416800 - 37672,9] = 10\,689\,563 \text{ mm}^4.$$

$$A_f = 0,5 \times (11552 - 426 \times 10,2) = 3603,4$$

$$i_f = \sqrt{10\,689\,563 / 3603,4} = 54,46 \text{ mm}$$

Come curva di stabilità si adotta la curva c e quindi $\alpha_{LT}=0.49$

Il coefficiente riduttivo k_{fl} (6.3.2.4.(2)) viene posto eguale a 1,1.

Il modulo di resistenza della flangia si ottiene moltiplicando il modulo di resistenza della sezione per il rapporto tra la semialtezza ed il braccio ridotto:

$$W = 1927940 \times 250 / (250 - 8) = 1991673$$

La costante di ingobbamento è pari a:

$$I_w = 1,249 \times 10^{12} \text{ mm}^6$$

6 Il tracciamento dei calcoli

Data la complessità dei calcoli da eseguire e le differenti possibili strategie di calcolo possibili, il verificatore è stato dotato di una importante funzionalità che consente di “tracciare” i calcoli svolti, ottenendo un file nel quale non solo gli indici di sfruttamento ma anche tutti i risultati intermedi siano disponibili (vedasi il [dialog](#)^[549] opportuno). La funzionalità va intesa come uno strumento aggiuntivo da impiegare in casi particolari. In alternativa è possibile, a prezzo di tabulati anche molto estesi e di tempi di calcolo sensibilmente superiori, produrre il tabulato come ulteriore documentazione del lavoro.

Il tracciamento produce un file con nome “modello.eur.txt” che usa imprescindibilmente i N ed i mm come unità di misura (nonché le unità derivate).

7 L'uso di checksolvers

Il programma checksolvers è stato ampliato per consentire di eseguire controlli di elaborazione anche sul verificatore in accordo all'Eurocodice 3. Le nuove schede sono:

_TRESKOM	TNUM	CASE	KIND	TARGET
_TSTACOM	TNUM	CASE	KIND	TARGET
_BRESKOM	BNUM	CASE	KIND	TARGET
_BSTACOM	BNUM	CASE	KIND	TARGET

In cui CASE è il numero della combinazione, BNUM e TNUM sono il numero di elemento, KIND è il tipo di controllo (generalmente “CROSS”) e TARGET è il numero obiettivo. La scheda TRESKOM va a leggere il valore del massimo indice di sfruttamento a resistenza per elementi truss nella combinazione considerata; la scheda BRESKOM fa lo stesso ma per elementi beam. La scheda BSTACOM va a controllare l'indice di sfruttamento a stabilità per elementi beam. La scheda TSTACOM lo fa per elementi truss.

Tale funzionalità è molto importante poiché consente, ad ogni versione, di eseguire delle verifiche sulla bontà della elaborazione su un certo gruppo di casi test che siano stati messi a punto. Anche ciascun utente può, a sua discrezione, mettere a punto casi di prova.

Castalia srl ha messo a punto circa 100 casi test sul verificatore in accordo ad Eurocodice 3. Tali casi test sono consegnati insieme con il programma. La determinazione dei valori obiettivo è stata fatta con un lungo e attento lavoro che è confluito nelle schede di validazione.

8 Le schede di validazione

Il lavoro di sviluppo e di attento studio della normativa ha portato, tra l'altro, alla creazione di ben 100 schede di validazione, ovvero alla analisi di 100 diverse situazioni di progetto e verifica relative sia alla resistenza che alla stabilità. Tale lavoro rappresenta un risultato di primissima importanza poiché costituisce una messe considerevole di dati a disposizione sia degli utenti che di un pubblico più ampio (ad esempio i Clienti degli utilizzatori del programma). Ad oggi non risulta siano disponibili schede di questo tipo relative alla norma EN 1993, per lo meno in Italia.

Ben consapevoli della importanza della messa a punto di un simile insieme di test (i quali tra l'altro hanno consentito di approfondire notevolmente il testo della norma, nonché di coglierne numerosi limiti) si è deciso di far afferire queste 100 schede di validazione all'interno di una vera e propria pubblicazione ([2]). Per questo motivo, sino alla pubblicazione di dette schede all'interno di tale pubblicazione, queste schede di validazione non sono inserite nella documentazione del programma: esse saranno rese disponibili all'interno della documentazione del programma una volta che siano state ufficialmente pubblicate.

Al momento le schede disponibili sono 100, delle quali 50 si riferiscono a verifiche di resistenza e 50 a verifiche a stabilità. Sono indagati sia il metodo 1 che il metodo 2 con una vasta gamma di profili. Ogni scheda presenta i dati di partenza, alcuni dei più importanti dati intermedi e gli indici di sfruttamento finali, così come sono stati calcolati a mano o mediante fogli Excel. Questi risultati sono poi comparati, con pieno successo, con quelli forniti dal programma. Non appena la paternità del lavoro non potrà più essere oggetto di discussione, e quindi dopo la pubblicazione formale, le schede saranno anche posizionate nel sito internet di Castalia.

Bibliografia

- [1] Rugarli P. “La classificazione delle sezioni. Commento ad Eurocodice 3”, EPC LIBRI, 2007
- [2] Rugarli P. “Software di calcolo di travi in accordo ad EN1993-1-1”, EPC LIBRI, 2008 (*in stesura*)
- [3] Rugarli P. “Commento generale ad Eurocodice 3”, EPC LIBRI, 2008 (*in stesura*)
- [4] ECCS “Rules for Member Stability in EN 1993-1-1, background documentations and design guidelines”, N°119, 2006
- [5] Rondal J., Wurker K.G., Dutta D. “Structural stability of hollow sections”, Verlag TUV Rheinland, 1992
- [6] M.A. Serna, A.Lopez et al. “Equivalent uniform moment factors for lateral-torsional buckling of steel members”, *Journal of Constructional Steel Research*, 62, 566-580, 2006

VERSIONE ENV (NON PIÙ RILASCIATA A PARTIRE DAL NOVEMBRE 2007).

L'eurocodice 3 (EC3) si preannuncia come la normativa di riferimento dei prossimi anni. Di seguito verranno date informazioni utili alla comprensione di quanto eseguito dal programma e di quanto da esso stampato, dando per scontata la conoscenza della Norma.

Si tenga presente che la relativa provvisorietà dell'EC3 rende possibili aggiornamenti o modifiche anche di non lieve entità (tal modifiche, si ritiene, si renderanno specialmente necessarie nell'ambito della classificazione).

L'ampiezza e la complessità della norma rendono impossibile, in quest'ambito, la completa descrizione di tutti gli aspetti specifici. In queste *note* verranno quindi richiamati i principali aspetti d'interesse, fermo restando che Castalia è a disposizione dei propri clienti con diritto all'aggiornamento, per tutte le spiegazioni che si rendessero necessarie.

Sono stati implementati i seguenti paragrafi dell' EC3:

5.1.1.

5.3

5.4.1

5.4.2.

5.4.3.

5.4.4.

5.4.5.

5.4.6.

5.4.7.

5.4.8.

5.4.9.

5.5.1.

5.5.2.

5.5.3.

5.5.4.

5.6.1.

5.6.2.

5.6.3.

5.6.7.

annesso F.

Particolare rilievo, nell'ambito del codice così come nell'ambito della sua programmazione, ha assunto il problema della classificazione delle sezioni.

LA CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI

Come chiarito in [\[articolo1\]^{\[976\]}](#), il problema della classificazione delle sezioni nell'ambito di uno stato di sforzo generale (due componenti di momento, una di azione assiale), è tutt'altro che banale. SARGON risolve completamente il problema nel caso di sezioni ad I (IPE, HEA, ecc.) così come chiarito in [1], mentre relativamente agli altri profili SARGON assume come classe la massima classe tra quelle dovute a sollecitazioni pure (sola N, solo M2, solo M3). Nel caso di elementi truss SARGON assume come classe la classe 1 se l'elemento è in trazione, la classe a compressione semplice in caso contrario.

Il caso di classe 4 è da considerare un caso a sè. Il calcolo delle grandezze efficaci viene eseguito, nella versione 1.00 del verificatore, per i soli profili ad I laminati. Negli altri casi tali grandezze sono poste eguali a zero.

Un profilo che risulti di classe 4 e non sia un profilo ad I viene considerato non verificato, ed a esso è associato il coefficiente di sfruttamento convenzionale 99.

Profili che non siano doppiamente simmetrici presentano particolari problemi allorchè ci si trovi a calcolarne le grandezze efficaci. In tal caso infatti, anche sotto sollecitazioni semplici, gli assi principali della sezione efficace sono ruotati rispetto a quelli della sezione lorda, facendo con ciò perdere un pò di vista il significato delle verifiche a stabilità. In attesa di maggiori chiarimenti da parte del Normatore SARGON in tali casi non verifica il profilo.

A partire dalla versione 7.20 di Sargon i profili la cui sezione ha un nome che comincia con “CL3_” verranno forzati ad essere in classe 3 anche se per ipotesi fossero in classe 4. Ciò consente di trattare anche le sezioni saldate o laminate che debbano essere adeguatamente irrigidite, senza che queste, essendo classificate in classe 4, vengano ingiustamente penalizzate. E' compito del progettista garantire che le travi abbiano gli irrigidimenti necessari a garantire che la classe sia effettivamente la 3. Il nome della sezione, che comincia con “CL3_” vuole far capire che si tratta di una “forzatura” rispetto ai dati puramente ideali della sezione priva di irrigidimenti.

A partire dalla versione 7.20 quando per profili classificati in accordo a quanto chiarito nell'articolo citato uno qualsiasi di questi tre rapporti, in valore assoluto

$$N/N_{pl}$$

$$M2/M2_{pl}$$

$$M3/M3_{pl}$$

è minore di $1.e-4$ (0.0001), allora la corrispondente componente di sollecitazione è assunta nulla ai fini della classificazione. Tale accorgimento evita che compressioni puramente numeriche (piccoli valori di compressione in presenza di momento nullo) possano portare a classificazioni troppo severe.

CALCOLO DELLA SNELLEZZA ADIMENSIONALE λ_{LT}

Il calcolo della snellezza adimensionale è eseguito seguendo quanto prescritto nell'annesso F. Relativamente al calcolo dei coefficienti $C1$, $C2$, e $C3$ va detto quanto segue. La norma non fornisce in tal caso alcuna formula chiusa per valutare questi coefficienti. Le tabelle date nella norma non sono quindi praticamente utilizzabili. Per tale motivo, in attesa di una più precisa trattazione del problema, SARGON pone a favore di sicurezza:

$$C1 = 1$$

$$C2 = 0$$

$$C3 = 1$$

GENERAZIONE DELLE COMBINAZIONI DI CARICO

SARGON genera automaticamente le combinazioni di carico partendo dai casi di carico base. Per

generare le combinazioni SARGON utilizza le informazioni sul tipo di carico date dall'utente, nonché una serie di dettagliate informazioni su vari coefficienti e sulla possibile variabilità e contemporaneità dei casi di carico base. Si rimanda a quanto chiarito in [Come Generare le combinazioni](#)^[259] ed al command di generazione delle combiazioni [Genera](#)^[712].

SUPERELEMENTI

I superelementi ottenuti riunendo profili diversi sono calcolati assumendo come profilo di riferimento il profilo avente area minima.

TABULATO

Nel tabulato vengono date informazioni relative alle grandezze limite definite dalla normativa. Tali grandezze possono essere calcolate nell'ipotesi di profilo in classi 1 e 2, ovvero nell'ipotesi di profilo di classe 3, o di profilo in classe 4. Nel tabulato vengono riportate le grandezze d'interesse nei vari casi. Si tenga presente che l'unica forma sezionale per la quale sono calcolate le grandezze efficaci è, nella versione 1.00 del verificatore, la sezione ad I laminata (HEA, B, M, IPE ecc.): le altre forme sezionali hanno caratteristiche efficaci poste eguali a zero.

PERSONALIZZAZIONE DEL VERIFICATORE SECONDO EC3

I coefficienti gamma relativi al materiale (γ_{M0} , γ_{M1} , γ_{M2}) possono essere modificati in un opportuno [dialog](#)^[546], accessibile dal dialog che consente di impostare l'EC3 come norma attiva ([Norma](#)^[545]).

4.2 BS-5950

BS 5950: GUIDA TECNICA VERSIONE 1.0

Le norme British Standard 5950 sono state implementate in Sargon per varie ragioni. Ad oggi esse sono molto impiegate nei paesi arabi e nelle ex colonie inglesi, inoltre esse sono in vigore da più tempo rispetto all'EC3 e non sono in uno stadio preliminare.

Anche per le BS come per altre norme la implementazione si è presentata irta di difficoltà, a causa del fatto che molte prescrizioni sembrano essere state indicate avendo in mente dei particolari ambiti, e non le situazioni più generali.

In quanto segue si cercherà di dare un'idea il più possibile esatta del lavoro svolto e delle avvertenze da seguire nell'uso delle norme, così da evitare situazioni pericolose o inaccettabili.

Paragrafi implementati

Hanno costituito oggetto di implementazione i seguenti paragrafi della norma:

3.1,3.1.1. con le modifiche di AMD 6972, Febbraio 1992, 3.1.2, 3.3., 3.3.1, 3.3.2., 3.5, 3.5.1., 3.5.2., 3.5.3., 3.5.4., 3.5.5., 3.6, 3.6.1., 3.6.2., 3.6.3., 3.6.4. (inviluppati da 3.6.3.), 4.1, 4.1.1., 4.1.2, 4.1.3., 4.2, 4.2.1.3.(a), 4.2.1.3.(c), 4.2.1.3.(d), 4.2.2., 4.2.3., 4.2.5., 4.2.6. (a) Dove applicabile (cfr più oltre), 4.2.6.(b), 4.2.6.(c), 4.3., 4.3.1., 4.3.7., 4.3.7.1., 4.3.7.2., 4.3.7.3., 4.3.7.4., 4.3.7.5., 4.3.7.6., 4.3.7.7., 4.4.5., 4.4.5.1., 4.4.5.3. con le osservazioni che seguono, 4.6., 4.6.1., 4.7., 4.7.4., 4.7.5., 4.7.9.(c) Lamc=50 sempre, 4.8., 4.8.1., 4.8.2., 4.8.3., 4.8.3.1., 4.8.3.2., 4.8.3.3., 4.8.3.3.1., 4.8.3.3.2, 4.9, B.1., B.2., B.2.1., B.2.2., B.2.3., B.2.4., B.2.5., B.2.6., B.2.6.1., B.2.6.2., B.2.7., C.1, C.2.

I paragrafi non implementati non sono stati implementati perchè non implementabili. Ad esempio, là dove le prescrizioni in termini di snellezza di calcolo dipendono dal tipo e dalla disposizione dei bulloni di collegamento, Sargon, che gestisce modelli unifilari, non può intervenire. E' l'utente che deve specificare il giusto coefficiente di libera inflessione, valutato tenendo conto del sistema che verrà impiegato per connettere gli elementi.

Nel seguito verranno commentati i paragrafi della norma là dove si ritiene necessario chiarire gli interventi di programmazione resisi necessari.

Torsione

Il codice non nomina la torsione. Pertanto il verificatore non introduce formule di verifica nelle quali la torsione abbia ruolo. Ciò può essere pericoloso là dove sono da attendersi torsioni significative. Per questi elementi si suggerisce di eseguire la verifica con altre norme. E' attualmente allo studio documentazione esterna al testo delle norme e di fonte inglese.

Combinazioni

La norma non chiarisce il modo in cui è necessario creare le combinazioni, pertanto, in attesa di chiarimenti a riguardo, è l'utente che deve aggiungere le combinazioni manualmente o utilizzando la generazione automatica prevista in Sargon.

Valutazione di py

La tabella prevista in AMD 6972, Febbraio 1992, considera spessori fino a 100 mm per Grade 43 o 50 e spessori fino a 63 per grade 55.

Se vengono trovati spessori superiori il programma si blocca e dà un messaggio di errore. Ciò dipende dal fatto che non è data una formula generale da applicare in tutti i casi.

Area effettiva delle connessioni (par. 3.3.3., 3.4)

In Sargon, l'utente specifica un coefficiente di riduzione dell'area da applicarsi ai singoli elementi. Poiché Sargon non gestisce le informazioni relative ai collegamenti è compito dell'utente associare agli elementi i corretti o prudenziali valori del coefficiente k , tale per cui $A_{eff}=kA$.

Classificazione delle sezioni (3,5)

Le Bs affrontano il problema della classificazione delle sezioni in modo più semplice rispetto a quanto previsto dall'EC3. Scopo della classificazione è, come è noto, garantire che la sezione potrà sopportare i valori nominali di azione assiale e di momento senza che via siano effetti di instabilità locale.

Il programma esegue la classificazione per sollecitazioni elementari, vale a dire immaginando la sezione soggetta a compressione o a momento $M2$, o a momento $M3$. Poiché certe sezioni si comportano in modo diverso a seconda che il segno del momento sia positivo o negativo, viene introdotta la classificazione anche in base al segno del momento. Pertanto si avranno: $C1N$, $C1M2m$, $C1M2p$, $C1M3m$, $C1M3p$, dove "m" sta per "meno" e "p" sta per "più".

La classe è un numero compreso tra 1 e 4. La classe 1 è la classe dei profili plastici, la classe 2 è la classe dei profili compatti, la classe 3 dei profili semicompatti, la classe 4 è la classe dei profili snelli.

Se il profilo è snello si ha buckling locale prima che venga raggiunto il limite elastico della corrispondente componente di sollecitazione.

La classificazione di una sezione dipende sia dalle caratteristiche della sezione, in termini di rapporti larghezza-spessore, sia dal materiale impiegato. Al fine di separare la parte dipendente dai suddetti rapporti larghezza-spessore, dalla parte dipendente dal materiale, si sono introdotti i valori limite di ε ($=275/p_y$) al di sopra dei quali un profilo è in una certa classe. Si prenda ad esempio un profilo

HEB300, per il quale risulta:

$$B/(2e) = 300/2/19 = 7.8947$$

$$d/a = (300-38-54)/11 = 18.9090$$

Affinchè il profilo HEB300 sia in classe 1 se soggetto a compressione deve essere (cfr. table 7):

$$B/2e \leq 8.5\varepsilon$$

$$d/a \leq 39\varepsilon$$

E quindi equivalentemente

$$\varepsilon \geq 7.8947/8.5 = 0.928$$

$$\varepsilon \geq 18.9090/39 = 0.4848$$

e quindi in definitiva

$$\varepsilon \geq 0.928 = ecN1$$

Ovvero, affinché HEB300 sia in classe 1 in compressione il materiale deve avere un ε maggiore del valore di soglia $ecN1 = 0.928$. Allo stesso modo si possono definire i valori di soglia di ε per la compressione in classe 2, $ecN2$ ed in classe 3 $ecN3$, eccetera, secondo la seguente tabella:

Simbolo	Valore limite di ε per la sollecitazione e la classe
ecN1	Compressione classe 1
ecN2	Compressione classe 2
ecN3	Compressione classe 3
ecM2p1	Momento M2 positivo, classe 1
ecM2p2	Momento M2 positivo, classe 2
ecM2p3	Momento M2 positivo, classe 3
ecM2m1	Momento M2 negativo, classe 1
ecM2m2	Momento M2 negativo, classe 2
ecM2m3	Momento M2 negativo, classe 3
ecM3p1	Momento M3 positivo, classe 1
ecM3p2	Momento M3 positivo, classe 2
ecM3p3	Momento M3 positivo, classe 3
ecM3m1	Momento M3 negativo, classe 1

ecM3m2	Momento M3 negativo, classe 2
ecM3m3	Momento M3 negativo, classe 3

L'introduzione di questi parametri consente di trattare la classificazione in modo indipendente dal materiale, e quindi in definitiva di descrivere il comportamento di una sezione prima di conoscere il materiale per il quale essa verrà impiegata. Questi parametri entrano così a far parte del corredo di informazioni indispensabile per verificare una sezione secondo BS.

Il programma, una volta noti questi parametri (o perchè calcolati o perchè assegnati), ed il materiale di cui è fatta una certa sezione è in grado di classificare rapidamente l'elemento al quale la sezione appartiene.

Sezioni snelle (3.6)

Il comportamento a buckling locale di una sezione dipende strettamente dalla distribuzione dello stato di sforzo sull'elemento. Infatti è necessario conoscere con esattezza l'estensione delle zone di compressione per poter predire un eventuale buckling locale. A rigore sarebbe dunque necessario un calcolo di tipo nonlineare, sezione per sezione e combinazione per combinazione, per poter valutare con precisione non solo se vi è buckling locale, ma anche i parametri necessari al calcolo.

Le norme BS introducono un importante principio che consente di calcolare egualmente le sezioni snelle, senza mettere in piedi procedimenti di calcolo nonlineare che, nel caso più generale che è allo studio, genererebbero situazioni non implementabili perchè non sufficientemente chiare.

Il principio è quello di ridurre il valore della tensione di progetto p_y mediante un opportuno fattore riduttivo K , calcolato in modo da sposare i valori limite previsti per la transizione da sezione semicompatta a snella. La norma dà due distinti insiemi di regole: una prima regola (par. 3.6.3) consiste nel valutare p_y in modo che nell'anima si abbia che con il valore di d/t della sezione da calcolare ci si trovi al limite di anima semicompatta.

Il secondo insieme di regole fa capo a la tavola 8, dove sono elencati dei fattori correttivi relativi a flange o sbalzi. Questo secondo insieme di regole porta a coefficienti riduttivi maggiori di quelli previsti dalla regola precedente (la dimostrazione è omessa), che può dunque essere usata come regola di riferimento a favore di sicurezza. Se ε è il valore del materiale usato ed E è il valore limite di ε che il materiale può avere senza che la sezione diventi snella si pone

$$p_y^* = \left(\frac{\varepsilon}{E} \right)^2 p_y$$

si può facilmente vedere che questo fattore riduttivo corrisponde al prendere una tensione di progetto

ridotta proprio tale da soddisfare le limitazioni previste per le sezioni semicompatte. Il valore limite E dipende dalla sollecitazione. Tale valore è precisamente il valore introdotto con i simboli $ecN3$, $ecM2p3$, $ecM2m3$, $ecM3m3$, $ecM3p3$ al paragrafo precedente.

Trovata la tensione ridotta il programma valuta la capacità a compressione ed a flessione usando questa tensione ridotta, e con questi valori esegue poi la verifica di resistenza.

Per maggiori dettagli si rimanda agli esempi svolti (document cartaceo), che chiariscono in modo inequivoco i vari passaggi.

Capacità a momento con alto valore del taglio (par. 4.2.6.)

Nella verifica di resistenza di sezioni soggette ad un taglio maggiore di 0.6 volte il valore limite di taglio sostenibile è prevista una formula di verifica particolare. In particolare, se la sezione è in classe 3 si deve usare il modulo elastico della sezione, mentre se essa è in classe 1 o 2 per valutare il momento limite M_c si deve usare la formula seguente:

$$M_c = p_y (S - S_v \rho_1)$$

La definizione di ρ_1 non è chiara per le sezioni che non siano dei tipi RHS (rectangular hollow sections), rettangolare cava saldata, a T, a C o ad I (laminata o saldata). In assenza di flange, infatti, non è chiara la distribuzione da assumere per la area resistente a taglio A_v .

Si prenda l'importante caso di una sezione circolare cava. La norma dice che $A_v=0.6A$, ma non dice dove considerare distribuita A_v : non è quindi possibile valutare il momento plastico associato ad A_v .

A causa di questa mancanza di chiarezza, e nella impossibilità di inventare formule o assunzioni sostituendosi al dettato della norma, il verificatore si comporta nel seguente modo. **Se una sezione è di classe 1 o 2 ed è soggetta ad un taglio $> 0.6P_v$, e questa sezione non è tra quelle per le quali la regola che prevede l'impiego di S_v sia applicabile in modo privo di dubbi, in tal caso la sezione viene considerata come se fosse di classe 3, applicando il paragrafo 4.2.6.(b), ovvero**

$$M_c = p_y Z$$

Dove Z è il modulo di resistenza elastico.

Per le sezioni circolari cave è disponibile in letteratura una formula di interazione tra taglio momento flettente ed azione assiale (*Structural Stability of Hollow Sections*, J. Rondal K.G. Wûrker, D. Dutta ecc., CIDECT, 1992), ma tale formula assume valori diversi sia per il valore del taglio limite che per i valori di soglia del taglio oltre i quali applicare la formula di interazione, e non è pertanto inseribile nel contesto delle BS.

Svergolamento (par. 4.3)

Per valutare lo svergolamento è necessario conoscere la distanza tra due ritegni torsionali successivi. Questa distanza viene valutata dal programma moltiplicando la lunghezza dell'elemento (o del superelemento) per il coefficiente β_1 , vale a dire il primo dei tre coefficienti di libera inflessione. E' compito dell'utente applicare correttamente le prescrizioni contenute in 4.3.5. e 4.3.6., sul modo di valutare tale coefficiente.

Il coefficiente n , in difetto di una formula chiusa atta a stimarne il valore, viene conservativamente posto eguale ad 1. Le tabelle 15 e 16 della norma infatti, non sono implementabili, poichè si riferiscono ad un caso di carico del tutto particolare e non generalizzabile. Il termine "carico sostanzialmente concentrato" è tipicamente atto ad essere variamente interpretato, e pertanto non è implementabile. Inoltre la norma non fornisce alcuna formula di impiego generale. Per tutte queste ragioni i fattori n ed m sono sempre posti dal programma eguali ad 1, ad eccezione di quanto previsto per il coefficiente m nella tavola 18, ove viene fornita una formula alternativa alla tabella.

Compressione su profili composti (par. 4.7.9., 4.7.11, 4.7.12., 4.7.13)

In accordo a quanto previsto anche da altre normative, le BS verificano a stabilità gli elementi composti valutando una snellezza equivalente ottenuta componendo alla snellezza teorica λ_m una snellezza aggiuntiva λ_c . La formula è la seguente

$$\lambda_T = \sqrt{\lambda_m^2 + \lambda_c^2}$$

Il valore delle snellezza aggiuntiva dipende essenzialmente dal passo della bullonatura, oltre che dal raggio di inerzia del profilo. Nel caso dei profili calastrellati o abbottonati (par. 4.7.8. e 4.7.9) la snellezza aggiuntiva non può superare il valore di 50. Per tale motivo, non essendo noto il passo delle bullonature, il programma aggiunge sempre e comunque una snellezza aggiuntiva pari al massimo possibile (50). Si noti che per snellezze pari a 100, l'incremento di snellezza conseguente è pari al 11%, mentre per snellezze pari a 50 esso è pari al 41%. Al crescere della snellezza propria la variazione decresce rapidamente.

E' compito del progettista assicurarsi che il limite di 50 sia rispettato dal modo previsto di connettere i profili.

Analogamente, è compito del progettista adempiere a quanto previsto nei paragrafi 4.7.10, 4.7.11, 4.7.12, 4.7.13.

La logica del programma

Il programma esegue dapprima il calcolo delle caratteristiche proprie della sezione. In seguito,

per ogni beam, truss e superelemento, vengono valutate le capacità limite. Ciò fatto, per ogni beam ed ogni truss in ogni combinazione vengono eseguite le verifiche di resistenza e di stabilità.

Nel caso delle bielle le verifiche di resistenza sono quella alla compressione e quella alla trazione. Nel caso delle travi, le verifiche di resistenza riguardano la trazione o la compressione, il momento secondo l'asse 2 o 3, il taglio secondo l'asse 2 o 3 e, infine, l'interazione tra azione assiale e momento flettente.

Dopo le verifiche di resistenza vengono eseguite le verifiche a stabilità. Per le bielle le verifiche a stabilità vengono eseguite solo se l'elemento è compresso, e si identificano con quanto previsto al capitolo 4.7.

Per le travi, oltre alle verifiche di stabilità intese come verifiche alla compressione, il programma esegue le verifiche a svergolamento, le verifiche a pressoflessione e, dove applicabili, le verifiche alla instabilità per taglio.

Le verifiche sotto l'azione combinata delle sollecitazioni vengono eseguite solo se le verifiche alle sollecitazioni elementari sono state soddisfatte. Così, se una sola componente di sollecitazione è in grado da sola di portare ad un eccesso di sfruttamento, questo viene segnalato.

Superelementi

Circa l'uso dei superelementi, la loro importanza e la necessità di introdurli si è già discusso. Qui si vuole mettere in rilievo come questi vengano tenuti in conto nelle verifiche.

I superelementi modificano le sole verifiche a stabilità, non quelle a resistenza. Dopo aver verificato tutte le bielle e tutte le travi il programma, se ve ne sono, verifica i superelementi.

Eseguite le verifiche, il programma controlla, facendo un ciclo su ciascun elemento componente il superelemento verificato, se il coefficiente di sfruttamento a stabilità dell'elemento pensato come elemento è inferiore al coefficiente di sfruttamento dell'elemento pensato come parte del superelemento. In questo caso, esso va a scrivere come coefficiente di sfruttamento dell'elemento il coefficiente di sfruttamento dello elemento come pensato appartenente al superelemento. Anche i dati sezionali rilevanti in termini di verifica a stabilità vengono sovrascritti con quelli del superelemento.

Se un superelemento è fatto da elementi aventi sezioni diverse, verrà usata la sezione di area minima, a favore di sicurezza.

Il tabulato

Il tabulato è composto da quattro sezioni, ciascuna delle quali relativa ad un insieme particolare di dati. La prima sezione, riguarda i dati sezionali. Qui vengono elencate le proprietà della sezione

necessarie per eseguire le verifiche. Tutti i dati elencati sono necessari a ricostruire i calcoli fatti dal programma.

La seconda sezione elenca, elemento per elemento, i valori limite delle sollecitazioni elementari, così come valutati dal programma. Questi dati sono poi impiegati per valutare i coefficienti di sfruttamento.

La terza sezione dà i risultati delle verifiche in forma sintetica, riportando il massimo coefficiente di sfruttamento a resistenza ed a stabilità al variare delle combinazioni.

La quarta ed ultima sezione riporta i valori dei coefficienti di sfruttamento per ogni combinazione di verifica.

Nel seguito vengono riportate le legende che consentono di interpretare i dati:

```
#####
#                               SHAPE DATA                               #
#####
#                               #
#                               #
#                               LEGEND                                   #
#                               #
#####
#                               #
# U.....User: =1 properties are user defined,=0 program defined#
# tmax.....Maximum thickness                                         #
# Av2.....Shear area, shear T2 ($ 4.2.3.)                           #
# Av3.....Shear area, shear T3 ($ 4.2.3.)                             #
# Sv2.....Av2 plastic modulus. Used with bending M3 ($ 4.2.6.)#
# Sv3.....Av3 plastic modulus. Used with bending M2 ($ 4.2.6.)#
# dot2.....Web depth to thickness ratio. Used to compute limit #
#                               shear T2 ($ 4.4.5.3.)                 #
#                               If = 0 not applicable or not necessary. #
# dot3.....Web depth to thickness ratio. Used to compute limit #
#                               shear T3 ($ 4.4.5.3.)                 #
#                               Se = 0 not applicable or not necessary. #
# dtm2.....Product d*t to be used to compute limit shear value #
#                               T2 ($ 4.4.5.3.)                       #
#                               If = 0 not applicable or not necessary. #
# dtm2.....Product d*t to be used to compute limit shear value #
#                               T3 ($ 4.4.5.3.)                       #
#                               If = 0 not applicable or not necessary. #
# u2.....u factor, buckling resistance moment M2($ B.2.5.(b))#
#                               if < 0 = -Fib, see. par. B.2.6.1.      #
# u3 .....u factor, buckling resistance moment M3($ B.2.5.(b))#
#                               if < 0 = -Fib, see. par. B.2.6.1.      #
# x2.....x factor, buckling resistance moment M2($ B.2.5.(b))#
# x3 .....x factor, buckling resistance moment M3($ B.2.5.(b))#
# N2p.....N factor, positive M2 ($ B.2.5.(d))                       #
```

```

# N3p.....N factor, positive M3      ($   B.2.5.(d))      #
# N2m.....N factor, negative M2      ($   B.2.5.(d))      #
# N3m.....N factor, negative M3      ($   B.2.5.(d))      #
# nbc2.....Buckling curve number, buckling around axis 2  #
#              (a=1, b=2, c=3, d=4)                                #
# nbc3.....Buckling curve number, buckling around axis 3  #
#              (a=1, b=2, c=3, d=4)                                #
# lam2.....Adjoint slenderness axis 2      ($   4.7.9.)    #
# lam3.....Adjoint slenderness axis 3      ($   4.7.9.)    #
# ecN1.....Limit material eps value so that compressed section is #
#              plastic.                                           #
# ecN2.....Limit material eps value so that compressed section is #
#              compact.                                           #
# ecN3.....Limit material eps value so that compressed section is #
#              semi-compact.                                       #
# ecM2p1.....Limit material eps value so that positive M2 bent    #
#              section is plastic.                                 #
# ecM2p2.....Limit material eps value so that positive M2 bent    #
#              section is compact.                                 #
# ecM2p3.....Limit material eps value so that positive M2 bent    #
#              section is semi-compact.                           #
# ecM2m1.....Limit material eps value so that negative M2 bent    #
#              section is plastic.                                 #
# ecM2m2.....Limit material eps value so that negative M2 bent    #
#              section is compact.                                 #
# ecM2m3.....Limit material eps value so that negative M2 bent    #
#              section is semi-compact.                           #
# ecM3p1.....Limit material eps value so that positive M3 bent    #
#              section is plastic.                                 #
# ecM3p2.....Limit material eps value so that positive M3 bent    #
#              section is compact.                                 #
# ecM3p3.....Limit material eps value so that positive M3 bent    #
#              section is semi-compact.                           #
# ecM3m1.....Limit material eps value so that negative M3 bent    #
#              section is plastic.                                 #
# ecM3m2.....Limit material eps value so that negative M3 bent    #
#              section is compact.                                 #
# ecM3m3.....Limit material eps value so that negative M3 bent    #
#              section is semi-compact.                           #
#
#####

#####

#
#              BEAM AND TRUSS DATA                                #
#
#
#              LEGEND                                             #
#

```



```

#
#####
#
# py.....Steel design strngth
# Pv2.....Shear capacity (T2) par. 4.2.3.
# Pv3.....Shear capacity (T3) par. 4.2.3.
# Mc2m.....Moment capacity (M2 negative)
# Mc2p.....Moment capacity (M2 positive)
# Mc3m.....Moment capacity (M3 negative)
# Mc3p.....Moment capacity (M3 positive)
# lam1.....Total lateral sway slenderness
# lam2.....Total axis 2 buckling slenderness
# lam3.....Total axis 3 buckling slenderness
# Pc.....Compression capacity (axis 2)
# Pc3.....Compression capacity (axis 3)
# Pc.....Compression capacity
# Mb2p.....Buckling resistance moment (M2 positive)
# Mb2m.....Buckling resistance moment (M2 negative)
# Mb3p.....Buckling resistance moment (M3 positive)
# Mb3m.....Buckling resistance moment (M3 negative)
# lamLT2p.....Lateral sway slenderness positive M2 bending
# lamLT3p.....Lateral sway slenderness positive M3 bending
# lamLT2m.....Lateral sway slenderness negative M2 bending
# lamLT3m.....Lateral sway slenderness negative M3 bending
# clN.....Compression class      (1-4)      1 : plastica
# clM2m.....Negative M2 class      2 : compatta
# clM2p.....Positive M2 class      3 : semi-compatta
# clM3m.....Negative M3 class      4 : snella
# clM3p.....Positive M3 class
# clMax.....Maximum class
#
#
#####

#####
#
# RESULTS
#####
#
# LEGEND
#
#####
#
# Beam.....Beam element number
# Truss.....Truss element number
# KR.....Maximum resistance exploitation factor
# CbR.....Combination in which KR (or KRi) has been computed
# ChkR.....Number of the check leading to KR (or KRi).

```

```

#           Check numbers have the following meaning:           #
#
#      1      Axial load eccess      ($ 4.6.1. or $ 4.7.4 using py) #
#      2      Shear T2 eccess      ($ 4.2.3.)                     #
#      3      Shear T3 eccess      ($ 4.2.3.)                     #
#      4      Moment M2 eccess, low shear, class 1 or 2 ($ 4.2.5.) #
#      5      Moment M3 eccess, low shear, class 1 or 2 ($ 4.2.5.) #
#      6      Moment M2 eccess, low shear, class 3      ($ 4.2.5.) #
#      7      Moment M3 eccess, low shear, class 4      ($ 4.2.5.) #
#      8      Moment M2 eccess, high shear, classes 1 or 2 ($ 4.2.6.) #
#      9      Moment M3 eccess, high shear, classes 1 or 2 ($ 4.2.6.) #
#     10      Moment M2 eccess, high shear, class 3      ($ 4.2.6.) #
#     11      Moment M3 eccess, high shear, class 3      ($ 4.2.6.) #
#     12      Invalid or unknown shape properties        #
#     13      Traction and bending, simplified approach  ($ 4.8.2) #
#     14      Traction and bending, complete approach  ($ 4.8.2) #
#     15      Compression and bending, simplified approach ($4.8.3.2) #
#     16      Compression and bending, complete approach ($4.8.3.2) #
#     17      Moment M2 eccess      class 4      ($ 4.2.5/6) #
#     18      Moment M3 eccess      class 4      ($ 4.2.5/6) #
#     99      class 4                                     #
#
# CsiR.....Non dimensional abscissa (0-1) of the KR(KRi)computed point #
# KS.....Maximum buckling exploitation factor #
# CbS.....Combination in which KS (or KSi) has been computed #
# ChkS..... Number of the check leading to KS (or KSi) #
#           Check numbers have the following meaning:           #
#
#     21      Compression ($ 4.7.4) #
#     22      Shear T2 ($ 4.4.5.3) #
#     23      Shear T3 ($ 4.4.5.3.) #
#     24      Bending M2 ($ 4.3.7.1.) #
#     25      Bending M3 ($ 4.3.7.1.) #
#     26      Overall buckling, simplified method ($ 4.8.3.3.1) #
#     27      Overall buckling, exact approach ($ 4.8.3.3.2) #
#     12      Invalid or unknown shape properties #
#     99      Class 4 #
#
# CsiS.....Non dimensional abscissa (0-1) of the KS computed point #
# KM.....Maximum exploitation between resistance and stability #
# CbM.....Combination in which KM has been computed #
# ChkM.....Number of the check leading to KM #
# CsiM.....Non dimensional abscissa (0-1) of the KM computed point #
# Combi.....Combination number #
# KRi.....Resistance exploitation factor in combination Combi #
# KSi.....Buckling exploitation factor in combination Combi #
# KMi.....Maximum exploitation factor in combination Combi #
# mf2.....m factor of M2 distribution ($ 4.3.7.6.) #

```

```
# mf3.....m factor of M3 distribution ($ 4.3.7.6.)      #
# nf2.....n factor of M2 distribution ($ 4.3.7.6.)      #
# nf3.....n factor of M3 distribution ($ 4.3.7.6.)      #
#                                                         #
#####
```

Le sezioni utente

Generalità

Sargon consente di eseguire le verifiche secondo dati stabilite dall'utente. Ciò è destinato a risolvere due problemi distinti:

- 1) La necessità di poter eseguire le verifiche anche su sezioni non coperte dal verificatore automatico;
- 1) La opportunità di scegliere gli algoritmi di verifica in modo più aderente alla situazione specifica o alle necessità peculiari o alle personali convinzioni del progettista.

Il programma che esegue le verifiche si comporta in modo diverso a seconda che l'elemento da verificare sia dotato di una *sezione standard* o di una *sezione utente*.

Se l'elemento ha una sezione standard esso verrà verificato secondo le regole implementate all'interno del programma, se invece esso ha una sezione non standard allora verrà verificato in accordo alle regole stabilite dall'utente. Per poter decidere se una sezione è standard o no il programma confronta il nome della sezione (spazi e maiuscole-minuscole incluse) con l'elenco delle sezioni utente contenuto nel file **bsdata.txt**. Se la sezione compare tra quelle utente allora verrà verificata secondo le regole dell'utente, in caso contrario verrà verificata dal programma. **Alcuni tipi sezionali non vengono verificati se non come profili utente**. Questi tipi sono: sezioni generiche, sezioni composte generiche, sezioni formate a freddo generiche o dei tipi previsti (a Z, a C, a omega, ad L).

Le sezioni non esplicitamente implementate nel verificatore non possono essere verificate se non spiegando al programma come fare, o, per meglio dire, specificando in modo esplicito nel file **bsdata.txt**, i valori di calcolo da adottarsi per ogni profilo di interesse. I valori di calcolo rilevanti sono sostanzialmente quelli che nel tabulato sono listati sotto la sezione "Shape Data" o "Dati Sezionali", con il significato colà previsto. Qui di seguito si riporta il file **bsdata.txt** accluso al programma. In questo file è elencato, a titolo di esempio, un solo profilo, il profilo "xHE 300 B", il quale altro non è che il profilo "HE300B". Il nome è stato modificato per la ragione seguente.

Come prima cosa il programma controlla se i profili assegnati agli elementi di un dato modello sono stati descritti nel file **bsdata.txt**. Se questo è vero, il programma utilizza i dati contenuti nel file

I dati del profilo HE300B sono stati messi sotto il nome "xHE300B" per evitare che il programma li legga da file.

[illegible]

```

_UNITS mm
_SHAPE

```

```

xHE 300 B ; NOME
19. 10260. 3300. 855000. 247500. 0. 27.27 0. 3300.;tmax Av2 Av3 Sv2 Sv3 dot2 dot3 dtm2 dtm3
0.8516 0. 14.26 0. 0.5 0. 0.5 0. ;u2 u3 x2 x3 N2p N3p N2m N3m
1 2 3 0. 0. ; kind Nbc2 Nbc3 lam2 lam3
0.9288 0.8310 0.5263 ; ecN1 ecN2 ecN3
0.9288 0.8310 0.5263 0.9288 0.8310 0.5263 ; ecM2p1 ecM2p2 ecM2p3 ecM2m1 ecM2m2 ecM2m3
0.9288 0.8310 0.5263 0.9288 0.8310 0.5263 ; ecM3p1 ecM3p2 ecM3p3 ecM3m1 ecM3m2 ecM3m3
_ENDSHAPE

```

Il file è composto da righe che possono assumere significati differenti.

_UNITS

unità

dove unità può assumere i valori seguenti: mm, m, cm, in, ft, yd

Ogni riga successiva verrà interpretata sulla base dell'ultima riga _UNITS letta.

Il default è mm.

_SHAPE

inizio del blocco relativo a una sezione utente da verificarsi con

il verificatore BS

_ENDSHAPE

fine del blocco relativo a una sezione

Ogni altra riga diversa da queste e non compresa tra le righe _SHAPE o _ENDSHAPE deve essere considerata come un commento. Le righe comprese tra _SHAPE ed _ENDSHAPE fanno parte del blocco _SHAPE. Tutto ciò che viene dopo un “;” su una certa riga è considerato commento.

4.3 AISC-ASD

AISC: GUIDA TECNICA

A differenza delle norme CNR, le AISC non distinguono in modo esplicito tra verifiche di resistenza e verifiche di stabilità. Per questo motivo i tabulati si riferiscono ai coefficienti di sfruttamento massimi, definiti dall'applicazione di formule diverse di volta in volta.

Elemento caratteristico delle AISC è l'assumere tensioni ammissibili rapportate alla tensione caratteristica di snervamento, diverse per le varie sollecitazioni elementari.

Occorre distinguere inoltre le sezioni di vario tipo e tra trazione e compressione.

La classificazione delle sezioni (COMPATTA, NON COMPATTA, SNELLA), dipende anche dal campo di tensioni che le sollecita nel tabulato è riportata la sua classificazione corrente per ogni caso di carico e per ogni asta. Nell'eseguire le verifiche sui rapporti larghezza spessore, le aste vengono

classificate a prescindere dalle sollecitazioni; nel corso delle verifiche vere e proprie, invece, tale classificazione tiene in conto l'effettiva distribuzione di tensione. infatti, la classificazione automatica viene eseguita prima della soluzione del sistema risolvante, facendo l'ipotesi che il campo di tensioni sollecitante sia il peggiore tra quelli possibili. È possibile che gli effettivi campi di sforzo non comportino una classificazione così onerosa: in tal caso, nei tabulati di output si potrà verificare l'effettiva classificazione della sezione caso di carico per caso di carico.

Sono stati implementati i seguenti paragrafi delle norme AISC/90:

Cap A

Cap B: B5

Cap D: D1, D2, D3

Cap E: E1, E2, E3, E4

Cap F: F4, F11, F12, F13, F21, F22, F31, F32

Cap H: H1, H2

Le sezioni che risultano nel corso dei calcoli "snelle" non vengono verificate da SARGON. Per queste sezioni infatti, la sezione geometrica non è interamente reagente, in quanto alcuni elementi si imbozzano. Il fatto che una sezione sia classificata snella, ancorchè consentito, deve essere considerato di per sé un indice di pericolo.

Le norme AISC prevedono un coefficiente amplificativo per le tensioni ammissibili, pari a 1.333 per le condizioni di carico di tipo VENTO o SISMA. Nell'applicazione di questi coefficienti valgono regole analoghe a quelle specificate per le CNR. Se non si vuole introdurre il coefficiente amplificativo, basta dichiarare di un tipo diverso la condizione di carico.

I carichi TERMICI non godono della predetta amplificazione.

Per quanto riguarda il **par. H1**, relativamente al calcolo dei coefficienti C_m , il programma assume quanto segue:

- a) se il momento varia linearmente e K è minore o eguale ad 1 $C_m = 0.6 - 0.4 (M1/M2)$;
- b) se il momento varia non linearmente e K è minore o eguale ad 1, $C_m=1.$; se K è maggiore di 1 $C_m= 0.85$ in ogni caso.

Nel tabulato con le verifiche vengono date delle informazioni utili per risalire ai calcoli fatti dal programma. Il numero Nver indica la causa che ha determinato un certo coefficiente di sfruttamento. Il

numero può assumere i valori 0-8.

Se il numero è 0 ciò significa che la sezione o il materiale non sono stati attribuiti.

Se il numero è 1 la formula è la H1-3, valida per pressoflessione con blanda compressione.

Se il numero è 2 la formula è quella relativa al paragrafo F4 (sfruttamento a taglio).

Se il numero è 3 la formula è la H1-1 o la H1-2 (pressoflessione).

Se il numero è 4 il pericolo deriva dalla snellezza locale eccessiva (sezioni SLENDER, snelle).

Se il numero è 5 si è in tensoflessione (formula H2-1).

Se il numero è 6 si è in compressione pura (formula E2-1, E2-2).

Se il numero è 7 si è in tensione pura (formula di capitolo D).

Se il numero è 8 si è in tensoflessione ma la formula è quella che si riferisce alla piattabanda compressa (cfr. par. H2).

Nella sezione "analitica" del tabulato vengono date le informazioni di dettaglio che riguardano la classificazione della sezione e le tensioni ammissibili per le varie sollecitazioni elementari adottate dal programma. A tal proposito si segnala che l'aggettivo CONTENUTA è la traduzione dell'inglese BRACED, mentre COMPATTA traduce COMPACT.

Le tensioni ammissibili sono rapportate alla tensione di snervamento F_y ; esse sono:

- F_{b2up} , ovvero la tensione ammissibile a compressione nella flangia superiore per flessione attorno all'asse 2.

- F_{b2dn} , ovvero la tensione ammissibile a compressione nella flangia inferiore per flessione attorno all'asse 2.

- F_{b2t} , ovvero la tensione ammissibile a trazione nelle flange, per flessione attorno all'asse 2.

- $Fb3$, ovvero la tensione ammissibile per flessione attorno all'asse 3.

- Fv , ovvero la tensione ammissibile a taglio.

4.4 AISC-LRFD

AISC-LRFD 14ed Guida Tecnica

1 Premessa

La normativa in questione è la AISC LRFD (Load and Resistance Factor Design, in pratica la norma agli stati limite) nella sua 14^a edizione.

Sono stati implementati i seguenti paragrafi della normativa, in tutto o in parte:

B.3.1, B.3.2, B.3.3, B.3.5, B.4.1, B.4.3 (via fattore di riduzione dell'area).

C.1.2

D1.1, D.2, D.3 (via fattore di riduzione dell'area)

E.1, E.2, E.3, E.4, E.5 (l'utente deve modificare il coefficiente di libera inflessione), E.6 (snellezza aggiuntiva pari a 50 o libera nelle sezioni utente), E.7

F.1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9, F10, F11, F12 (via sezioni utente)

G.1, G.2.1, G.4, G.5, G.6, G.7

H1, H3

Appendice 8: 8.2.1

Nel seguito saranno date dettagliate spiegazioni sulle ipotesi ed assunzioni fatte.

2 La trattazione delle verifiche a stabilità

Nella versione 14 delle AISC, il metodo considerato *normale* per la soluzione dei problemi di stabilità è quello indicato come "diretto". In pratica le formule di verifica danno per scontato che sia stata eseguita una analisi del second'ordine, capace di tenere conto sia dell'effetto $P-\Delta$ che dell'effetto $P-\delta$.

Dato che non sembra potersi ancora dire che un tale approccio debba essere considerato, almeno qui in Europa, quello "normale", il verificatore utilizza invece come metodo normale il tradizionale metodo

della lunghezza di libera inflessione, che assume che le sollecitazioni non tengano conto degli effetti anzi detti.

La norma distingue, come anche la teoria, tra effetti $P-\Delta$ ed effetti $P-\delta$.

Effetto $P-\Delta$

I primi effetti del second'ordine (globali, $P-\Delta$) possono essere tenuti in conto per mezzo del coefficiente B_2 , che viene determinato ad ogni diverso piano (si suppone vi siano edifici), in ogni direzione di sbandamento (secondo gli assi principali delle colonne), ed applicato alle azioni applicate al piano corrispondenti in modo da amplificare i momenti di calcolo. B_2 è definito alla formula A-8-6 nel modo che segue:

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\alpha P_{story}}{P_{e,story}}}$$

dove α vale 1 agli stati limite, P_{story} è il carico agente al piano, e $P_{e,story}$ è il carico critico relativo al piano.

L'utente dovrà sincerarsi che valgano le delimitazioni specificate in Appendice 8.1 per la applicabilità di tale metodo. Se tali condizioni sono soddisfatte, potrà incrementare i carichi laterali di piano mediante tale fattore B_2 , *che non viene considerato dal verificatore. E' compito dell'utente garantire che le azioni interne tengano già conto dell'effetto $P-\Delta$.*

In alternativa al metodo che usa il coefficiente B_2 , sarà sufficiente eseguire l'analisi per mezzo di Soclever, che già tiene in conto l'effetto $P-\Delta$.

Effetto $P-\delta$

I secondi effetti del second'ordine (locali, $P-\delta$), possono essere valutati in modo semplificato mediante il coefficiente B_1 , così definito dalla norma al punto A8.1 (formula A-8-3):

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{\alpha P_r}{P_{crit}}}$$

dove C_m è un coefficiente di distribuzione del momento (≤ 1 tranne in rari casi dove può essere di poco maggiore di 1), α vale 1 agli stati limite, P_r è l'azione assiale applicata all'elemento e P_{crit} il carico critico euleriano nella direzione di sbandamento considerata.

Se il momento varia linearmente il coefficiente C_m viene valutato con la formula (eguale a quella anche usata nelle CNR 10011):

$$C_m = 0.6 + 0.4 \frac{M_1}{M_2}$$

dove M1 ed M2 sono il momento minore e maggiore in modulo ed hanno segno eguale se sollecitano a flessione la beam producendo analoga curvatura. Se il momento è costante, $C_m = 1$.

Se il momento varia non linearmente, allora il programma usa la seguente formula:

$$C_m = 1 + \Psi \left(\frac{\alpha P_r}{P_{e1}} \right)$$

dove

$$\Psi = \frac{\pi^2 \delta_0 EI}{M_0 L^2} - 1$$

e dove δ_0 è la freccia nella direzione considerata, E il modulo di Young, I il momento di inerzia nella direzione considerata, M_0 il momento flettente massimo ed L la luce. Si noti che tale formula è identica a quella utilizzata dal [Metodo 1](#) ^[826] di Eurocodice 3. Il programma valuta δ_0 mediante integrazione della linea elastica ($v'' = M/EI$) e supponendo spostamenti nodali nulli agli estremi (freccia locale). Una volta calcolato B1 per ogni elemento compresso (per quelli tesi $B1 = 1$), in ogni diversa combinazione di carico, il programma ne tiene conto moltiplicando per tale valore B1 i momenti flettenti M2 ed M3 nelle verifiche di stabilità.

Se M2 ed M3 sono i momenti del primo ordine applicati in una certa combinazione di carico in una certa sezione, il verificatore usa di fatto invece i momenti amplificati:

$$M2' = B21 \times M2$$

$$M3' = B31 \times M3$$

Con le modifiche introdotte, la verifica a presso flessione diviene molto simile a quella ben nota a chi si è occupato di acciaio sin dai tempi delle CNR 10011.

Non vi sono limitazioni per l'applicazione di tale metodo semplificato che, storicamente, è quello che si è sempre seguito.

3 Tipologie sezionali verificate

Il programma verifica automaticamente le seguenti tipologie sezionali:

1. - Lamine a I o H ad ali eguali

2. - Lamine ad I o H ad ali diseguali
3. - IPN
4. - Saldate ad I o ad H
5. - Tubi circolari (CHS)
6. - RHS
7. - Sezioni a cassone rettangolari o quadrate (HSS) a spigoli vivi
8. - Piatti
9. - Sezioni circolari piene
- 10.- Sezioni a T ottenute per taglio di profili laminati ad I o H
- 11.- Sezioni a T saldate o a spigoli vivi
12. Sezioni a T laminate (con smussi)
- 13.- UPN
- 14.- U con flange a lati non rastremati (UPFC)
- 15.- U saldate o a spigoli vivi
- 16.- Doppie UPN []
- 17.- Doppie UPN]]
- 18.- Angolari
- 19.- Sezioni ad L saldate o a spigoli vivi
- 20.- Doppi angolari _||_
- 21.- Doppi angolari ><
- 22.- Quattro angolari a croce (+)

Per le altre tipologie sezionali (sezioni formate a freddo, sezioni composte da poligonali, sezioni composte generiche), è possibile e necessario istruire il programma sulle modalità di verifica compilando il file AISCDATA.TXT presente nella cartella di installazione del programma. Se un profilo ha il nome coincidente con uno dei nomi delle sezioni presenti nel file AISCDATA.TXT le sue verifiche verranno in ogni caso eseguite mediante le regole delle *sezioni utente*. In una successiva sezione verrà chiarito come scrivere questo file e che verifiche vengono eseguite.

4 Classificazione

La classificazione dei profili viene fatta in accordo alla Tabella B.4.1. Per rendere la classificazione di un profilo svincolata dalla sua esatta conformazione, viene definito il valore limite del parametro ε , *del materiale* tale per cui se il materiale supera il valore di soglia il profilo passa di classe.

Per tutti i profili ad eccezione dei profili circolari cavi,

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

dove E è il modulo di Young del materiale ed f_y la sua tensione di snervamento.

Per i profili circolari cavi invece:

$$\varepsilon = \frac{E}{f_y}$$

Supponiamo ad esempio che debba risultare, per un certo profilo

$$b/t < 0.56\varepsilon$$

affinchè quel profilo sia compatto. Si può definire un valore limite del parametro ε_{lim} tale per cui se

$$\varepsilon > \varepsilon_{lim} = \frac{b}{t} \cdot \frac{1}{0.56}$$

la sezione è compatta, altrimenti è non compatta.

Se per un certo profilo $b/t = 15$, allora $\varepsilon_{lim} = 15/0.56 = 26.78$. Se consideriamo un acciaio S235 abbiamo

$\varepsilon = \sqrt{(210000/235)} = 29.89$, e dato che $29.89 > 26.78$ la sezione è compatta. Con un acciaio S355

avremmo invece avuto $\varepsilon = \sqrt{(210000/355)} = 24.32 < 26.78$, ed la sezione sarebbe stata non compatta.

Se una sezione ha più di un ε_{lim} (ad esempio perchè ha una classificazione per le flange ed una per

l'anima) occorre considerare come riferimento il maggiore ai fini della classificazione complessiva.

Ad esempio, per profili ad I laminati semplicemente compressi, il valore di ε_{lim} per considerare per il

limite tra sezione snella e non snella è:

$$\varepsilon_{lim} = \max \left\{ \frac{b_f / t_f}{0.56}, \frac{b_w / t_w}{1.49} \right\}$$

Esistono 5 distinte classificazioni: a compressione, a momento M2 positivo o negativo, a momento M3 positivo o negativo. Inoltre, la norma distingue casi in cui la classificazione della flangia compressa è diversa da quella dell'anima.

La classificazione viene fatta considerando le azioni interne applicate una ad una. Ogni classificazione porta con sé formule di verifica in generale differenti. Per classificare un profilo generico (sezioni utente) basta fornire i valori limite di ε del materiale (indicati con ε_{cN} , ε_{cM2p} , ε_{cM2m} , ε_{cM3p} , ε_{cM3m}) per la soglia non snella/snella in compressione, e per la soglia compatta/non compatta e non compatta/

snella in flessione. I numeri da fornire sono precisamente questi

ecNnss	non snella / snella
ecM2pcnc	compatta /non compatta
ecM2mcnc	compatta /non compatta
ecM2pnsc	non compatta/snella
ecM2mnsc	non compatta/snella
ecM3pcnc	compatta /non compatta
ecM3mcnc	compatta /non compatta
ecM3pnsc	non compatta/snella
ecM3mnsc	non compatta/snella

5 Sezioni slender

Le sezioni *slender* (snelle) vengono trattate in modo differente dalle altre sezioni.

Per quanto riguarda la verifica a compressione semplice è necessario determinare il fattore Q in accordo a quanto sub E 7. Tale calcolo viene svolto automaticamente per le seguenti tipologie sezionali:

1. - Lamine a I o H ad ali eguali
2. - Lamine ad I o H ad ali diseguali
3. - IPN
4. - Saldate ad I o ad H
5. - UPN
6. - U con flange a lati non rastremati (UPFC)
7. - U saldate o a spigoli vivi
8. - Angolari
9. - Sezioni ad L saldate o a spigoli vivi
- 10.- Sezioni a T ottenute per taglio di profili laminati ad I o H
- 11.- Sezioni a T saldate o a spigoli vivi
12. Sezioni a T laminate (con smussi)
- 13.- Tubi circolari (CHS)
- 14.- RHS

15.- Sezioni a cassone rettangolari o quadrate (HSS) a spigoli vivi

16.- Piatti ($Q=1$ sempre)

17.- Sezioni circolari piene ($Q=1$, sempre)

Per le altre sezioni il Q viene posto eguale a 0 e, se la sezione è snella, non viene calcolata (lo sfruttamento viene convenzionalmente posto eguale a 99). In tal caso, è sempre possibile calcolare a parte il Q ed eseguire la verifica trattando la sezione come sezione utente.

Per quanto riguarda la verifica a flessione, il momento limite per sezioni aventi elementi snelli viene calcolato per le seguenti tipologie sezionali:

1. - Lamine a I o H ad ali eguali
2. - Lamine ad I o H ad ali diseguali
3. - IPN
4. - Saldate ad I o ad H
5. - UPN
6. - U con flange a lati non rastremati (UPFC)
7. - U saldate o a spigoli vivi
8. - Angolari
9. - Sezioni ad L saldate o a spigoli vivi
- 10.- Sezioni a T ottenute per taglio di profili laminati ad I o H
- 11.- Sezioni a T saldate o a spigoli vivi
12. Sezioni a T laminate (con smussi)
- 13.- Tubi circolari (CHS)
- 14.- Piatti (momenti sezioni snelle posti eguali a momenti limite elastici)
- 15.- Sezioni circolari piene
- 16.- Doppie UPN \square
- 17.- Doppie UPN][
- 18.- Doppi angolari $_||_$
- 19.- Doppi angolari \times
- 20.- Quattro angolari a croce (+)

Per le altre forme sezionali, i momenti limite per sezioni snelle vengono posti eguali a 0 e la sezione, se snella, non potrà essere verificata a flessione (sfruttamento 99). In questi casi è sempre possibile istruire

il verificatore mediante le "sezioni utente" descritte nel file AISCDATA.TXT.

6 Funzionamento del verificatore (resistenza, stabilità)

Il verificatore distingue tra verifiche a resistenza e verifiche a stabilità.

Le verifiche a resistenza sono:

- verifica a trazione
- verifica a compressione assumendo snellezza nulla (no TB, FB, TFB), ma tenendo conto della instabilità locale (coefficiente Q)
- verifica a taglio senza tener conto della instabilità per taglio (fattore $C_v = 1$)
- verifica a torsione senza tener conto della instabilità
- verifica a flessione senza tener conto dello svergolamento (lateral torsional buckling) ma tenendo conto dello snervamento e della instabilità locale (local buckling).
- verifiche di resistenza combinate senza tener conto della amplificazione dei momenti dovuta all'effetto $P-\delta$.

Le verifiche a stabilità sono:

- verifiche a compressione semplice tenendo conto della instabilità torsionale (TB, torsional buckling), flesso torsionale (TFB, torsional flexural buckling), e flessionale (FB, flexural buckling);
- verifiche a taglio tenendo conto della instabilità per taglio ($C_v < 1$)
- verifiche a torsione tenendo conto della instabilità torsionale
- verifiche a flessione tenendo conto dello svergolamento (lateral torsional buckling)
- verifiche combinate tenendo conto della amplificazione dei momenti dovuta all'effetto $P-\delta$.

Il funzionamento di massima del verificatore è il seguente:

1. Viene dapprima eseguito un ciclo di verifiche a resistenza sulle bielle e sulle travi.
2. Poi viene eseguito un ciclo di verifiche a stabilità su bielle e travi.
3. Infine viene eseguito un ciclo di verifiche a stabilità sui superelementi.

Le verifiche a resistenza o a stabilità vengono eseguite nel seguente modo:

1. Si fanno le verifiche su ogni singola componente di sollecitazione, in questo ordine: N, T2, T3, M1,

M2, M3. Se viene trovato uno sfruttamento elementare maggiore di 1 la verifica si arresta e si passa oltre memorizzando il valore ottenuto.

2. Poi si eseguono le verifiche combinate.

3. Infine viene memorizzato il valore massimo tra tutte le verifiche, elementari e combinate.

Le verifiche a stabilità vengono eseguite in ogni singola sezione dell'asta, per tutte le *nsez_ver* sezioni richieste.

Le verifiche combinate vengono ottenute nel caso della resistenza prendendo il massimo sfruttamento a resistenza (snervamento, local buckling) su ogni singola componente. Nel caso della stabilità le verifiche combinate considerano il massimo sfruttamento, su ogni componente, tra resistenza e stabilità.

6.1 Resistenza: Trazione

Viene eseguita una verifica sulla sezione lorda usando f_y e su quella netta usando f_t . La sezione netta è calcolata impiegando il fattore di riduzione dell'area *ared*, definito in Sargon.

Per quanto riguarda il fenomeno dello shear lag, questo dipende dalle modalità di collegamento e può essere tenuto in conto con un opportuno fattore di riduzione dell'area lorda *ared* da definirsi a cura dell'utente.

6.2 Resistenza: Compressione

A compressione viene verificato se la sezione sia snella o no. Se è snella viene calcolato Q (nei casi in cui è previsto). Grazie a Q si calcola una tensione di riferimento ridotta e con questa si esegue la verifica senza considerare l'instabilità flessionale e torsionale (snellezze nulle).

6.3 Resistenza: Taglio

Definito il modulo di resistenza a taglio per il taglio T2 e per il taglio T3, $Aw2$ ed $Aw3$, si raffronta la tensione di calcolo con quella limite di progetto ($\phi 0.6f_y$). Se il modulo di resistenza a taglio è nullo la verifica viene saltata.

La verifica a taglio viene eseguita per le seguenti forme sezionali:

1. - Lamine a I o H ad ali eguali
2. - Lamine ad I o H ad ali diseguali
3. - IPN
4. - Saldate ad I o ad H
5. - Tubi circolari (CHS)
6. - RHS
7. - Sezioni a cassone rettangolari o quadrate (HSS) a spigoli vivi

- 8. - Piatti
- 9. - Sezioni circolari piene
- 10.- Sezioni a T ottenute per taglio di profili laminati ad I o H
- 11.- Sezioni a T saldate o a spigoli vivi
- 12. Sezioni a T laminate (con smussi)
- 13.- UPN
- 14.- U con flange a lati non rastremati (UPFC)
- 15.- U saldate o a spigoli vivi
- 16.- Doppie UPN []
- 17.- Doppie UPN][
- 18.- Angolari
- 19.- Sezioni ad L saldate o a spigoli vivi
- 20.- Doppi angolari $_||$
- 21.- Doppi angolari $\times<$
- 22.- Quattro angolari a croce (+)

6.4 Resistenza: Torsione

Definito il modulo di resistenza a torsione, si raffronta la tensione di calcolo con quella limite di progetto ($\phi 0.6f_y$). Se il modulo di resistenza a torsione è nullo la verifica viene saltata.

6.5 Resistenza: Flessione

Non è prevista interazione tra flessione e taglio. Il momento applicato nella sezione in esame della membratura viene confrontato con il momento limite, che è stato calcolato in precedenza in funzione della classe del profilo, e della sua tipologia. Il momento limite di progetto dipende anche dal segno del momento applicato. Nella verifica di resistenza si considerano tutti gli stati limite del capitolo F ad eccezione dello svergolamento (lateral torsional buckling) che viene esaminato nel successivo ciclo di verifica a stabilità.

Per quanto riguarda i profili a C essi non sono apparentemente trattati per la flessione secondo l'asse forte se non quando sono compatti (sezione F2). Il programma estende la loro verifica anche ai casi non compatto e snello mediante analogia con i profili a I (sezioni F4 ed F5).

Per quanto riguarda i profili angolari laminati o saldati, la verifica a flessione viene fatta attorno agli assi principali e non attorno agli assi geometrici.

6.6 Interazione a resistenza

Si usano per tutti i profili le formule H1-1a e H1-1b, ma senza amplificare i momenti con i coefficienti B1 della appendice 8. Per i profili cavi, se e solo se lo sfruttamento a torsione supera 0.2 viene anche impiegata la formula H3.6.

6.7 Instabilità per azione assiale di compressione

Vengono eseguite le verifiche per torsional buckling (TB), flexural torsional buckling (FTB), e flexural buckling (FB).

Per gli elementi composti (\square , J , \times , L , +) viene considerata come snellezza aggiuntiva 50 (si intende quanto sub E6 viene indicato con a/r_i). Quindi la snellezza di calcolo è sempre maggiorata di tale valore. Ciò perché il dettaglio sul passo dei calastrelli o delle abbottonature non è noto al verificatore. La snellezza aggiuntiva è applicata sul solo asse 3 per i profili: \square , J , L . E' invece applicata a entrambi gli assi principali per i profili \times e + (due e quattro angolari a croce).

Per quanto riguarda il FB questo viene verificato con le snellezze totali (per i profili composti sommando 50 alla snellezza teorica) mediante le formule E3 o, se la sezione è snella, E7.

Per quanto riguarda il TB ed il FTB, questo viene verificato per tutte le forme sezionali previste ad eccezione dei tubi circolari e gli angolari a lati diseguali. Le formule adottate sono quelle sub E4, limitatamente ai casi di sezioni semplicemente o doppiamente simmetriche.

Per quanto riguarda gli angolari (E5) le prescrizioni relative al calcolo di una snellezza modificata in funzione dei sistemi di attacco, non possono essere implementate dato che il programma non conosce questi sistemi di attacco. Il problema viene risolto modificando il coefficiente di libera inflessione per ritrovare la snellezza indicata in E5. Tale modifica del coefficiente di libera inflessione deve essere a cura dell'utente e precedere le verifiche, in quanto eseguita in Sargon.

E' possibile non eseguire le verifiche a stabilità per TB o TFB ponendo eguale a 0 il coefficiente di libera inflessione β_1 .

E' possibile non eseguire le verifiche a stabilità per FB ponendo eguale a 0 il coefficiente di libera inflessione β_2 o β_3 .

6.8 Instabilità per taglio

Le verifiche vengono eseguite nel caso in cui non ci siano irrigidimenti (G2). La verifica viene eseguita per le seguenti forme sezionali:

- profili a I o ad H in semplice o doppia simmetria, saldati o laminati;
- profili a C laminati o saldati;

- profili a T laminati o saldati;
- sezioni cave RHS e a cassone OSH (spigoli vivi)
- sezioni circolari cave.

6.9 Instabilità per torsione

Questa verifica viene eseguita per questi profili (sezione H3):

- sezioni RHS e a cassone a spigoli vivi (OSH);
- sezioni circolari cave.

6.10 Svergolamento (instabilità per flessione)

La verifica viene eseguita per queste forme sezionali (sezione F, vari sotto capitoli):

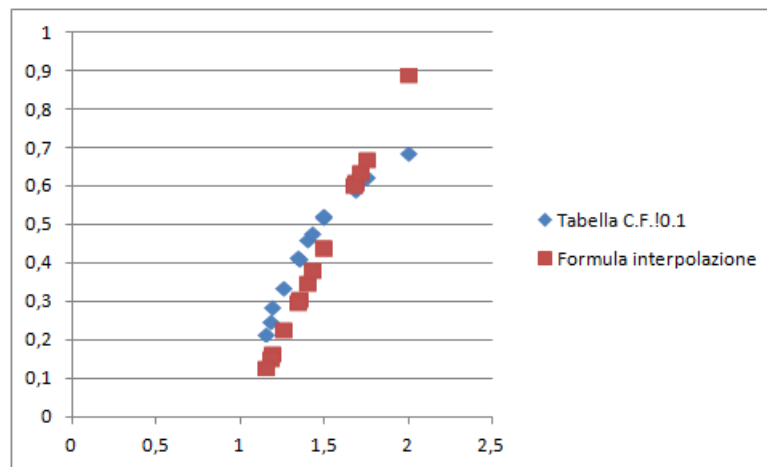
- sezioni ad I o ad H laminate o saldate;
- sezioni a T laminate o saldate;
- sezioni a C laminate o saldate;
- angolari laminati o saldati
- piatti semplici
- sezioni composte a \square e a \square
- sezioni composte a \square

La norma non prevede le verifiche a svergolamento per i profili cavi e per i profili composti da angolari a da UPN, che si suppongono agire solo come puntoni o tiranti. Tuttavia, il verificatore estende la verifica a svergolamento anche a tre di tali tipologie di profili raddoppiando il momento limite valido per profili singoli.

Per quanto riguarda i profili angolari laminati o saldati, a lati diseguali, il parametro β_w nella verifica a svergolamento viene fissato mediante la seguente formula:

$$\beta_w = h(0.9 h/b - 0.9)$$

avendo ipotizzato $h > b$. Se invece $b > h$, allora h e b vanno scambiati. La formula di interpolazione è stata ottenuta utilizzando come riferimento i dati della tabella C-F.10.1. In figura la curva ottenuta (in ascissa h/b , in ordinata β_w):



E' possibile non eseguire le verifiche a stabilità per svergolamento ponendo eguale a 0 il coefficiente di libera inflessione β_1 .

E' sempre possibile eseguire una verifica mediante "sezioni utente".

6.11 Interazione a stabilità

Le formule adottate sono le medesime delle verifiche a resistenza, ma ci sono due differenze:

- la prima è che agli sfruttamenti sul momento M2 ed M3 viene applicato il fattore amplificativo B1, ma solo nel caso in cui si abbia compressione;
- la seconda è che gli sfruttamenti elementari che vengono sommati tengono conto sia delle verifiche di resistenza che di quelle a stabilità, considerando il massimo.

7 Sezioni e verifiche utente

Qualsiasi elemento può essere verificato mediante delle regole stabilite dall'utente, indipendentemente dalla sua forma sezionale. Nella cartella di installazione esiste un file, ASCII, denominato AISCDATA.TXT che elenca i dati di un certo numero di sezioni, dette "sezioni utente". Se l'elemento che si sta verificando ha la sezione che compare in questo file, le regole usate per verificarlo sono quelle delle sezioni utente e non quelle standard. Ciò anche nel caso in cui il profilo sia un profilo standard. La identificazione di un profilo avviene per mezzo del nome ad esso attribuito: se il nome del profilo nel modello Sargon è eguale al nome del profilo nel file AISCDATA.TXT allora quel profilo sarà verificato con le regole dell'utente.

7.1 Generalità

Sargon consente di eseguire le verifiche secondo dati stabilite dall'utente. Ciò è destinato a risolvere due problemi distinti:

- 1) La necessità di poter eseguire le verifiche anche su sezioni non coperte dal verificatore automatico;
- 1) La opportunità di scegliere gli algoritmi di verifica in modo più aderente alla situazione specifica o alle necessità peculiari o alle personali convinzioni del progettista.

Il programma che esegue le verifiche si comporta in modo diverso a seconda che l'elemento da verificare sia dotato di una *sezione standard* o di una *sezione utente*.

Se l'elemento ha una sezione standard esso verrà verificato secondo le regole implementate all'interno del programma, se invece esso ha una sezione non standard allora verrà verificato in accordo alle regole stabilite dall'utente. Per poter decidere se una sezione è standard o no il programma confronta il nome della sezione (spazi e maiuscole-minuscole incluse) con l'elenco delle sezioni utente contenuto nel file **aiscdata.txt**. Se la sezione compare tra quelle utente allora verrà verificata secondo le regole dell'utente, in caso contrario verrà verificata dal programma. **Alcuni tipi sezionali non vengono verificati se non come profili utente**. Questi tipi sono: sezioni generiche, sezioni composte generiche, sezioni formate a freddo generiche o dei tipi previsti (a Z, a C, a omega, ad L) .

Le sezioni non esplicitamente implementate nel verificatore non possono essere verificate se non spiegando al programma come fare, o, per meglio dire, specificando in modo esplicito nel file **aiscdata.txt**, i valori di calcolo da adottarsi per ogni profilo di interesse. I valori di calcolo rilevanti sono sostanzialmente quelli che nel tabulato sono listati sotto la sezione "Shape Data" o "Dati Sezionali", con il significato colà previsto. Qui di seguito si riporta il file **aiscdata.txt** accluso al programma. In questo file è elencato, a titolo di esempio, un solo profilo, il profilo "xHE 220 B", il quale altro non è che il profilo "HE220B". Il nome è stato modificato per la ragione seguente.

Come prima cosa il programma controlla se i profili assegnati agli elementi di un dato modello sono stati descritti nel file **aiscdata.txt**. Se questo è vero, il programma utilizza i dati contenuti nel file **aiscdata.txt**, indipendentemente dal fatto che questo sia un profilo standard. Se invece il profilo non è

I dati del profilo HE220B sono stati messi sotto il nome "xHE220B" per evitare che il programma li legga da file.

Il file AISCDATA.TXT si presenta nel seguente modo, dove la prima parte è una dettagliata legenda che serve a comprendere il significato dei vari termini da introdurre.

Sargon - 1991-2014 - Copyright Castalia srl - Milan - Italy - www.castaliaweb.com

\$ kv3.....	Shear buckling coefficient (taglio limite instabilità asse 3,\$G.2.1)	\$
\$		\$
\$ kind.....	Type (= 1, laminata, = 2 saldata)	\$
\$		\$
\$ lam2.....	Snellezza aggiuntiva sull'asse 2 (par. E6.1)	\$
\$		\$
\$ lam3.....	Snellezza aggiuntiva sull'asse 3 (par. E6.1)	\$
\$		\$
\$ epsilon.....	Radice quadrata di (E/f_y) o (E/f_y) per sez. circ. cave, Table B.4.1	\$
\$		\$
\$ ecNnss.....	Valore limite di epsilon del materiale per far sì che	\$
\$	il profilo compresso sia snello o no	\$
\$ ecM2pcnc.....	Valore limite di epsilon del materiale per far sì che	\$
\$	il profilo soggetto a M2 positivo sia compatto.	\$
\$ ecM2pnsc.....	Valore limite di epsilon del materiale per far sì che	\$
\$	il profilo soggetto a M2 positivo sia non compatto.	\$
\$ ecM2mcnc.....	Valore limite di epsilon del materiale per far sì che	\$
\$	il profilo soggetto a M2 negativo sia compatto.	\$
\$ ecM2mnsc.....	Valore limite di epsilon del materiale per far sì che	\$
\$	il profilo soggetto a M2 negativo sia non compatto.	\$
\$ ecM3pcnc.....	Valore limite di epsilon del materiale per far sì che	\$
\$	il profilo soggetto a M3 positivo sia compatto.	\$
\$ ecM3pnsc.....	Valore limite di epsilon del materiale per far sì che	\$
\$	il profilo soggetto a M3 positivo sia non compatto.	\$
\$ ecM3mcnc.....	Valore limite di epsilon del materiale per far sì che	\$
\$	il profilo soggetto a M3 negativo sia compatto.	\$
\$ ecM3mnsc.....	Valore limite di epsilon del materiale per far sì che	\$
\$	il profilo soggetto a M3 negativo sia non compatto.	\$
\$		\$
\$ ns.....	non snello	\$
\$		\$
\$ nss.....	non snello / snello	\$
\$		\$
\$ cnc.....	compatto / non compatto	\$
\$		\$
\$ ncs.....	non compatto / snello	\$
\$		\$
\$ lb.....	local buckling (classe 4, slender)	\$
\$		\$
\$ Q	Fattore di riduzione per l'area lorda (sezioni in classe 4)	\$
\$		\$
\$ Msl2p.....	Momento limite flessione M2 positiva (slender)	\$
\$		\$
\$ Msl2m.....	Momento limite flessione M2 negativa (slender)	\$

\$		\$
\$ Msl3p.....	Momento limite flessione M3 positiva (slender)	\$
\$		\$
\$ Msl3m.....	Momento limite flessione M3 negativa (slender)	\$
\$		\$
\$ Mns2p.....	Momento limite flessione M2 positiva(non slender)	\$
\$		\$
\$ Mns2m.....	Momento limite flessione M2 negativa (non slender)	\$
\$		\$
\$ Mns3p.....	Momento limite flessione M3 positiva (non slender)	\$
\$		\$
\$ Mns3m.....	Momento limite flessione M3 negativa (non slender)	\$
\$		\$
\$ fy.....	Tensione di snervamento	\$
\$		\$
\$ x0.....	Coordinata x (asse 2) del centro di taglio rif. baricentrico	\$
\$		\$
\$ y0.....	Coordinata y (asse 3) del centro di taglio rif. baricentrico	\$
\$		\$
\$ Cw.....	Costante di ingobbamento (L^6)	\$
\$		\$
\$ Jt.....	Momento di inerzia torsionale (L^4)	\$
\$		\$
\$ Wtor.....	Modulo di resistenza torsionale (L^3)	\$
\$		\$
\$ W2tp	Modulo di resistenza LT piattabanda M2 positivo (L^3) = 0 no LT	\$
\$		\$
\$ W2tn	Modulo di resistenza LT piattabanda M2 negativo (L^3) = 0 no LT	\$
\$		\$
\$ W3tp	Modulo di resistenza LT piattabanda M3 positivo (L^3) = 0 no LT	\$
\$		\$
\$ W3tn	Modulo di resistenza LT piattabanda M3 negativo (L^3) = 0 no LT	\$
\$		\$
\$ rt2p	Raggio di inerzia piattabanda compressa M2 positivo (L) = 0 no LT	\$
\$		\$
\$ rt2m	Raggio di inerzia piattabanda compressa M2 negativo (L) = 0 no LT	\$
\$		\$
\$ rt3p	Raggio di inerzia piattabanda compressa M3 positivo (L) = 0 no LT	\$
\$		\$
\$ rt3m	Raggio di inerzia piattabanda compressa M3 negativo (L) = 0 no LT	\$
\$		\$
\$		\$
\$		\$
\$		\$
\$ _UNITS	mm, cm, m, in, ft, yd - N, daN, kN, kg, t, lb, kip	\$

taglio T3, sono da inserire non nulli solo se si vuole che vengano eseguite verifiche a stabilità (instabilità per taglio). In questo caso, il valore da introdurre è il rapporto h/t ("h over t") per l'anima sollecitata dal taglio T2 o dal taglio T3, rispettivamente. I numeri successivi identificano il fattore k_v per il taglio T2 e T3 rispettivamente. Le formule adoperate sono le G2.3, G2.4 e G2.5.

Instabilità FB (_BUCKL)

Occorre introdurre il tipo (se laminata o saldata) e le eventuali snellezze aggiuntive secondo l'asse 2 e 3 (si veda quanto in E6: $\lambda_{m2} = K_a/r$ per l'asse 2).

Classificazione (_CLASSIFICATIONN, _CLASSIFICATIONM2, _CLASSIFICATIONM3)

Occorre introdurre i limiti di ε discussi al par. 4. Occorre ricordare che la definizione di ε cambia se la sezione è circolare cava.

Resistenza di sezioni snelle o non snelle ad azione assiale e flessione (_NMRESISTANCE)

Questi dati dipendono dalla tensione di snervamento e sono utilizzati solo se le sezioni del modello, oltre ad avere un nome corrispondente, hanno anche il medesimo valore di tensione di snervamento qui indicato. Si possono specificare più schede di questo tipo, ognuna con un differente valore di tensione di snervamento, fino ad un massimo di 10.

I valori indicati nella scheda sono:

Q	rapporto tra la tensione massima utilizzabile e la tensione di snervamento (§E7)
Msl2p	momento limite M2 positivo per sezioni snelle
Msl2m	momento limite M2 negativo per sezioni snelle
Msl3p	momento limite M3 positivo per sezioni snelle
Msl3m	momento limite M3 negativo per sezioni snelle
Mns2p	momento limite M2 positivo per sezioni non snelle (siano esse compatte o non compatte)
Mns2m	momento limite M2 negativo per sezioni non snelle (siano esse compatte o non compatte)
Mns3p	momento limite M3 positivo per sezioni non snelle (siano esse compatte o non compatte)
Mns3m	momento limite M3 negativo per sezioni non snelle (siano esse compatte o non compatte)

I valori qui indicati servono per le verifiche *di resistenza*.

Resistenza a torsione (_TORRESISTANCE)

Occorre indicare il modulo di resistenza a torsione, tale per cui la tensione tangenziale massima risulti:

$$\tau_{\max} = M_t / W_{\text{tor}}$$

Buckling torsionale e flesso torsionale (_TORBUCKLING)

Occorre specificare:

x_0	Coordinata x (ovvero lungo l'asse 2) del centro di taglio rispetto al baricentro
y_0	Coordinata y (ovvero lungo l'asse 3) del centro di taglio rispetto al baricentro
C_w	Costante di ingobbamento
J_t	Momento di inerzia torsionale

Se la sezione è doppiamente simmetrica $x_0=y_0=0$. Se la sezione è semplicemente simmetrica o x_0 o y_0 sono nulli. Se sono non nulli sia x_0 che y_0 la sezione non ha assi di simmetria e la verifica non viene eseguita. Se tutti i valori sono nulli ($x_0=y_0=C_w=J_t$) la sezione non viene verificata a TB o a FTB.

La formula adottata dal programma per calcolare la tensione critica corrispondente è:

- la formula E4-4 se $x_0=y_0=0$.
- la formula E4-5 se x_0 o y_0 sono nulli (e y_0 o x_0 , rispettivamente, no).

La lunghezza di libera inflessione è ottenuta moltiplicando il coefficiente di libera inflessione K_1 per la lunghezza dell'elemento.

Buckling latero torsionale (_LATERALTORSIONAL)

Per le sezioni utente la verifica a svergolamento viene eseguita mediante il metodo della piattabanda compressa. Occorre specificare il raggio di inerzia di tale piattabanda compressa ed il corrispondente modulo di resistenza (considerando, di solito, il baricentro della piattabanda stessa). Dato che in generale lo svergolamento può avvenire sia per flessioni attorno all'asse 2 che per flessioni attorno all'asse 3, occorre specificare per ogni asse sia il raggio di inerzia che il modulo di resistenza. Per fare in modo che la verifica non venga eseguita (su un asse di flessione o entrambi) basta porre eguali a zero sia il raggio di inerzia che il modulo di resistenza.

In definitiva occorre specificare:

rt2p	raggio di inerzia della piattabanda compressa, flessione positiva attorno
------	---

all'asse 2 ($M_2 > 0$);	
rt2m	raggio di inerzia della piattabanda compressa, flessione negativa attorno
all'asse 2 ($M_2 < 0$);	
rt3p	raggio di inerzia della piattabanda compressa, flessione positiva attorno
all'asse 3 ($M_3 > 0$);	
rt3m	raggio di inerzia della piattabanda compressa, flessione negativa attorno
all'asse 3 ($M_3 < 0$);	
W2tp	modulo di resistenza della piattabanda compressa ($\sigma=M/W$, W sempre > 0),
flessione positiva attorno all'asse 2 ($M_2 > 0$);	
W2tm	modulo di resistenza della piattabanda compressa ($\sigma=M/W$, W sempre > 0),
flessione negativa attorno all'asse 2 ($M_2 < 0$);	
W3tp	modulo di resistenza della piattabanda compressa ($\sigma=M/W$, W sempre > 0),
flessione positiva attorno all'asse 3 ($M_3 > 0$);	
W3tm	modulo di resistenza della piattabanda compressa ($\sigma=M/W$, W sempre > 0),
flessione negativa attorno all'asse 3 ($M_3 < 0$);	

Il metodo implementato dal programma è quello della formula seguente:

$$M_{b,lim} = C_b W \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L}{r_t}\right)^2}$$

dove C_b è il coefficiente di distribuzione del momento flettente (≥ 1), W è il modulo di resistenza della piattabanda compressa, L la lunghezza di libera inflessione torsionale e r_t il raggio di inerzia della piattabanda compressa.

8 Il tabulato

Il tabulato è composto di varie sezioni, ciascuna delle quali adempie un compito preciso.

La prima sezione serve a dare informazioni sulle sezioni trasversali adoperate nel modello. Questa sezione elenca:

1. I rapporti larghezza-spessore;
2. I dati sulla resistenza a taglio e se la sezione sia stata riconosciuta come una sezione "utente" o no;
3. I dati sulla resistenza a torsione, sul centro di taglio e sulle proprietà torsionali;
4. I dati relativi allo svergolamento;

5. Il valore di Q ed i valori del momento limite da impiegare per sezioni snelle;
6. I limiti da impiegare ai fini della classificazione per compressione semplice del coefficiente ε ;
7. I limiti da impiegare ai fini della classificazione per flessione attorno all'asse M_2 del coefficiente ε ;
8. I limiti da impiegare ai fini della classificazione per flessione attorno all'asse M_3 del coefficiente ε ;

La seconda sezione elenca i dati relativi alle travi ed alle bielle che possono essere descritti senza conoscere l'effettivo stato di sollecitazione (sono indipendenti dalle combinazioni di verifica). Questa sezione elenca:

1. La tensione di snervamento e la classificazione della sezione per tutte le sollecitazioni elementari;
2. Le massime forze sopportabili dalla sezione a compressione, trazione e taglio;
3. I massimi momenti sopportabili dalla sezione a resistenza (snervamento e instabilità locale) secondo l'asse 2 e secondo l'asse 3, al positivo ed al negativo;
4. Le snellezze ed i carichi critici euleriani;
5. Le massime azioni assiali ed i massimi tagli sopportabili dall'elemento a stabilità;
6. I massimi momento torcente e momenti flettenti sopportabili dall'elemento a stabilità nella ipotesi che la distribuzione dei momenti sia costante ($C_b = 1$)

La terza sezione riporta i risultati ottenuti in formato sintetico, ovvero considerando solo il massimo al variare delle combinazioni. Questa sezione elenca:

1. Travi: i massimi coefficienti di sfruttamento a resistenza ed a stabilità, la combinazione in cui si sono verificati, la verifica che li ha prodotti, e la locazione in cui si sono verificati (ascissa adimensionale c_{si} compresa tra 0 ed 1);
2. Bielle: i massimi coefficienti di sfruttamento a resistenza ed a stabilità, la combinazione in cui si sono verificati, la verifica che li ha prodotti, e la locazione in cui si sono verificati (ascissa adimensionale c_{si} compresa tra 0 ed 1);

La quarta sezione riporta i risultati in forma analitica, vale a dire per ogni combinazione. Questa sezione elenca:

1. Travi e bielle: i massimi coefficienti di sfruttamento a resistenza ed a stabilità, la combinazione in cui si sono verificati, la verifica che li ha prodotti, e la locazione in cui si sono verificati (ascissa adimensionale c_{si} compresa tra 0 ed 1);
2. Per gli elementi beam i coefficienti C_b e C_m , nonché B_1 per ogni beam e ogni combinazione di carico. Dato che questi coefficienti possono riferirsi sia alla flessione attorno all'asse 2 che alla flessione attorno all'asse 3, in ulteriore numero (2 o 3) identifica l'asse (C_{b2} , C_{b3} , C_{m2} , C_{m3} , B_{12} ,

B13).

3. Per gli elementi beam gli sfruttamenti elementari calcolati a N, T2, T3, M1, M2 (prima della amplificazione con B1), M3 (prima della amplificazione con B1): sfrN, sfrT2, sfrT3, sfrM1, sfrM2, sfrM3.

```
#####
#
#   Vers. 10.3 - Copyright (c)1991-13 Castalia srl. Tutti i diritti riservati.
#
#####
```

```
#####
#                               DATI SEZIONALI DI CALCOLO                               #
#####
#
#                               LEGENDA                               #
#
#####
#
# Aw2.....Area resistente a taglio, taglio T2 ($ G2)
#
# Aw3.....Area resistente a taglio, taglio T3 ($ G2)
#
# Cw.....Costante di ingobbamento (L^6)
#
# epsilon .....SQRT(E / py) o (E / py) per tubi circolari, Tabella B4
#
# ecNnss.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che
#               il profilo compresso sia non snello.
#
# ecM2pcnc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che
#               il profilo soggetto a M2 positivo sia compatto.
#
# ecM2pnsc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che
#               il profilo soggetto a M2 positivo sia non compatto.
#
# ecM2mcnc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che
#               il profilo soggetto a M2 negativo sia compatto.
#
# ecM2mnsc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che
#               il profilo soggetto a M2 negativo sia non compatto.
#
# ecM3pcnc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che
```

```

#           il profilo soggetto a M3 positivo sia compatto.      #
# ecM3pnsc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che #
#           il profilo soggetto a M3 positivo sia non compatto.  #
# ecM3mcnc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che #
#           il profilo soggetto a M3 negativo sia compatto.      #
# ecM3mnsc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che #
#           il profilo soggetto a M3 negativo sia non compatto.  #
#
# hotw2.....Rapporto altezza/spessore per l'anima. Utile per    #
#           il calcolo del taglio limite T2 ($ G2)              #
#           Se = 0 non applicabile o non necessario              #
#
# hotw3.....Rapporto altezza/spessore per l'anima. Utile per    #
#           il calcolo del taglio limite T3 ($ G2)              #
#           Se = 0 non applicabile o non necessario              #
#
# Jt .....Momento di inerzia torsionale (L^4)                   #
#
# kv2 .....Fattore per epsilon taglio T2 (G2-x)                 #
#
# kv3.....Fattore per epsilon taglio T3 (G2-x)                 #
#
# lam2.....Snellezza aggiuntiva sull'asse 2 (a/ri $ E6)         #
#
# lam3.....Snellezza aggiuntiva sull'asse 3 (a/ri $ E6)         #
#
# M2slp.....Momento M2 positivo se sezione snella            #
#
# M2slm.....Momento M2 negativo se sezione snella            #
#
# M3slp.....Momento M3 positivo se sezione snella            #
#
# M3slm.....Momento M3 negativo se sezione snella            #
#
# Q .....Fattore di riduzione della tensione per profili       #
#           compressi snelli ($ E7)                             #
#
# rt2p .....Raggio di inerzia della piattabanda compressa,      #
#           verifiche a svergolamento. Momento M2 positivo.    #
#           Se nullo non c'è svergolamento o profilo standard.  #
#
# rt2m .....Raggio di inerzia della piattabanda compressa,      #
#           verifiche a svergolamento. Momento M2 negativo.    #
#           Se nullo non c'è svergolamento o profilo standard.  #

```



```
#
# rt3p .....Raggio di inerzia della piattabanda compressa,
#             verifiche a svergolamento. Momento M3 positivo.
#             Se nullo non c'è svergolamento o profilo standard.
#
# rt3m .....Raggio di inerzia della piattabanda compressa,
#             verifiche a svergolamento. Momento M3 negativo.
#             Se nullo non c'è svergolamento o profilo standard.
#
# tmax.....Massimo spessore
#
# U.....Utente: = 1 le proprietà sono definite dall'utente
#
# W2tp .....Modulo di resistenza equivalente della piattabanda
#             compressa, verifiche a svergolamento. Momento M2 pos.
#             Se nullo non c'è svergolamento o profilo standard.
#
# W2tm .....Modulo di resistenza equivalente della piattabanda
#             compressa, verifiche a svergolamento. Momento M2 neg.
#             Se nullo non c'è svergolamento o profilo standard.
#
# W3tp .....Modulo di resistenza equivalente della piattabanda
#             compressa, verifiche a svergolamento. Momento M3 pos.
#             Se nullo non c'è svergolamento o profilo standard.
#
# W3tm .....Modulo di resistenza equivalente della piattabanda
#             compressa, verifiche a svergolamento. Momento M3 neg.
#             Se nullo non c'è svergolamento o profilo standard.
#
# wtt_w .....Rapporto larghezza spessore per anima o altro utile
#
# wtt_flu .....Rapporto larghezza spessore per flangia superiore
#
# wtt_flu .....Rapporto larghezza spessore per flangia inferiore
#
# Wtor .....Modulo di resistenza a torsione
#
# x0.....Coordinata centro di taglio vs baricentro (asse 2)
#
# y0.....Coordinata centro di taglio vs baricentro (asse 3)
#
#
#
#####
```

RAPPORTI LARGHEZZA_SPESSORE

Num.	Nome	wtt_w	wtt_flu	wtt_fld	lam2
1	IPE 100	1.820E+01	4.825E+00	4.825E+00	0.000E+00

lam3

0.000E+00

DATI SULLA RESISTENZA A TAGLIO

Num.	U	Nome	tmax	Aw2	Aw3	hotw2	hotw3	kv2
1	0	IPE 100	5.700E+00	6.270E+02	4.100E+02	4.825E+00	1.820E+01	1.200E+00

kv3

5.000E+00

DATI SU TORSIONE E CENTRO DI TAGLIO

Num.	Nome	Wtor	x0	y0	Cw
1	IPE 100	2.109E+03	0.000E+00	0.000E+00	3.514E+08

Jt

1.202E+04

DATI SULLO SVERGOLAMENTO

Num.	Nome	rt2p	rt2m	rt3p	rt3m	W2tp	W2tm
1	IPE 100	1.479E+01	1.479E+01	0.000E+00	0.000E+00	3.420E+04	3.420E

W3tp

W3tm

+04 0.000E+00 0.000E+00

VALORI EFFICACI SEZIONI SNELLE

Num.	Nome	f_y	Q	M_{2slp}	M_{2slm}	M_{3slp}	M_{3slm}
1	IPE 100	2.750E+02	1.000E+00	9.406E+06	9.406E+06	1.592E+06	1.592E+06

LIMITI DI EPSILON PER COMPRESSIONE

Num.	Nome	ϵ_{Nss}
1	IPE 100	1.221E+01

LIMITI DI EPSILON PER FLESSIONE M2

Num.	Nome	ϵ_{M2pcnc}	ϵ_{M2pnsc}	ϵ_{M2mcnc}	ϵ_{M2mnsc}
1	IPE 100	1.270E+01	1.270E+01	4.825E+00	4.825E+00

LIMITI DI EPSILON PER FLESSIONE M3

Num.	Nome	ϵ_{M3pcnc}	ϵ_{M3pnsc}	ϵ_{M3mcnc}	ϵ_{M3mnsc}
1	IPE 100	1.270E+01	1.270E+01	4.825E+00	4.825E+00

```
#####
#                               #
#          DATI RELATIVI A TRAVI E BIELLE          #
#                               #
#####
#                               #
#          LEGENDA          #
#                               #
#####
#                               #
# Capacità.....Valore di progetto fattorizzato    #
#                               #
# FB.....Instabilità flessionale (flexural buckling) #
#                               #
# TB.....Instabilità torsionale (torsional buckling) #
#                               #
```

```

#                                                                 #
# TFB.....Instabilità flessio-torsionale (flexural-torsional) #
#                                                                 #
# -----#
#                                                                 #
# clN.....Classe a compressione (1-4)      | 1 : compatta      #
#                                                                 #
# clM2m.....Classe a momento M2 negativo   | 2 : ---             #
#                                                                 #
# clM2p.....Classe a momento M2 positivo   | 3 : non compatta      #
#                                                                 #
# clM3m.....Classe a momento M3 negativo   | 4 : snella            #
#                                                                 #
# clM3p.....Classe a momento M3 positivo   #
#                                                                 #
# clMax.....Classe massima                  #
#                                                                 #
# E.....Modulo di elasticità                #
#                                                                 #
# lam1.....Snellezza totale per svergolamento #
#                                                                 #
# lam2.....Snellezza totale sbandamento attorno all'asse 2    #
#                                                                 #
# lam3.....Snellezza totale sbandamento attorno all'asse 3    #
#                                                                 #
# Mb2p.....Capacità momento M2 positivo (svergolamento, Cb=1, $F) #
#                                                                 #
# Mb2m.....Capacità momento M2 negativo (svergolamento, Cb=, $F1) #
#                                                                 #
# Mb3p.....Capacità momento M3 positivo (svergolamento, Cb=1, $F) #
#                                                                 #
# Mb3m.....Capacità momento M3 negativo (svergolamento, Cb=1, $F) #
#                                                                 #
# Mc2m.....Capacità a momento M2 negativo (no svergolamento, $F) #
#                                                                 #
# Mc2p.....Capacità a momento M2 positivo (no svergolamento, $F) #
#                                                                 #
# Mc3m.....Capacità a momento M3 negativo (no svergolamento, $F) #
#                                                                 #
# Mc3p.....Capacità a momento M3 positivo (no svergolamento, $F) #
#                                                                 #
# Mt.....Capacità a torsione (H)              #
#                                                                 #
# Mtr.....Capacità a torsione (instabilità, H3) #

```

```

#                                                                 #
# Pc.....Capacità a compressione (no FB, TFB, TB, , $E)      #
#                                                                 #
# Pccr1.....Capacità a compressione (TB o TFB asse 1) se = 0 non #
#               impiegata o instabilità impedita, $E           #
#                                                                 #
# Pccr2.....Capacità a compressione(FB asse 2) se =0 non impiegata #
#               o instabilità impedita, $E                     #
#                                                                 #
# Pccr3.....Capacità a compressione(FB asse 3) se =0 non impiegata #
#               o instabilità impedita, $E                     #
#                                                                 #
# Pccr.....Capacità finale a compressione (FB, TFB, FB, $EF)  #
#                                                                 #
# Pel2.....Carico critico euleriano (asse 2, $E3-4)           #
#                                                                 #
# Pel3.....Carico critico euleriano (asse 3, $E3-4)           #
#                                                                 #
# Pt.....Capacità a trazione ($D)                             #
#                                                                 #
# Pv2.....Capacità a taglio (T2) se Cv = 1 (no instabilità, $G) #
#                                                                 #
# Pv3.....Capacità a taglio (T3) se Cv = 1 (no instabilità, $G) #
#                                                                 #
# Pvcr2.....Capacità a taglio per instabilità (T2, $G, Cv != 1) #
#                                                                 #
# Pvcr3.....Capacità a taglio per instabilità (T3, $G, Cv != 1) #
#                                                                 #
# py.....Resistenza di progetto dell'acciaio                 #
#                                                                 #
#                                                                 #
#                                                                 #
#####

```

Trave Sezione	py	clN	clM2p	clM2m	clM3p	clM3m
1 IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1
2 IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1
3 IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1
4 IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1

5	IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1
6	IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1
7	IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1
8	IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1
9	IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1
10	IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1

Trave	Sezione	Pc	Pt	Pv2	Pv3
1	IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04
2	IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04
3	IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04
4	IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04
5	IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04
6	IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04
7	IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04
8	IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04
9	IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04
10	IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04

Trave	Sezione	Mt	Mc2p	Mc2m	Mc3p	Mc3m
1	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
2	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
3	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
4	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
5	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
6	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
7	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
8	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
9	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
10	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06

Trave	Sezione	lam1	lam2	lam3	Pe12	Pe13
1	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07
2	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07
3	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07
4	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07
5	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07

6	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07
7	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07
8	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07
9	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07
10	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07

Trave	Sezione	Pccr1	Pccr2	Pccr3	Pccr	Pvcr2
	Pvcr3					
1	IPE 100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
	1.035E+05					
2	IPE 100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
	1.035E+05					
3	IPE 100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
	1.035E+05					
4	IPE 100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
	1.035E+05					
5	IPE 100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
	1.035E+05					
6	IPE 100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
	1.035E+05					
7	IPE 100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
	1.035E+05					
8	IPE 100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
	1.035E+05					
9	IPE 100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
	1.035E+05					
10	IPE 100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
	1.035E+05					

Trave	Sezione	Mtcr	Mb2p	Mb2m	Mb3p	Mb3m
1	IPE 100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00
2	IPE 100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00
3	IPE 100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00
4	IPE 100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00
5	IPE 100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00
6	IPE 100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00
7	IPE 100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00
8	IPE 100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00
9	IPE 100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00

10 IPE 100 3.132E+05 9.075E+06 9.075E+06 0.000E+00 0.000E+00

```
#####
#                                RISULTATI                                #
#####
#                                LEGENDA                                #
#                                #
#####
#                                #
# Trave.....Numero dell'elemento beam                                #
# Biella.....Numero dell'elemento truss                               #
# KR.....Massimo coefficiente di sfruttamento a resistenza           #
# CbR.....Combinazione in cui è stato calcolato KR (o KRi)           #
# ChkR.....Numero di verifica che ha condotto al calcolo di KR (o KRi) #
#                                Vale la seguente codifica:            #
#                                #
#      1      Eccesso di azione assiale                                #
#      2      Eccesso di taglio T2                                     #
#      3      Eccesso di taglio T3                                     #
#      4      Eccesso di M2                                             #
#      5      Eccesso di M3                                             #
#      8      Eccesso di M1                                             #
#     12      Proprietà sezionali invalide o sconosciute               #
#     13      Presso o tenso flessione, bassa N                        #
#     14      Presso o tenso flessione alta N                          #
#     15      Interazione per sezioni cave                             #
#     99      classe 4                                                  #
#                                #
# CsiR.....Ascissa adimensionale (0-1) ove è stato misurato KR (o KRi) #
# KS.....Massimo coefficiente di sfruttamento a stabilità             #
# CbS.....Combinazione in cui è stato calcolato KS (o KSi)           #
# ChkS.....Numero di verifica che ha condotto al calcolo di KS o (KSi) #
#                                Vale la seguente codifica:            #
#                                #
#     21      Compressione                                              #
#     22      Taglio T2                                                 #
#     23      Taglio T3                                                 #
#     24      Torsione                                                  #
#     25      Momento M2                                                #
#     26      Momento M3                                                #
#     27      Presso flessione bassa N                                  #
#     28      Presso flessione alta N                                   #
```


#	29	Interazione per sezioni cave	#
#	12	Proprietà sezionali invalide o sconosciute	#
#	99	Classe 4	#
#			#
#	CsiS.....	Ascissa adimensionale (0-1) ove è stato misurato KS	#
#	KM.....	Sfruttamento massimo tra resistenza e stabilità	#
#	CbM.....	Combinazione ove è stato calcolato KM (o KMi)	#
#	ChkM.....	Numero di verifica corrispondente a KM (o KMi)	#
#	CsiM.....	Ascissa adimensionale (0-1) ove è stato misurato KM o (KMi)	#
#	Combi.....	Numero di combinazione	#
#	KRi.....	Coefficiente di sfruttamento a resistenza in Combi	#
#	KSi.....	Coefficiente di sfruttamento a stabilità in Combi	#
#	KMi.....	Sfruttamento massimo tra resistenza e stabilità in Combi	#
#	B12.....	Coefficiente B1 amplificazione momento M2 (A8.3)	#
#	B13.....	Coefficiente B1 amplificazione momento M3 (A8.3)	#
#	Cb2.....	Coefficiente di distribuzione momento asse 2 (F1-1)	#
#	Cb3.....	Coefficiente di distribuzione momento asse 3 (F1-1)	#
#	Cm2.....	Coefficiente di distribuzione momento asse 2 (A8.2.1)	#
#	Cm3.....	Coefficiente di distribuzione momento asse 3 (A8.2.1)	#
#			#
#####			

RISULTATI IN FORMA SINTETICA

Trave	KR	CbR	ChkR	CsiR	KS	CbS	ChkS	CsiS	KM	CbM	ChkM	CsiM
1	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700
2	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700
3	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700
4	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700
5	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700
6	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700
7	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700
8	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700
9	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700
10	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700

RISULTATI IN FORMA ANALITICA

Trave	Combi	KRi	ChkR	CsiR	KSi	ChkS	CsiS	KMi	ChkM	CsiM
1	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
2	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
3	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
4	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
5	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
6	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
7	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
8	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
9	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
10	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700

Trave	Combi	Cm2	Cm3	Cb2	Cb3	B12	B13
1	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
2	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
3	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
4	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
5	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
6	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
7	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
8	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
9	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
10	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003

Trave	Combi	sfrN	sfrT2	sfrT3	sfrM1	sfrM2	sfrM3
1	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

9 Avvertenze particolari

1- Affinchè un elemento possa essere considerato verificabile dal verificatore, il suo materiale deve rispettare le seguenti delimitazioni:

$$180000 \text{ MPa} < E < 250000 \text{ MPa}$$

$$100 \text{ MPa} < f_y < 1100 \text{ MPa}$$

2- Il verificatore non diminuisce la tensione di riferimento in funzione del massimo spessore dei piatti, come invece prevedono le normative europee, non essendosi trovata alcuna prescrizione a riguardo.

4.5 Eurocode 5 - EN 1995

Eurocodice 5 Guida Tecnica

Situazione Normativa

Al momento in cui si scrive (Aprile 2006) la situazione delle normative non è ancora chiara. Ci sono una serie di documenti che possono fungere da riferimento, questi sono:

L'Eurocodice 5, che nella sua versione finale prEN è stato votato (cfr [3]) nel dicembre 2003. Tale document costituisce il principale riferimento, a nostro giudizio, benché non ne esista ancora la versione in italiano.

La normativa cosiddetta N.I.CO.LE. (Norme Italiane Costruzioni in Legno, [2]), che si avvicina di molto all'Eurocodice pur differendo da esso in una serie di punti (si pensa in specie alle regole per la verifica di instabilità a pressoflessione e svergolamento, ma non solo). Questo document è in italiano. Come il precedente non può essere considerato come norma in vigore. E' però un document importante, poiché lungamente meditato e poiché di fatto costituisce una specie (pur con le differenze del caso) di traduzione dell'Eurocodice 5.

Le NTC ([1], par. 5.3), che sono di fatto inservibili *in sé* poiché non specificano cose fondamentali come le curve o le formule di stabilità, e adottano, in alcune parti cogenti, valori diversi sia da EC5 sia da NICOLE (cfr. ad esempio i valori dei coefficienti γ_M , eguali a 1.35 anziché variabili tra 1.30 e 1.20). Poiché le NTC non sono sufficienti per le verifiche (mancando indicazioni su aspetti fondamentali) ci si chiede a che scopo emanarle con la prescrizione di alcuni

fattori aventi valori diversi da quelli delle norme esistenti. Le NTC possono essere applicate solo interpretandole come una serie di correzioni da dare all'Eurocodice 5 o al document NICOLE, ed in questo ultimo modo sono state interpretate al fine di scrivere il software di verifica.

A questa lista occorre aggiungere la versione 1993 dell'EC5 (la cosiddetta versione ENV), che è peraltro l'unica versione dell'eurocodice presentemente tradotta in italiano. Tale versione è superata e non dovrebbe essere usata come riferimento.

Stabilito che per le strutture in legno le NTC sono inservibili in sé ed in contrasto con le altre (anche se sono le uniche norme formalmente emanate!), la scelta sembra essere limitata tra document NICOLE ed Eurocodice, peraltro molto simili.

Le due norme differiscono almeno per quanto è indicato nella tabella seguente, integralmente tratta dal document [3], che illustra la proposta di applicazione nazionale dell'Eurocodice 5, tuttora in fase di inchiesta pubblica.

Pag. Final draft PrEN 1995- 1-1	Riferimento	Oggetto	Proposta EN	Proposta ENV	Proposta NICOLE	Proposta UNI/CIS/SC5	Proposta Gruppo di lavoro
22	2.3.1.2(2)P tavola 2.2 Assegnazione di carichi alle classi di durata del carico	neve	medium term – short term	Medio termine – breve termine	Breve termine – (medio termine)	Medio termine per $q_{sk} \leq 2,0$ kN/m ² Breve termine per la parte di carico che eccede 2,0 kN/m ²	Medio termine per $q_{sk} \leq 2,0$ kN/m ² Breve termine per la parte di carico che eccede 2,0 kN/ m ²
		vento	Short term - instantaneous	Breve termine - istantaneo	Istantaneo	Istantaneo	Istantaneo
22	2.3.1.3(1)P Assegnazione delle strutture alle classi di servizio	classi di servizio	Fornire esempi in aggiunta alla sola definizione	Solo definizione	Solo definizione	Solo definizione	Solo definizione
24	2.4.1(1)P Coefficienti parziali per le proprietà del materiale – tav 2.3	γ_M	Solid timber 1,3 Glulam 1,25 LVL, plywood 1,2 Connections 1,3	1,3	Massiccio 1,3 Lamellare 1,25 Microlamellare; compensato 1,2 Unioni 1,3	Massiccio 1,3 Lamellare 1,25 Microlamellare; compensato 1,2 Unioni 1,3	Massiccio 1,3 Lamellare 1,25 Microlamellare; compensato 1,2 Unioni 1,3
50	6.4.3(7) Travi a doppia pendenza – travi curve con vertice curvo o a cuspid	Tensione trasversale alle fibre nella zona di vertice $\sigma_{t,90,d}$	Scelta tra due formule alternative 6.54 – 6.55	6.54	6.54	6.54	6.54
56	7.2(2) Valori limiti per la freccia massima	W_{stat} (freccia istantanea) $W_{stat,fin}$ (freccia finale depurata della mouta iniziale) W_{fin} ($W_{stat} + W_{stat,fin}$)	$l/300 - l/500$ $l/250 - l/350$ $l/150 - l/300$	na na $l/200$	na na $l/200$	$l/300$ $l/250$ $l/200$	$l/300$ $l/250$ $l/200$

57	7.3.3(2) Limitazione delle vibrazioni per i piani residenziali	Parametri a, b	0<a<4 50<b<150	a=1,5 mm/kN b=100	na	a=1,0 mm/kN b=120	a=1,0 mm/kN b=120
67	8.3.1.2(4) Connessioni chiodate legno-legno. Regole per i chiodi infissi nelle teste.	Resistenza alle forze laterali	Proposta di considerare anche il contributo dei chiodi infissi "di testa" riducendone la resistenza ad 1/3 § 3.1.2(4)	Proposta del paragrafo 8.3.1.2(4) accettata	Proposta del paragrafo 8.3.1.2(4) accettata	Proposta del paragrafo 8.3.1.2(4) accettata	Proposta del paragrafo 8.3.1.2(4) accettata
68 69	Connessioni chiodate legno-legno. Specie sensibili allo splitting.	Indicazione delle specie particolarmente sensibili allo splitting per le quali applicare le formule § 18 o § 19	Abete bianco Duglasia	na	na	Abete bianco Duglasia	Abete bianco Duglasia
96	9.2.4.1(7) Metodi per il calcolo delle pareti-diaframma.	Pareti-diaframma. Metodi semplificati per il calcolo. Metodo A (9.2.4.2) Metodo B (9.2.4.3)	Raccomandato: metodo A	Metodo A	Metodo A	Metodo A	Metodo A
104	9.2.5.3(1) Controventamento di sistemi di travi e reticolari.	Fattori di modificazione k_1 per la resistenza k_2 e la rigidità dei sistemi controventanti k_3	4-1 50-80 80-100 30-80	na 50 80 30	na 80 100 30	4 80 100 30	4 60 80 30
109	10.9.2(3) Regole speciali per reticolari con collegamenti a mezzo di piastre dentate.	Limitazione delle deformazioni nella struttura assemblata prima del montaggio $\Delta_{0,0}$ (massima distorsione permanente per singolo componente)	10-50 mm	na	na	20 mm	20 mm
109	10.9.2(4) Regole speciali per reticolari con collegamenti a mezzo di piastre dentate.	Limitazione delle deformazioni nella struttura assemblata prima del montaggio $\Delta_{0,0}$ (massima deviazione della reticolare dal piano verticale)	10-50 mm	na	na	20 mm	30 mm

Tabella 0-1 Comparazione tra i documenti normativi emessi e relativi alle strutture in legno. Tratta da [3].

In questo lavoro si è scelto di riferirsi principalmente al testo dell'Eurocodice 5, poiché tale testo è un document europeo sul quale vi è stato un ampio accordo.

Citiamo infatti da [3]:

L'Eurocodice 5 nella versione EN si presenta con un format molto diverso da quello della versione ENV - in effetti nessuno dei componenti del PT originale ha fatto parte del PT di conversione. Il documento che ne è uscito raccoglie i commenti fatti durante il periodo di inchiesta pubblica più altri commenti avanzati in itinere dai vari Paesi durante i lavori della SC5.

I vari *background documents* sono stati sistematicamente vagliati a livello internazionale, secondo una tradizione ormai consolidata nel "mondo" delle Strutture di Legno durante i meeting annuali della Commissione W18 del CIB.

I Nationally Determined Parameters (NDPs) sono comunque solo 12, a testimonianza del fatto che c'è stato una notevole comunità di vedute fra gli esperti dei vari Paesi.

Data la sostanziale somiglianza tra l'approccio proposto da Eurocodice 5 e dal document Nicole, il programma di verifica è stato approntato per entrambe le normative. Per quanto riguarda le NTC, anche queste sono state approntate, intendendole come un insieme di correzioni al metodo generale di EC5 (vedremo dove) che però resta sostanzialmente invariato.

Relativamente alla situazione delle Norme nel nostro Paese, c'è solo da sperare che un approccio più serio e più responsabile prenda finalmente piede, in modo da evitare situazioni di parossismo confusionario come quelle attualmente in essere.

Modalità di calcolo

Premessa

L'Eurocodice 5 è una norma basata sul metodo degli stati limite. Invero, per lunga tradizione, il metodo delle tensioni ammissibili continua a mantenere la sua importanza, e gli stessi normatori dichiarano che (cfr. [3])

Il coefficiente di sicurezza γ_M è stato calibrato in modo da avere mediamente gli stessi dimensionamenti che si hanno attualmente con il metodo delle tensioni ammissibili.

Nel caso delle norme per il legno, in verità, l'esistenza di metodi tradizionalmente consolidati basati sul calcolo delle tensioni ha lasciato più che altrove tracce visibili. Quando parleremo dei domini di resistenza, sarà messa in luce una certa anomalia delle formule di verifica, anomalia dovuta, secondo chi scrive, al non completo distacco dall'antico metodo delle tensioni ammissibili. Il cuore del problema è che le formule di verifica dovrebbero essere formule riferite a domini limite sulla sezione, e non al calcolo di tensioni (o indici di cimento) nel singolo punto. Poiché però questi domini limite sono ancora espressi mediante tensioni, può sorgere il ragionevole dubbio di dover usare tensioni nel punto piuttosto che azioni interne globalmente agenti sulla sezione della membratura.

Il metodo degli stati limite è dettagliatamente codificato, e comporta da un lato l'amplificazione dei carichi attesi, dall'altro la riduzione delle resistenze.

Per prima cosa occorrerà mettere a punto un certo numero di combinazioni di verifica adottando le regole di combinazione degli Eurocodici. L'argomento si presta ad una certa confusione, spesso favorita da formule scritte in maniera scorretta sia nelle norme che sui libri. Si ritiene pertanto utile dedicare a questo problema una successiva sezione in modo da fare un po' di chiarezza su alcuni aspetti fondamentali.

Il modello di calcolo da adottare è nella maggioranza dei casi un modello doppiamente lineare: lineare come modello costitutivo per il materiale e lineare per l'ipotesi di piccoli spostamenti che consente di non avere la cosiddetta "non linearità geometrica". In altre parole normalmente non è necessario tenere in conto il fatto che la vera configurazione di equilibrio non è quella "iniziale" ma solo quella raggiunta dopo aver applicato il carico. Le forze applicate, infatti, possono provocare effetti non correttamente valutati usando la configurazione iniziale come riferimento. Un classico esempio è quello della colonna pressoinflessa: il braccio acquisito dalla forza assiale dopo la flessione può portare a flessioni ulteriori (effetto P- Δ , "pi-delta") con incremento dei momenti flettenti rispetto a quelli valutati nella configurazione indeformata.

L'EC5 non dà precise indicazioni quantitative per decidere se usare un approccio totalmente lineare (calcoli del primo ordine privi di non linearità geometrica) o se usare calcoli del secondo ordine (ovvero calcoli che considerino la non linearità geometrica). Occorrerà quindi valutare se usare un

approccio del secondo ordine sulla base dei risultati di deformabilità ottenuti mediante una analisi “normale”, e mediante regole di buona pratica ingegneristica come il controllo di spostamento e la stima degli effetti “del second’ordine”.

Stati limite

Inquadramento

Il metodo di calcolo proposto dall'Eurocodice 5 è come si è detto un metodo di calcolo basato sugli stati limite.

Non è questa la sede per una dettagliata esposizione del metodo semiprobabilistico agli stati limite, qui basti riepilogare le idee fondamentali, rimandando ad altri testi i necessari approfondimenti.

La struttura deve essere verificata sia per gli stati limite di servizio che per gli stati limite ultimi.

Negli stati limite di servizio si verifica che gli spostamenti attesi sulla struttura siano compatibili con certe prefissate soglie di spostamento massimo. Nel calcolare questi spostamenti si deve tenere in conto sia l'effetto dello scorrimento delle unioni, sia l'effetto della viscosità, che aumenta con l'aumentare della umidità media dell'ambiente ove si trova la struttura (classe di servizio). Devono altresì essere verificati i livelli delle vibrazioni attesi sulla struttura.

Negli stati limite ultimi occorre verificare la struttura, in tutte le sue parti, all'equilibrio globale e parziale, alla resistenza ed alla stabilità, mettendo in conto tutte le possibili azioni interne e tutte le possibili modalità di instabilità. Una particolare cura va adoperata nel sincerarsi che la struttura possa essere calcolata con metodi del primo ordine, in caso contrario occorrerà risolvere un problema di tipo nonlineare.

Nella verifica agli stati limite ultimi le azioni vengono opportunamente amplificate e le resistenze opportunamente ridotte.

Le azioni aventi una origine fisica comune e statisticamente pienamente correlate sono raggruppate in casi di carico. Il valore delle azioni di riferimento è ottenuto in vario modo a seconda della origine fisica delle azioni. Per le azioni naturali esistono studi di tipo statistico, per quelle permanenti si usano spesso valori nominali. In tutti i casi il metodo richiede, in linea di principio, di impiegare valori cosiddetti *caratteristici*, ovvero valori che hanno una certa prefissata piccola probabilità di essere superati. In genere si usano valori caratteristici corrispondenti alla probabilità del 5% di essere superati. I carichi caratteristici sono indicati da un pedice “k”, ad esempio G_k .

Nelle combinazioni di carico le azioni vengono considerate concomitanti e amplificate da fattori che tengono in conto possibili errori o imprevisti. Alle creazione delle combinazioni, un argomento non semplice, è dedicata la prossima sezione 2.3.

Vediamo ora cosa succede sul lato delle resistenze. Anche sul lato delle resistenze si definiscono

dei valori caratteristici, indicati col pedice k, ad esempio R_k . In questo caso si tratta di valori che hanno una ridotta probabilità di essere maggiori dei valori effettivi, mentre hanno il grosso della probabilità (generalmente il 95%) di essere *minori* dei valori effettivi. Nel metodo degli stati limite, generalmente le resistenze caratteristiche vengono divise per opportuni coefficienti di sicurezza γ_M , atti a tenere in conto tutte le possibili circostanze sfavorevoli, in modo da pervenire a resistenze di progetto – indicate dal pedice “d”, design – R_d :

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \quad \text{y0-1}$$

Nel caso delle strutture in legno questa relazione generale viene ulteriormente corretta per aggiungere un nuovo fattore minore di 1, che prende il nome di K_{mod} , il quale riduce ulteriormente le resistenze per tener conto dell’ambiente nel quale si trova ad operare la struttura, ambiente che può portare a ben differenti prestazioni il medesimo materiale. La regola che fa passare dai valori caratteristici a quelli di progetto è pertanto la seguente:

$$R_d = K_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M} \quad \text{y0-2}$$

La regola, sebbene meno nota, è un caso generale previsto esplicitamente nell’Eurocodice 0, [9], nella seguente forma

$$X_d = \eta \frac{X_k}{\gamma_M}$$

Per il coefficiente η viene detto:

“ η è il valor medio del fattore di conversione che tiene in conto effetti di volume e di scala, effetti dell’umidità e della temperatura e ogni altro parametro rilevante.”

Nel successivo paragrafo 2.4.5 verrà chiarito che valori assumere per il coefficiente K_{mod} .

Eurocodice 5

Il valore del coefficiente γ_M è evidentemente molto importante, poiché è una misura del grado di confidenza che il normatore ha nei riguardi del materiale, e penalizza direttamente le sue caratteristiche resistenti.

L’Eurocodice 5 fissa i seguenti valori per γ_M :

Type di legno	Massiccio	Lamellare	LVL, compensato
Valore di γ_M	1,30	1,25	1,2

Tabella 0-2 Valori di γ_M secondo EC5 e N.I.CO.LE.

Nelle combinazioni accidentali (ad esempio le combinazioni sismiche) il valore di γ_M viene posto eguale ad 1. Al momento non esiste ancora un document nazionale approvato a recepimento dell'Eurocodice 5, quindi questi valori sono solo indicativi. Il document NICOLE propone valori identici.

NTC

Relativamente alle NTC [1] va detto che per esse il coefficiente γ_M vale sempre e comunque 1.35.

Type di legno	Massiccio	Lamellare	LVL, compensato
Valore di γ_M	1,35	1,35	1,35

Tabella 0-3 Valori di γ_M secondo NTC

Tali norme non seguono però l'approccio formale dell'Eurocodice 5 e modificano la relazione classica degli Eurocodici, si immagina all'unico fine di creare confusione, nel seguente modo:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_{R,D} \gamma_M} \quad \text{0-3}$$

Ovvero

$$K_{mod} = \frac{1}{\gamma_{R,D}} \quad \text{0-4}$$

I valori di $\gamma_{R,D}$ sono forniti insieme a quelli per K_{mod} , nel par. 2.4.5, infatti, per comprendere come assegnare il valore di K_{mod} (e di $\gamma_{R,D}$) occorre prima introdurre le classi di servizio e la durata dei carichi, cosa che sarà fatta nella sezione relativa al materiale legno 2.4.

Come si può ben comprendere il diverso formalismo introdotto dalle NTC non modifica l'impianto sostanziale fornito dall'Eurocodice 5, ma si limita a confondere un po' le acque. Di fatto è possibile fare dei calcoli in aderenza alle NTC semplicemente usando l'impianto generale dell' EC5, ma ridefinendo i valori di γ_M e di K_{mod} in modo che questi sposino le richieste delle NTC in termini di resistenze di progetto. Tale è il metodo seguito dal software allegato nel CD.

Introduzione alla modellazione del materiale legno

Alcune peculiarità del materiale legno

Il legno non è un materiale isotropo, né elastico, né omogeneo. Il comportamento del legno dipende da una moltitudine di fattori, tra i quali enumeriamo brevemente, ai nostri fini, principalmente i seguenti:

- La presenza di difetti
- L'umidità dell'ambiente ove il legno si trova
- La durata del carico che deve sopportare
- La direzione dello sforzo rispetto a quella della fibratura
- La tipologia del materiale (legno massiccio, legno lamellare, legno microlamellare, ecc.).

Sensibilità ai difetti

Il materiale legno è un materiale biologico e pertanto intrinsecamente dotato di irregolarità di varia specie. Tali irregolarità (mancanza di rettilineità, presenza di nodesità, fessurazioni, inclusioni, legni di reazione ecc., cfr [6]) contribuiscono certamente a modificare anche le proprietà meccaniche. A questi difetti di natura endogena si sommano difetti causati da agenti esterni al legno (e quindi di natura esogena), tipicamente attacchi da parte di insetti, batteri funghi e microrganismi in genere (attacchi *biotici*) e attacchi dovuti ad agenti chimici o chimico-fisici presenti nell'ambiente (attacchi *abiotici*).

Nonostante ciò il legno è un materiale da costruzione che presenta numerosi indiscutibili vantaggi, come un favorevolissimo rapporto tra resistenza e peso, e valori di resistenza anche molto significativi. Può forse risultare sorprendente che, nonostante tutte le cause che rendono il legno così poco omogeneo, e comunque di così complesso studio, il Normatore abbia scelto di assegnare al fattore γ_M , vero e proprio termometro della fiducia attribuita al materiale da parte della collettività, valori comunque ben più bassi (1.25-1.35), e quindi più favorevoli, di quelli attribuiti al calcestruzzo (1.5-1.6). A tale riguardo è utile la seguente osservazione, tratta da [3]:

Il coefficiente di sicurezza γ_M è stato calibrato in modo da avere mediamente gli stessi dimensionamenti che si hanno attualmente con il metodo delle tensioni ammissibili. In relazione al confronto col coefficiente di sicurezza, più alto, adottato per il calcestruzzo, si ritiene di esporre quanto segue:

1. Ogni pezzo strutturale ligneo prima della messa in opera, per rientrare nel campo di applicazione dell'Eurocodice, deve essere sottoposto a "prova" ed assegnato ad una precisa classe di qualità che ne identifica le prestazioni di resistenza alle varie sollecitazioni (classificazione secondo la resistenza). Conseguenza: viene meno l'incertezza sulla corrispondenza tra la resistenza dei provini sottoposti a prova e quella del materiale posto in opera, i.e. differenza fra la resistenza del calcestruzzo dei cubetti e quella del calcestruzzo del getto in opera.
2. Le resistenze del legno alle varie sollecitazioni meccaniche vengono ricavate dai risultati di prove sperimentali interpretati sulla base di formule modello che sono le stesse che poi, all'inverso, vengono usate per il calcolo dei valori di progetto delle resistenze in questione. Ad esempio: la resistenza a flessione $f_{m,k}$ di un "tipo di legno" strutturale (identificato da specie, provenienza e categoria) la si ricava sulla base dei risultati di migliaia di prove a flessione per ognuna delle quali il momento di rottura sperimentale viene diviso per il W della sezione. A ritroso, la capacità portante a flessione della sezione di una trave realizzata con un certo tipo di legno, la si ricava moltiplicando la resistenza a flessione $f_{m,k}$ prima trovata, per il W della sezione. Conseguenza: viene meno l'incertezza sul modello di calcolo, e.g. la capacità resistente a flessione di una sezione in c.a. si calcola sulla base della resistenza a compressione del calcestruzzo ricavata da prove su cubetti e su una ipotesi di distribuzione delle tensioni di compressione al di sopra dell'asse neutro.
3. La coda inferiore della distribuzione delle resistenze nel legno strutturale di più corrente utilizzo tende ad essere tronca: infatti meno di tanto un legno classificato secondo la resistenza – e non scartato come troppo difettoso da essere inadatto all'uso strutturale – non può resistere. Conclusione: per un certo "tipo di legno" l'incertezza sui valori minori delle resistenze è ridotta rispetto al calcestruzzo, dove la distribuzione delle resistenze è normale.

Si vede quindi che il fatto di adoperare legni identificati non già semplicemente dalla loro specie botanica (abete, castagno, ecc.) ma soprattutto e fondamentalmente da sigle normate aventi il significato di "classe di resistenza" valutata a priori mediante prove ben specifiche (C30, C24, GL28h, ecc.) ha la fondamentale funzione di scartare a priori tutta una rilevante parte di incertezze, pervenendo quindi a dettagliare materiali che sono già stati assoggettati a sostanziali controlli di qualità.

Nonostante ciò, la presenza di difetti resta un elemento importante nella valutazione quantitativa convenzionale delle resistenze di un legno.

Sulla base di risultati sperimentali e studi condotti a partire dagli anni '40, si è compreso che la presenza di microdifetti o piccoli intagli all'interno della matrice di un qualsiasi materiale, dà luogo a concentrazioni degli sforzi che possono innescare fratture che tendono poi a propagarsi. Poiché la presenza di tali difetti è tanto più probabile quanto più elevato è il volume del materiale allo studio, risulta qualitativamente comprensibile penalizzare i volumi maggiori, o, in alternativa, premiare i volumi minori mediante correzioni delle resistenze caratteristiche valutate, nel primo caso con provini di piccolo volume, nel secondo caso con provini di volume maggiore.

Ad esempio nel caso dell'acciaio, le norme prevedono una diminuzione delle tensioni limite di riferimento nel caso in cui gli spessori superino certe soglie (tipicamente 40 mm). Normalmente le prove

sono eseguite con spessori minori di 40 mm.

Nel caso del legno avviene il viceversa: l'Eurocodice 5 premia, mediante un incremento della resistenza caratteristica, i volumi di legno inferiori a una certa soglia, individuata dalla dimensione trasversale.

In particolare risulta per il legno massiccio la seguente regola di modifica della tensione caratteristica a flessione f_{mk} :

$$f_{mkmod} = k_h f_m$$

Il fattore k_h dipende dal tipo di legno e dalla dimensione della sezione. Per sezioni in legno massiccio, con densità caratteristica inferiore a 700 Kg/mc, ove l'altezza della sezione inflessa sia minore di 150 mm, la tensione caratteristica a trazione può essere amplificata del fattore

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{d} \right)^{0.2} ; 1.3 \right\}$$

Per sezioni di legno lamellare, ove l'altezza sia minore di 600 mm, la tensione caratteristica a trazione può essere amplificata del fattore

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{d} \right)^{0.2} ; 1.15 \right\}$$

Sensibilità alla umidità dell'ambiente

Il livello di umidità dell'ambiente dove la struttura in legno si trova a funzionare incide direttamente sulla sua capacità portante. Ciò accade perché le fibre del legno sono in grado di includere acqua o di espellerla, modificando in questo modo le prestazioni meccaniche.

Un ambiente maggiormente umido comporta una minore resistenza meccanica ed una maggiore deformabilità.

Al fine di tenere in conto l'effetto dell'ambiente sulla resistenza meccanica, l'Eurocodice 5 e la norma Nicole, prevedono un coefficiente denominato k_{mod} , che modifica le normali formule atte a calcolare le resistenze di progetto a partire da quelle caratteristiche. La formula proposta è:

$$R_d = k_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M}$$

Il coefficiente K_{mod} dipende dal tipo di ambiente nel quale la struttura si trova a funzionare e dalla durata del carico applicato.

L'Eurocodice 5 distingue tre distinte *classi di servizio* in funzione dell'ambiente (e quindi della umidità) nella quale la struttura si trova a lavorare.

Classe di servizio 1

L'umidità relativa dell'ambiente non supera il 65% se non per poche settimane all'anno, l'umidità del

legno è in equilibrio con quella dell'aria avente la temperatura media di 20°C. Nella maggior parte dei legni di conifera ciò implica una umidità media inferiore al 12%.

Classe di servizio 2

L'umidità relativa dell'ambiente non supera l' 85% se non per poche settimane all'anno, l'umidità del legno è in equilibrio con quella dell'aria avente la temperatura media di 20°C. Nella maggior parte dei legni di conifera ciò implica una umidità media inferiore al 20%.

Classe di servizio 3

L'umidità relativa dell'ambiente supera quella della classe 2.

Relativamente alle classi di servizio vi è piena identità di definizione tra Eurocodice 5 e document Nicole.

Il document italiano di applicazione dell'Eurocodice 5 (NAD), ancora non approvato ma in fase di studio, reperibile in www.cordinatore.it, propone di assegnare le classi di servizio anche in base ai seguenti possibili esempi:

- Classe 1: strutture al chiuso in zone asciutte e riscaldate
- Classe 2: strutture al chiuso in zone non riscaldate senza particolari fonti di umidità, strutture all'esterno protette dall'acqua
- Classe 3: strutture al chiuso in presenza di forti concentrazioni di umidità; strutture all'esterno esposte a precipitazioni atmosferiche, o comunque all'acqua.

Le NTC non definiscono tre classi di servizio, ma solo 2. La prima coincide di fatto con la prima classe di servizio dell'Eurocodice 5 e delle norme Nicole, la seconda necessariamente con le altre due. Non è chiara a chi scrive la ragione per cui si è modificato quanto così cristallinamente previsto dall'Eurocodice 5 e dalle norme N.I.CO.LE..

Classe di servizio secondo EC5 e Nicole

Classe di servizio secondo

NTC

1

1

2

2

3

2

Tabella 0-4 Corrispondenza tra classi di servizio norme EC5 e NTC

Sensibilità alla durata del carico

La durata del carico ha una notevole importanza nelle verifiche sulle strutture in legno, sia sulle verifiche di resistenza e stabilità, sia sulle verifiche di deformabilità.

La sostanza del problema è che il legno tende ad avere un comportamento mutevole nel tempo anche a parità di carico, e quindi le prestazioni che si possono attendere dipendono dalla durata del tempo di applicazione del carico.

L'Eurocodice 5 e le norme italiane Nicole, prevedono alcune "classi di durata" per le azioni applicate, in base ad una classificazione che è indipendente dalla origine fisica delle azioni (neve, carichi variabili o carichi "permanent").

Le classi di durata previste da queste norme sono descritte nella tabella successiva:

Classe (EC5, Nicole)	Sigla	Lasso di tempo
Carichi permanenti	PE	Più di dieci anni
Carichi di lunga durata	LT	Da sei mesi a dieci anni
Carichi di media durata	MT	Da una settimana a sei mesi
Carichi di breve durata	ST	Meno di una settimana
Carichi istantanei	IN	Istantanei

Tabella 0-5 Classificazione della durata dei carichi secondo EC5

La "sigla" della tabella precedente allude alla terminologia inglese (PE "permanent", LT "long term", MT "medium term", ST "short term", IN "instantaneous"), ed è impiegata dal programma che esegue le verifiche: ogni caso di carico deve avere un nome che termina con "(XX)", dove XX sono le due lettere della classe di durata assegnata al caso di carico in questione. E' tassativo aggiungere tale codifica in coda al nome altrimenti il programma non può riconoscere la classe di durata del caso di carico. Il lasso di tempo indica il periodo di tempo durante il quale la azione agisce.

E' ben evidente che non è possibile catalogare in modo assoluto la durata sulla base del tipo: un carico da neve in Sicilia sarà probabilmente ST, mentre in Finlandia sarà verosimilmente MT. Per questo motivo l'EC5 lascia liberi gli Stati membri di specificare, per mezzo dei National Application Document (NAD), come incasellare le singole azioni.

In Italia esiste una proposta di NAD (cfr www.coordinatore.it) ma tale document non è ancora stato

approvato ufficialmente.

Stando a questo document si possono “tradurre” le classi di durata per mezzo delle seguenti assunzioni:

- Il vento è considerato un carico istantaneo (IN).
- La neve Q è considerata di media durata (MT) per la parte $2Q$, di breve durata (ST) per la parte $(1-2)Q$. Siccome però per la neve è di solito proposto $\alpha=0$, ciò viene a dire che la neve sarebbe di breve durata (ST).

L'Eurocodice 5 fornisce, nella tabella 2.2, le seguenti esemplificazioni:

- Permanenti: peso proprio
- Lungo termine: magazzini
- Medio termine: carico applicato sui piani, neve
- Breve termine: neve, vento
- Istantanei: vento, carichi imprevisi (“accidentali” nella terminologia europea).

Poiché le verifiche non sono condotte sui casi di carico elementari, ma sulle combinazioni, è evidente che potranno figurare contemporaneamente carichi appartenenti a differenti classi di durata. In questo caso le norme (tutte le norme) suggeriscono di considerare la combinazione come appartenente alla classe di durata del carico avente la durata minore, tra quelli effettivamente presenti nella combinazione. Quindi se in una combinazione è presente ad esempio un carico di breve durata ed un carico permanente, la combinazione sarà assimilata alla classe di breve durata, ovvero, come vedremo, a quella più favorevole. Poiché esistono comunque sempre combinazioni che includono i soli permanenti, la struttura verrà saggiata in un ampio insieme di condizioni e con differenti parametri di calcolo.

La regola anzidetta fa sì che sia sempre necessario indagare tutte le combinazioni effettivamente sensate per la struttura in oggetto, e quindi – se possibile – aumenta l'importanza e la validità delle osservazioni già fatte nel paragrafo dedicato alle combinazioni di carico.

Le NTC indicano anziché cinque classi solo tre classi, riepilogate nella tabella seguente.

Classe (NTC)	Durata
Permanente	Non specificata
Variabili di lunga durata	Non specificata
Variabili di breve durata	Non specificata

Tabella 0-6 Classificazione della durata dei carichi secondo NTC

Come si vede le NTC non specificano una durata, ma invece danno direttamente degli esempi di classi di appartenenza. Risulta in particolare:

- Permanenti: peso proprio e carichi non rimuovibili durante il normale esercizio della struttura.
- Variabili di lunga durata: carichi permanenti suscettibili di cambiamenti durante il normale esercizio della struttura e carichi variabili in generale.
- Variabili di breve durata: azioni del vento, della neve, del sisma, azioni termiche ed azioni accidentali.

L'analisi dei valori numerici per i fattori di calcolo proposti da NTC lascia intendere, come vedremo in par. 2.4.5, che la classe di durata "istantanea" sia di fatto sparita, e così la classe di durata media. Pertanto, dopo l'analisi dei coefficienti (che sarà fatta in par. 2.4.5) si può ritenere che valga non solo in termini lessicali la seguente corrispondenza tra le classi di durata previste da Eurocodice 5 e Nicole, da una parte, ed NTC dall'altra.

EC5 e Nicole	NTC
Permanenti	Permanenti
Lunga durata	Lunga durata
Media durata	Lunga durata
Breve durata	Breve durata
Istantanei	Breve Durata

Tabella 0-7 Corrispondenza tra la durata dei carichi secondo EC5 e quella secondo NTC

Poiché la classe di durata istantanea è sparita da NTC si sarà costretti ad adottare la classe di breve durata, che è la minima possibile, e perciò ad aumentare i coefficienti di sicurezza. Tale è la sorte delle azioni accidentali e del vento, reputati "istantanei" da EC5 e norme Nicole, ma solo "di breve durata" da NTC.

Risulta evidente l'impovertimento (qualcuno direbbe la "semplificazione", noi preferiamo dire impoverimento) introdotto dalle NTC, peraltro del tutto ingiustificato visto che una norma italiana, la Nicole, aveva già recepito l'impianto di Eurocodice 5.

Dato che quanto previsto da NTC scompagina l'assunto di norme ben più articolate, senza costituire un corpus normativo altrettanto esteso e coerente, ci pare che queste dovrebbero essere messe da parte, eventualmente recependo – a favore di sicurezza – i maggiori fattori γ_M da questa introdotti.

Effetti legati alla direzione dello sforzo

In questo lavoro si farà l'ipotesi che le travi rettilinee siano fatte in modo tale che la direzione degli sforzi normali principali coincida con quella della fibratura. Tale ipotesi è coerente con analoghi ipotesi fatta in Eurocodice 5 relativamente al calcolo di elementi monodimensionali tipici, e dipende essenzialmente dal fatto che per loro natura le travi necessitano di una direzione prevalente che non può che coincidere con la direzione delle fibre del legno: del resto in natura un tronco d'albero è appunto un elemento pressoché inflesso e la direzione delle fibre coincide con l'asse dell'elemento con buona approssimazione. La direzione allineata con le fibre è individuata nelle norme mediante il pedice "0" (zero).

Una evidente eccezione è costituita dalle travi curve, dalle travi rastremate a semplice e doppia pendenza. Queste necessitano di opportune correzioni che tengano in conto il fatto che le tensioni di flessione non sono ovunque allineate con la fibratura. Tali travi sono al di fuori del campo di applicazione del software sul CD e non sono pertanto descritte in questo lavoro.

Il comportamento del materiale legno in direzione ortogonale rispetto alle fibre è ben diverso da quello in direzione delle fibre. Verifiche locali a trazione o compressione in direzione normale alle fibre possono essere dimensionanti, in certi casi. La direzione ortogonale alle fibre è individuata dal pedice "90" (90 gradi). Le verifiche locali riguardano in specie le zone degli appoggi, nelle quali le reazioni dei vincoli possono indurre localmente tensioni ortogonali alle fibre, oppure dettagli di unione che trasferiscono le azioni per mezzo di tensioni agenti in direzione inclinata rispetto alle fibre, o le zone di applicazione di rilevanti carichi concentrati.

In questo lavoro ci riferiremo essenzialmente agli effetti delle tensioni normali agenti parallelamente alle fibre.

Tipologia del materiale

La tipologia del materiale di cui è costituito l'elemento influisce sui coefficienti di sicurezza da adottare nel calcolo. In generale possiamo distinguere le seguenti tipologie di materiale di base:

- legno massiccio (*solid timber*);
- legno lamellare incollato (*glued laminated timber, glulam*);
- legno microlamellare (LVL, *laminated veneer lumber*);
- legno compensato (*plywood*);
- OSB (*oriented strand board*);
- Pannelli di particelle (*particleboard*);
- pannelli di fibre "duri" (*fibreboard hard*);

- pannelli di fibre “semiduri” (*fibreboard medium*);
- pannelli di fibre “teneri” (*fibreboard*).

Poiché questo lavoro si occupa di elementi monodimensionali, di fatto le tipologie possibili sono limitate alle seguenti:

- legno massiccio (*solid timber*);
- legno lamellare incollato (*glued laminated timber, glulam*);
- legno microlamellare (*LVL, laminated veneer lumber*).

Il legno lamellare incollato è ottenuto dalla riunione di lamine di legno incollate tra loro ed unite mediante giunti di varia specie. La possibilità di scartare le lamine difettate e disporre con cura la orditura delle fibre consente di realizzare un materiale con elevate caratteristiche di resistenza, impregiudicate dalla presenza di collanti sintetici ad alta resistenza.

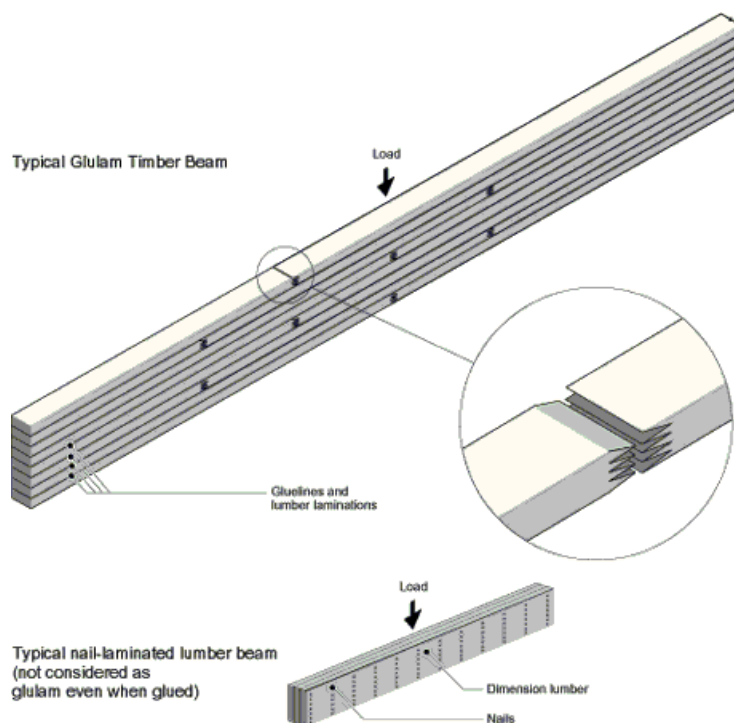


Figura 1 Structure del legno lamellare incollato (dal sito www.cwc.ca, Canadian Wood Council)

In genere le lamelle hanno uno spessore inferiore ai 40 mm (spesso ha il valore di 33 mm) ed una larghezza inferiore a 220 mm. La riunione di lamelle attentamente controllate consente di ottenere prestazioni meccaniche superiori a quelle del legno di partenza: vengono infatti eliminati i difetti (e questo spiega il fatto che il γ_M previsto dall'Eurocodice 5 per il legno lamellare, 1.25, sia inferiore a quello previsto per il legno massiccio, 1.30. Le NTC, invece, trattano tutti i tipi allo stesso modo con un valore

di 1.35).

Inoltre, la possibilità di riunire pezzi piccoli consente di ottenere sezioni maggiori a quelle ottenibili con il legno naturale, e di forma non rettilinea ma arcuata nel modo desiderato. E' poi possibile realizzare legni lamellari combinati mediante riunione di lamelle provenienti da legnami aventi caratteristiche meccaniche differenti: tale ulteriore possibilità consente di disporre il materiale di miglior qualità dove effettivamente serve e quindi di sfruttare al meglio il materiale.

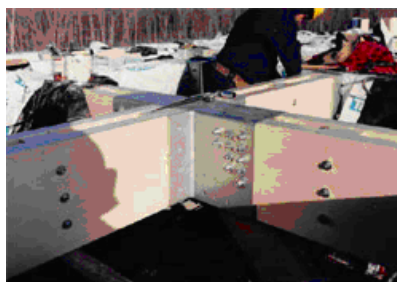


Figura 2 Legno Microlamellare in opera (dal sito www.cwc.ca, Canadian Wood Council)

Il legno microlamellare è ottenuto da lamine di spessore considerevolmente minore del lamellare normale (2.5-4.8 mm) e presenta una elevata omogeneità di comportamento, tanto che il suo valore di γ_M è ancor minore di quello del legno lamellare (1.20 anziché 1.25 secondo Eurocodice 5, mentre il solito 1.35 secondo le NTC).

Le lamine vengono vagliate ed ordinate in base alla loro qualità (con gli scarti del caso), poi vengono tagliate ed infine unite mediante collanti speciali. Il fatto che l'elemento tipico abbia spessore circa 10 volte minore di quello del legno lamellare fa comprendere la ragione per cui questo materiale presenta una omogeneità particolarmente elevata. In questo modo il difetto tipico è di dimensioni minori e viene maggiormente disseminato nel volume finale.

Dati identificativi del materiale legno

Ai fini del calcolo di dimensionamento ogni tipo di legno viene classificato mediante la valutazione di un certo numero di proprietà meccaniche, l'insieme delle quali identifica il materiale per il suo utilizzo in ambito strutturale.

Queste proprietà meccaniche sono indicate nella tabella successiva. Ai fini della comprensione della nomenclatura si ricordi il significato dei seguenti pedici, ampiamente usati nella simbologia:

f	tensione
ρ	densità di peso
E	modulo di elasticità di Young

G	modulo di elasticità tangenziale
k	caratteristico
mean	medio
m	medio
m	flessione
c	compressione
t	trazione
v	taglio
0	direzione parallela alle fibre
05	valore caratteristico con frattile del 5%
90	direzione perpendicolare alle fibre

Quantità	Descrizione
$f_{m,0,k}$	Resistenza caratteristica a flessione parallela alle fibre
$f_{t,0,k}$	Resistenza caratteristica a trazione parallela alle fibre
$f_{t,90,k}$	Resistenza caratteristica a trazione perpendicolare alle fibre
$f_{c,0,k}$	Resistenza caratteristica a compressione parallela alle fibre
$f_{c,90,k}$	Resistenza caratteristica a compressione perpendicolare alle fibre
$f_{v,k}$	Resistenza caratteristica a taglio
$E_{0,mean}$	Modulo di elasticità medio per tensioni parallele alle fibre
$E_{0,05}$	Modulo di elasticità caratteristico (frattile 5%) per tensione parallela alle fibre
$E_{90,mean}$	Modulo di elasticità medio per tensione perpendicolare alle fibre
G_{mean}	Modulo di elasticità tangenziale medio
ρ_k	Densità di peso caratteristica
ρ_m	Densità di peso media

Tabella 0-8 Elenco dei parametri indispensabili a definire un tipo di legno

Il valore $G_{k,05}$ può essere ottenuto da G_{mean} mediante la seguente formula:

$$G_{k,05} = G_{mean} \frac{E_{0,05}}{E_{0,mean}} \quad y_{0-5}$$

Materiali codificati

Nelle seguenti tabelle si riportano alcuni dei materiali codificati, con i loro valori meccanici (norma prEN338:2002 “C” e “D” [11] e norma EN1194:1999 per i lamellari incollati, “GL” [12]). Tutti questi materiali sono presenti nell’archivio del programma.

Tabella 0-9 Materiali normati secondo le EN

Vale inoltre la seguente attribuzione:

Legni tipo C	Conifere, pioppo
Legni tipo D	Latifoglie escluso pioppo
Legni tipo GL	Lamellari incollati

Nella tabella seguente si riportano i valori di legnami italiani secondo UNI 11035 [13] (il campo “Nome” è invece stato aggiunto da chi scrive come sigla sintetica).

Nome	Type	f _{m0k}	f _{t0k}	f _{t90k}	f _{c0k}	f _{c90k}	f _{vk}	E _{0mea}	E ₀₀₅	E _{90mea}	G _{mean}	ρ _k	ρ _m
								n		n			
		N/ mmq	N/ mmq	N/mm ² mmq	N/ mmq	N/mm ² mmq	N/ mmq	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	Kg/ mc	Kg/mc
ANS1	Abete nord S1	29.	17.	0.4	23.	2.9	3.0	12000	8000.	400.	750.	380.	415.
ANS2	Abete nord S2	23.	14.	0.4	20.	2.9	2.5	10500	7000.	350.	660.	380.	415.
ANS3	Abete nord S3	17.	10.	0.4	18.	2.9	1.9	9500.	6400.	320.	590.	380.	415.
ACSS1	Abete centro sud S1	32.	19.	0.3	24.	2.1	3.2	11000	7400.	370.	690.	280.	305.
ACSS2	Abete centro sud S2	28.	17.	0.3	22.	2.1	2.9	10000	6700.	330.	630.	280.	305.
ACSS3	Abete	21.	13.	0.3	20.	2.1	2.3	9500.	6400.	320.	590.	280.	305.

	centro												
	sud S3												
LNS1	Larice	42.	25.	0.6	27.	4.0	4.0	13000	8700.	430.	810.	550.	600.
	nord S1												
LNS2	Larice	32.	19.	0.6	24.	4.0	3.2	12000	8000.	400.	750.	550.	600.
	nord S2												
LNS3	Larice	26.	16.	0.6	22.	4.0	2.7	11500	7700.	380.	720.	550.	600.
	nord S3												

Tabella 9-10 Materiali normati secondo UNI

Anche questi materiali sono presenti in archivio e verificabili automaticamente.

E' possibile introdurre anche nuovi materiali oltre a quelli codificati. In tal caso occorrerà aggiungere questi materiali al file WoodData.txt presente nella cartella di installazione del programma.

Resistenze di calcolo del materiale legno: i coefficienti Kmod e $\gamma_{R,D}$

Eurocodice 5 e document NICOLE

Come abbiamo visto le tensioni di progetto Rd si ricavano da quelle caratteristiche Rk per mezzo dei due fattori γ_M e Kmod.

$$R_d = K_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M}$$

I valori di γ_M sono già stati introdotti al par. 2.2.2 e 2.2.3 mentre i valori del coefficiente Kmod verranno chiariti qui.

Kmod tiene contemporaneamente in conto il tipo di materiale, l'ambiente ove si trova la struttura (classe di servizio) e la durata del carico. I valori presenti sia in Eurocodice 5 sia nelle norme NICOLE sono quelli della tabella successiva.

Materi ale	Norma	Classe di servizio	Azioni permen enti	Azioni a lungo termine (LT)	Azioni a medio termine (MT)	Azioni a breve termine (ST)	Azioni istantan ee (IN)
Legno	EN	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
massicc	14081-1	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10

io		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Legno	EN	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
lamella	14080	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
re		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
LVL	EN	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	14374,	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	EN	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
	14279						

Tabella 0-11 Valori di Kmod in accordo ad Eurocodice 5

Dato un certo valore di resistenza caratteristica, la resistenza di progetto si ottiene moltiplicando per Kmod e dividendo per γ_M . Poiché i valori di Kmod ed i valori di γ_M dipendono dalla durata del carico *in generale le resistenze di progetto variano a seconda della combinazione di carico in esame*. Per questo motivo non è spesso possibile sapere a priori quale combinazione risulterà maggiormente gravosa.

Norme NTC

In questo caso viene definito un fattore γ_{RD} , che agisce a denominatore della tensione caratteristica, insieme al γ_M .

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_{RD} \gamma_M}$$

I valori tabellati nella norma NTC [1] sono i seguenti, in cui però occorre osservare che la classe di servizio e le classi di durata del carico non hanno un significato coincidente con quelle dell'Eurocodice.

Materie	Norma	Classe di servizio	Azioni permanenti	Azioni a lungo termine (LT)	Azioni a breve termine (ST)
Qualsiasi	NTC	1	1.70	1,40	1,10
si	[1]	2	2	1,80	1,40

Tabella 0-12 Valori di γ_{RD} secondo le norme [1].

Nell'uso con il programma, si potranno adottare le classi di servizio e le tipologie di durata del carico definite secondo Eurocodice 5 anche se si sceglie di usare le norme NTC, poiché è poi il programma a modificare i coefficienti in accordo a quanto richiesto dalle NTC. In altre parole, se un carico viene etichettato “istantaneo”, nell'uso con le NTC questo sarà considerato di breve durata. Se è stata definita una classe 3 o 2, questa sarà comunque trattata, usando le NTC, come una classe di servizio 2.

Verifiche di deformabilità (SLE)

Le verifiche agli stati limite di esercizio sono di fatto verifiche di spostamento. In generale occorre tenere in conto anche l'effetto sullo spostamento provocato dallo scorrimento delle unioni, ma questo argomento non entra nella presente disamina.

In accordo all'Eurocodice 5 occorre verificare che sia lo spostamento istantaneo, sia quello “finale” risultino inferiori a certi limiti prefissati. Vedremo in dettaglio cosa questo implichi.

Prima è però necessario osservare che lo spostamento delle strutture lignee risente in modo piuttosto cospicuo della deformabilità per taglio, e ciò a causa dei bassi valori del modulo di elasticità tangenziale G . Secondo l'Eurocodice 5 è possibile eseguire il calcolo degli spostamenti istantanei mediante i moduli di elasticità medi (normale e tangenziale). Per tale motivo nella definizione dei dati del materiale necessari per il calcolo (vedi anche gli archivi) si è scelto di usare tali valori medi.

Nel programma la deformabilità per taglio è correttamente tenuta in conto allorché vengano correttamente specificati il modulo G per il materiale ed il fattore di taglio per la sezione.

Lo scopo per cui viene chiesto un coefficiente di Poisson, nella definizione di un materiale, è appunto quello di consentire il calcolo (mediante una formula convenzionale, essendo relativa a materiali omogenei ed isotropi) del modulo G .

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

Nel caso di sezioni rettangolari e circolari piene il fattore di taglio viene calcolato dal programma. Negli altri casi occorrerà fornirlo esplicitamente. Se non si vuole tenere in conto il contributo alla deformazione del taglio, occorrerà fissare pari a 0 il valore del fattore di taglio.

Abbiamo detto che occorre verificare sia gli spostamenti istantanei sia quelli finali. In effetti una volta applicato un carico, la struttura si deforma all'istante di una certa quantità u_{ist} . Se il carico viene mantenuto, comunque, lo spostamento tende ad aumentare ulteriormente nel tempo in ragione progressivamente crescente con il grado di umidità dell'ambiente ove si trova la struttura. Lo spostamento “finale” è dunque la somma dello spostamento istantaneo u_{ist} e dello spostamento dovuto alla viscosità (fluage in francese, creep in inglese) u_{creep} .

Identificato lo spostamento istantaneo di un carico permanente con u_{ist} , lo spostamento dovuto al creep è pari a

$$u_{creep} = K_{def} u_{ist}$$

dove K_{def} è un coefficiente che dipende dalla classe di servizio della struttura (ovvero dalla umidità dell'ambiente) e dal tipo di legno.

Nel seguito si riportano i valori di K_{def} proposti dall'EC5 per le tipologie di legno più comuni.

Materiale	Norma	Classe di servizio	Classe di servizio	Classe di servizio
		1	2	3
Legno massiccio	EN 14081-1 [13]	0.60	0.80	2.0
Legno lamellare	EN 14080 [15]	0.60	0.80	2.0
LVL	EN 14374 [16], EN 14279 [17]	0.60	0.80	2.00
Compensato	EN 636 [18]			
	Parte 1	0.80	-	-
	Parte 2	0.80	1.00	-
	Parte 3	0.80	1.00	2.50

Tabella 0-13 Valori di K_{def} secondo EC5

Le norme tecniche NTC [1] usano, come abbiamo spiegato, differenti classi di servizio (due e non tre e con diverse delimitazioni) e introducono differenti valori per i coefficienti K_{def} . Nella seguente tabella si danno i valori di K_{def} secondo le norme [1]. Il document NICOLE è in accordo all'Eurocodice 5.

Materiale	Classe di servizio	Classe di servizio
	1	2

Legno massiccio	0.60	2.0
Legno lamellare, incollato, LVL	0.60	2.0
Compensato	0.80	2.5

Tabella 0-14 Valori di K_{def} secondo NTC [1].

Nel caso ad esempio di un carico permanente in classe di servizio 3 (secondo EC5), un legno massiccio passerebbe dalla deformazione istantanea calcolata 1 ad una deformazione finale tripla $u_{ist} + 2 u_{ist} = 3 u_{ist}$.

Il caso dei carichi variabili è diverso. Per essi occorre tenere in conto il fatto che se la deformazione istantanea dovuta ad un certo carico Q_k è u_{ist} , solo la quota parte $\varnothing 2$ di Q_k agirà in modo “quasi permanente” e sarà quindi capace di sviluppare deformazioni lente per viscosità. Pertanto in questo caso abbiamo le seguenti possibilità, riepilogate nella seguente tabella.

Carico	Deformazione istantanea	Deformazione per viscosità	Deformazione finale
Q_k	u_{ist}	u_{ist}	$(1 + \varnothing 2 K_{def}) u_{ist}$
$\varnothing 0 Q_k$	$\varnothing 0 u_{ist}$	u_{ist}	$(\varnothing 0 + \varnothing 2 K_{def}) u_{ist}$
$\varnothing 1 Q_k$	$\varnothing 1 u_{ist}$	u_{ist}	$(\varnothing 1 + \varnothing 2 K_{def}) u_{ist}$
$\varnothing 2 Q_k$	$\varnothing 2 u_{ist}$	u_{ist}	$(1 + \varnothing 2 K_{def}) K_{def} \varnothing 2 u_{ist}$

Tabella 0-15 deformazioni istantanee, per viscosità e finali per vari valori del carico Q_k

Da quanto precede consegue che per ottenere le deformazioni finali (valutate convenzionalmente) si possono adottare le seguenti formule di combinazione, modificate per includere anche gli effetti della viscosità.

Combinazioni rare:

$$(1 + K_{def}) \left(\sum_{i=1}^{ng} G_{ki} \right) + (1 + \psi_{21} K_{def}) Q_{1k} + \left(\sum_{i=2}^{ng} \gamma_{qi} (\psi_{0i} + \psi_{2i} K_{def}) Q_{ik} \right)$$

Combinazioni frequenti:

$$(1 + K_{def}) \left(\sum_{i=1}^{ng} G_{ki} \right) + \psi_{1i} Q_{ik} + \psi_{2i} K_{def} Q_{1k} + (1 + K_{def}) \left(\sum_{i=2}^{ng} \gamma_{qi} \psi_{2i} Q_{ik} \right)$$

Combinazioni quasi permanenti:

$$(1 + K_{def}) \left(\sum_{i=1}^{ng} G_{ki} + \sum_{i=1}^{ng} \gamma_{qi} \psi_{2i} Q_{ik} \right)$$

Si tratta di un trucco col quale valutiamo gli effetti lenti modificando le formule di combinazione: in realtà le azioni presenti sulla struttura non cambiano. In particolare gli effetti lenti non corrispondono ad un incremento delle azioni, e quindi le azioni indicate da queste formule di combinazioni non saranno mai presenti sulla struttura. Tuttavia, adottando queste formule di combinazione possiamo impiegare la teoria della elasticità lineare per valutare gli effetti lenti, del tutto anelastici.

Ad esempio sia G un carico permanente e Q un carico variabile e sia $K_{def} = 0.80$, $\psi_0 = 0.7$, $\psi_1 = 0.5$ e $\psi_2 = 0.2$.

Le combinazioni atte a calcolare le deformazioni finali sono le seguenti:

$$\begin{aligned} &1.8G \\ &1.8G + (1 + 0.2 \times 0.8)Q = 1.8G + 1.16Q \\ &1.8G + (0.5 + 0.2 \times 0.8)Q = 1.8G + 0.66Q \\ &1.8(G + 0.2Q) = 1.8G + 0.36Q \end{aligned}$$

Quale sia la combinazione che dà il valore massimo di spostamento dipende dal segno di G e Q e dal luogo ove sono applicate le azioni, in generale. Se G e Q hanno lo stesso segno e sono egualmente collocati e distribuiti (ad esempio due carichi gravitazionali distribuiti), allora la combinazione più sfavorevole è la 2, che risponde alla formula generale:

$$(1 + K_{def})G + (1 + \psi_2 K_{def})Q \quad \text{y0-6}$$

L'Eurocodice 5 dà le seguenti delimitazioni alla freccia di travi inflesse, delimitazioni che come abbiamo accennato sono diverse per lo spostamento istantaneo e per lo spostamento finale.

u _{ist}	u _{netto, finale}	u _{finale}
da L/300 a L/500	da L/250 a L/350	da L/150 a L/300

Tabella 0-16 Limitazioni alla freccia secondo Ec5

Dove:

u_{ist} è lo spostamento istantaneo della combinazione in esame

$u_{netto, finale}$ è lo spostamento finale rispetto alla configurazione rettilinea ideale ottenuto considerando la controfreccia, lo spostamento istantaneo e lo spostamento differito

u_{finale} è lo spostamento ottenuto sommando i valori assoluti dello spostamento netto finale e della controfreccia

In caso di mensole le limitazioni possono essere rese meno stringenti, raddoppiando i limiti.

I valori qui elencati sono quelli presenti in EC5 e non derivano dal document di applicazione nazionale (NAD), ancora in fase di preparazione.

Verifiche di resistenza (SLU)

Le verifiche di resistenza devono essere condotte, in generale, in tutte le sezioni del prisma costituente la membratura.

Si farà l'ipotesi di considerare solo gli effetti delle tensioni agenti parallelamente alle fibre.

Azione assiale

Trazione

Detta $\sigma_{t,0,d}$ la tensione di progetto a trazione, la verifica si esegue (cfr. EC5 6.1) mediante la seguente semplice formula di confronto:

$$\sigma_t = \sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

dove $f_{t,0,d}$ è la tensione di progetto resistente. I pedici indicano:

t trazione

0 direzione allineata con le fibre (angolo 0)

d "design" e quindi "progetto"

Se definiamo "coefficiente di sfruttamento a trazione", la quantità E_t così definita (E =exploitation):

$$E_t = \frac{\sigma_t}{f_{t,0,d}}$$

la equazione precedente ci dice banalmente che lo sfruttamento deve essere inferiore a 1:

$$E_t \leq 1$$

La tensione caratteristica per il materiale ($f_{t,0,k}$), dalla quale si calcola la tensione di progetto

mediante la formula 2.2 può variare a causa del fatto che la massima dimensione della sezione, d , sia piccola: la tensione caratteristica infatti può essere incrementata di un fattore k_h (cfr EC5 par. 3.2(3) e 3.3(3)).

Il fattore k_h dipende dal tipo di legno e dalla dimensione della sezione. Per sezioni in legno massiccio, con densità caratteristica inferiore a 700Kg/mc, ove la larghezza d sia minore di 150 mm, la tensione caratteristica a trazione può essere amplificata di un fattore

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{d} \right)^{0.2} ; 1.3 \right\}$$

Per sezioni di legno lamellare, ove la larghezza d sia minore di 600 mm, la tensione caratteristica a trazione può essere amplificata di un fattore

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{d} \right)^{0.2} ; 1.15 \right\}$$

Nelle formule che precedono d è in mm.

Compressione

In questo caso, parlando ovviamente per ora solo di verifica di resistenza, la verifica è simile a quella per la trazione, ma bisogna usare la tensione di progetto resistente a compressione, $f_{c,0,d}$.

$$\sigma_c = \sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

I pedici indicano:

- c compressione
- 0 direzione allineata con le fibre (angolo 0)
- d “design” e quindi “progetto”

Anche in questo caso è possibile definire un coefficiente di sfruttamento, definito come segue

$$E_c = \frac{\sigma_c}{f_{c,0,d}}$$

Poiché di solito la tensione di compressione ha segno negativo, è chiaro che la relazione presente nell'Eurocodice 5 va interpretata in senso piuttosto convenzionale che strettamente algebrico. Infatti la relazione

$$\sigma_c = \sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

non avrebbe alcun senso nel caso in cui si assumesse che la tensione di calcolo fosse negativa.

Flessione semplice o deviata

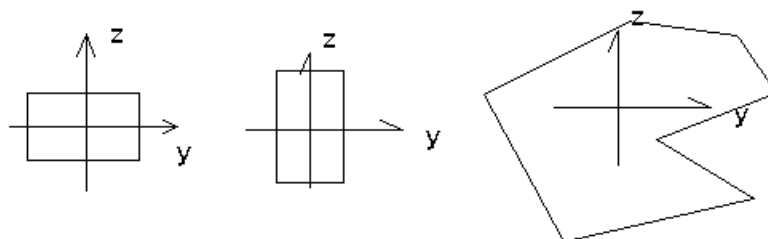


Figura 3 rappresentazione assi principali

Questa volta usiamo come pedice le seguenti lettere:

m	flessione
0	direzione allineata con le fibre (angolo 0)
d	“design” e quindi “progetto”
y	asse principale della sezione, anche indicato con “2”
z	asse principale della sezione anche indicato con “3”

La verifica si ottiene sommando i contributi della flessione attorno ai due assi principali, e riducendo l'effetto su uno dei due assi (quando contemporaneamente presenti entrambe le flessioni) mediante il coefficiente riduttivo k_m , che in pratica si applica solo alle sezioni rettangolari.

Il coefficiente riduttivo k_m può valere 0,7 oppure 1. Esso vale 0,7 per sezioni rettangolari di legno massiccio, lamellare, ed LVL, vale 1,0 in tutti gli altri casi. Tale coefficiente tiene in conto le redistribuzioni di tensione e le disomogeneità di materiale su una sezione.

Le condizioni da verificare, secondo EC5 (ed anche secondo il document Nicole), sono:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Possiamo definire un coefficiente di sfruttamento a flessione semplice nel seguente modo (tale coefficiente è quello da impiegare nel caso in cui vi sia flessione attorno a uno solo dei due assi):

$$E_{m,y} = \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}}$$

$$E_{m,z} = \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}$$

ed il coefficiente di sfruttamento per flessione composta come segue:

$$E_m = \max(E_{m,y} + k_m E_{m,z}; k_m E_{m,y} + E_{m,z})$$

Si può facilmente vedere che la formula dà luogo al massimo sull'asse che, separatamente, dà luogo al massimo. Infatti, risolvendo la disequazione

$$E_{m,y} + k_m E_{m,z} > k_m E_{m,y} + E_{m,z}$$

si ottiene:

$$\begin{aligned} E_{m,y} - k_m E_{m,y} &> E_{m,z} - k_m E_{m,z} \\ E_{m,y}(1 - k_m) &> E_{m,z}(1 - k_m) \\ E_{m,y} &> E_{m,z} \end{aligned}$$

Dunque la prima formula è dimensionante quando lo sfruttamento dovuto al momento sull'asse y, pensato agente da solo, è maggiore dello sfruttamento dovuto al momento sull'asse z, pensato agente da solo.

Nelle formule che precedono è da notare il fatto che la tensione di riferimento per il materiale (f_m) non è in generale eguale nelle due direzioni, ma può variare a causa del fatto che la tensione caratteristica di flessione dipende dal coefficiente k_h (cfr EC5 par. 3.2(3) e 3.3(3)).

Il fattore k_h dipende dal tipo di legno e dalla altezza della sezione nella direzione di flessione rilevante. Per sezioni in legno massiccio, con densità caratteristica inferiore a 700Kg/mc, ove l'altezza h sia minore di 150 mm, la tensione caratteristica a flessione può essere amplificata di un fattore

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0.2}; 1.3 \right\}$$

Per sezioni di legno lamellare, ove l'altezza h sia minore di 600 mm, la tensione caratteristica a flessione può essere amplificata di un fattore

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.2}; 1.15 \right\}$$

Nelle formule che precedono h è espresso in millimetri.

Tutte queste formule sono impiegate dal programma di verifica.

Osservazioni sulle formule di verifica con effetti combinati

Come nel caso relativo alla compressione, facciamo notare che la scrittura delle equazioni prevista da Eurocodice 5 e dal document NICOLE è a stretto rigore priva di significato algebrico in quanto se si assume che la tensione abbia segno le disequaglianze dovrebbero essere due e non una per ciascuna equazione. Ad esempio:

$$-1 \leq \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

In realtà benché figurino tensioni il metodo di verifica è un metodo agli stati limite, e quindi un metodo basato su domini limite validi a livello sezionale. Non a caso la f_{mk} è *definita* impegnando proprio il modulo di resistenza elastico W come elemento normalizzatore del momento limite.

Le tensioni di riferimento devono quindi essere prese in valore assoluto, e le formule di verifica,

più che rappresentare il calcolo di una tensione in un punto, *rappresentano un dominio limite per la sezione, rettificato a favore di sicurezza.*

Per tutte queste ragioni a parere di chi scrive sarebbe molto più corretto scrivere le formule in questione nel seguente modo

$$\left| \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \right| + k_m \left| \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right| \leq 1$$

$$k_m \left| \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \right| + \left| \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right| \leq 1$$

o meglio ancora passare ad una notazione sezionale che espliciti l'uso di numeri indice adimensionali quali gli addendi in realtà sono, e di caratteristiche resistenti non puntuali ma sezionali:

$$\left| \frac{M_{y,d}}{W_y f_{m,y,d}} \right| + k_m \left| \frac{M_{z,d}}{W_z f_{m,z,d}} \right| \leq 1$$

$$k_m \left| \frac{M_{y,d}}{W_y f_{m,y,d}} \right| + \left| \frac{M_{z,d}}{W_z f_{m,z,d}} \right| \leq 1$$

ovvero in definitiva

$$\left| \frac{M_{y,d}}{M_{y,u}} \right| + k_m \left| \frac{M_{z,d}}{M_{z,u}} \right| \leq 1$$

$$k_m \left| \frac{M_{y,d}}{M_{y,u}} \right| + \left| \frac{M_{z,d}}{M_{z,u}} \right| \leq 1$$

dove il pedice “u” indica il momento “ultimo” o limite.

E' da notare che i moduli di resistenza introdotti sono quelli elastici e non quelli plastici: una reale redistribuzione di tensione sulla sezione non è infatti possibile stante la presenza di difetti che rendono il comportamento delle fibre dal lato teso di tipo elasto-fragile. Sotto queste condizioni di fatto la condizione limite sulla sezione si identifica con la condizione limite di un punto.

Analoga modifica dovrebbe essere applicata a parere di chi scrive anche a tutte le formule che seguiranno, sostituendo sistematicamente alle tensioni le azioni interne corrispondenti (ovvero in sostanza agli *sforzi* gli *sforzi generalizzati* secondo la teoria della beam).

A tale riguardo viene invece detto, peraltro autorevolmente, in [6]:

“Le conoscenze attuali del legno come materiale da costruzione non sono sufficienti a fornire la base per criteri di rottura più complessi delle combinazioni lineari [...]. Per sollecitazioni di trazione, di compressione, e di flessione semplici, per una sezione rettangolare, l'uso di teorie più sofisticate è inutile. E' infatti la stessa cosa esprimere un criterio di rottura atbeamrso un confronto tra tensioni anziché un confronto tra sollecitazioni quando si abbia a che fare una sezione rettangolare e con stati tensionali semplici di trazione o compressione o flessione (una volta definita la f_m)”.

A nostro parere, invece, l'uso delle tensioni in un metodo agli stati limite è fuorviante e dovrebbe

essere abbandonato. In ogni modo va segnalato che il programma di verifica è stato approntato interpretando ciascun addendo come un numero certamente positivo e come numero indice del cemento sulla sollecitazione elementare, quindi senza eseguire calcoli che sommino algebricamente tensioni di flessione con tensioni di trazione o compressione, calcoli che sommerebbero, ci pare, patate con carote, essendo le tensioni limite diverse per le varie sollecitazioni elementari.

Tensoflessione semplice o deviata

Le formule da verificare, secondo EC5 par. 6.2.3 (ed anche secondo il document Nicole), sono, nel caso di tensoflessione deviata:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

In pratica questo vuol dire che il coefficiente di sfruttamento per tensoflessione $E\sigma$ è la somma dei coefficienti di sfruttamento per trazione e per flessione:

$$E\sigma = E_t + E_m$$

E' da notare che i tre addendi sono da considerarsi sempre positivi, infatti, più che una somma algebrica di tensioni secondo il metodo classico delle tensioni ammissibili, la formula va riguardata come un dominio limite con frontiera lineare nello spazio delle sollecitazioni.

Queste formule sono impiegate dal programma di verifica.

Pressoflessione semplice o deviata

In questo caso occorre invece verificare che risulti (cfr. EC5 par. 6.2.4)

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Si può quindi definire un coefficiente di sfruttamento dato da

$$E\sigma = (E_c)^2 + E_m$$

La formula è nonlineare e tende a premiare la presenza di azione assiale di compressione rispetto a quella di trazione. Infatti nel caso di trazione, immaginando di avere $E_t = 0.5$ ed $E_m = 0.6$ la verifica non sarebbe soddisfatta ($0.5 + 0.6 > 1$), mentre nel caso di compressione, con $E_c = 0.5$ ed $E_m = 0.6$

risulterebbe $(0.5)^2 + 0.6 = 0.85 < 1$.

Queste formule sono impiegate dal programma di verifica.

Stato limite per tensioni normali parallele alle fibre

L'esame di quanto sopra illustrato porta a dire che si può in generale definire un coefficiente di sfruttamento per tensione normale, dato in generale da $E\sigma$. Tale coefficiente di sfruttamento si specializza poi, nel caso di sollecitazioni elementari, in quello per azione assiale semplice (trazione o compressione) o flessione (semplice o composta) a seconda dei casi.

Come vedremo le sollecitazioni tagliante e torcente producono effetti che non si combinano con quelli dovuti alla azione assiale ed ai momenti. Pertanto sembra corretto parlare, nei riguardi delle verifiche di resistenza, di uno stato limite per tensioni normali e di uno stato limite per tensioni tangenziali, intendendo poi lo sfruttamento di resistenza come il massimo tra i due sfruttamenti.

Taglio

In questo caso si usano i seguenti simboli come pedici:

v taglio

d progetto

La formula di verifica si esplicita nella relazione

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

ed è possibile definire il coefficiente di sfruttamento a taglio E_v come

$$E_v \equiv \frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

La tensione resistente di progetto $f_{v,d}$ si ottiene direttamente dalla tensione caratteristica $f_{v,k}$ mediante la formula generale, mentre la tensione di calcolo deve essere calcolata in modo diverso a seconda della forma sezionale.

Immaginando *convenzionalmente* una distribuzione di tensione tangenziale puramente elastica alla Jouravskij, per la sezione rettangolare si può porre, essendone A l'area

$$\tau_d = \frac{V_d}{W_v} = \frac{V_d S^*}{bJ} = 1.5 \frac{V_d}{A}$$

dove V_d è il taglio di progetto agente o in direzione y o in direzione z . Nel caso di sezione circolare, si ha invece la formula seguente

$$\tau_d = \frac{V_d}{W_v} = \frac{4V_d}{3A}$$

Negli altri casi sarà comunque possibile definire un modulo di resistenza a taglio W_v , e scrivere:

$$\tau_d = \frac{V_d}{W_v}$$

Nel caso in cui siano contemporaneamente presenti sia il taglio agente secondo uno degli assi principali, sia il taglio agente secondo l'altro asse principale (ovvero V_{yd} e V_{zd}), si potrà eseguire la verifica mediante la formula combinata seguente:

$$\tau_{yd} = \frac{V_{yd}}{W_{Iy}}$$

$$\tau_{zd} = \frac{V_{zd}}{W_{Iz}}$$

$$\tau_d = \sqrt{\tau_y^2 + \tau_z^2}$$

che implicitamente presume che le massime tensioni agiscano nello stesso punto.

Un altro modo di vedere la verifica combinata è il seguente. Definito il coefficiente di sfruttamento per taglio in una direzione o nell'altra

$$E_{vy} = \frac{\tau_{yd}}{f_{v,d}}$$

$$E_{vz} = \frac{\tau_{zd}}{f_{v,d}}$$

il coefficiente di sfruttamento finale è pari a

$$E_v = \sqrt{E_{vy}^2 + E_{vz}^2}$$

e quindi risulta un cerchio di raggio unitario nello piano delle sollecitazioni normalizzate alle sollecitazioni limite.

Queste formule sono impiegate dal programma di verifica.

Torsione

Nel caso della torsione la formula proposta da EC5 è la seguente:

$$\tau_{tor,d} \leq k_{sh} f_{v,d}$$

Dove

$\tau_{tor,d}$ è la tensione di progetto a torsione.

k_{sh} è un coefficiente amplificativo che dipende dalla forma della sezione.

$f_{v,d}$ è La tensione di progetto resistente a taglio.

Il coefficiente amplificativo k_{sh} vale:

1,2 per sezioni circolari

$1+0.15L_{min}/L_{max}$ nel caso di sezioni rettangolari.

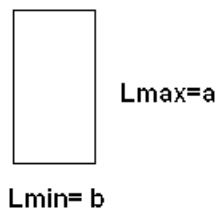


Figura 4

La tensione di progetto a torsione $\tau_{tor,d}$ deve essere calcolata mediante formule che dipendono dalla forma sezionale, e che sono in sostanza quelle ottenibili dalla Scienza delle Costruzioni. Per le sezioni circolari di raggio r , la formula è:

$$\tau_{tor,d} = \frac{M_1}{W_1} = \frac{M_1}{0,5\pi R^3}$$

mentre per le sezioni rettangolari si può usare la formula di Hansen seguente, essendo b il lato minore e a quello maggiore:

$$\tau_{tor,d} = \frac{M_1}{W_1} = \frac{M_1}{J_t} b = \frac{M_1}{hb^3} b = \frac{M_1}{hb^2} \frac{1}{3\left(1 + \frac{0,6b}{h}\right)} = \frac{M_1}{hb^2} \frac{1}{3\left(1 + \frac{0,6b}{h}\right)}$$

Nelle formule che precedono si è definito il modulo di resistenza a torsione W_1 , ovvero il numero che diviso per il momento torcente dà la tensione di progetto a torsione. Per forme sezionali diverse da quelle indicate è sempre possibile calcolarne il valore.

Stabilito come calcolare la tensione di progetto, possiamo definire un coefficiente di sfruttamento a torsione E_T nel seguente modo:

$$E_T \equiv \frac{\tau_{tor,d}}{k_{zh} f_{v,d}} \leq 1$$

Queste formule sono presenti ma non impiegate dal programma di verifica, in quanto le strutture allo studio sono sempre piane.

Taglio-torsione (stato limite per tensioni tangenziali)

Né l'Eurocodice 5 né il document Nicole danno indicazioni esplicite nel caso di contemporanea presenza di taglio e torsione. Sul recente testo di Piazza e altri [7] è riportata la seguente formula di interazione, che definisce, altresì, un coefficiente di sfruttamento per tensioni tangenziali:

$$E_s \equiv E_T + E_V^2 \leq 1$$

Tale formula di interazione indica un dominio parabolico nel piano (V, M_1) .

Poiché il programma accluso è un programma relativo a travi rettilinee piane, la torsione non figura tra le sollecitazioni di calcolo ed è quindi esclusa, in quanto assente, dalle verifiche.

Questa formula è presente ma non impiegata dal programma di verifica in quanto la torsione non

c'è.

Verifiche di stabilità (SLU)

Introduzione

Le verifiche di stabilità devono essere eseguite per cautelarsi da due possibili fenomeni, entrambi possibili e potenzialmente rovinosi: l'instabilità per compressione e l'instabilità per flessione. Il primo tipo di instabilità è quella euleriana classica, con tutte le correzioni del caso, mentre il secondo prende il nome di “svergolamento”. I due fenomeni sono ben noti a chi si sia occupato di strutture in acciaio, e presentano qualitativamente problematiche analoghe.

Nella instabilità euleriana l'asta compressa si dispone secondo una configurazione non rettilinea a partire da certi livelli di carico che sono detti “critici”. In sostanza per certi livelli di azione assiale di compressione, le forze di richiamo elastico che vorrebbero far ritornare l'asta alla sua configurazione rettilinea, dopo che questa configurazione sia stata persa a causa delle imperfezioni o a causa di piccole perturbazioni esterne, sono equilibrate dalle forze insorte proprio a causa della mancanza di rettilineità dell'asta, e dovute al braccio acquisito dalla forza di compressione. In queste condizioni, raggiunti certi livelli di carico, sono possibili configurazioni di equilibrio non rettilinee, alle quali corrispondono stati limite generalmente non accettabili per la struttura. Nelle aste reali il comportamento instabile tende a non essere “biforcativo”, ovvero tende a non manifestarsi all'improvviso, ma è preceduto da un progressivo allontanamento dalla configurazione iniziale. Ciò dipende essenzialmente dal fatto che il modello di asta rettilinea e priva di imperfezioni non esiste in natura.

Lo svergolamento è invece un fenomeno di instabilità strettamente legato alla flessione. Si può vedere lo svergolamento come la tendenza a sbandare lateralmente della parte compressa della sezione. Poiché lo sbandamento laterale della parte compressa non può avvenire in modo libero, essendo questa solidale con la parte tesa, la sezione realizza l'instabilità torcendosi in modo che la parte compressa vada da una parte e la parte tesa dall'altra. Lo svergolamento è facilitato dalla presenza di travi lunghe, con scarsi ritegni torsionali, aventi sezioni alte e strette. Nelle strutture in acciaio è classico lo svergolamento di travi a I nelle quali la piattabanda compressa sbanda lateralmente al raggiungimento di determinati livelli di momento flettente, e dunque di compressione sulla parte compressa della sezione. Per le travi in legno è classico lo svergolamento di sezioni rettangolari con elevato rapporto altezza/base.

Il modo in cui l'Eurocodice 5 e il document Nicole trattano il problema delle verifiche a stabilità non è identico. Mentre l'Eurocodice 5 prevede due distinti insiemi di verifiche, l'una per le colonne e l'altra per le travi, il document Nicole, in modo che ci pare più convincente, ed in analogia a quanto ad esempio si può trovare nelle istruzioni CNR10011 per le strutture in acciaio, prevede una verifica unica

per il fenomeno, modificando le formule valide per la pressoflessione al fine di pervenire a formule valide anche per lo svergolamento.

Va infatti detto che non è sempre chiaro se un elemento sia “una colonna” o “una beam”. Gli elementi strutturali possono presentare sia azione assiale che momento flettente pur essendo “travi” o “colonne”. Sembra quindi più generale e più convincente l’approccio proposto dal document Nicole, anche se la verifica in accordo ad Eurocodice non pone, come vedremo, particolari problemi.

La verifica di stabilità è una verifica di membratura e non di sezione. Questo vuol dire che, a differenza di quanto avviene per le verifiche di resistenza, non è necessario ripetere le verifiche in ogni sezione lungo lo sviluppo dell’asta. Anzi: non si deve fare. Al contrario, data ogni componente di azione interna, occorrerà trovare un valore “di progetto” per la membratura di questa azione interna, ed adottare questo valore.

In altre norme, come ad esempio le citate CNR10011 [19], ma anche nell’Eurocodice 3 [20], sono dati coefficienti di distribuzione atti a calcolare quantità “equivalenti” da utilizzare ai fini delle verifiche. Non è questo il caso dell’Eurocodice 5 e del document Nicole per quanto riguarda la instabilità euleriana. Per lo svergolamento l’EC5 dà una serie di prescrizioni sul coefficiente di libera inflessione, facendolo anche dipendere dalla distribuzione di momento (e quindi anziché usare un “momento equivalente” si usa una “lunghezza di libera inflessione equivalente”). I valori della sollecitazione di riferimento da assumere sono quelli che provocano la massima tensione. Nel caso di membratura prismatica ciò vuol dire assumere i valori massimi in modulo della compressione e della flessione, rispettivamente secondo l’asse y e secondo l’asse z .

Analogamente, a differenza di quanto previsto altrove, la norma non distingue un segno legato alla flessione, ovvero in pratica assume un comportamento simmetrico, che, mentre è perfettamente comprensibile nel caso di sezioni rettangolari, può non essere verificato in pratica nel caso di sezioni di forma “strana” o magari ottenute per composizione. In questo caso è ben possibile, ci pare, che il comportamento ad instabilità dipenda dal segno del momento flettente, essendo per esempio diverse le piattabande al lembo superiore od inferiore.

Nel prosieguo ci si riferirà quindi sempre al caso di sezioni rettangolari o circolari (per le quali però lo svergolamento non esiste), e si farà sempre riferimento a membrature prismatiche.

Il programma consente, tuttavia, di trattare anche sezioni di tipo generico, pur di fornire i dati necessari alla esecuzione delle verifiche qui descritte. Si rimanda alla guida operativa per ulteriori informazioni.

Dati di calcolo comuni alle due norme Eurocodice e Nicole.

Instabilità Euleriana

Della membratura vengono dapprima calcolate le snellezze nei due piani secondo gli ordinari metodi della scienza delle costruzioni. Pertanto si definisce una snellezza relativa all'asse y ed una snellezza relativa all'asse z (simbolo: λ).

$$\lambda_y = \frac{\beta_y L}{\sqrt{\frac{J_y}{A}}}$$

$$\lambda_z = \frac{\beta_z L}{\sqrt{\frac{J_z}{A}}}$$

I coefficienti β_y e β_z , sono detti, come è noto, coefficienti di libera inflessione, e dipendono dal tipo di schema di vincolo in ciascun piano. Essi valgono 1 nel caso di vincolo cerniera-cerniera o cerniera-carrello, valgono 2 nel caso di mensola (incastro-estremo libero), 0.5 nel caso di incastro-manicotto, e così via. A è l'area della sezione e J sono i suoi due momenti di inerzia, rispettivamente attorno all'asse y ed all'asse z.

Nella terminologia del programma l'asse y è l'asse 2, l'asse z è l'asse 3. A volte, nei tabulati, si trova il pedice "P" (=in piano) per l'asse 2, e "F" (=fuori piano) per l'asse 3. In altre parole:

- **l'asse perpendicolare allo schermo (Fuori piano) è l'asse 3 (F, z).**
- **l'asse perpendicolare all'asse dell'elemento e giacente nel Piano dello schermo è l'asse 2 (P, y).**

Definita la snellezza assoluta nei due piani, viene definita la snellezza relativa alla critica, nei due piani, aggiungendo il prefisso "rel" al pedice e normalizzando la snellezza rispetto a quella al limite tra aste snelle ed aste tozze.

Come modulo di elasticità si adotta il modulo caratteristico $E_{0,05}$. Questa procedura è naturalmente convenzionale e del tutto simile a quella che si adotta per le strutture in acciaio. Le due snellezze relative sono così definite:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

Nel caso in cui queste snellezze relative siano inferiori a una certa soglia s (che dipende dalla normativa) la verifica alla instabilità per compressione o per presso flessione può essere omessa in quanto non significativa.

L'Eurocodice 5 dà il valore soglia di $s=0,3$, la norma Nicole il valore di $s=0,5$.

In funzione delle snellezze relative appena introdotte, è possibile definire dei fattori k_c , minori o al limite eguali ad 1, che decrementano il valore della tensione di compressione resistente di progetto,

$k_{c,0}$,d. Di questi coefficienti ve n'è uno per ogni asse principale. Le formule che definiscono i due k_c sono le seguenti:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

Come si vede essi dipendono dai due fattori k_y e k_z , definiti a loro volta come segue:

$$k_y = 0,5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - s) + \lambda_{y,rel}^2 \right)$$

$$k_z = 0,5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - s) + \lambda_{z,rel}^2 \right)$$

Il coefficiente β_c vale:

β_c 0,2 per legno massiccio

β_c 0,1 per legno lamellare

Come si vede il legno lamellare è trattato meglio rispetto al legno massiccio, ciò dipende dal fatto che per l'applicabilità di queste formule devono essere soddisfatti ben precisi requisiti di rettilineità degli elementi, che devono essere qualificati prima di essere impiegati. Tali limiti sono, detta e la freccia iniziale ed L la lunghezza dell'elemento compresso:

$e < L/300$ per legno massiccio

$e < L/500$ per legno lamellare e microlamellare

Svergolamento

In analogia a quanto visto per la instabilità euleriana, anche per lo svergolamento si definisce una snellezza relativa, normalizzando la tensione caratteristica a flessione $f_{m,k}$ con la tensione associata allo svergolamento $\sigma_{m,crit}$. Risulta quindi per definizione

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

Mentre in generale sarà possibile definire una snellezza relativa in ciascuno dei due piani di flessione, ed esaminare separatamente ciò che avviene nell'uno e nell'altro piano di flessione, nel caso delle sezioni rettangolari tale generalizzazione potrebbe non essere necessaria in quanto lo svergolamento avviene sempre a causa di flessioni attorno all'asse forte. Nell'Eurocodice 5 si parla esplicitamente di flessione attorno all'asse forte, e si immagina che tale asse sia l'asse y . In generale noi dovremmo

supporre che lo svergolamento possa avvenire secondo ciascuno dei due assi principali e cautelarci corrispondentemente.

La tensione critica $\sigma_{m,crit}$ è ottenibile dal momento critico (il momento in corrispondenza al quale si ha svergolamento), mediante la prevedibile formula seguente

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{crit}}{W} = \frac{M_{y,crit}}{W_y}$$

Dove nell'ultima eguaglianza si è accettata l'ipotesi dell'Eurocodice 5, che l'asse attorno al quale effettuare la verifica sia l'asse y.

Il momento critico, a sua volta, è definito mediante la seguente formula generale in Eurocodice 5

$$M_{y,crit} = \frac{\pi \sqrt{E_{0,05} I_z G_{0,05} I_t}}{L_{ef}}$$

In questa formula compaiono:

$E_{0,05}$ ovvero il modulo elastico caratteristico in direzione delle fibre con frattile 5%.

I_z ovvero il momento di inerzia *attorno all'asse debole*.

$G_{0,05}$ ovvero il modulo di elasticità tangenziale con frattile 5%, tale modulo può essere ottenuto moltiplicando G_{mean} per il rapporto ($E_{005k}/E_{0,mean}$)

I_t ovvero il momento di inerzia torsionale

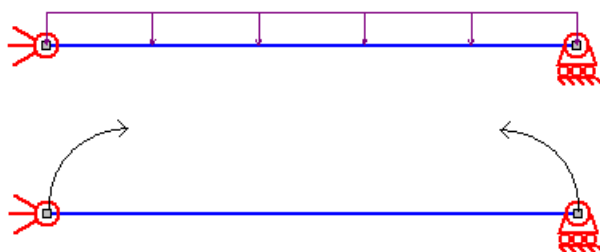
L_{ef} ovvero la lunghezza efficace

La lunghezza efficace (o per estensione “lunghezza di libera inflessione”) tiene in conto tre diversi fattori.

Il primo fattore è la presenza di ritegni torsionali che limitano la lunghezza libera della membratura. Di questo effetto l'Eurocodice esplicitamente non parla, limitandosi a chiarire che i valori di L_{ef} sono dati per membrature torsionalmente vincolate agli estremi. Se sono presenti ulteriori ritegni torsionali intermedi è lecito assumere, comunque, una lunghezza di riferimento di partenza diversa da quella della membratura, intendendo per tale lunghezza di riferimento la distanza tra due ritegni torsionali successivi.

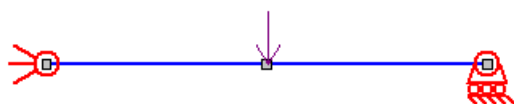
Schema

L_{ef}

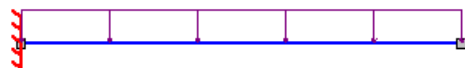


$L_{ef}=0.9L$

$L_{ef}=L$



$$L_{ef}=0.8L$$



$$L_{ef}=0.5L$$



$$L_{ef}=0.8L$$

Il secondo fattore è la distribuzione di momento flettente lungo la membratura. Nella tabella che precede si ha un quadro di alcune delle situazioni elementari possibili, secondo Eurocodice 5, nell'ipotesi di vincoli con ritegno torsionale e laterale.

Il terzo fattore è la posizione del carico, se al di sopra del baricentro (effetto instabilizzante) o al di sotto (effetto stabilizzante). Secondo l'Eurocodice i valori della tabella precedente, validi per carichi applicati nel baricentro, possono essere modificati come segue nel caso in cui il carico sia applicato all'estradosso o all'intradosso.

Se il carico è applicato al bordo compresso la lunghezza efficace deve essere aumentata di $2H$, ove H è l'altezza dell'elemento. Se il carico è applicato al bordo teso la lunghezza di libera inflessione L_{ef} deve essere ridotta di $0.5H$.

Tale prescrizione non sembra corretta poiché nel caso di una mensola l'effetto instabilizzante maggiore si ha quando il carico è in alto, dove è presente il lato teso. Infatti la modifica rispetto al caso di carico applicato nel baricentro è dovuta al fatto che nel caso in cui il carico sia più in alto (ammettendo un carico verticale verso il basso) tale carico è instabilizzante, mentre nel caso in cui sia in basso il carico stesso è stabilizzante.

Non a caso, ci pare, in [6] viene riportata una tabella dove si parla di carico “all'estradosso” “a metà altezza” e “all'intradosso”.

Pertanto diremmo che la prescrizione dell'Eurocodice debba essere modificata così: se il carico è stabilizzante (intradosso per carichi verticali verso il basso) allora la lunghezza efficace *può* essere ridotta di $0.5H$; se il carico è instabilizzante (estradosso per carichi verticali agenti verso il basso) allora la lunghezza di libera inflessione *deve* essere *aumentata* di $2H$.

Per maggior completezza riportiamo anche la tabella proposta in [6].

Schema

All'estradosso

A metà altezza

All'intradosso

Cerniera –carrello	1	1	1
Momento costante			
Coppie agli estremi			
Cerniera-carrello	0.95	0.9	0.85
Carico distribuito costante			
Cerniera-carrello	0.8/ α	0.75/ α	0.7/ α
Carico concentrato a $\xi=x/L$ dal primo appoggio (ξ adimensionale)	$\alpha=1.35-1.4\xi(1-\xi)$		
Mensola	2	2	2
Momento costante			
Coppia all'estremo			
Mensola	1.2	1.2	1.2
Carico uniformemente distribuito			
Mensola	1.7	1.7	1.7
Carico concentrato all'estremo			
Cerniera-carrello	0.4	0.4	0.35
Carico uniformemente distribuito			
Ritegno torsionale			

a metà			
Cerniera-carrello	0.25	0.25	0.25
Carico			
concentrato			
Ritegno torsionale			
a metà			

Tabella 9-17 Coefficienti L_{ef}/L per varie configurazioni di carico e vincolo. Si suppone impedito lo spostamento laterale e la rotazione torsionale agli estremi. Tabella tratta da[6].

In questa tabella non è però comprensibile perché nel caso della mensola il coefficiente non dipenda dalla posizione del carico.

Bisogna dire a riguardo di queste tabelle, che, oltre a lasciare non pochi dubbi, queste non coprono assolutamente la maggioranza dei casi possibili, poiché nell'analizzare le combinazioni i diagrammi di momento non saranno mai quelli tabellati, ma saranno molto più complessi e generici. Queste tabelle sono utili in casi elementari o resi tali da significative semplificazioni che potrebbero rendere la maggior precisione illusoria. Allora sarebbe molto più utile pervenire, dopo attenti studi e calibrizioni, a formule chiuse che impieghino genericamente il momento massimo, il momento medio e così via, come ad esempio molto efficacemente fatto nelle norme CNR 10011 [19]. In alternativa si dovrebbe, a parere di chi scrive, pervenire a formule a favore di sicurezza da usare indiscriminatamente senza distinguere le varie situazioni se non per il vincolo. Ad oggi questo stesso problema si trova in Eurocodice 3 [20], dove anzi, per le strutture in acciaio, il problema è ancor più sentito.

Una volta calcolata la snellezza relativa si può calcolare il fattore K_{crit} che riduce la resistenza di progetto a flessione:

$$\begin{aligned}
 K_{crit} &= 1 & \text{se } \lambda_{rel} &\leq 0.75 \\
 K_{crit} &= 1.56 - 0.75\lambda_{rel} & \text{se } 0.75 < \lambda_{rel} &\leq 1.4 \\
 K_{crit} &= \frac{1}{\lambda_{rel}^2} & \text{se } \lambda_{rel} &> 1.4
 \end{aligned}$$

Eurocodice 5

Compressione o presso-flessione

Queste verifiche tengono in conto lo sbandamento per pressoflessione (instabilità euleriana). Le formule sono in sé simmetriche e quindi non è necessaria alcuna correzione o generalizzazione. Sono le

formule presenti nel par 6.3.2 e numerate 6.23 e 6.24 nell'Eurocodice.

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Flessione o presso-flessione

Questa formula tiene in conto sia il caso di presso flessione. La formula si riferisce allo sbandamento flessionale (svergolamento) ed ipotizza implicitamente che questo avvenga necessariamente per flessione attorno all'asse y (asse 2 in CESCOPLUS). Poiché in generale ciò non è vero (data la possibilità di orientare l'asta come si vuole), la formula originaria deve essere sostituita da due formule nelle quali il possibile svergolamento avvenga sia secondo l'asse y (2) sia secondo l'asse z (3). Pertanto la formula originaria (par. 6.3.3 equazione 6.35)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} f_{m,y,d}} \right)^2 \leq 1$$

Deve essere sostituita dalle due seguenti, in cui si è aggiunto un pedice a Kcrit per far capire che questo si può in generale riferire a due flessioni diverse:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} f_{m,y,d}} \right)^2 \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} f_{m,z,d}} \right)^2 \leq 1$$

Nelle formule che precedono si ipotizza implicitamente che lo svergolamento debba avvenire impegnando la sezione sull'asse di maggior resistenza flessionale, come avviene nelle sezioni rettangolari, in modo che *l'altro asse* sia utilizzato per lo sbandamento euleriano in quanto di minor inerzia. Poiché in generale non sembra che ciò possa sempre considerarsi verificato le formule da verificare dovrebbero essere a parere di chi scrive le seguenti:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{\min(k_{c,z}, k_{c,y}) f_{c,0,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} f_{m,y,d}} \right)^2 \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{\min(k_{c,z}, k_{c,y}) f_{c,0,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} f_{m,z,d}} \right)^2 \leq 1$$

Tali formule sono state implementate nel programma di verifica. E' da notare che nel caso di sezione rettangolare esse equivalgono a quelle formalmente presenti in Eurocodice 5.

Lo sfruttamento finale sarà dato dal maggiore dei due sfruttamenti. In caso di presenza di trazione una interpretazione letterale della norma potrebbe far credere che non sia necessario alcun controllo di svergolamento. Chi scrive non ritiene che questo sia corretto, poiché deboli trazioni possono egualmente consentire il fenomeno dello svergolamento. Pertanto, a favore di sicurezza, in caso di trazione verrà controllato dal programma il solo termine flessionale, secondo le formule:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} f_{m,z,d}} \leq 1$$

Ove si voglia rendere influente tale verifica basterà azzerare il coefficiente di libera inflessione per lo svergolamento. In questo modo è stato realizzato il programma di verifica allegato.

Documento Nicole (e per estensione, NTC)

Nel document NICOLE si verifica lo sbandamento euleriano e quello flessionale mediante una unica formulazione, con termini accoppiati. Il document NICOLE non è mai stato ufficialmente approvato, e purtroppo girano varie versioni non sempre identiche tra loro. Chi scrive ha chiesto e prontamente ottenuto dal Centro di Documentazione dell'IVALSA-CNR il document NICOLE (in una versione che sembra essere del 2001). Tale document però riporta formule di stabilità differenti da quelle indicate, sempre per la norma NICOLE nella recente pubblicazione [7]. Poiché si ritiene attendibile la fonte [7], si riportano nel seguito le formule là indicate come "NICOLE e DIN 1052".

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Queste formule, palesemente, ipotizzano che lo svergolamento possa avvenire solo attorno all'asse y (asse 2, asse "forte"). In realtà, in generale non si sa quale sia l'asse più pericoloso per il fenomeno dello svergolamento (in certe sezioni composte deve essere verificato secondo entrambi gli assi), e quindi le formule precedenti si devono sdoppiare, dando luogo alle formule seguenti, materialmente implementate all'interno del programma:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} f_{m,z,d}} \leq 1$$

Le norme [1] NTC non dicono nulla a riguardo delle formule di verifica a stabilità. Si è scelto di farle funzionare nel programma di verifica in accordo a quanto previsto dalle norme NICOLE e DIN1052:2004, così come descritte nel testo [7].

Le verifiche

Generalità

La esecuzione delle verifiche richiede la conoscenza di alcuni concetti indispensabili al fine di evitare *qui pro quo* od omissioni che potrebbero portare a risultati significativamente sbagliati.

Premesso che nessun programma può sostituirsi al progettista, è pur vero che, quando correttamente impiegati, i programmi possono sgravare il progettista da una mole notevole di operazioni matematiche, consentendogli di mettere meglio a fuoco certe problematiche magari inizialmente incerte (ad esempio se sia più severa una verifica agli SLE od agli SLU).

Le principali avvertenze riguardano le verifiche di stabilità, ed a queste è dedicato il paragrafo successivo.

Per quanto riguarda le verifiche di resistenza, occorre comprendere a fondo le formule che sono state illustrate nel cap. 2, e soprattutto comprendere l'interpretazione che di queste formule ha dato l'autore del software di verifica e di questo testo. In particolare, si tenga presente che le verifiche sono verifiche con domini limite semplificati e non verifiche alle tensioni.

La definizione delle combinazioni di verifica è ovviamente molto importante. E' compito dell'analista definire correttamente sia le combinazioni per gli stati limite ultimi che le combinazioni per gli stati limite di servizio.

Normalmente le verifiche vengono eseguite per sezioni standard (che per il legno sono sezioni circolari piene o sezioni rettangolari) e con materiali standard (ovvero i materiali codificati reperibili nell'archivio). Esistono però casi in cui si desidera eseguire verifiche su sezioni non standard o con materiali non standard. A questi due problemi sono dedicati i paragrafi 3.9.3 e 3.9.4..

Relativamente alle verifiche di deformabilità si ricorda che è conveniente spezzare gli elementi inflessi in più sotto elementi, al fine di calcolare correttamente gli effetti della deformabilità per taglio. La

suddivisione di elementi esistenti non comporta la perdita delle informazioni relativamente alle membrature.

Per la esecuzione delle verifiche è indispensabile che ogni caso di carico riceva una classe di durata, ad eccezione dei casi di carico etichettati “GRAVITA”. **Pertanto i nomi dei casi di carico devono sempre terminare con la appropriata classe di carico (cfr. tab. 2.6).** Esperimenti numerici diversi, fatti variando le classi di durata dei carichi, possono essere semplicemente ottenuti modificando il nome dei casi di carico stessi. In alternativa si possono salvare più modelli (file .sdc) per ogni esperimento numerico necessario.

Oltre alla determinazione della classe di durata di ciascun caso di carico, è necessario scegliere la classe di servizio (ovvero la umidità dell'ambiente nel quale la struttura si troverà ad operare). Ciò si fa, come già chiarito, con il command Post-Verifiche-Imposta.

Come abbiamo visto, il programma può eseguire le verifiche sia in accordo all'EC5, sia in accordo alle norme NICOLE, sia in accordo alle NTC (con tutti i chiarimenti del caso). Il tabulato .wit cambierà a seconda della norma che si è scelto di adottare. Come chiarito nel testo, non vi sono modifiche sostanziali agli algoritmi, ma vi sono modifiche di nomenclatura e nei valori di certi coefficienti. Nella definizione delle classi di servizio e di carico si dovrà usare la terminologia dell'Eurocodice 5, sarà poi il programma a fare le conversioni del caso. Peraltro l'uso di una terminologia coerente con quella delle NTC (applicando le modifiche a priori) non porta ad avere errori.

Le verifiche a stabilità

Le verifiche a stabilità richiedono la determinazione, da parte del progettista, delle membrature che sbandano o svergolano, e la determinazione dei coefficienti di libera inflessione, che di default sono eguali a 1.

La determinazione delle membrature si sviluppa in fase di descrizione della mesh. Ogni ramo aggiunto con i comandi di aggiunta comporta una nuova membratura. Viceversa la suddivisione di un ramo esistente non comporta l'aggiunta di membrature. Pertanto se si deve definire ad esempio una beam inflessa (e perciò soggetta allo svergolamento) con un carico concentrato in mezzzeria, sarà necessario dapprima aggiungere la membratura intera, poi suddividerla mediante il command Edit-Rami-Dividi o Edit-Rami-Spezza. Se viceversa si aggiungono due rami, ciascuno di lunghezza pari alla metà della lunghezza della membratura complessiva, allora si avranno due membrature, ciascuna di lunghezza pari alla semi lunghezza della membratura desiderata.

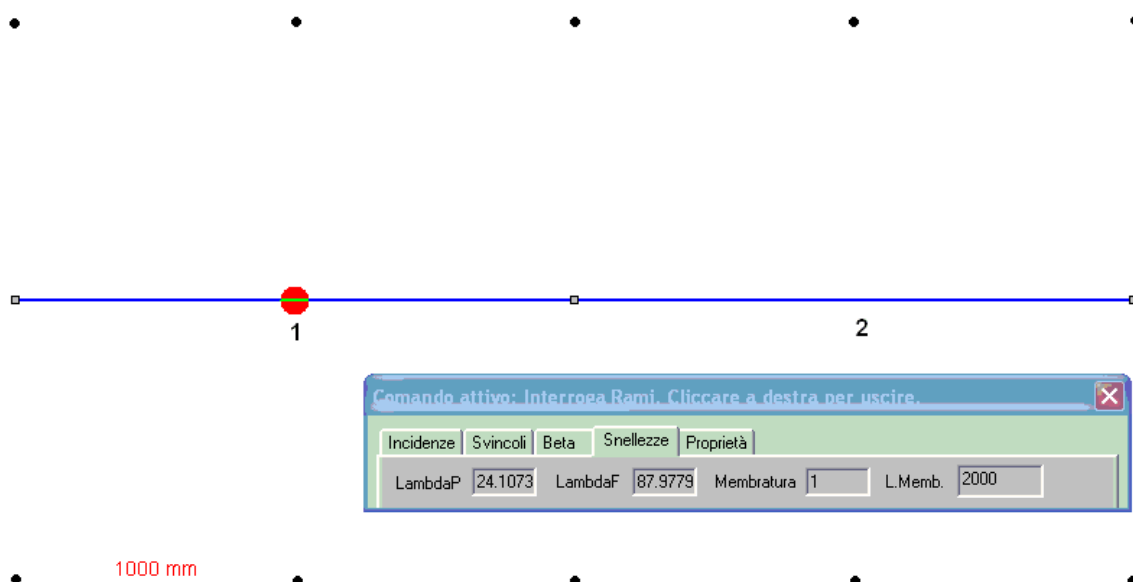


Figura 5 Interrogazione dei rami con stampa del numero e della lunghezza della membratura a cui appartiene il ramo corrente.

Il numero totale di membrature presente nel modello è reperibile dal command Inquire-Dati Generali. Per conoscere il numero di ciascuna membratura si può richiedere al programma la numerazione delle membrature (View-Numerazione Membrature) oppure interrogare i rami. Nella finestra “Snellezze” è dato per il ramo corrente il numero della membratura di appartenenza e la sua lunghezza (fig. 45. In questa figura è anche visibile la numerazione delle membrature e quindi il fatto che la beam è stata definita aggiungendo due rami. Analoga mesh si sarebbe potuta ottenere dividendo in due un ramo esistente, ma in tal caso ci sarebbe stata una unica membratura lunga 4000 mm e non due lunghe ciascuna 2000 mm).

La definizione dei coefficienti di libera inflessione è fondamentale ai fini delle verifiche. Benché il programma sia un programma piano (e quindi non esista né la torsione né la flessione fuori piano), è necessario definire sia il comportamento a svergolamento, sia il comportamento a instabilità fuori piano.



Figura 6 Dialog coefficienti di libera inflessione

Ciò si fa definendo i tre coefficienti di libera inflessione seguenti:

$\beta_1 = \beta_{SV}$

per lo svergolamento

$\beta_2 = \text{betaP}$	per lo sbandamento nel piano
$\beta_3 = \text{betaF}$	per lo sbandamento fuori piano

Se il coefficiente β viene posto eguale a zero il corrispondente meccanismo instabile è considerato impedito. Nella definizione dei valori dei coefficienti di libera inflessione occorre tener conto non solo dello schema di vincolo, ma anche della distribuzione delle azioni interne e del posizionamento del carico sull'elemento.

Verifiche di sezioni generiche

Una sezione di tipo non standard richiede informazioni aggiuntive per essere verificata in modo automatico.

Ai fini del solving (calcolo delle azioni interne e delle deformazioni) è sufficiente fornire i momenti di inerzia, le aree e poco più (i moduli di resistenza possono fornire i valori delle tensioni di flessione). Ciò si fa con il command Edit-Applica Sezione, scegliendo le sezioni generiche (cfr. fig. 20).

Queste informazioni non sono tuttavia sufficienti per eseguire le verifiche. Per tale ragione, esiste un file di testo, contenuto nella cartella di installazione del programma, denominato "Wooddata.txt". Questo file contiene, tra le altre cose, una serie di blocchi di dati atti a descrivere il modo in cui verificare le sezioni non standard. In generale, se nel modello compare una sezione il cui nome compare anche nel file "WoodData.txt", allora le verifiche su quella sezione saranno eseguite mediante i parametri descritti nel file, anche se si tratta di una sezione standard. Se invece il nome della sezione non compare nel file e la sezione è una sezione standard, allora essa sarà verificata automaticamente dal programma. Se invece il nome della sezione non compare e la sezione non è una sezione standard, allora questa sezione non sarà sottoposta a verifica e così tutti gli elementi che la impiegano.

Il blocco di istruzioni da dare nel file è il seguente:

_SHAPE													
Trapezio ; shape name this shape 'Trapezio' equivalent to exemplum 3													
42000.	1.	28662.	1.	1698666.875	1.	;	A	WV2	WV3	W1	W2	W3	
280.	200.	200.	299760000.	264237072.	87500000.	;	H2	H3	Width	Jt	J2	J3	
_ENDSHAPE													

ed è quindi compreso tra _SHAPE ed _ENDSHAPE.

Nella prima riga dopo _SHAPE si dà il nome del profilo;

Nella seconda riga si dà:

- A area del profilo
- WV2 modulo di resistenza per il taglio fuori piano
- WV3 modulo di resistenza per il taglio nel piano
- W1 modulo di resistenza per la torsione
- W2 modulo di resistenza per la flessione nel piano
- W3 modulo di resistenza per la flessione fuori piano.

Questi dati servono ad eseguire le verifiche, e sono in parte ripetuti rispetto a quelli usati per il calcolo per consentire di “pilotare” le verifiche nel modo desiderato.

Nell'ambito d'uso del programma dei dati precedenti serve solo A, WV3 e W2 (il programma verificatore è più generale e serve anche contesti tridimensionali).

Nella terza riga si dà:

- H2 altezza del profilo per flessioni attorno all'asse 2
(flessioni nel piano)
- H3 altezza del profilo per flessioni attorno all'asse 3
(flessioni fuori piano)
- Width larghezza del profilo
- Jt momento di inerzia torsionale
- J2 momento di inerzia per flessioni nel piano
- J3 momento di inerzia per flessioni fuori piano

I valori H2, H3 e Width, servono per valutare se modificare le tensioni caratteristiche con l'effetto volume.

I dati devono essere forniti nella unità attiva, di solito mm ed unità derivate. In alternativa è possibile cambiare l'unità di misura con la stringa _UNIT come chiarito nel file stesso.

Verifiche di materiali non presenti in archivio

E' possibile verificare elementi aventi un materiale non standard ma questo deve essere aggiunto alla lista dei materiali presenti nel file “WoodData.txt”. Perché un elemento possa essere verificato è indispensabile che il materiale di cui è costituito, individuato univocamente dal suo nome, sia presente nel file “WoodData.txt”.

La stringa di dati da aggiungere è la seguente:

HK27	1	27.	16.	0.5	22.	3.3
2.7	11500.	7900.	460.	800.	430.	
490.						

Nel quale sono inseriti nell'ordine, come spiegato nella legenda presente nel file stesso, i seguenti dati, nelle unità di misura attive:

- nome del profilo
- tipologia (0 legno massiccio, 1 legno lamellare)
- fm0k tensione caratteristica di rottura per flesione
- ft0k tensione caratteristica di rottura per trazione
- ft90k tensione caratteristica di rottura per trazione a 90° rispetto alle fibre
- fc0k tensione caratteristica di rottura a compressione
- fc90k tensione caratteristica di rottura a compressione a 90° rispetto alle fibre
- fvk tensione caratteristica di rottura a taglio
- E0mean modulo di elasticità medio
- E005 modulo di elasticità caratteristico frattile 5%
- E90mean modulo di elasticità a 90° medio
- Gmean modulo di elasticità tangenziale medio
- ρk densità di peso caratteristica
- ρm densità di peso media

Dopo aver aggiunto un materiale occorre incrementare il numero totale di materiali modificando la seguente zona del file:

_ MATERIALS	
27	; the total number of materials to be read

Si raccomanda di evitare caratteri di controllo speciali.

```

_MATERIALS
27.....;..the total number of materials to be read
woodC14→0→ 14.→ 8.→0.4→ 16.→ 2.0→ 1.7→ 7000.→4700.→230.→ 440.→ 290.→ 350.
woodC16→0→ 16.→ 10.→ 0.5→ 17.→ 2.2→ 1.8→ 8000.→5400.→270.→ 500.→ 310.→ 370.
woodC18→0→ 18.→ 11.→ 0.5→ 18.→ 2.2→ 2.0→ 9000.→6000.→300.→ 560.→ 320.→ 380.
woodC20→0→ 20.→ 12.→ 0.5→ 19.→ 2.3→ 2.2→ 9500.→6400.→320.→ 590.→ 330.→ 390.
woodC22→0→ 22.→ 13.→ 0.5→ 20.→ 2.4→ 2.4→ 10000.→ 6700.→330.→ 630.→ 340.→ 410.
woodC24→0→ 24.→ 14.→ 0.5→ 21.→ 2.5→ 2.5→ 11000.→ 7400.→370.→ 690.→ 350.→ 420.
woodC27→0→ 27.→ 16.→ 0.6→ 22.→ 2.6→ 2.8→ 11500.→ 7700.→380.→ 720.→ 370.→ 450.

```

Figura 7 Estratto di “Wooddata.txt”

Come si vede dalla figura precedente, i vari campi devono essere separati da tabulazioni. Si consiglia di duplicare una riga e di sovrascrivere i dati di interesse.

Il nome del materiale presente nel file deve essere rigorosamente lo stesso definito mediante il dialog di figura 16. La definizione dei dati del materiale nel dialog 16 è indipendente dalla definizione dei dati nel file “WoodData.txt”. Mentre quest’ultima serve solo alla esecuzione delle verifiche, la prima viene usata per eseguire il solving, in sostanza individua gli elementi finiti necessari ad eseguire il calcolo prima delle verifiche.

Il tabulato

Se è attiva la norma “Legno” verrà creato un tabulato con estensione “.WIT” (italiano) o “.WEN” (inglese) . Nel seguito supporremo che l’estensione sia “wit”.

Nel file .wit sono contenuti sia i risultati delle verifiche, sia una serie di risultati intermedi, sia una serie di dati di partenza (ad esempio quelli sui materiali) tipici del verificatore.

Scelta la norma viene scelta la estensione del tabulato, che è quindi unico. Il file .wit include anche tutte le parti generali create da wprint.exe e, in coda, ciò che in CESCOPLUS è il solo file .wit.

Di seguito un esempio completo di un tabulato per la parte specifica del legno, limitato ad una struttura di una sola asta.

```

#####
#
#
# Eurocode5 and N.I.CO.LE standards Automatic Checker #
#
# Vers. 8.20 - Copyright (c) 1991-06 Castalia srl. Tutti i diritti riservati. #
#
#####

```

----- GENERAL DATA -----								
Structure service class : 3								
----- MATERIAL STIFFNESS DATA -----								
Num	Name	Class	E0mean	E90mean	E005	Gmean		
1	woodC14	0	7.000E+03	2.300E+02	4.700E+03	4.400E+02		
----- MATERIAL STRENGTH DATA -----								
Num	Name		fm0k	ft0k	ft90k	fc0k	fc90k	fvk
1	woodC14		1.400E+01	8.000E+00	4.000E-01	1.600E+01	2.000E+00	1.700E+00
----- SHAPE DATA PART A -----								
Num	Name			Kind		Sizes		
1	RECT350x400			Rectangular:	(B, H) =	3.500E+02	4.000E+02	
----- SHAPE DATA PART B -----								
Num	Name		A	WV2	WV3	W1	W2	W3
1	RECT350x400		1.400E+05	9.333E+04	9.333E+04	1.071E+07	9.333E+06	8.167E+06
----- SHAPE DATA PART C -----								
Num	Name		Width	Depth M2	Depth M3	Jt	J2	J3
1	RECT350x400		4.000E+02	4.000E+02	3.500E+02	2.719E+09	1.867E+09	1.429E+09
----- EULER BUCKLING DATA -----								

Beam	Section	Lam2rel	Lam3rel	Kc2	Kc3
1	RECT350x400	9.650E-01	0.000E+00	7.152E-01	1.000E+00
----- FLEXURAL BUCKLING DATA -----					
Beam	Section	Lam12rel	Lam13rel	Kcrit2	Kcrit3
1	RECT350x400	3.025E-01	2.647E-01	1.000E+00	1.000E+00
----- RISULTATI DELLE VERIFICHE: INVILUPPO SULLE CONDIZIONI DI CARICO -----					

	LEGEND				
	Beam	Beam number			
	Truss	Truss number			
	K_Res	Maximum resistance exploitation factor: ok if < 1.000			
	CB_Res	Combination associated to K_Res			
	N_Sec	Section inside beam where K_Res was computed			
	Nv_Res	Check number for resistance			
	1	compression			
	2	tension			
	3	bending			
	4	shear			
	5	torsion			
	6	axial force plus bending			
	7	shear force plus torsion			

Sargon - 1991-2014 - Copyright Castalia srl - Milan - Italy - www.castaliaweb.com

Figura 8 Tabulato .wit

In seguito vengono chiariti per ogni forma sezionale i dati di calcolo impiegati per la esecuzione delle verifiche. Tali dati di calcolo possono essere calcolati in automatico (forme sezionali tipo rettangolare o circolare piena) o possono essere forniti manualmente al programma per qualsiasi tipologia

sezionale, insegnando così al programma come fare ad eseguire le verifiche. In particolare vengono forniti i moduli di resistenza per ciascuna delle componenti di sollecitazione ed i momenti di inerzia necessari al calcolo del comportamento a instabilità. E' da notare che la formulazione del J_t della sezione rettangolare è diversa tra verificatore e solutore. E' sempre possibile adoperare i dati desiderati pur di fornirli al programma.

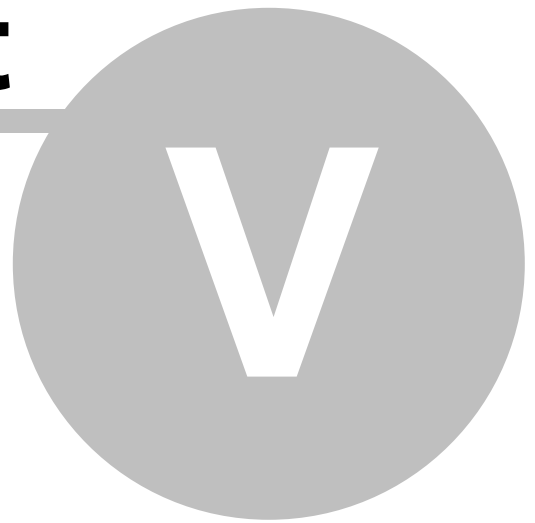
La sezione successiva si riferisce all'instabilità euleriana (compressione, pressoflessione). Vengono fornite le snellezze adimensionali ed i fattori riduttivi per le tensioni di compressione, in ciascuno dei due possibili piani di sbandamento. Si noti a questo riguardo, che l'asse locale "2" giace nel piano dello schermo, mentre l'asse locale "3" è ad esso perpendicolare.

Nella sezione ancora successiva si danno delle informazioni relative alla instabilità flessionale (lo svergolamento). In particolare viene fornito il valore di K_{crit} .

La sezione successiva dà i valori dei coefficienti di sfruttamento di involucro, ovvero il peggio al variare delle combinazioni, sia per la resistenza che per la stabilità.

Infine, l'ultima sezione fornisce i risultati "analitici", ovvero elemento per elemento e combinazione per combinazione. In questa ultima sezione viene anche riepilogato il coefficiente γ_M ed il coefficiente K_{mod} , che, come è noto, dipende dalla combinazione.

Part



5 Papers (Italian)

5.1 La classificazione via EC3 di profili ad I sottoposti a sollecitazioni miste

C.T.A. COLLEGIO DEI TECNICI DELL'ACCIAIO

GIORNATE ITALIANE DELLA COSTRUZIONE IN ACCIAIO

VIAREGGIO: 24 - 25 - 26 - 27 OTTOBRE 1993

LA CLASSIFICAZIONE VIA EC3 DI PROFILI AD I SOTTOPOSTI A SOLLECITAZIONI MISTE

CLASSIFICATION THROUGH EC3 OF I SHAPES UNDER COMBINED STRESSES

ing. Paolo Rugarli - Castalia s.r.l.

SOMMARIO

Viene presentato un metodo per classificare profili ad I in presenza di sollecitazioni di tipo misto (contemporanea presenza di azione assiale e di due componenti di momento). Tale metodo e' generale e implementabile su calcolatore. Questo lavoro e' stato indispensabile per lo sviluppo del verificatore secondo l'EC3, nell'ambito del progetto Sargon.

ABSTRACT

A method for classifying I shapes according to EC3 in presence of complete sets of

sollecitation (axial force plus two bending moments) is presented. This method is general and implementable.

The work which is here presented has been necessary in order to develop the EC3 checking module of the Sargon project.

1) Introduzione

La classificazione delle sezioni è uno degli aspetti salienti dell'Eurocodice 3. La norma europea richiede infatti che di ogni membratura in ogni generica condizione di carico venga esaminato il comportamento locale, mediante l'analisi dello stato di sforzo e delle caratteristiche degli elementi costituenti la membratura. Occorre stabilire, infatti, se l'imbozzamento per instabilità locale avvenga prima del raggiungimento del limite elastico (classe 4); tra il limite elastico e quello plastico (classe 3); ovvero dopo il limite plastico (classi 1 e 2).

Sotto questo profilo l'EC3 appare coerente con le prescrizioni delle norme AISC 89 [1] (allowable stress design). Le sezioni di classe 4 dell'EC3 sono le sezioni "slender" delle AISC; la classe 3 è raffrontabile alla classe "non compact", le classi 1 e 2 alla classe "compact". Un riferimento normativo europeo può essere trovato nelle norme inglesi BS 5950 [2], che già nel 1985 introducevano il concetto di classificazione delle sezioni.

Da un punto di vista operativo una sezione si classifica confrontando, elemento per elemento, il rapporto larghezza-spessore del singolo elemento con dei valori limite che delimitano il campo di appartenenza alle varie classi. I valori limite dipendono dal numero $\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$ e dalla distribuzione di sforzi sull'elemento (cfr. tavv. 1 e 2). In generale la distribuzione di sforzi adottata è di due tipi: per le classi 1 e 2 tale distribuzione è una distribuzione plastica a stress-block rettangolari; per la classe 3 la distribuzione è una distribuzione al limite elastico. In altre parole, si suppone che le sollecitazioni in equilibrio con il campo di sforzi di riferimento stiano, rispettivamente, sul dominio limite plastico e sul dominio limite elastico.

Se si esce dalla situazione di sollecitazione pura, e si entra in quella di sollecitazione mista, si vede come il calcolo del parametro α delle tabelle non sia affatto agevole. L'asse neutro plastico (PNA) non è infatti parallelo ad alcuno degli assi principali della sezione né all'asse neutro elastico. L'analisi delle tabelle fa pensare che le distribuzioni ipotizzate dal Normatore siano distribuzioni simmetriche, in equilibrio cioè con una coppia di sollecitazioni del tipo (N, M_x) oppure (N, M_y), su sezioni aventi almeno un asse di simmetria.

Non è questo l'unico caso in cui la Norma sembra, ad un'attenta osservazione, necessitare di qualche

perfezionamento. Basti dire che, per esempio, una sezione ad I semplicemente inflessa avente un'anima con un rapporto $d/t_w = 100\varepsilon$ risulta di classe 3 stando a quanto prescritto dalla tav. 1 (e perciò la sua sezione efficace coincide con la sua sezione geometrica), mentre applicando le formule del par. 5.3.5. della norma, ovvero le formule che indicano come e quanto parzializzare le sezioni di classe 4, si trova che, con quello stesso rapporto d/t_w , e quella stessa sollecitazione, è necessario parzializzare l'anima come se la sezione fosse in classe 4. Apparentemente, cioè, i due gruppi di formule non danno luogo ad una transizione continua.

Ciò detto, nel classificare una sezione sottoposta ad uno stato di sollecitazione misto sorgono i seguenti due problemi:

- 1) Come regolarsi nel caso in cui le sollecitazioni non stiano su uno dei domini limite ?
- 2) Come regolarsi nel caso generale in cui siano contemporaneamente presenti tutte e tre le sollecitazioni N , M_x ed M_y ?

Il testo attuale dell'EC3 non chiarisce come risolvere questi problemi. Il quesito 1) è legato al fatto che lo stato di sollecitazione derivante dal calcolo non appartiene, in generale, ad alcun dominio limite. Il quesito 2) è particolarmente rilevante allorché ci si appresti a risolvere strutture tridimensionali con metodi automatici.

Questo lavoro deriva infatti dalla necessità di poter eseguire in modo automatico la classificazione di profili sottoposti a quello che per il computer è lo stato di sollecitazione tipico, ovvero quello con l'azione assiale ed i due momenti flettenti contemporaneamente presenti. Tale esigenza si è prospettata nell'implementare il verificatore automatico secondo l'EC3 del programma Sargon. L'importanza del problema sta nel fatto che occorre disporre di un metodo generale atto a classificare i profili indipendente dal tipo della sollecitazione.

2) Stati di sollecitazione non appartenenti a domini limite

Sia data una generica sezione di una generica membratura in un generico caso di carico: sia $\mathbf{S} = (N, M_x, M_y)$ la terna delle sollecitazioni calcolate, e tale terna non appartenga ad alcun dominio limite. Sono possibili tre casi, prescindendo per ora dagli effetti locali: **a)** \mathbf{S} è interno al dominio limite elastico; **b)** \mathbf{S} è tra il dominio limite elastico ed il dominio limite plastico; **c)** \mathbf{S} è fuori dal dominio limite plastico.

Si esamini dapprima il caso **a)**.

Nel caso **a)** la sezione può essere indifferentemente in classe 1, 2 o 3: sarà egualmente verificata.

Dire che la sezione è in classe 1, in questo caso, significa dire che: trovato il moltiplicatore $\lambda > 1$ tale che λS appartenga al dominio limite plastico, e trovata la distribuzione di sforzi a stress block rettangolari in equilibrio con detto λS , risulta che tutti gli elementi della sezione, sotto l'effetto di tali stress block, sono di classe 1. Il coefficiente di sfruttamento a resistenza è in tale caso $1/\lambda$.

Se invece, calcolato λ , risulta che la sezione non è di classe 1 o 2 sotto l'azione degli stress block, occorre valutare se tale sezione sia di classe 3. Poiché il dominio limite elastico è facilmente esprimibile in forma chiusa, si può calcolare il γ tale che γS appartenga al dominio limite elastico, e verificare che con la distribuzione corrispondente di sforzi, i limiti delle tavole dell'EC3 siano verificati. Se la sezione è di classe 3 il coefficiente di sfruttamento è pari a $1/\gamma$ (dove $1/\gamma > 1/\lambda$).

Se la sezione non è neppure di classe 3 essa è di classe 4, e occorre fare dei calcoli particolari per valutare la parte effettivamente reagente (sezione efficace). In tal caso occorre usare il dominio limite elastico della sezione efficace, valutando un nuovo moltiplicatore δ , e quindi il coefficiente di sfruttamento corrispondente: può anche darsi che S nella situazione **a**) sia esterno a tale dominio, nel qual caso $1/\delta > 1$, e la sezione non è verificata.

Il "coefficiente di sfruttamento" precedentemente introdotto garantisce che se i carichi vengono amplificati omoteticamente mediante un numero pari all'inverso di tale coefficiente, si raggiunge la soglia di sfruttamento *senza che intervengano effetti locali, oppure avendo messo in conto tali effetti (sezione efficace)*.

Nel caso **b**) la sezione deve essere almeno di classe 2, mentre nel caso **c**) non ha senso porsi il problema della classificazione, se non ai fini della misura dell'eccesso di sfruttamento.

Il problema principale potrebbe sembrare il calcolo del moltiplicatore di S che fa giungere sul dominio limite plastico L_p . Il calcolo di λ potrebbe essere risolto facilmente dall'equazione

$$L_p(\lambda S) = 0$$

e a tale scopo si potrebbero usare gli stessi domini proposti dalla normativa per le verifiche di resistenza.

In realtà, il vero problema non è valutare λ , ma individuare l'asse neutro plastico associato ai coseni direttori di S nello spazio delle sollecitazioni: un calcolo esplicito di λ non è necessario, nè sarebbe peraltro utile conoscere il luogo plastico in forma chiusa.

Nel caso di stati di sforzo misti tale problema non è banale e coincide con la ricerca della

distribuzione di stress block in equilibrio con una sollecitazione del tipo λS , essendo λ uno scalare incognito. Se tale problema può essere aggirato (a prezzo di una sovrastima del coefficiente di sfruttamento) in presenza di stati di sforzo S che siano interni al dominio elastico, accontentandosi di usare tale dominio come limite, diventa invece necessario risolverlo per stati di sforzo compresi tra il dominio limite elastico e quello plastico: in pratica, se si vogliono sfruttare le risorse plastiche e se si vuole applicare convenientemente l'EC3.

Il problema, così posto, è non lineare e di tali problemi ve n'è

$$nt \cdot nl \cdot ns$$

dove **nt** è il numero di elementi finiti di beam, **nl** è il numero di combinazioni di verifica, **ns** è il numero di sezioni in cui si è suddiviso l'elemento finito di beam.

Sono stati proposti [3] approcci semplificati atti a far pervenire a distribuzioni parziali di sforzi che equilibrino la coppia (N, Mx) senza coinvolgere l'intero profilo, ma tali approcci appaiono poco generalizzabili ("momento Mx alle ali, azione assiale N all'anima"), senza considerare che sono applicabili solo in presenza di *coppie* di sollecitazioni (N, M).

La soluzione consiste nel rappresentare la classe della sezione in funzione dei coseni direttori di S , senza passare attraverso la ricerca dell'asse neutro plastico. Tale approccio è stato impiegato per profili laminati del tipo ad I con doppio asse di simmetria, facendo pervenire a risultati del tutto generali.

L'approccio che verrà qui proposto è particolarmente conveniente allorché si disponga di un elaboratore. Per fare i conti "a mano" è stato proposto [4] un metodo numerico semplificato.

3) Lo studio della classe dei profili ad I laminato.

Siano N_{pl} , M_{xpl} , M_{ypl} i valori assoluti delle sollecitazioni al limite plastico. Sia dato un generico stato di sollecitazione $S = (N, M_x, M_y)$ derivante dal calcolo: tale stato di sollecitazione si riferisce ad una generica sezione di un generico elemento, in una generica combinazione di verifica. S rappresenta un generico vettore nello spazio delle sollecitazioni. Sia ora $s = (n, m_x, m_y)$ il corrispondente stato di sforzo adimensionalizzato, essendo

$$n = \frac{N}{N_{pl}}$$

$$m_x = \frac{M_x}{M_{x_{pl}}} \quad (1)$$

$$m_y = \frac{M_y}{M_{y_{pl}}}$$

Si introduca ora il piano Π definito dalle variabili

$$\begin{aligned} \xi &= \arctg\left(\frac{m_y}{m_x}\right) \\ (2) \quad \Theta &= \arctg\left(\frac{n}{\sqrt{m_x^2 + m_y^2}}\right) \end{aligned}$$

Tale piano rappresenta una mappatura dei versori dello spazio (n, m_x, m_y) . Si ponga inoltre

$$-\pi < \xi < \pi$$

$$-\frac{\pi}{2} < \Theta < \frac{\pi}{2}$$

Sia ora dato un generico profilo ad I. S'è visto nel paragrafo precedente come, a rigore, la classe di una sezione sia una funzione dei coseni direttori dello stato di sforzo, e non del parametro λ, γ o δ . È quindi possibile studiare come varii la classe al variare di (ξ, Θ) , e rappresentare nel piano Π tale dipendenza.

Sia dunque dato un generico profilo ad I, e si riferisca tale profilo agli assi principali di inerzia. È possibile generare un insieme di assi neutri plastici semplicemente come un insieme di rette del piano che taglino la sezione del profilo. Dato un generico asse neutro plastico PNA_i , è facile classificare la sezione sulla base dell'equazione, nota, dell'asse neutro plastico in questione, e, al tempo stesso, è facile calcolare per equilibrio il punto del dominio limite plastico ove ci si trova.

Risulta infatti per equilibrio:

$$N = f_y(AT - AC)$$

$$M_x = f_y(S_xT - S_xC) \quad (3)$$

$$M_y = f_y(S_yC - S_yT)$$

ove

AT	area della parte tesa della sezione.
AC	area della parte compressa della sezione
SxT	momento statico rispetto all'asse x della parte tesa della sezione
SxC	momento statico rispetto all'asse x della parte compressa della sezione
SyC	momento statico rispetto all'asse y della parte compressa della sezione
SyT	momento statico rispetto all'asse y della parte tesa della sezione

Tramite le (1) e le (2) è poi possibile trovare la coppia (ξ, Θ) associata all'asse neutro plastico in questione. Si può quindi stabilire una relazione del tipo

$$PNAi(\xi, \Theta)$$

Data l'equazione di un certo asse neutro plastico è anche possibile stabilire, sulla base delle tav. 1 e 2 e analizzando la dimensione delle parti compresse della sezione, a quale classe la sezione appartenga sotto quello stato di sforzo. Nel caso in cui essa non appartenga alle classi 1 e 2, occorre trovare, a parità di coseni direttori nello spazio (n, m_x, m_y) , ovvero a parità di (ξ, Θ) , l'asse neutro elastico corrispondente. Ciò si può fare con una certa semplicità ricordando l'equazione generale dell'asse neutro elastico. Dopo qualche passaggio si ottiene l'equazione dell'asse neutro elastico che conserva la coppia (ξ, Θ) :

$$y = \operatorname{tg}^2 \Theta \cdot \frac{J_x}{J_y} \cdot \frac{M_{ypl}}{M_{xpl}} \cdot x - \frac{J_x}{A \cdot M_{xpl}} \cdot \frac{N_{pl}}{M_{xpl}} \operatorname{tg} \Theta \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \Theta} \quad (4)$$

e da questa si può vedere se la sezione sia in classe 3 tramite l'esame della distribuzione elastica di sforzi. Nel caso in cui la sezione non sia in classe 3, essa è in classe 4.

Se utilizzando il metodo precedentemente esposto si rappresenta la classe associata ad ogni punto del piano Π con un punto di colore diverso (verde per la classe 1, azzurro per la classe 2, rosso per la classe 3, e viola per la classe 4) si ottengono i risultati mostrati nelle figure 1 e 2, rispettivamente relative ad un profilo IPE500, ed a un profilo HE500AA, entrambi realizzati in Fe510. Le figure sono state ottenute generando con l'elaboratore 100000 assi neutri plastici su ciascuna sezione, e valutando poi la coppia (ξ, Θ) e la classe nel modo chiarito precedentemente.

L'analisi delle figure mostra che esistono delle ben definite regioni nel piano Π , all'interno delle quali la classe non varia. Tali regioni, che qui verranno chiamate *reclassi*, sono semplicemente connesse e di forma regolare. La descrizione della dipendenza della classe dalla sollecitazione è perciò particolarmente semplice nel piano Π .

Classificare una sezione sulla base della sua sollecitazione $\mathbf{s} = (n, m_x, m_y)$, equivale a trovare la reclassa del piano Π alla quale appartiene il punto $P = (\xi, \Theta)$ associato a \mathbf{s} . Il problema della classificazione delle sezioni in sollecitazioni miste è perciò ricondotto alla descrizione geometrica delle reclassi.

4) Le reclassi

Convien osservare dapprima che data la doppia simmetria delle sezioni ad I laminato, è possibile ricondursi alla regione $\Gamma = (0 < \xi < \pi/2, -\pi/2 < \Theta < \pi/2)$. In altre parole uno stato di sollecitazione (ξ', Θ') che non appartenga a Γ , comporta la stessa classe che comporta lo stato di sollecitazione (ξ, Θ) ottenuto riportandosi a Γ secondo le regole seguenti:

$$\Theta = \Theta'$$

$$\xi = \xi' \quad \text{se } \xi' < \pi/2$$

$$\xi = \xi' - \pi \quad \text{se } \xi' > \pi/2$$

Poichè la classificazione delle sezioni ad I avviene atbeamrso l'esame separato dell'anima e delle ali, è possibile ottenere due insiemi di reclassi: l'insieme delle reclassi ottenute classificando l'anima, e l'insieme delle reclassi ottenute classificando l'ala. Tali reclassi sono al più otto: le quattro reclassi ottenute classificando l'anima e le quattro reclassi ottenute classificando l'ala.

Se i rapporti larghezza-spessore ed il materiale lo consentono, è possibile che una o più reclassi coincidano con l'insieme vuoto : ad esempio, una sezione molto robusta potrà essere sempre in classe 1 con un certo acciaio: in tal caso le reclassi si riducono a due, entrambe coincidenti con Γ .

Siano \mathbf{W}_i e \mathbf{F}_i le reclassi di classe i ottenute rispettivamente classificando l'anima e l'ala. Ogni reclassa può essere descritta con una poligonale nella regione Γ , avente un numero arbitrario di lati: all'aumentare dei lati l'accuratezza della soluzione aumenta. Di seguito verrà descritto il metodo da seguire per descrivere le poligonali che individuano le reclassi.

4.1) Reclasse W1

All'interno di tale reclasse la classe del profilo è 1. La frontiera della reclasse si ottiene dal fascio di assi neutri plastici che ha per sostegno un punto **A1** posto sull'anima (fig. 3): la ordinata y di **A1** rispetto al baricentro può essere trovata con il procedimento che segue.

Si valuti il termine α della tavola 5.3.1. dell'EC3 mediante l'espressione

$$\alpha_1 = \frac{396 \varepsilon + d/t_w}{13 d/t_w} \quad \text{con } \alpha_1 > 0.5 \quad (5a)$$

ovvero, se appropriata

$$\alpha_1 = \frac{36 \varepsilon}{d/t_w} \quad \text{con } \alpha_1 < 0.5 \quad (5b)$$

Tale valore di α rappresenta la transizione tra la classe 1 e la classe 2 per l'anima allo studio.

Risulta quindi, supponendo compressa la parte inferiore dell'anima (cfr. fig.3)

$$y = \alpha_1 d - d/2$$

La reclasse verrà qui descritta sinteticamente dalla poligonale L M C B1A1O1 di figura 4.

La poligonale si ottiene scegliendo alcuni particolari assi neutri plastici nel fascio che ha per sostegno il punto dell'anima **A1**.

I punti L M e C hanno sempre le coordinate:

$$L = (0, \pi/2)$$

$$M = (\pi/2, \pi/2)$$

$$C = (\pi/2, 0)$$

Il punto C corrisponde all'asse neutro plastico c (fig. 3) che appartiene al fascio di rette che ha per sostegno **A1** e che inoltre è verticale. Trovato tale asse neutro plastico è infatti possibile calcolare con le (3)

le sollecitazioni ad esso associate e quindi, tramite le (1) e (2), le coordinate nel piano Π del punto C. Poichè in questo caso $n=0$, $m_x = 0$, $m_y = 1$, ne discende $\xi = \pi/2$, $\Theta = 0$.

Il punto B1 è ottenuto dall'asse neutro plastico b_1 che appartiene al fascio di rette che ha per sostegno $\Lambda 1$ e che forma con l'asse x un angolo convenzionale (il valore dell'angolo e' puramente convenzionale: serve solo a trovare un punto appartenente alla frontiera della reclasse) di 89.

Il punto A1 è ottenuto dall'asse neutro plastico a_1 del fascio che passa per l'estremo inferiore sinistro del profilo (punto R, fig.3), se $\alpha > 0.5$. Se, invece, $\alpha < 0.5$ il punto A1 è ottenuto dall'asse neutro plastico a_1 del fascio che passa per l'estremo superiore destro del profilo (punto S, fig. 3).

Il punto O1 è ottenuto dall'asse neutro plastico o_1 del fascio che è orizzontale.

Se le (5) forniscono per α valori superiori a 1, il punto $\Lambda 1$ non appartiene all'anima e $W1$ coincide con Γ . In tal caso risulta anche

$$W2 = W3 = W4 =$$

4.2) Reclasse W2

All'interno di tale reclasse la classe del profilo è 2. Se $W2$ la frontiera della reclasse si ottiene dal fascio di assi neutri plastici che ha per sostegno un punto $\Lambda 2$ posto sull'anima (fig. 5). La ordinata y di $\Lambda 2$ rispetto al baricentro può essere trovata con il procedimento già visto, pur di utilizzare le equazioni appropriate. Si valuti il termine α della tavola 5.3.1. dell'EC3 (cfr. tav. 1) mediante l'espressione

$$\alpha_2 = \frac{456 e + d/t_w}{13 d/t_w} \quad \text{con } \alpha_2 > 0.5 \quad (6a)$$

ovvero, se appropriata

$$\alpha_2 = \frac{41.5 e}{d/t_w} \quad \text{con } \alpha_2 < 0.5 \quad (6b)$$

Tale valore di α rappresenta la transizione tra la classe 2 e la classe 3 per l'anima allo studio.

Risulta quindi, supponendo compressa la parte inferiore dell'anima (cfr. fig. 5)

$$y = \alpha 2d - d/2$$

La reclasse è descritta sinteticamente dalla poligonale O1A1B1CB2A2O2 di figura 4.

Il nuovo tratto CB2A2O2 della poligonale si ottiene scegliendo dal fascio di assi neutri plastici che ha per sostegno il punto dell'anima **A2**, alcuni particolari assi.

Il punto B2 è ottenuto dall'asse neutro plastico b_2 che appartiene al fascio di rette che ha per sostegno **A2** e che forma con l'asse x un angolo convenzionale di 89.

Il punto A2 è ottenuto dall'asse neutro plastico a_2 del fascio che passa per l'estremo inferiore sinistro del profilo (punto R, fig.5) se $\alpha > 0.5$. Se, invece, $\alpha < 0.5$ il punto A2 è ottenuto dall'asse neutro plastico a_2 del fascio che passa per l'estremo superiore destro del profilo (punto S, fig. 5).

Il punto O2 è ottenuto dall'asse neutro plastico o_2 del fascio che è orizzontale.

Se le (6) forniscono per α valori superiori a 1, il punto **A2** non appartiene all'anima e **W2** coincide con $(\Gamma - \mathbf{W1})$. In tal caso risulta anche

$$\mathbf{W3} = \mathbf{W4} =$$

4.3) Reclasse **W3**

All'interno di tale reclasse la classe del profilo è 3. Se **W3** la frontiera superiore della reclasse, quella in comune con la reclasse **W2**, è già stata trovata e coincide con O2A2B2C. La frontiera inferiore C B3 A3 O3 della reclasse **W3**, si ottiene nel seguente modo.

Se

$$d/tw < 42 \varepsilon$$

allora la classe non è mai pari a 4. In tal caso

$$\mathbf{W3} = (\Gamma - \mathbf{W1} - \mathbf{W2})$$

e la frontiera inferiore di **W3** coincide con la frontiera di Γ .

Se invece

$$d/t_w > 42 \varepsilon$$

allora la classe può, in talune situazioni, essere pari a 4. In tal caso il ragionamento da fare è il seguente. Se un generico asse neutro plastico taglia l'anima al di sopra di Λ_2 la sezione non è nè in classe 1, nè in classe 2: occorre allora trovare l'asse neutro elastico che conservi i coseni direttori nello spazio delle sollecitazioni, e verificare la classe del profilo mediante le seguenti relazioni, soddisfatte se il profilo è in classe 3:

$$d/t_w < \frac{42\varepsilon}{0.67 + 0.33\psi} \quad \cos\psi > -1 \quad (7a)$$

$$d/t_w < 62\varepsilon(1-\psi)\sqrt{-\psi} \quad \cos\psi < -1 \quad (7b)$$

dove ψ il rapporto tra la massima tensione di compressione (positiva) e la tensione all'altro estremo del profilo (cfr. tav. 1).

Se, dato d/t_w , si risolvono le equazioni associate alle (7), si trova un valore di $\psi=\psi_3$, che è il valore di transizione tra la classe 3 e la classe 4. Si noti che le (7) determinano *un solo* valore di ψ_3 . Il fascio di assi neutri elastici che ha per centro il punto Λ_3 dell'anima tale per cui risulta $\psi=\psi_3$ determina la frontiera inferiore cercata. Il punto Λ_3 ha coordinate

$$\Lambda_3 = (0, \frac{h}{2} \cdot \frac{1+\psi_3}{1-\psi_3}) \quad (8)$$

Se si sostituiscono le coordinate di Λ_3 nella equazione (4), si ottiene l'equazione della frontiera cercata:

$$\Theta = -\arctg \left[\frac{1+\psi_3}{1-\psi_3} \frac{W_{xpl}}{W_{xsl}} \cos(\xi) \right] \quad (9)$$

La reclasse è descritta sinteticamente dalla poligonale O2A2B2CB3A3O3 di figura 4.

Il nuovo tratto CB3A3O3 della poligonale si ottiene imponendo tre ascisse ξ , in questo esempio $\pi/2$, $\pi/4$, e 0, e valutando poi le ordinate Θ tramite la (9).

4.4) Reclasse W4

All'interno di tale reclassa la classe del profilo è 4. Se

$$d/t_w > 42 \varepsilon$$

allora **W4** e risulta

$$W4 = (\Gamma - W1 - W2 - W3)$$

4.5) Reclassi Fi

Le reclassi **Fi** possono essere descritte con poligonali così come le reclassi **Wi**. Per la reclassa **F1**, valutato α_1 (cfr. tav. 2) dall'espressione

$$\alpha_1 = \frac{10\varepsilon}{c/t_f}$$

(Si noti che la distribuzione deve comunque essere tale da far sì che l'estremo dell'ala sia compresso, mentre l'attacco dell'ala all'anima dev'essere teso ("tip in compression"). Infatti, se l'estremo è teso, è facile vedere che esiste sempre una semi-ala interamente compressa.)

La frontiera si ottiene dal fascio di assi neutri plastici che ha per centro il punto Σ_1 di coordinate (cfr. figg.6 e 7).

$$\Sigma_1 = (c - \alpha_1 c, -\frac{h - t_f}{2})$$

Per la reclassa **F2**, valutato α_2 dall'espressione (cfr. tav. 2)

$$\alpha_2 = \frac{11\varepsilon}{c/t_f}$$

la frontiera si ottiene dal fascio di assi neutri plastici che ha per centro il punto Σ_2 di coordinate

$$\Sigma_2 = (c - \alpha_2 c, -\frac{h - t_f}{2})$$

La reclassa **F3** si ottiene da un fascio di assi neutri elastici. In tal caso, valutato ψ_3 dall'equazione

$$\frac{c}{t_f} = 23e \cdot \sqrt{0.07w^2 - 0.21w + 0.57}$$

il centro del fascio Σ_3 ha coordinate

$$\Sigma_3 = \left[-\frac{\psi_3 B}{2(1-\psi_3)}, \frac{h-t_f}{2} \right]$$

Sostituendo tali coordinate nella (4) si ottiene la frontiera di F_3 in forma chiusa.

$$\Theta = \arctg \left[\frac{(h-t_f) \cdot W_{xpi}}{2J_x} \cos(\xi) - \frac{W_{ypi}}{W_{yxi}} \frac{\psi_3}{1-\psi_3} \sin(\xi) \right]$$

5) La classificazione di un profilo ad I laminato

Dato $S = (M, M_x, M_y)$, tramite le (1) e (2) si valuta il punto $P(\xi, \Theta)$ corrispondente ad S nel dominio Γ . Se le reclasse del profilo sono note (figg. 8 e 9), si cerchi la reclasse W_i e la reclasse F_j alle quali appartiene P . La classe del profilo C è (fig. 10)

$$C = \max\{i, j\}$$

ovvero, per ogni punto di Γ la massima classe possibile.

6) Conclusioni.

È stato proposto un metodo capace di risolvere completamente con il desiderato grado di accuratezza il problema della classificazione di profili sottoposti a sollecitazione mista. Tale metodo può essere implementato all'interno di un codice di calcolo, consentendo di valutare con piena accuratezza la classe di una sezione ad I sottoposta ad uno stato di sforzo del tutto generale.

La necessita' di introdurre una procedura generale deriva da un lato dal fatto che nella Norma non e' chiarito come regolarsi nel caso di sollecitazione mista; dall'altro dal fatto che e' necessario disporre di algoritmi implementabili su calcolatore.

Il metodo di classificazione qui esposto e' stato gia' implementato all'interno del codice di calcolo Sargon, atto alla verifica automatica delle membrature in acciaio secondo l'EC3.

7) Riferimenti.

- [1] A.I.S.C. "Manual of Steel Construction" 9th edition, 1989: "Specification for Structural Steel Buildings".
- [2] British Standard Institution "Structural use of steelwork in building. Part 1."- BS5950, 1985.
- [3] Advisory Desk - "SCI Answers to Queries on Steelwork Design 1988-1990", SCI Publication nr. 104.
- [4] Paolo Rugarli "Questioni connesse alla classificazione di profili sottoposti a sollecitazioni miste". Memoria presentata a "Eurosoftware 93", Venezia 1993.

5.2 Software orientati alla comunicabilità ed al controllo dei dati

C. T. A. Collegio dei Tecnici dell'Acciaio
GIORNATE ITALIANE DELLA COSTRUZIONE IN ACCIAIO

SOFTWARE ORIENTATI ALLA COMUNICABILITÀ
ED AL CONTROLLO DEI DATI NELL'INGEGNERIA DELLE STRUTTURE

Ing. Paolo Rugarli - Castalia s.r.l., Novara

Le recenti acquisizioni nel campo dell'hardware hanno reso evidente la necessità di adeguare i programmi di calcolo agli elementi finiti, anch'essi per la verità abbastanza recenti, alle nuove tecnologie disponibili.

Pur dando per scontato ciò che scontato non è, vale a dire un impiego diffuso del metodo degli elementi finiti, v'è molto da fare per rimanere al passo coi tempi: generazioni di macchine sostituiscono le precedenti ogni due anni. Gli elementi finiti sono ormai ben studiati e ampiamente affidabili, eppure la loro diffusione non è ancora sufficiente. Di ciò noi crediamo sia responsabile principalmente il software.

In questa breve nota si vogliono richiamare quegli aspetti sui quali si deve intervenire (e lo si sta già facendo), per rendere agevole l'impiego del software per l'ingegneria strutturale, così da estendere l'uso del metodo degli elementi finiti, che, se accoppiato a strumenti efficienti, può consentire soluzioni economiche anche nel campo della ingegneria civile.

Per questo fine è essenziale far sì che il software sia semplice e rapido da usare, consentendo all'analista di avere tutte le informazioni che vuole (e solo quelle) in un tempo brevissimo. Oggi capita spesso che si impieghi più tempo per trovare un errore nel modello, anche banale, come una sconnessione non voluta o un vincolo mal posto, che per risolvere un problema da cinquemila gradi di libertà: è assurdo. Ci sono alcune cose ormai urgenti da realizzare, e tutti i codici agli elementi finiti dovrebbero adeguarsi, ivi inclusi i più potenti, sotto il profilo della classe di problemi affrontabili, "mostri" creati negli anni settanta che si trovano oggi parecchio indietro nella maneggevolezza e semplicità d'uso.

L'impiego della grafica.

Grazie alle interfacce grafiche dell'ultima generazione è possibile ormai fare del tutto a meno delle famigerate numerazioni, che hanno costretto per anni gli analisti a classificare i nodi e gli elementi in base al numero, al fine di individuarli: attualmente il generico elemento viene estratto indicandolo con un sistema di puntamento automatico quale il mouse o la tavoletta grafica, e ciò consente una facilità ed immediatezza paragonabili a quelle di una normale conversazione.

La creazione della mesh e la sua numerazione sono procedure ormai automatiche: l'analista introduce le coordinate di alcuni punti notevoli e sfrutta delle primitive grafiche per descrivere il proprio modello nelle sue linee generali; in un secondo tempo, per via automatica, suddivide il dominio così individuato creando il modello di discretizzato.

Ma non è solo sotto il profilo della generazione delle incidenze e dei nodi (coordinate e numerazione) che la macchina può essere sfruttata: ancora oggi molti importanti codici di calcolo agli elementi finiti non consentono il puntamento col mouse (o la tavoletta grafica), e per conoscere le coordinate, gli spostamenti o le forze in un node, occorre saperne il numero.

Ciò è ormai obsoleto, poiché una trattazione grafica e colloquiale del problema consente di avere queste notizie puntando col mouse il node desiderato e premendo un tasto. L'operazione è concettualmente semplice e risparmia al progettista il fastidio di cercare su tabulati o nei file di input le notizie per lui utili, lasciandogli più tempo per fare le cose realmente importanti, quelle che la macchina non può in alcun modo fare (né mai crediamo potrà). Che il computer debba sapere "che numero ha l'elemento che descrive la colonna 1-h tra le quote 6.25 e 10.25" è comprensibile, ma al progettista non interessa: indichi "quella" colonna col mouse, il programma farà il resto.

Per accedere graficamente alle informazioni è indispensabile gestire le operazioni di zoom, di rotazione, di cambiamento di vista del modello, in modo efficiente. Non è abbastanza rapido dare 6 numeri che definiscono gli estremi di una regione per poi vedere ciò che in essa è contenuto: la regione si può definire più facilmente ed in modo più preciso premendo due volte col mouse. Infatti, le coordinate in sé non sono rilevanti: l'essenziale è definire il particolare voluto. Non ci si deve più preoccupare di trovare le coordinate giuste per la regione,

quelle entro le quali il particolare cercato è ben contenuto: è il programma che deve saperle trovare. È snervante dover battezzare la regione, trovarne gli estremi, eppoi vederla, scoprendo d'aver magari sbagliato un estremo, ragion per cui occorre ricominciare: ciò che si voleva era un ingrandimento di una zona del modello, subito, per verificare che in quella zona tutto fosse a posto, e con due pressioni di tasto del mouse il problema è risolto.

Accedendo alle informazioni in modo grafico si può controllare molto più rapidamente il modello, sia in fase di input che di output: sembra in effetti di dire cose ovvie, ma ovvie non sono se a tutt'oggi la maggioranza dei codici ad elementi finiti non fa queste cose; ovvio non è poi che molti sviluppatori software del settore non reputano sufficientemente seri questi problemi, che sono invece capitali per consentire l'impiego del metodo come uno strumento, e non come il fine del proprio lavoro.

Ricerca e limitazione degli errori.

Chi ha lavorato con gli elementi finiti sa che buona parte del lavoro consiste nella ricerca degli errori inseriti accidentalmente nel file di input. Gli errori possono essere fatti per vari motivi: esistono errori di introduzione dei dati; errori nella descrizione fisica della struttura da parte del modello (errori di modellazione); esistono infine, in particolare, errori nella generazione dei carichi. Ad esempio, l'introduzione erranea di un codice di vincolo, oppure la corrispondenza scorretta tra proprietà sezionali e assi di riferimento locali, sono tipici errori di modellazione.

I più recenti codici di calcolo dovrebbero essere progettati non solo per fornire sofisticazioni di calcolo crescenti (elementi finiti più precisi o potenti, leggi costitutive elasto-plastiche ecc.), ma anche per rendere meno probabili gli errori.

Gli errori dovuti alla introduzione dei dati possono essere resi meno probabili riducendo drasticamente il numero dei dati da inserire manualmente. Ciò si fa avvicinando al ragionamento umano il "ragionamento" del software, e non viceversa, come è avvenuto finora. Un esempio può chiarire questo concetto: se l'utente desidera attribuire ad un certo elemento finito le proprietà di una IPE300, usando il software tradizionale egli deve svolgere le seguenti operazioni: a) cercare nei suoi schizzi a mano, nei disegni del plotter oppure nel file di input, che numero ha l'asta alla quale intende attribuire le caratteristiche di una IPE300; b) cercare nel profilario i 6 numeri che individuano, ai fini del metodo, il profilo tipo IPE300; c) scrivere in una certa linea questi sei numeri, in un'unità coerente con quella adottata nel modello (ciò implica in generale sei somme o differenze d'esponente); d) stare attento all'ordine con cui introduce i dati, poi che a tale ordine è associata l'orientazione dell'asta nello spazio; e) assicurarsi che le convenzioni adottate per orientare l'asta siano state rispettate.

Non sorprende che molti trovino tutto ciò troppo macchinoso e lontano dal problema originario, che è attribuire una sezione ad un'asta. Chi si occupa prevalentemente di elementi finiti ha sviluppato una serie di tecniche che rendono

un pò più rapida questa trafila, ma non si può chiedere a tutti di fare altrettanto, e non si può portare la di mestichezza del fiaccolai o come un motivo sufficiente per conservare l'uso dei lampi on i a gas.

Un software della nuova generazione potrebbe comportarsi invece così: con il mouse viene indicata l'asta che si vuole sia un' IPE300; premendo un tasto si accede per via grafica ad un archivio profili e si dice al programma la parola chiave "IPE300"; immediatamente a schermo compare il disegno del profilo IPE300 e il disegno della struttura nella vista corrente, con l'asta selezionata chiaramente visibile, insieme alla sua orientazione (rappresentata, quest'ultima, da una freccia visibile a schermo); premendo una terza volta col mouse si dice al programma che il profilo mostrato è associato all'asta prescelta, disponendo il profilo in modo tale che la freccia sull'elemento selezionato coincida con l'analoga freccia che si vede di segnata sull'IPE300. Se si desidera che tra le due frecce vi sia un angolo, all'esplicita domanda del programma si risponde introducendo tale angolo in gradi. In tutto si sono introdotti solo i seguenti dati: "IPE300" e per esempio, "90°". In tal modo il problema dell'orientazione è notevolmente semplificato: occorre solo far coincidere due frecce.

E poi il programma che deve leggere le inerzie della IPE300 nel suo database e convertirle nella unità prescelta; è ancora il programma che deve calcolare le snellezze e le deve mostrare in modo chiaro, sotto forma di mappe a colori o indici scritti sull'asta a schermo. Può essere ancora il programma ad assistere nella scelta del profilo, perchè deve essere possibile far sì che esso trovi un insieme di profili soddisfacenti ai cuni requisiti, non ultimo la reperibilità, in modo del tutto automatico: se si vogliono snellezze massime inferiori a 100 e minime superiori a 40, ma profili europei del tipo HEA, HEB o HEM deve trovare la macchina quali profili soddisfino questi requisiti, non chi la usa.

Curare questi aspetti di interfacciamento consente di ridurre drasticamente il volume di informazioni "brute" da fornire, rendendo al tempo stesso più piacevole il lavoro e meno probabili gli errori di introduzione dei dati.

Anche gli errori di modellazione possono essere resi meno probabili, consentendo che le scelte fatte in termini di vincoli e svincoli trovino una immediata e chiara rappresentazione grafica: non più la ricerca di serie di zeri e di uni, ma la rappresentazione grafica del vincolo, univoca. Nel caso delle convenzioni usate per orientare le aste, s'è già visto che esistono metodi atti a rendere intuitivo e, si direbbe, "palpabile", ciò che si sta facendo: il principio generale dovrebbe essere quello di far vedere a chi usa il software le conseguenze delle sue scelte. Non si può chiedere a tutti la di mestichezza che consente di vedere un "1" in cinquantesi ma colonna là dove dovrebbe esserci, manuale alla mano, uno "0".

Anche eventuali labilità potrebbero essere, almeno in parte, rese evidenti per via grafica: basterebbe aggiungere al criptico messaggio del file di output, "check dof 4357", ovvero "verificare il grado di libertà numero 4357", un opportuno simbolo luminoso sul node a cui è associato il "dof" in questione: il più delle

volte, noto il node, è richiamata alla mente la dimenticanza che ha generato il problema.

Nel caso delle azioni gli errori di modellazione derivano in genere dall'errata attribuzione delle forze alle aste (scambiando i numeri), oppure dall'errata risultante (per esempio, errori nell'unità di misura).

La gestione dell'unità di misura è automatizzabile e deve essere automatizzata, poi che cambiare unità di misura nel corso del lavoro comporta escludi vamente qualche moltiplicazione. Cambiare unità di misura a seconda delle esigenze che si prospettano via via, vuol dire parlare alla macchina, e recepire i suoi messaggi, in una lingua a noi più chiara, e per lei del tutto equivalente: se si è abituati ad usare le tonnellate e non ci si ritrova coi kN, si possono usare le tonnellate, sarà poi la macchina a scrivere la relazione di calcolo in kN. Le unità che sono congeniali per i carichi, sono molto scomode se si ragiona, per esempio, sui momenti di inerzia: si preferiranno altre unità, in tal caso, e la macchina deve consentire la sostituzione immediata.

L'applicazione di forze a nodi o aste sbagliate è resa improbabile dal fatto che si può procedere graficamente: valgono qui le considerazioni già fatte sulla rapidità di puntamento tramite mouse o tavolotta grafica.

L'introduzione di moduli sbagliati è resa meno probabile scalando le frecce che a schermo rappresentano le azioni in funzione del loro modulo, e consentendo di sapere in ogni momento, nell'unità di misura che l'utente vuole, quanto vale la singola azione o la risultante di gruppi di azioni selezionati per mezzo del mouse. "Che carico c'è sulla copertura" è una domanda legittima: per rispondere deve poter bastare premere due o tre volte in modo opportuno un tasto. Sarebbe assurdo non solo sommare i numeri che rappresentano le singole forze, ma anche scrivere un programma di utilità per farlo: il software di cui si sta parlando è il "programma".

Software con queste caratteristiche possono rendere assai meno probabili gli errori: l'introduzione stessa dei dati diviene estremamente limitata: se un carico è definito a regione, basta la sua intensità e la descrizione della regione; il calcolo delle aree di influenza dei pilastri o dei nodi di facciata può e deve essere automatizzato, rendendo più agevole l'impiego del software e meno probabili errori di calcolo banali e fuorvianti. Si tenga presente che poi che l'utente non si cura della numerazione nodale, i nodi adiacenti ai fini del dominio di influenza non vanno trovati sulla base del loro numero, ma sulla base delle proprietà geometriche del luogo a cui appartengono. L'attribuzione dei carichi sulla base dei domini di influenza può anche richiedere l'elaborazione di complicati algoritmi, capaci di catalogare la topologia della superficie prescelta sì da scovare i tutti i nodi ad essa appartenenti, e il loro dominio di influenza: non sono problemi sempre banali, l'esperto di programmazione può trovare lavoro avvincente ed al tempo stesso importante, perché svolgerlo significa semplificare notevolmente l'impiego del metodo degli elementi finiti.

Modellazione dei carichi.

Un altro settore promettente e pressoché del tutto inesplorato è quello della modellazione dei carichi, intesa come programmazione delle normative che fissano le modalità di calcolo delle azioni di progetto.

Gli indirizzi normativi più recenti tendono a complicare e specializzare questa parte del lavoro, ragion per cui sembra ormai matura l'istituzione di un insieme di procedure automatiche capaci di risparmiare al progettista i calcoli più ripetitivi. Si prenda, ad esempio, il vento: è possibile definire topologicamente l'esterno della struttura, associandolo a classi predefinite, e creare parametricamente interi insiemi di forze equivalenti. Generate le direzioni del vento, e definite col mouse le superfici esposte ad esso, nota l'ubicazione geografica del sito sono sufficienti poche altre informazioni per avere i carichi nodali. Lo sforzo da fare, in questo come in casi simili, è quello di trovare concetti sufficientemente flessibili e generali da poter costituire la base per l'implementazione. Si richiede uno sforzo di fantasia, in somma. Nel caso delle superfici, per esempio, si dovrebbe far sì da definirle semplicemente (col mouse), stabilendone gli attributi utili ai calcoli - permeabile, liscia, scabra -, in modo rapido ed efficiente.

Nel caso della neve la definizione della superficie è bastevole, insieme al dato geografico, per risolvere la maggioranza dei casi. Le procedure di cui si tratta si limiterebbero a domandare la regione geografica, generando i carichi in modo automatico.

Nel caso del sisma, l'esecuzione automatica di un'analisi modale con modi, ove m è tale da garantire masse partecipanti percentualmente superiori ai valori di soglia previsti dalle norme, accoppiata con spettri di risposta di normativa, è tecnicamente fattibile: la generazione delle masse può essere svolta automaticamente, perchè se il programma capisce che, per esempio, il caso di carico 2 è di tipo "vento", sa anche che a quel carico non è associata massa; ed i calcoli sui coefficienti di partecipazione atti a verificare la percentuale di massa oscillante sono facilmente programmabili.

Si tenga presente che gli eurocodici prevedono obbligatoriamente le analisi dinamiche a spettro di risposta per classi sempre più vaste di strutture, e che non tutti i progettisti hanno nel proprio bagaglio di studi aggiornate nozioni di dinamica e di elementi finiti. Tanto vero che la necessità di fare calcoli seri sul tema è tutt'altro che soddisfatta.

Anche nel campo dell'interazione suolo struttura, la modellazione del terreno per mezzo di molle equivalenti può essere concepita in modo automatico: nota la forma e la dimensione della fondazione, ed il modulo G del terreno, esistono formule chiuse ed abachi capaci di fornire il valore delle molle equivalenti.

Accoppiato alle routine di cui s'è detto sopra, un software di questo tipo potrebbe consentire di ridurre ulteriormente i dati in input, facendo eseguire analisi più raffinate ad un insieme più numeroso di utenti, in modo complessivamente più rapido. Se si riuscisse a calcolare le azioni statisticamente più probabili sulla base dei riferimenti normativi, in modo sostanzialmente automatico, il

progettista potrebbe finalmente soffermarsi sul problema che naturalmente gli dovrebbe essere più vicino: come concepire la struttura per far sì che resista alle azioni in modo ottimale.

Produzione di disegni esecutivi.

Si vuole ora accennare alla possibilità di realizzare ambienti di lavoro capaci di gestire problemi molto diversi, ma egualmente importanti per il progettista: mentre da un lato sono indispensabili i calcoli agli elementi finiti e l'esecuzione di verifiche in modo automatico, dall'altro sono indispensabili mezzi atti a produrre rapidamente i disegni. Le due necessità trovano oggi risposte separate, ottenute grazie a strumenti diversi. La ragione è nel fatto che solo da pochissimi anni sono disponibili mezzi adeguati; e nella differenza di formazione che separa gli esperti dei due settori: difficile essere al tempo stesso esperti di elementi finiti e di problemi di disegno tecnico, quelli cioè che un disegnatore deve trovarsi a risolvere quotidianamente. La soluzione al problema non può quindi venire dal collegamento dei vari programmi che si occupano di elementi finiti, con i programmi che si occupano di disegno.

Esiste oggi la possibilità di consentire al progettista ed ai suoi collaboratori l'impiego di un unico grande strumento, che prenda i risultati delle analisi agli elementi finiti, con tutte le informazioni sulle aste e la loro orientazione, come dati di input per il successivo modulo orientato al disegno. Questo strumento dovrà consentire di rieseguire le analisi numeriche per tener conto di modifiche successivamente adottate, consentendo così ai due "mondi" un collegamento continuo.

La necessità di distruggere la Babel e dei diversi linguaggi e delle diverse convenzioni è impellente: i vari codici agli elementi finiti devono dialogare tra loro, e devono dialogare con i programmi di CAD. L'utente dotato del programma "alfa" che si trovi a dover risolvere un problema che solo "beta" risolve, deve poter trasferire in modo automatico i suoi dati ed il suo lavoro al programma "beta". In questo modo il servizio reso a chi usa i programmi sarà davvero valido, e le punte di efficienza di un programma saranno disponibili a tutti gli altri.

Conclusione.

I quattro aspetti sopra richiamati non esauriscono l'insieme di necessità oggi esistenti, ma descrivono in modo sufficiente cosa si intenda per software orientati alla comunicabilità ed al controllo dei dati, nel campo della ingegneria strutturale. Forse, oltre alla precisione e la versatilità, non è da trascurare la maneggevolezza, se si vuole davvero che il metodo degli elementi finiti di venga patrimonio comune, piuttosto che palestra per iniziati.

Non ci paiono lontani i tempi in cui si potranno fare (pre e postprocessing inclusi) 5 analisi in un'ora, variando parametricamente le dimensioni, i tipi sezionali, le tipologie costruttive, ottenendo poi una stima ragionevole dei costi, e l'insieme dei disegni esecutivi, in output: la progettazione di software con queste capacità è attualmente il nostro obiettivo e la nostra speranza.

5.3 Brevissima storia dei programmi di calcolo

BREVISSIMA STORIA DEI PROGRAMMI PER L'ANALISI STRUTTURALE

Il primo rilevante programma di calcolo per l'analisi strutturale fu NASTRAN, sviluppato alla fine degli anni '60 alla NASA e scritto in FORTRAN. NASTRAN viene usato ancora oggi, sebbene sia di uso piuttosto difficoltoso. La sua estrema importanza è dovuta al fatto che esso costituisce uno standard ed un programma di sicura attendibilità: molte grosse strutture, pertanto, richiedono che i calcoli siano fatti usando NASTRAN.

NASTRAN è tuttavia un programma che per la sua estrema ampiezza e difficoltà d'uso, nonché per il suo costo, non si rivolge alla maggioranza degli utenti.

Un primo, importantissimo passo verso una maggior facilità d'uso e verso la possibilità d'impiego su piccoli calcolatori è dovuto a SAP (Structural Analysis Program). SAP è stato sviluppato dai Professori Bathe, Wilson e Peterson dell'università di Berkeley: la sua prima versione risale al Settembre 1970. La versione solida di SAP (SAP II) è del 1971. Ad esso seguono SAP III e SAP IV, nel 1973.

SAP è il primo programma d'uso relativamente facile capace di "girare" su piccoli computer. Esso diviene rapidamente uno standard d'importanza mondiale mentre i suoi autori si separano per dar vita, il Professor Bathe ad ADINA, evoluzione di NONSAP, ovvero un programma dedicato a tutti gli aspetti nonlineari; il Professor Wilson a SAP80 e SAP90, programmi lineari che, attraverso una flessibilizzazione degli input (non più file formattati ma file a keyword in formato libero), cercano di proporsi come programmi facili da usare ed a basso costo.

Nel frattempo vengono creati altri importanti codici di calcolo, come ABAQUS del Prof. Hibbit, e ANSYS dalla Swanson Analysis System Inc. (ma anche ETABS, COSMOS, ecc.).

Con i primi anni '80 arrivano due importanti novità: i personal computer si diffondono

in tutto il pianeta, e la grafica al computer diviene accessibile a tutti. Mezzo di quest'ultima rivoluzione e' da un lato l'affermarsi di schede grafiche tipo EGA e poi VGA, dall'altro il diffondersi tra gli sviluppatori del linguaggio C prima, e del C++, poi.

Il considerevole patrimonio algoritmico accumulatosi nel frattempo nei programmi anzidetti si e' pertanto improvvisamente trovato privo di interfacce adeguate verso l'utente. E' cosi' cominciato da un lato un processo di traduzione e revisione delle interfacce grafiche dei programmi creati negli anni '70, dall'altro lo sviluppo di nuovi programmi *user friend*, candidati ad essere strumenti di notevole semplicita' d'uso (iniziatori di questo filone sono gli americani della ALGOR, che sfruttando SAP IV come nucleo numerico, creano al principio degli anni '80, SUPERSAP).

Il resto e' storia recente.

5.4 Introduzione al metodo degli elementi finiti (in progress): Capitolo 1

Paolo Rugarli

Il lavoro qui presentato in forma iniziale è stato poi ampliato ed è divenuto un libro di spiegazioni sugli elementi finiti.

Il testo è:

Paolo Rugarli

Calcolo Strutturale con gli Elementi Finiti

EPC libri, ROMA, 2003

Esso include una versione limitata di Sargon fino a 50 nodi

SPLINE

Introduzione al Metodo degli Elementi Finiti
applicato alla ingegneria strutturale

INDICE

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE AL METODO

	1.1	Introduzione
	1.2	Una similitudine
	1.3	Le tappe fondamentali
	1.3.1	Scelta del modello matematico
	1.3.2	Scelta del tipo di elemento
finito		
	1.3.3.	Meshing
	1.3.4	Attribuzione delle proprietà
	1.3.5	Attribuzione dei vincoli.
	1.3.6	Descrizione dei carichi
	1.3.7	Rinumerazione dei nodi e
formazione dei vettori.		
	1.3.8	Assemblaggio
	1.3.9	Soluzione
	1.3.10	Stress recovery
	1.3.11	Output. e interpretazione dei
risultati.		

CAPITOLO 2

GLI ELEMENTI.

	2.1	Introduzione
	2.2	Biella
	2.2.1	Lineamenti generali
	2.2.2	C-bielle ed S-bielle
	2.2.3	Labilita' connesse all'uso
improprio delle bielle		
	2.3	Trave
	2.3.1	Lineamenti generali
	2.3.2	Elemento beam e beam reale
	2.3.3	Trave o truss ?
	2.3.4	Il problema dell'orientazione

degli assi locali

- 2.3.5 Le sconnessioni ortogonali
- 2.3.6 Le sconnessioni oblique
- 2.3.7 Il fattore di taglio
- 2.3.8 Eccentricita'
- 2.3.9 Carichi "distribuiti"

2.4

Molla

- 2.4.1 Lineamenti generali
- 2.4.2 Molle non a terra

2.5

Membrana

- 2.5.1 Lineamenti generali
- 2.5.1 Le membrane nella

modellazione di edifici

- 2.5.2 Labilita' connesse all'uso

improprio delle membrane

2.6

Piastra-Guscio

- 2.6.1 Lineamenti generali

2.7

Elementi solidi

- 2.7.1 Lineamenti generali

2.8

Stati piani di sforzo e deformazione

- 2.8.1 Lineamenti generali

2.9

Elementi speciali

- 2.9.1 MPC
- 2.9.2 Elementi su suolo elastico

CAPITOLO 3

I VINCOLI.

- 3.1 Formulazioni e maschere di vincolo
- 3.2 Vincoli fissi
- 3.3 Vincoli obliqui: come modellarli
- 3.4 Vincoli cedevoli
 - 3.4.1 Cedimenti vincolari
 - 3.4.2 Interazione suolo-struttura

CAPITOLO 4

LE AZIONI.

- 4.1 Classificazione

- 4.1 Forze o coppie nodali
- 4.2 Carichi distribuiti sugli elementi
- 4.3 Carichi a regione
- 4.4 Coazioni
- 4.5 Sisma
- 4.6 Azioni applicate e reazioni vincolari
- 4.7 Il concetto di "caso di carico"

CAPITOLO 5

PROBLEMI DI MODELLAZIONE E DI MESHING.

- 5.1 Raffinatezza della discretizzazione
- 5.2 Modelli piani o tridimensionali ?
- 5.3 Nodi doppi
- 5.4 Elementi doppi
- 5.5 Riconoscimento di labilita'
- 5.6 Violazioni della congruenza

CAPITOLO 6

SOLUZIONE NUMERICA DI PROBLEMI STATICI

- 6.1 Caratteristiche numeriche del problema
 - 6.1.1 Occupazione su disco fisso
 - 6.1.2 Ottimizzazione di banda o di profilo
- 6.2 Accuratezza della soluzione: come valutarla?

CAPITOLO 7

L'ANALISI MODALE

- 7.1 Introduzione all'analisi modal
- 7.2 Le masse
 - 7.2.1 Approccio *lumped* e *consistent*
 - 7.2.2 Quanta massa?
- 7.3 Lo smorzamento
- 7.4 Bonta' della soluzione: massa partecipante
- 7.5 Il problema della sovrapposizione dei modi.
- 7.6 Analisi passo-passo

CAPITOLO 8

L'ANALISI DI BUCKLING

- | | |
|-----|--------------------------------------|
| 8.1 | Introduzione all'analisi di buckling |
|-----|--------------------------------------|

CAPITOLO 9

LE VERIFICHE STRUTTURALI

- | | |
|-----|---------------------------|
| 9.1 | Verificatori e solutori |
| 9.2 | Programmatori e Normatori |
| 9.3 | Il ritorno dell'arbitrio. |

APPENDICE 1

RICHIAMI DI TEORIA DELL'ELASTICITA'

APPENDICE 2

DIZIONARIO MINIMO

1. Introduzione al Metodo

1.1. Introduzione

Negli anni '80 si è assistito ad una progressiva diffusione del Metodo degli Elementi Finiti o brevemente, Metodo, tra i professionisti e le imprese (società di *engineering* e imprese di costruzioni). Si può dire che la diffusione dei programmi agli elementi finiti sia cominciata già negli anni '70 mediante il celeberrimo SAP (*Structural Analysis Program*). Tuttavia, la difficoltà d'uso e la scarsa disponibilità di mezzi di calcolo al di fuori delle strutture universitarie, fecero sì che la diffusione del Metodo fosse abbastanza limitata.

Va detto peraltro che anche la *domanda* di analisi agli elementi finiti era limitata: le norme non chiedevano calcoli di quel genere, e la committenza non esigeva - se non in casi molto particolari - relazioni di calcolo contenenti elaborati complessi. Era il tempo dei prontuari della più varia specie, di quelle opere, in auge sin dal secolo scorso, aventi l'obiettivo di campionare i casi più frequenti per offrire una rapida guida all'ingegnere non più freschissimo sul *principio dei lavori virtuali*, e giustamente privo della voglia di risolvere a mano un *sistemino* di cinque o dieci incognite.

La progressiva diffusione del Metodo ha comportato una evoluzione delle normative, che oggi richiedono calcoli sempre più sofisticati e sempre meno affrontabili a mano; una maggior domanda di risultati generali e comprensibili in forma sintetica (mappe a colori, deformate, diagrammi di azioni interne ecc.); la

rapida obsolescenza degli strumenti redatti in forma tabellare, divenuti presto più difficili da usare e meno generali del Metodo, implementato su un buon programma dotato di interfaccia grafica.

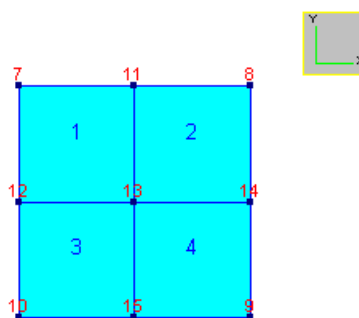
Diverso è invece il discorso da fare allorché il Metodo venga impiegato per mezzo di programmi difficili da usare (poco *user friendly*): in tal caso per trarre vantaggio dal Metodo si richiede una professionalità specifica, assai poco diffusa. Ciò sia perché per la diffusione non v'è stato tempo (molti professionisti non hanno potuto seguire corsi universitari sull'argomento), sia perché la gestione di un programma agli elementi finiti può rappresentare soltanto una parte del lavoro da svolgere: si pensi a quei professionisti che fanno i calcoli ma anche tante altre cose, e non hanno quindi il tempo per dedicarsi completamente all'apprendimento del metodo e del programma di calcolo in loro possesso che ne consente l'impiego.

1.2. Una similitudine

Alla base dell'astrologia v'è la convinzione di poter prevedere e interpretare i destini di un individuo (o di un gruppo di individui), sulla base del moto relativo di un certo insieme di corpi astronomici come le stelle, i pianeti, ecc.. L'intero insieme dei piccoli e grandi fatti della vita sarebbe governato dal moto di una ventina di pianeti, nello spazio.

L'idea è antichissima e durevole: ancora oggi le riviste ammanniscono previsioni, ed una sorta di professionisti dell'interpretazione, gli astrologi, incassano lauti profitti.

Non è affar nostro entrare nel merito, se non quanto basta per dire che tra il Metodo degli elementi finiti e l'astrologia vi è un punto di contatto: anche il Metodo pretende di conoscere nel dettaglio una situazione complessa -quanto avviene all'interno di un pezzo di struttura (un singolo *elemento finito*)-, e ciò sulla base del moto relativo di pochi punti appartenenti al pezzo stesso. I punti si chiamano *nodi*, e la predizione avviene -non diversamente che per l'astrologia- sulla base di un arbitrio: l'ipotesi che gli spostamenti di tutti i punti interni all'elemento finito seguano una certa legge matematica (ad esempio che gli spostamenti varino linearmente o parabolicamente). Chiameremo brevemente e confidenzialmente tale assunzione *principio astrologico*.



Quattro elementi piastra con i loro nodi

A differenza dell'astrologia il Metodo serve per risolvere un sistema di equazioni differenziali di forma conosciuta, ed è quindi possibile valutarne l'efficienza o -se si preferisce- l'esattezza. Così facendo si può vedere che il metodo funziona. O per meglio dire: si può dimostrare che all'aumentare del numero di

elementi (che diventano sempre più piccoli), la soluzione approssimata converge alla soluzione esatta.

Come mai, pur partendo da un arbitrio il metodo funziona ?

La risposta, come vedremo, va cercata nel fatto che gli elementi finiti possono essere resi piccoli quanto si vuole, in modo tale che la risposta "esatta" sia sufficientemente assimilabile, all'interno dell'elemento, al campo di spostamenti la cui forma è stata arbitrariamente ipotizzata. È un pò come rendere un'immagine complessa per mezzo di tanti pixel rettangolari colorati disposti su un reticolo: se i pixel sono sufficientemente numerosi l'immagine verrà ben risolta, sino a far completamente dimenticare il modo in cui è stata ottenuta. Se invece i punti sono insufficienti, l'immagine risulta visibilmente "seghettata", ed è chiaro il modo con il quale è stata ottenuta.

Questo tipo di approccio ricorda molto da vicino l'interpolazione, con in più il vantaggio di poter scegliere i punti ove campionare la funzione incognita. Come vedremo questi punti prendono il nome di *nodi*, e la loro collocazione sulla struttura è effettivamente decisa da noi.

Nel descrivere come il Metodo funzioni e cosa occorre tenere presente per far funzionare un programma di calcolo, procederemo per approssimazioni successive, approfondendo via via i concetti esposti.

Innanzitutto occorre chiarire quali siano le caratteristiche generali del problema che intendiamo risolvere: noi tratteremo problemi di elasticità lineare in ambito statico. Supporremo inoltre valida l'ipotesi di piccoli spostamenti, che ci consente di scrivere le equazioni di equilibrio rispetto alla configurazione indeformata (in molti casi ciò non è possibile: si pensi ad un cavo teso sotto l'azione del suo peso). In un capitolo a parte verrà trattata, come estensione, anche l'analisi modale e a spettro di risposta.

In questi termini il problema si pone così: *dato un corpo od un insieme di corpi variamente vincolati, soggetti ad un insieme di azioni applicate quasi staticamente, e realizzati con materiali soddisfacenti la teoria dell'elasticità lineare, supponendo che gli spostamenti del sistema siano talmente piccoli da consentire di scrivere le equazioni di equilibrio rispetto alla configurazione indeformata, qual'è la risposta del sistema all'applicazione delle azioni, in termini di spostamenti, sforzi e deformazioni?*

Complementare rispetto al precedente, e non meno importante è il quesito successivo, di cui ci occuperemo in un capitolo ad hoc: *la struttura è in grado oppure no di sopportare gli spostamenti, gli sforzi e le deformazioni conseguenti all'applicazione delle azioni?*

Una prima domanda sorge spontanea: cosa bisogna fare per descrivere correttamente il problema da risolvere? Quali sono poi i successivi passi da compiere per risolvere il problema?

Sintetizzando in modo brutale possiamo dire così.

Il Metodo consiste nel dividere in pezzi la struttura, postulando contestualmente di saper descrivere mediante regole semplificate gli spostamenti gli sforzi e le deformazioni all'interno di ciascun pezzo (che diventa così un *elemento finito*). Per poter essere applicate, tali regole richiedono esclusivamente la conoscenza degli spostamenti di pochi punti appartenenti all'elemento (i *nodi*). I carichi applicati alla struttura vengono poi trasformati in forze e coppie agenti sui nodi. Ciò fatto s'impone l'equilibrio di tutti i nodi della struttura.

Tenuto conto che:

1) le forze esterne applicate ai nodi sono equilibrate dalle reazioni degli elementi sui nodi;

2) le reazioni di ogni elemento sui propri nodi dipendono dallo spostamento relativo dei nodi stessi dell'elemento: esse sono valutate sulla base delle regole semplificate tipiche dell'elemento finito in esame (principio astrologico); tenuto conto di ciò, per soddisfare l'equilibrio di tutti nodi è necessario risolvere un sistema che ha come termine noto il vettore delle forze e coppie applicate ai nodi (p), e come vettore incognito l'insieme delle traslazioni e delle rotazioni dei nodi (u). La matrice dei coefficienti di questo sistema (K) prende il nome di *matrice di rigidezza globale*.

$$Ku = p$$

Risolto il sistema, e noti quindi gli spostamenti dei nodi di ogni elemento, sulla base delle regole semplificate tipiche dell'elemento in esame è noto quanto avviene all'interno dell'elemento stesso, e ciò in termini di spostamenti, deformazioni e sforzi. Non resta che memorizzare questi risultati su file opportuni, per tutti gli elementi di cui è composta la struttura.

In quanto precede è fondamentale capire il fatto che spostando un node qualsiasi si comunicano delle (re)azioni anche a nodi molto distanti, purchè questi siano uniti al node-origine tramite degli elementi. Immaginate di essere sull'ultimo vagone di un treno: vi sarà capitato di essere brutalmente sballottati verso il vostro incolpevole vicino in modo del tutto insospettabile. In effetti sull'ultimo vagone si sono scaricate le reazioni di tutti i vagoni precedenti, reazioni dovute al fatto che il locomotore, cento metri più avanti, si è mosso.

Ciò che è stato qui detto in brutale sintesi richiede di essere approfondito. Per farlo esaminiamo uno per uno i passi necessari per arrivare dall'inizio alla fine.

1.3. Le principali tappe

Volendo descrivere per sommi capi quanto avviene in un normale programma ad elementi finiti, torna utile fare le seguenti due ipotesi:

- a) il problema sia descrivibile mediante un unico insieme di equazioni (sia cioè un problema di piastra, di lastra, un problema solido, ecc.);
- b) si usi un unico tipo di elemento finito.

Vedremo nel seguito come questo schema possa essere generalizzato per trattare i casi in cui le due ipotesi precedenti non sono valide.

Ciò detto le tappe fondamentali sono:

- 1) **Scelta del modello matematico più adatto per il problema in esame.**
- 2) **Scelta del tipo di elemento finito più adatto per il problema in esame.**
- 3) ***Suddivisione della struttura in elementi finiti (meshing).***
- 4) **Attribuzione delle caratteristiche di geometria e di materiale agli elementi**

finiti.

- 5) **Attribuzione dei vincoli.**
- 6) **Descrizione dei carichi per ogni caso di carico.**
- 7) Rinumerazione dei nodi e formazione dei vettori.
- 8) Assemblaggio
- 9) Soluzione
- 10) Stress recovery
- 11) Output. e **interpretazione dei risultati.**

Ciascuna di queste tappe è fondamentale ed ineludibile: le tappe in grassetto sono compiute dall'analista, le altre sono invece eseguite automaticamente dal computer. La tappa 3) è in corsivo per ricordare che, oggi, è in parte compiuta in modo automatico dai programmi, seguendo comunque regole stabilite dall'analista.

La necessità di far compiere all'analista i passi 1)-6) e 11) rende il Metodo ancora poco diffuso e poco dominato. Infatti, in ognuna di tali fasi è possibile introdurre errori che si traducono in output inaffidabili o nell'impossibilità di risolvere il problema.

Per meglio comprendere analizziamo in dettaglio ognuno dei passi, riservandoci di approfondire ulteriormente in seguito i principi generali qui esposti.

1.3.1. Scelta del modello matematico

Ogni problema di elasticità è a rigore un problema tridimensionale, e le equazioni che si applicano sono quelle generali della teoria dell'elasticità. Tuttavia, in moltissimi casi il problema si pone in modo tale da consentire l'uso di una delle numerose trattazioni approssimate o particolarizzate descritte in teoria, consentendo numerose semplificazioni. Possiamo elencare brevemente le teorie che vengono più frequentemente impiegate:

- **teoria tecnica della beam;**
- **stato piano di sforzo;**
- **stato piano di deformazione;**
- **assialsimmetria;**
- **teoria della piastra sottile (Germaine-Kirchhoff);**
- **teoria della piastra spessa (Mindlin-Reissner).**

La scelta di una delle formulazioni precedenti porta inevitabilmente con sé delle approssimazioni, che è compito dell'analista valutare correttamente. Ad esempio, un piastrone di fondazione potrà forse trovarsi in una situazione molto vicina a quella di piastra sottile, mentre difficilmente ciò sarà vero per un plinto di fondazione. Saper dominare gli effetti di una scelta di formulazione rientra nei compiti del bravo analista.

Gli errori dovuti ad una formulazione inadatta restano immutati al variare della discretizzazione, e, in

generale, dipendono debolmente dal tipo di elemento finito prescelto. Per quanti elementi si siano usati nel suddividere il plinto, se l'elemento piastra non è quello adatto la risposta calcolata sarà solo pallidamente vicina a quella "esatta".

Il motivo per cui non si usano sempre gli elementi più generali, ovvero gli elementi che suddividono il solido in piccoli solidi (elementi brick), è duplice: per un verso ciò dipende dalla maggior quantità di calcoli che si dovrebbe fare e dal maggior volume di dati che si dovrebbero trattare; per un altro verso ciò dipende dal fatto che la risposta si presenterebbe naturalmente più complicata, anche allorché della risposta fosse interessante la parte coerente e organizzata: si pensi ad una capriata, nessuno farebbe un modello tridimensionale per valutare le azioni assiali.

Sebbene quanto detto possa sembrare scontato, si tenga presente che molti errori di modellazione derivano da un uso improprio delle formulazioni precedentemente elencate. Al quesito "bisogna usare una lastra o una piastra?" non tutti gli utenti degli elementi finiti sanno immediatamente dare una risposta.

In Appendice II il lettore meno esperto troverà un riepilogo delle formulazioni precedentemente elencate, con qualche utile osservazione a riguardo. Nel prosieguo daremo per scontato che le differenze tra le varie formulazioni siano chiare.

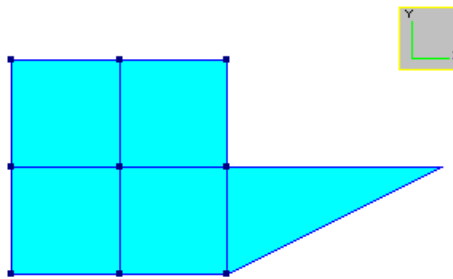
1.3.2. Scelta del tipo di elemento finito

Una volta fissato l'inquadramento teorico del problema, e pertanto le equazioni che si intende risolvere, è necessario scegliere il tipo di elemento finito con il quale eseguire l'analisi.

I programmi più diffusi lasciano poca libertà nella scelta degli elementi finiti: essi normalmente propongono uno o al più due tipi di elemento, e l'utente deve scegliere. Programmi più evoluti (ma anche più costosi e più difficili da usare) lasciano invece una piena libertà di scelta all'interno di una varietà ampia di possibilità.

Per la teoria tecnica della beam la scelta va o sull'elemento truss (truss), che della beam modella il solo comportamento assiale, o sul più generale elemento beam (beam), con sei componenti di sollecitazione. Sebbene questi elementi siano ben diversi e di uso abbastanza intuitivo, si constata che tra i professionisti non esperti che devono usare il metodo v'è una certa confusione. Più avanti verrà chiarito l'insieme delle differenze tra questi due elementi. Per ora occorre solo rilevare che - in modo affine alla scelta della formulazione-, la scelta di un elemento finito sbagliato o inadatto porta a conseguenze irreparabili: il modello può essere labile o, peggio, intere parti della risposta possono perdersi, facendo calcolare una risposta assai discosta da quella esatta. Estremizzando si pensi, ad esempio, ad una beam Vierendeel schematizzata con le briglie fatte da elementi beam, e le aste di parete modellate con elementi truss: l'intero tipico regime di sollecitazione di una beam siffatta andrebbe perso.

La scelta del corretto elemento finito riguarda anche i problemi piani o quelli di piastra. In quest'ultimo caso, in particolare, la presenza di numerosi tipi di elemento rende il compito particolarmente delicato. Per gli stati piani la scelta è spesso tra elementi a tre nodi (constant strain) ed elementi a quattro nodi (linear strain).

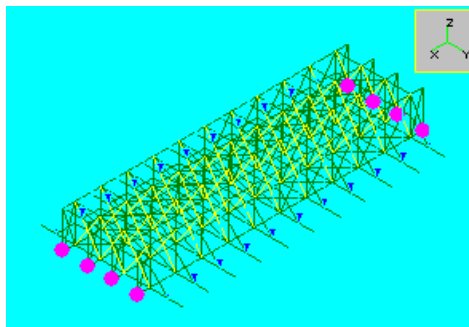


Elementi quadrangolari a 4 nodi e triangolare a 3 nodi

In un problema reale si possono usare tipi diversi di elemento per zone diverse del modello. Anzi, il bravo analista sfrutta tale possibilità a proprio piacimento, al fine di ottimizzare la modellazione. In questa prima descrizione generale del Metodo supporremo invece, per semplicità, che la struttura sia modellata usando un solo tipo di elemento finito.

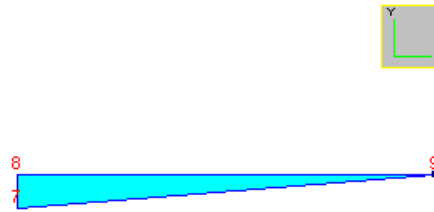
1.3.3. Meshing

Una volta scelta la formulazione ed il tipo di elemento finito, è necessario dividere la struttura in parti o *elementi finiti*. La suddivisione (o con termine inglese diffusissimo la *mesh*) non può essere fatta a caso ma deve seguire un certo insieme di regole.



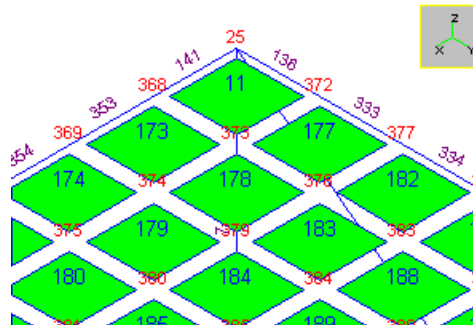
La mesh della copertura del Casinò di Campione (progetto di massima)

La prima regola dipende dal fatto che i singoli elementi finiti devono avere una forma compatibile con il loro tipo. Per esempio, usando ordinari elementi beam non è possibile schematizzare un arco usando elementi curvi: gli elementi devono essere di forma rettilinea. Oltre a non avere una forma diversa da quella possibile, gli elementi finiti non devono essere troppo distorti o presentare, al loro interno, delle singolarità.



Elemento triangolare eccessivamente distorto

Ad esempio, un elemento triangolare con angoli pari a 89.5 , 89.5 e 1 grado è inefficiente perchè troppo distorto.



Numerazione di nodi ed elementi

Ogni node esistente in un modello viene individuato dal numero progressivo ad esso attribuito. L'insieme dei nodi esistenti in un modello e delle loro coordinate rispetto al sistema di riferimento assunto prende il nome di *tabella delle coordinate*.

Non possono esistere due nodi con lo stesso numero progressivo.

Possono esistere due nodi diversi nello stesso punto dello spazio, in tal caso si parla di *nodi doppi*.

Gli elementi finiti possono essere monodimensionali, bidimensionali o tridimensionali. Certi elementi finiti sono puntiformi (0 dimensionali), ma di questi per ora non parleremo.

Ogni elemento monodimensionale è definito da un certo numero di nodi e da un tipo. Noto il tipo è noto come connettere i nodi in modo da descrivere la geometria dell'elemento. Gli elementi rettilinei (i più usati) hanno un asse definito da due nodi. La forma dell'elemento è pertanto definita da due nodi.

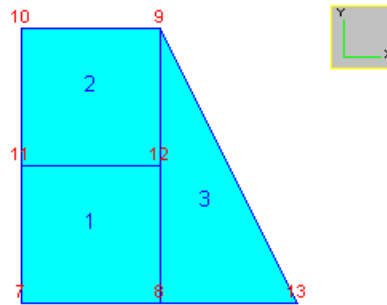
Gli elementi bidimensionali (come le piastre o le membrane), sono definiti da un certo numero di lati. Su ogni lato, oltre ai due estremi, è definito un certo numero di punti notevoli, che prendono il nome di nodi. A ben vedere, noto il tipo di elemento e noti i nodi del lato, questo è univocamente definito, pertanto noto il tipo dell'elemento, la sua geometria è univocamente definita dai suoi nodi.

Gli elementi tridimensionali sono definiti da un certo numero di facce, delimitate da lati, definiti da nodi. Ogni faccia ha in comune con un'altra faccia un lato, definito da due o più nodi. Noto il tipo di elemento i lati definiscono univocamente ogni faccia, e quindi, in definitiva, si può dire che la forma di ogni elemento di cui sia noto il tipo è univocamente determinata una volta noti i nodi dell'elemento.

Pertanto in generale dato un tipo di elemento (beam, truss, CST, ecc.) la sua forma è univocamente definita dai suoi nodi e dal loro ordinamento.

La tabella che per ogni elemento di un certo tipo specifica quali siano ordinatamente i suoi nodi, prende il nome di *tabella delle incidenze*.

Due elementi si dicono *connessi* se hanno in comune almeno un node. La connessione però può essere incompleta o mal realizzata, in certi casi.



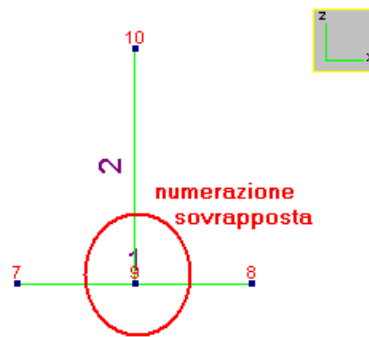
Esempio di connessione errata tra elementi: i lati sono parzialmente connessi

Un lato di un elemento piano o tridimensionale si dice connesso con il lato di un altro elemento piano o tridimensionale dello stesso tipo, se tutti i nodi del lato del primo elemento sono gli stessi nodi del lato del secondo elemento. Se solo una parte dei nodi è identica il lato si dirà parzialmente connesso o, equivalentemente, parzialmente sconnesso. Se due lati non hanno in comune alcun node essi si diranno sconnessi.

Una faccia di un elemento tridimensionale si dice connessa con la faccia di un altro elemento tridimensionale, se tutti i nodi della faccia del primo elemento sono gli stessi nodi della faccia del secondo elemento. Se solo una parte dei nodi è identica la faccia si dirà parzialmente connessa o, equivalentemente, parzialmente sconnessa. Se due facce non hanno in comune alcun node esse si diranno sconnesse.

Per quanto detto precedentemente, elementi che abbiano lati con numero di nodi differente possono essere solo parzialmente connessi, e, allo stesso modo, elementi che abbiano facce con numero di nodi differente possono essere solo parzialmente connessi.

Se due elementi sono parzialmente connessi essi, generalmente, violano la congruenza. Le connessioni parziali vanno pertanto evitate, a meno che non si vogliano simulare fessure, giunti di costruzione o, in generale, situazioni nelle quali vi sono delle discontinuità.



Elementi affacciati. Si noti che in assenza della numerazione degli elementi è impossibile capire se gli elementi siano o meno connessi.

Quando un node di un elemento giace sul contorno di un altro elemento senza avere con esso in quel punto una connessione i due elementi si dicono semplicemente affacciati. Gli elementi semplicemente affacciati non sono connessi, e pertanto violano la congruenza.

Da quanto si è brevemente visto una mesh non è un disegno, bensì un insieme di relazioni tra nodi ed elementi soddisfacenti requisiti di congruenza.

La suddivisione della struttura in elementi finiti è uno dei punti più delicati dell'intero procedimento, in quanto oltre a soddisfare tutti i requisiti di regolarità che una mesh deve soddisfare, gli elementi devono essere sufficientemente piccoli là dove il gradiente degli spostamenti o degli sforzi è maggiore (ciò è un pò come diminuire i tempi di apertura dell'otturatore per fotografare soggetti in rapido movimento).

A priori non è possibile dire con certezza se una mesh sia sufficientemente fitta oppure no. Per decidere se la discretizzazione sia sufficiente si usa spesso costruire una nuova mesh, che contenga tutti i nodi della mesh originaria più un insieme di nuovi nodi, in modo da confrontare i risultati ottenuti con le due mesh: quella più rada e quella più fitta. Se la variazione dei risultati è ovunque modesta si può ritenere di aver ottenuto risultati accettabili, viceversa è necessaria una terza mesh, più fitta della seconda, e così via sino ad ottenere la precisione cercata (*rimeshing*). Attualmente, alcuni programmi sono in grado di eseguire il rimeshing in modo completamente automatico, in quanto memorizzano la geometria del problema sotto forma di primitive grafiche, non solo sotto forma di nodi ed elementi (*solid modeling*). Diversamente il rimeshing richiede un lento lavoro di rimodellazione.

La suddivisione della struttura in elementi ha comunque come risultato un insieme di nodi con la tabella delle coordinate, ed un insieme di elementi con la tabella delle incidenze. Queste due tabelle, scritte in vario modo costituiscono la maggior parte del file di input di un qualunque programma agli elementi finiti.

1.3.4. Attribuzione delle proprietà

Una volta definita la forma degli elementi finiti occorre stabilire le caratteristiche di geometria e di materiale di ogni singolo elemento. Per "caratteristiche di geometria" si intende il fatto che per alcuni elementi finiti (la maggior parte), non basta specificare la forma per sapere con precisione quale sia la parte di materia

che l'elemento simula. In molti casi occorre fornire dei dati aggiuntivi, come lo spessore degli elementi piastra-guscio o membrana, le aree o i momenti di inerzia per gli elementi beam, e così via. Si noti che nello specificare tali caratteristiche occorre non tanto simulare la realtà fisica, quanto tarare correttamente il comportamento di un elemento. Ad esempio, per una piastra dotata di irrigidimenti, lo spessore, che pure occorre fornire se si usa un elemento piastra, ha solo un valore numerico: non è il vero spessore della piastra reale, che non è definito. Anche per questo motivo l'input dei dati relativi a spessori, momenti di inerzia, aree di taglio non è sempre agevole.

Un secondo elemento di difficoltà è legato alla possibilità di fare errori (anche solo di calcolo o di battitura). I programmi più recenti sono dotati di archivi che consentono di attribuire le caratteristiche degli elementi richiamandole da file opportuni. I programmi degli anni '70, invece, richiedendo di scrivere un file formattato di input possono creare qualche problema.

Oltre alle caratteristiche geometriche vanno attribuite le caratteristiche di materiale. In generale infatti, ogni elemento finito potrebbe avere un proprio materiale. Più spesso vi sono gruppi di elementi con materiale affine, i quali simulano parti diverse della struttura (si pensi, ad esempio, ad una struttura mista acciaio-calcestruzzo). Per questo motivo, generalmente, le caratteristiche di materiale sono definite per un *gruppo* di elementi di tipo affine. La definizione del materiale nell'ambito del Metodo, e dei programmi di calcolo che usano il Metodo, non è, come si potrebbe credere, simile alla definizione teorica del materiale (isotropo anisotropo, ortotropo con tutte le costanti del caso): essa ha un senso convenzionale, dovuto al fatto che per definizione certi elementi finiti hanno senso per particolari tipi di materiale, del quale comunque utilizzano pochi parametri, non tutti. Ad esempio, un elemento truss utilizza il solo modulo di elasticità di Young relativo alla direzione definita dall'asse della truss. In questo caso l'eventuale anisotropia del materiale non rileva, in quanto del materiale interessa il solo comportamento lungo l'asse della truss stessa. Inoltre, non occorre specificare né il coefficiente di Poisson né il modulo di elasticità tangenziale, che non entrano nella formulazione dell'elemento. Può invece essere utile, per valutare il peso dell'elemento o la sua massa, la densità del materiale, che infatti viene generalmente richiesta. Nel caso dell'elemento beam, invece, si fa implicitamente l'ipotesi che il materiale sia omogeneo ed isotropo, e ciò anche se sarebbe piuttosto semplice trattare un elemento con materiale ad esempio ortotropo. Semplicemente, l'elemento è implementato in questo modo.

I programmi in generale non esauriscono l'insieme delle possibili scelte: ne forniscono alcune, spesso le più note o le più utili. Si tenga anche presente che un corretto impiego delle costanti di materiale e di quelle geometriche consente spesso di modellare situazioni apparentemente non modellabili. Ad esempio, nel caso della beam con materiale ortotropo sarebbe sufficiente tarare in modo opportuno i momenti di inerzia per modellare correttamente questa situazione.

Per quanto detto appare evidente che la fase di attribuzione di materiali e geometria agli elementi è una fase molto delicata, che può richiedere sottigliezza o, addirittura veri e propri *trucchi*, volti ad ottenere modellazioni significative: è pertanto della massima importanza capire bene non solo come funziona ogni singolo elemento finito, ma anche come è stato implementato nel programma di cui si dispone. Qui basterà ripetere che tali caratteristiche non vogliono essere realistiche se non in modo indiretto, consentendoci di

tarare il comportamento degli elementi a nostro piacimento. Il loro scopo è *modellare*, non fotografare. Esse vanno quindi intese più come i pulsanti necessari a teleguidare un aeroplanino che come puntuali riferimenti alla teoria.

1.3.5. Attribuzione dei vincoli

Definiti completamente gli elementi finiti, occorre specificare quali siano i vincoli a cui è soggetta la struttura. I vincoli nella realtà fisica possono riguardare punti, segmenti o superfici. Nell'ambito del Metodo i vincoli riguardano sempre solamente i nodi. Ciò non significa che le situazioni reali più generali non possano essere modellate: vuol dire semplicemente che per farlo nell'ambito del Metodo occorrerà vincolare un certo numero di nodi. In alcuni casi, come si vedrà meglio nel cap. 3, per modellare compiutamente certe situazioni di vincolo occorre aggiungere elementi oltre a vincolare nodi, tuttavia il concetto di *vincolo* viene direttamente applicato solo ai nodi.

I vincoli dei nodi possono riguardare uno o più dei possibili movimenti del node. In generale un node ha sei gradi di libertà, vale a dire sei diverse possibilità di movimento: vincolandolo le sue possibilità di movimento possono scendere a cinque, quattro..., fino ad annullarsi del tutto. I sei gradi di libertà tipici di un node sono: le tre traslazioni secondo le direzioni x, y, z del sistema di riferimento globale; le tre rotazioni attorno ad assi diretti come x, y, z . Vincolare una di queste componenti significa porla eguale a zero.

Il numero dei vincoli posti sui nodi della struttura influenza direttamente, come vedremo, la dimensione del problema matematico da risolvere. Se tutti i nodi fossero vincolati non esisterebbe alcun problema da risolvere (e neanche, in generale, sforzi o deformazioni *sul modello*). Il problema matematico in questione è un sistema di equazioni lineare, avente un numero di incognite pari al numero di gradi di libertà dei nodi, vale a dire la somma di tutti i gradi di libertà di tutti i nodi della struttura. Ogni componente di spostamento vincolata implica, come vedremo, un'equazione in meno.

Se i vincoli sono insufficienti oppure mal posti il problema può diventare irrisolvibile o inutile. Esso diventa irrisolvibile allorchè siano presenti delle *labilità*, vale a dire delle zone della struttura che si possono muovere senza che insorgano sforzi; diventa invece inutile da risolvere allorchè i vincoli siano stati messi in modo tale da travisare il comportamento strutturale, rendendo il modello inadeguato. Entrambi i casi si verificano -purtroppo- frequentemente. Più temibile appare il secondo, perchè in tal caso si possono ottenere risultati assurdi senza accorgersene.

1.3.6. Descrizione dei carichi

I *carichi* o più in generale le *azioni* presenti su una struttura sono generalmente raggruppate in *casi di carico*, intendendosi che tutte le azioni associate ad un caso di carico agiscono contemporaneamente. La risposta della struttura sarà dunque, in ossequio al principio di sovrapposizione degli effetti, la somma delle risposte della stessa struttura alle singole azioni. Quanto detto implica che se si vuol tenere distinte le risposte dovute a cause diverse, queste vanno messe in casi di carico differenti.

Le azioni possono essere di vario tipo: esse possono essere forze o coppie applicate direttamente a punti della struttura ove sono presenti nodi (*forze nodali*), oppure possono essere forze o coppie applicate a

punti interni agli elementi finiti, o posti sul loro contorno, comunque in assenza di un corrispondente node: si parla in tal caso di *carichi distribuiti*. Sono altresì distribuiti i carichi di pressione applicati agli elementi (ad esempio un carico uniforme sull'asse di un elemento beam). Un particolare tipo di azione è il carico termico, che può in generale essere nodale o distribuito. Infine, sono azioni anche gli spostamenti imposti (ad esempio i cedimenti vincolari). Spostamenti imposti e carichi termici sono detti *coazioni*.

Come sarà chiarito in seguito tutte le azioni devono essere tradotte, attraverso un opportuno procedimento, in forze o coppie nodali, ad eccezione degli spostamenti imposti: lo spostamento anziché essere posto eguale a zero viene posto eguale al valore assegnato.

Ad ogni caso di carico viene fatto corrispondere un *vettore delle forze nodali*, che riepiloga gli effetti complessivi delle azioni sui nodi (anche se le azioni sono distribuite). Tale vettore è il termine noto del sistema di equazioni che risolve la struttura per quel dato caso di carico, ed a esso corrisponde un vettore soluzione che contiene gli spostamenti di tutti i nodi. Ad ogni caso di carico corrisponde pertanto un vettore soluzione diverso. In generale se sono stati definiti n casi di carico occorre risolvere n sistemi lineari, aventi tutti la stessa matrice dei coefficienti e diversi vettori a termine noto: i vettori delle forze nodali corrispondenti al caso di carico in esame.

1.3.7. Rinumerazione dei nodi e formazione dei vettori

Una volta creati i casi di carico ed associati ad essi i carichi applicati, il problema può essere risolto. Il primo passo compiuto da ogni buon programma agli elementi finiti è la rinumerazione dei nodi e, in alcuni casi, la rinumerazione degli elementi. Scopo della rinumerazione è pervenire ad un sistema di equazioni identico a quello originario, ma più facile da risolvere perché la matrice dei coefficienti è dotata di una *banda* assai minore: si vedrà più in dettaglio nel cap.6 cosa questo significhi.

Lo sforzo in termini di tempo di calcolo necessario per rinumerare è sempre largamente inferiore al vantaggio ottenuto, e ciò benché in genere la soluzione proposta dal rinumeratore non sia quella ottima (quella che dà la banda minima in senso assoluto).

La rinumerazione (o *renumbering*) viene effettuata facendo uso di criteri presi dalla teoria dei grafi ed è un passaggio estremamente delicato ed importante. In genere l'utente non può intervenire in alcun modo sulla rinumerazione, e quindi si ha quasi sempre una drastica riduzione dei tempi di calcolo e dell'occupazione su disco.

La rinumerazione richiede un aggiornamento della tabella delle incidenze e delle coordinate: in effetti un node che prima della rinumerazione aveva il numero n , dopo la rinumerazione ha invece il numero m , pertanto là dove compare il numero n occorre invece scrivere il numero m .

Dopo aver rinumerato, il generico solutore è in grado di costruire i vettori delle incognite e l'insieme dei vettori termine noto. Per fare ciò viene generalmente costruita una tabella che associa ad ogni equazione del sistema, ovvero ad ogni riga della matrice dei coefficienti, un particolare spostamento di un particolare node. Una riga della tabella potrebbe essere la seguente:

NODO	VECCHI	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
------	--------	----	----	----	----	----	----

	O						
113	1280	567	0	568	569	0	570

Ciò vorrebbe dire che la riga 568 della matrice dei coefficienti si riferisce alla traslazione x del node con numero 113 (che prima della rinumerazione aveva il numero 1280). Il numero 0 in corrispondenza alla traslazione y ed alla rotazione y indicano che non vi sono equazioni associate, poichè i due spostamenti sono impediti dai vincoli. Infine, alla riga 569 e 570 del sistema si trovano le rotazioni del node 113 secondo l'asse y e l'asse z . La tabella precedente si chiama spesso "*vettore I-D*", dal simbolo ID ad essa associato nei sorgenti SAP.

Dopo la rinumerazione, pertanto, è possibile associare in modo biunivoco una riga della matrice dei coefficienti ad una componente di spostamento incognito, ovvero ad un grado di libertà.

I vettori termine noto corrispondono alle forze nodali dovute ai carichi applicati direttamente ai nodi, ed ai carichi distribuiti. Esistono tanti vettori termine noto quanti sono i casi di carico. La parte di forze dovuta ai carichi direttamente applicati ai nodi può venir costruita in questa fase: se più forze insistono sullo stesso grado di libertà nello stesso caso di carico esse vengono sommate (in ossequio al principio di sovrapposizione degli effetti). La parte di forze nodali dovuta ai carichi distribuiti viene invece calcolata e sommata nel corso della fase successiva, vale a dire dell'*assemblaggio*.

1.3.8. Assemblaggio

L'assemblaggio è forse la fase del Metodo che richiede il maggior sforzo per essere compresa: in termini rozzamente esemplificativi potremmo dire che l'assemblaggio è il procedimento che crea la matrice dei coefficienti del sistema (*matrice di rigidezza globale*) e che completa i vettori termine noto della parte dovuta ai carichi distribuiti. In effetti se questo è l'effetto occorre capire *perchè* si fa questo e non altro. Per illustrare il significato dell'assemblaggio esistono vari approcci: noi faremo uso dell'*approccio statico* e dell'*approccio energetico*. Entrambi questi approcci verranno ulteriormente descritti in seguito, qui ci si vuole limitare a dare il senso delle cose, in poche parole.

Nell'approccio statico, l'assemblaggio è il procedimento che computa e somma, node per node, le forze che provengono al node stesso a causa del movimento degli altri nodi ed a causa dei carichi applicati. Le forze arrivano al node in esame tramite gli elementi ad esso connessi: le forze dovute agli spostamenti dei nodi connessi si chiamano *reazioni*; si chiamano invece *azioni* le forze dovute ai carichi applicati. Il singolo termine K_{ij} della matrice di rigidezza globale è eguale alla forza che occorre esercitare in direzione del grado di libertà i a causa dell'esistenza di un valore unitario di spostamento del grado di libertà j . Se il node associato al grado di libertà i tramite il vettore ID appartiene ad elementi che non sono connessi in alcun modo al node associato al grado di libertà j , allora $K_{ij} = 0$. Questo caso è molto frequente, ed infatti la matrice \mathbf{K} è in generale ricca di termini nulli (matrice *sparsa*). La somma di tutte le forze agenti sul grado di libertà i , a causa del movimento dei nodi (ovvero la somma delle reazioni) è data da

$$R_i = \sum_j K_{ij} u_j$$

dove la sommatoria è estesa a tutti i gradi di libertà della struttura ($j=1, n$).

Sia f_i la somma delle azioni sul grado di libertà i . Perché vi sia equilibrio l'azione deve essere eguale e contraria alla reazione, ovvero:

$$R_i = f_i$$

e quindi occorre risolvere il sistema, che ha per incognite gli n spostamenti u_i

$$\sum_j K_{ij} u_j = f_i \quad (*)$$

Nell'approccio energetico l'assemblaggio è sostanzialmente visto come il procedimento che somma i contributi di ciascun elemento all'energia di deformazione elastica, ed al potenziale dei carichi (con il contributo dei carichi distribuiti).

In effetti l'energia di deformazione dell'intera struttura è data dalla somma delle energie di deformazione dei pezzi di cui è composta, e ciò semplicemente in base alla proprietà additiva degli integrali. Ognuno dei contributi E_e all'energia di deformazione totale viene espresso in funzione del vettore degli spostamenti nodali incogniti, nella veste di forma quadratica associata a una matrice quadrata di ordine pari al numero complessivo dei gradi di libertà, ovvero del tipo

$$E_e = \frac{1}{2} \mathbf{u}^T \cdot \mathbf{K}_e \cdot \mathbf{u} \quad (^)$$

dove \mathbf{u} è il vettore degli spostamenti nodali incogniti, di dimensione n , e il generico elemento e \mathbf{K}_e la *matrice di rigidezza espansa* del singolo elemento finito. Il motivo per cui l'energia di deformazione del singolo elemento finito dipende da una matrice, secondo quanto scritto nell'equazione precedente, verrà chiarito in seguito. Accettata la (^) l'energia di deformazione per l'intera struttura diventa

$$E = \sum_e \frac{1}{2} \mathbf{u}^T \cdot \mathbf{K}_e \cdot \mathbf{u} = \frac{1}{2} \mathbf{u}^T \cdot \mathbf{K} \cdot \mathbf{u}$$

Analogo principio vale per il potenziale dei carichi. Infatti per ogni elemento si può scrivere

$$P = \sum_e \mathbf{u}^T \cdot \mathbf{f}_e = \mathbf{u}^T \cdot \mathbf{f}$$

Impiegando il *principio di minimo dell'energia potenziale totale* Π , dove

$$\Pi = E - P$$

si vede che tale principio è soddisfatto se è vero che \mathbf{u} soddisfa la equazione matriciale (ovvero il sistema di equazioni algebriche)

$$\mathbf{K} \cdot \mathbf{u} = \mathbf{f} \quad (*)$$

dove \mathbf{K} è data proprio dalla somma delle matrici di rigidezza espanse dei singoli elementi.

In qualsiasi modo lo si ottenga, il sistema di equazioni (*) dà il vettore degli spostamenti nodali incogniti, coi quali, in base al principio astrologico è possibile ottenere sforzi e deformazioni all'interno degli elementi.

Ritourneremo più avanti, e più in dettaglio, sull'assemblaggio. Qui basterà dire che il sistema (*), in entrambe le forme in qui è stato scritto, è l'espressione discretizzata di principi fisici ben conosciuti, e che l'assemblaggio costruisce tale sistema in base a regole che dipendono da quei principi.

1.3.9. Soluzione

Una volta costruita la matrice del sistema e completati i vettori termine noto con l'effetto dei carichi distribuiti, un generico programma di calcolo risolve il sistema, calcolando tanti vettori di n incognite quante sono le condizioni di carico. Ognuno di tali vettori contiene n valori, che rappresentano gli spostamenti dei nodi secondo gli n gradi di libertà della struttura. Al termine della soluzione è pertanto noto di quanto si sia spostato ogni nodo in ogni condizione di carico. Lo spostamento è riferito al sistema di coordinate globale, è perciò uno spostamento assoluto: lo spostamento *relativo* di due nodi può tuttavia essere facilmente ottenuto a partire dai due spostamenti assoluti.

Della soluzione di sistemi sparsi, simmetrici ed a elevato numero di equazioni parleremo meglio più avanti. Qui basterà dire che la fase di soluzione vera e propria (solving) comporta problemi di occupazione della memoria RAM e di occupazione su disco che sono affrontati in un'ampia varietà di modi dai solutori disponibili sul mercato. Talvolta (spessissimo con certi programmi) la fase di solving è persino più rapida di quella successiva di *stress recovery*, pertanto un'eccessiva enfasi nel sottolineare la difficoltà del compito sembra oggi sporporzionata: risolvere un sistema di mille o tremila equazioni è oggi quasi lo stesso, e, si può dire, è un problema relativamente poco oneroso.

Se nel corso dell'attribuzione dei vincoli sono stati commessi degli errori, questi si evidenziano, ove ciò sia possibile, proprio nella fase di solving. È questa la situazione in cui "qualcosa non funziona", "il programma dà strani messaggi" e così via. Spesso il non esperto si ritrova fuori dal programma solutore e non sa perchè. Lasciando da parte le digressioni sulla amichevolezza del software, che pure sarebbero molto interessanti, diremo qui che quando questa circostanza si verifica essa è spessissimo dovuta a problemi di labilità. In effetti per evidenziare il problema è necessario assemblare la matrice di rigidezza globale, perchè solo così si può constatare che non è invertibile, e che quindi il sistema non ha soluzione.

Terminata la fase di solving gli spostamenti vengono memorizzati su disco, e può cominciare la fase successiva: la *stress recovery*.

1.3.10. Stress recovery

Con la parola inglese *stress recovery* si suole intendere il procedimento che porta dagli spostamenti nodali agli sforzi negli elementi. In un certo senso tale procedimento può essere visto come un assemblaggio al contrario, una sorta di *disassemblaggio*, per dire che si va dai dati generali, propri a tutta la struttura, ai dati propri ai singoli elementi finiti, che vengono a questo punto considerati l'uno indipendentemente dall'altro, come piccoli microcosmi a sè stanti.

Nella *stress recovery* chi gioca un ruolo decisivo è il *principio astrologico*: dopo aver risolto il sistema, infatti, sono noti gli spostamenti che decidono cosa avviene all'interno dell'elemento finito: è sufficiente applicare le regole semplificate usando questi spostamenti per sapere, nei limiti dell'approssimazione del Metodo, quali siano gli sforzi le deformazioni e gli spostamenti di tutti i punti appartenenti all'elemento.

Poichè il principio astrologico prevede di conoscere gli spostamenti dei nodi dell'elemento, la prima

cosa che occorre fare è estrarre dal vettore che dà gli spostamenti di tutti i nodi della struttura, il vettore, più piccolo, che dà gli spostamenti dei soli nodi dell'elemento. Spesso il *principio astrologico* usa spostamenti espressi secondo un sistema di riferimento particolare, il sistema di riferimento dell'elemento, o *sistema locale*: pertanto, una volta costruito il vettore che dà gli spostamenti dei nodi dell'elemento, occorre trasformarlo per avere quegli spostamenti nel sistema locale.

Eseguita la trasformazione non resta che applicare agli spostamenti nodali dell'elemento le regole semplificate ad esso proprie, per conoscere gli sforzi all'interno dell'elemento stesso. In genere gli sforzi vengono calcolati in un numero predefinito di punti all'interno dell'elemento, che possono o meno coincidere con i nodi dell'elemento stesso. Tutti questi sforzi vengono poi memorizzati, elemento per elemento, e costituiscono il risultato della stress recovery, nonché una buona metà del risultato complessivo cercato. Non ha ovviamente senso cercare di conoscere spostamenti o sforzi al di fuori dell'elemento, usando le regole proprie all'elemento stesso ed i suoi spostamenti nodali in particolare: fareste mai l'oroscopo a Tizio con la posizione dei pianeti di Caio?

1.3.11. Output e interpretazione dei risultati

La fase di output, svolta automaticamente dal programma, conclude la soluzione di *un* problema, ma non la fase di analisi *del* problema, che, anzi, con l'output raggiunge l'inizio della sua parte più interessante.

L' output è dato in genere sotto forma di due insiemi di file: i file ASCII ed i file binari. I risultati, vale a dire gli spostamenti e gli sforzi, possono figurare in entrambi gli insiemi di file, ma generalmente i risultati sui file ASCII sono inservibili. Essi sarebbero inservibili anche se l'output di un'analisi agli elementi finiti fosse effettivamente il risultato cercato, poichè non è umanamente pensabile gestire in modo efficiente migliaia e migliaia di numeri organizzati in giganteschi tabulati, ma, in particolare, essi sono inservibili perchè raramente i risultati di un'analisi agli elementi finiti sono proprio il risultato cercato. Spesso il risultato cercato si può ottenere indirettamente dai risultati di un'analisi agli elementi finiti, che comunque vanno in ogni caso validati.

Nei file ASCII è invece opportuno controllare che non vi siano messaggi di "warning" o altre anomalie che possano far pensare a problemi nel corso della lettura dei dati di input, o dell'assemblaggio, o della soluzione vera e propria. Spesso i file di diagnostica sono piccoli file ASCII perfettamente gestibili.

Resta dunque evidente che i risultati scritti nei file binari sono quelli i più interessanti, e ciò perchè possono agevolmente essere ulteriormente processati, dando loro un'interpretazione grafica e consentendo un accesso immediato ai valori di interesse. Questo punto è oggi ineludibile: è la fase di *restituzione grafica* dei risultati.

Perfettamente funzionale alla precedente è l'importantissima fase di *controllo dei risultati*, che ci deve garantire del fatto che la soluzione rispetti le caratteristiche del problema da risolvere. Occorre quindi controllare la spostata, sia in termini qualitativi che in termini quantitativi; controllare le reazioni vincolari, che devono essere equilibrate ai carichi che volevamo mettere; controllare l'andamento e l'intensità degli sforzi misurati, che non devono essere contrari al senso comune: i casi particolari sono sempre sospetti; e così via,

controllare tutto ciò che si può. L'errore è sempre in agguato, l'uso di strumenti precisi ed affidabili non implica il loro corretto uso, allo stato attuale dell'arte. Molto spesso l'esito di questi controlli è un *ritorna al punto 5*, ma talvolta occorre tornare al punto 1: naturalmente più si è acquisita esperienza più ciò accade di rado...

2. Gli elementi

2.1. Introduzione

Come si è detto gli elementi finiti sono i mattoni fondamentali in cui suddividiamo la struttura per studiarne il comportamento. Ognuno di questi mattoni segue in generale regole differenti e serve ad uno scopo differente. E' perciò della massima importanza comprendere bene come ciascun mattone funzioni, al fine di impiegarlo correttamente nelle analisi.

Qui verrà descritto solo un numero minimo di elementi finiti, quelli più largamente impiegati dai programmi in circolazione. Si può dire che gli elementi possano essere catalogati secondo almeno due criteri: il primo criterio è quello della *equazione governante*, vale a dire, l'insieme di equazioni che l'elemento finito è chiamato a sposare; il secondo criterio è quello della *formulazione*, vale a dire il criterio adottato per sposare l'equazione governante.

In accordo al primo criterio, e classificando solo le analisi più frequenti, gli elementi si possono dividere secondo la seguente tabella:

EQUAZIONE GOVERNANTE	ELEMENTO
Continuo tridimensionale (Navier Stokes)	Solido
Piastra sottile (Germaine-Kirchhoff)	Piastra
Piastra spessa (Mindlin)	Piastra
Stato piani di sforzo	Piano, Membrana spaziale
Stato piano di deformazione	Piano
Teoria tecnica della beam (Eulero Bernoulli)	Trave, truss
Trave su suolo elastico	Trave
Trave alla Timoshenko	Trave

In accordo al secondo criterio ogni elemento della seconda colonna della tabella precedente può essere ulteriormente classificato, come per esempio nel modo seguente:

ELEMENTO	FORMULAZIONE 1	FORMULAZIONE 2	FORMULAZIONE 3
		

SOLIDO	tetraedrico a	brick a 8 nodi	brick a 20
	4 nodi		nodi
		
		

Nella tabella precedente la quarta colonna è stata lasciata in bianco ad indicare che, stabilita l'equazione governante, vi sono in generale numerosi elementi disponibili, i quali hanno, in generale, vantaggi e svantaggi.

In generale si può dire che gli elementi con maggior numero di nodi sono più precisi, ma rendono più difficile la creazione della mesh, specialmente nelle zone a geometria fortemente variabile. Spesso è necessario usare, all'interno di un unico modello ad elementi finiti, non solo elementi aventi equazioni governanti diverse (travi e piastre), ma anche elementi aventi analoga equazione governante ma formulazione differente (elementi tetraedrici e brick, elementi piani triangolari e quadrangolari, eccetera). Quest'ultima circostanza deriva spesso proprio dalla necessità di sposare la geometria della struttura anche nelle zone fortemente variabili.

Nel seguito verranno illustrati in dettaglio alcuni elementi finiti tra quelli più universalmente impiegati dai vari programmi agli elementi finiti disponibili.

2.2. Biella

2.2.1. Lineamenti generali

Per *truss* intendiamo un elemento finito rettilineo capace di trasmettere solo una azione assiale.

Questo comportamento è legato alla ipotesi che si fa sul campo di spostamenti dei punti del solido schematizzato dall'elemento. Si fanno infatti le seguenti ipotesi:

- 1) Il solido è un prisma retto ed omogeneo lungo L
- 2) Tutti i punti del solido si limitano a traslare nella direzione dell'asse del prisma.
- 3) Tutti i punti di una medesima sezione del prisma traslano allo stesso modo.

Se $u(x, y, z)$, $v(x, y, z)$, $w(x, y, z)$ sono i tre spostamenti di ogni punto del prisma le precedenti ipotesi si scrivono semplicemente:

$$\begin{aligned} u(x, y, z) &= u(x) \\ v(x, y, z) &= 0 \\ w(x, y, z) &= 0 \end{aligned} \quad (2.1)$$

Per le ipotesi cinematiche fatte, l'equazione governante il problema si semplifica notevolmente, e diviene, essendo E il modulo di Young, A l'area del prisma, e p_x il carico distribuito per unità di lunghezza:

$$EAu''(x) + p_x(x) = 0 \quad (2.2)$$

Questa è l'equazione che governa il problema della truss. E' una equazione differenziale del secondo ordine che, nella ipotesi in cui

$$p_x(x) = 0 \quad (2.3)$$

ammette la soluzione generale

$$u(x) = ax + b \quad (2.4)$$

In termini pratici possiamo dire che, se le ipotesi (2.1) sono soddisfatte, e se non vi sono carichi applicati, lo spostamento dei punti della truss è lineare e dipende da due soli parametri. Se chiamiamo per definizione

$$\begin{aligned} u_1 &= u(0) \\ u_2 &= u(L) \end{aligned} \quad (2.5)$$

la (2.4) si può scrivere

$$u(x) = u_1 + (u_2 - u_1)x/L \quad (2.6)$$

L'equazione (2.6) risolve esattamente la (2.2) in assenza di carichi distribuiti. La (2.6) è anche un *principio astrologico*: se si conoscono le traslazioni delle sezioni iniziale e finale, allora si conoscono gli spostamenti di tutti i punti dell'elemento. Lo sforzo è ottenuto dalla legge di Hooke ($=E$) esprimendo la deformazione come derivata prima dello spostamento, e, detta N l'azione assiale, essa diviene

$$N(x) = N = EA(u_2 - u_1)/L \quad (2.7)$$

L'azione assiale è dunque proporzionale a $(u_2 - u_1)$, la costante di proporzionalità (detta *rigidezza*) essendo

$$K = EA/L$$

ed inoltre non dipende da x , è costante lungo tutto l'asse del prisma.

I risultati che abbiamo ottenuto sono esatti (risolvono esattamente l'equazione 2.2) solo se non vi sono carichi distribuiti. Infatti:

- a) Se esistono carichi trasversali all'asse del prisma non sono più accettabili le (2.1) e la (2.2) non modella correttamente il problema
- b) Se esistono carichi diretti come l'asse del prisma la (2.4) non è più valida, e con essa la (2.6) e la (2.7).

[il lavoro di stesura è in progress]

5.5 Guida pratica alla analisi modale(in progress)

Guida pratica all'analisi modal

Paolo Rugarli

Queste informazioni non possono essere divulgate, fotocopiate o diffuse presso terze parti senza il consenso

dell'Autore.

Indice

- 1) Introduzione**
- 2) Brevi richiami**
- 3) L' aspetto modellistico**
 - 3.1) Modellazione delle masse**
 - 3.2) Modellazione delle rigidezze**
 - 3.3) Modellazione degli smorzamenti**
- 4) L' aspetto matematico: subspace iteration e parametri di controllo**
 - 4.1) Numero dei modi**
 - 4.2) Ordine del sottospazio**
 - 4.3) Massimo numero di iterazioni**
 - 4.2) Tolleranza**
- 5) Analisi della risposta: periodi, masse partecipanti, forme modali**
- 6) Analisi strutturale atbeamrso l'analisi modal**

7) **Le verifiche strutturali**

8) **Riferimenti**

1) Introduzione

Questa non è la ripetizione delle formule sulla analisi modal, con notazione diversa ed eventuale riproposizione. Questa è una guida rapida ed essenziale su alcuni degli aspetti fondamentali che occorre aver ben chiari allorchè ci si trovi a fare una analisi modal.

Il punto di partenza è che occorre capire cosa si sta facendo, altrimenti si produrrà una delle infinite analisi modali possibili, senza avvicinarsi ai risultati corretti. Una analisi modal coinvolge varie discipline, per cui non tutti hanno il background necessario ad affrontarla.

Per fare una analisi modal occorre un modello agli elementi finiti, con le conseguenti matrici delle masse e delle rigidezze (nel caso di smorzamento alla Rayleigh v' è anche la matrice degli smorzamenti). Le informazioni necessarie al troglodita (il computer) per montare le matrici in questione le forniamo noi. Pertanto attenti agli atteggiamenti fideistici: ogni cosa va decisa e controllata. Per la macchina produrre spazzatura o l' analisi giusta è la stessa cosa. Per ogni programma correttamente funzionante ogni analisi che non porti ad un errore è corretta. Per noi non dovrebbe essere così.

L' analisi modal ha interesse sia nel campo dell' analisi sismica, sia nell' ambito della fondazione di macchine, sia in generale come strumento ulteriore di test sulla bontà di un modello analizzato in campo statico. Come vedremo essa è in grado, se ben condotta, di scovare le zone cedevoli e le quasi labilità, e pertanto va considerata una analisi che è necessario saper fare se ci si vuole occupare di ingegneria strutturale.

2) Brevi richiami

Adotteremo la seguente terminologia:

M	matrice delle masse
K	matrice delle rigidzze
C	matrice degli smorzamenti
x(t)	vettore degli spostamenti
p	coordinata principale
Ψ	autovettore (forma modal)
T	periodo (in secondi)
ω	pulsazione (rad/sec)
v	smorzamento relativo al critico
n	ordine del problema
m	numero dei modi richiesti
g	fattore di partecipazione modal
M	massa totale
Per gli indici:	
i, j	indice di modo o di grado di libertà o di iterazione
x,y,z	indice di direzione rispetto agli assi di riferimento globali

Con queste posizioni il problema delle oscillazioni libere di un sistema privo di smorzamento diviene

ed esso ammette come è noto soluzioni del tipo:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{K}\mathbf{x} = \mathbf{0}$$

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{p}(t)$$

ove in generale

$$p(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$$

I vettori e le pulsazioni si trovano in corrispondenza al problema agli autovalori

$$(\mathbf{K} - \omega^2 \mathbf{M}) \Psi = \mathbf{0}$$

Se le matrici delle masse e di rigidzza sono nonsingolari, di soluzioni ce ne sono n. In

caso contrario, detto r il rango di \mathbf{M} , di soluzioni ce ne sono r . Di fatto, tranne casi particolari, la matrice delle rigidezze é sempre nonsingolare (il che vuol dire che non ci sono moti rigidi). La matrice delle masse invece può essere spesso singolare, a causa del fatto che i momenti di inerzia rotazionali sono correntemente trascurati (cfr. ove si parla di modellazione delle masse). Se ad esempio si studia una mensola con un solo elemento finito, avendo in tutto sei gradi di libertà, non ci si aspetti di trovare sei modi se esistono solo le tre masse traslazionali del node libero. Né in genere le masse dei nodi vincolati vengono assemblate. In un caso del genere potremo ottenere al più tre modi. Se ne vogliamo di più, e se vogliamo una soluzione attendibile, dovremo modellare la mensola con più nodi, e quindi più elementi finiti e gradi di libertà.

Delle formule precedenti é importante capire che la dipendenza dal tempo e quella dalla posizione sono state disaccoppiate. Nel corso di una oscillazione principale la forma della oscillazione non cambia: cambia solo, in funzione del tempo, l' ampiezza della oscillazione.

Il comportamento dinamico di una struttura viene ricondotto alla somma di un certo numero di oscillazioni elementari, ognuna delle quali avviene secondo il proprio periodo. Inoltre in generale le varie oscillazioni non sono in fase tra loro, *il che implica che i massimi vengano raggiunti in istanti diversi*. Potete immaginare molti pendoli di lunghezze differenti oscillare in modo caotico seguendo ciascuno la legge di Huygens? Il comportamento complessivo risulta dalla somma di tutti i modi elementari:

$$\mathbf{x}(t) = \sum_{i=1}^n \mathbf{p}_i(t) \Psi_i \quad (i=1, n)$$

L' analisi modal serve a trovare un certo numero m ($m \ll n$) di questi pendoli, ed a sapere tutto di loro. In più, rispetto al caso elementare dei pendoli, abbiamo che la forma della oscillazione non é nota a priori, é una specie di sorpresa: dall' analisi della forma della oscillazione possiamo infatti capire molte cose.

La vera oscillazione libera del modello (quella della struttura é un'altra cosa ancora) si ottiene imponendo le condizioni iniziali, in modo tale da trovare le ampiezze e le fasi di ciascuna delle oscillazioni. Talvolta si fa effettivamente questo. Più spesso si fa, per le analisi sismiche, una specie di media pesata di tutte queste oscillazioni, pervenendo ad un risultato in termini di spostamenti e deformazioni che é un oggetto strano, una specie di chimera. Questa procedura si chiama analisi con lo spettro di risposta. Ne parleremo più avanti.

3) L' aspetto modellistico

In questo paragrafo verranno brevemente discussi quegli aspetti che vanno tenuti in conto nel preparare un modello per analisi dinamica. Da un punto di vista numerico, il problema è posto una volta poste le matrici \mathbf{M} , \mathbf{K} e \mathbf{C} . Ognuna di queste matrici significa e descrive un aspetto della struttura reale. In nessun caso la struttura reale è il suo modello oppure *ha* queste matrici. I ragionamenti che faremo pertengono esclusivamente la modellazione nell'ambito di una teoria che è quella della elasticità lineare. La realtà, sia chiaro, è un'altra cosa. Ancora: a parità di idealizzazione, di una struttura si possono fare modelli diversissimi (a *plate*, a *beam*, con più o meno gradi di libertà, eccetera).

Noi introduciamo idealizzazioni e semplificazioni praticamente ad ogni piè sospinto, solo che mentre alcune sono plausibili, altre sono un azzardo ed altre ancora pura fantasia. La scelta del tipo di elemento, del numero e della collocazione degli elementi finiti e dei nodi, della dimensione del problema, sono spesso ereditate dall'analisi statica, che è parente stretta dell'analisi modal. Tuttavia, come vedremo, in campo dinamico possono rendersi necessarie talune ulteriori modifiche al modello.

3.1) Modellazione delle masse

La matrice delle masse è una matrice quadrata che in generale è sparsa, simmetrica ed a banda. In molti importanti casi essa è anche diagonale. La matrice delle masse viene costruita automaticamente dai programmi a partire dalle informazioni che noi forniamo. Una delle più importanti informazioni riguarda il tipo della matrice, se *lumped* o *consistent* (chi scrive non ritiene che l'uso di tradurre necessariamente ogni parola inglese sia la cosa migliore. Anzi molte volte è fuorviante. Nella letteratura tecnica i termini *lumped* e *consistent* sono usatissimi: prendiamoli come abbiamo preso *week-end* o *disk-jockey*). Se la matrice è *lumped* essa sarà diagonale; se è *consistent* essa sarà sparsa ed a banda. È detto inoltre *lumping* il procedimento in base al quale una matrice *consistent* viene diagonalizzata.

Da un punto di vista formale, una matrice *consistent* è più rigorosa di una matrice *lumped*: essa infatti è derivata dall'assemblaggio di matrici *consistent* al livello dello elemento, le quali, a loro volta, vengono ottenute ipotizzando deformate dinamiche coerenti con quelle statiche (tramite le funzioni di forma o *shape functions* ([1], vol. 2 pag. 316). Tuttavia, studi numerici hanno mostrato che tali vantaggi vengono talvolta perduti dai maggiori problemi

presenti a causa della maggior complessità numerica del problema da risolvere. In generale si può dire che con elementi beam, truss e con elementi bidimensionali con tre o quattro nodi, l'approccio lumped è tanto affidabile quanto quello consistent. Anzi, in taluni casi emergerebbe l'opportunità di usare un approccio lumped, a tutto vantaggio della semplicità e della rapidità della soluzione.

Non tutti i solutori consentono di scegliere tra l'approccio lumped e quello consistent: quando nulla vien detto si deve ritenere che l'approccio sia lumped (esso è infatti anche il primo ad essersi presentato, storicamente, ed è comunque il più semplice). A meno che nel modello non siano presenti elementi a sei od a otto nodi, o addirittura di ordine superiore, l'approccio lumped dovrebbe essere considerato del tutto soddisfacente.

Le differenze tra l'approccio lumped e quello consistent riguardano esclusivamente il modo in cui viene simulata numericamente la densità di peso del materiale. Tali approcci non riguardano il modo in cui vengono simulate le masse concentrate.

Oltre alla densità di peso del materiale (che può simulare "spalmandoli" opportunamente anche carichi portati), è spesso necessario simulare la presenza di masse dovute a macchinari o ad altri diversi dispositivi o sistemi costruttivi. Ciò si fa aggiungendo delle masse ai nodi che interessano, secondo criteri diversi: le masse possono essere attribuite secondo il metodo delle aree di influenza, oppure possono essere consegnate in corrispondenza a ben determinati punti di attacco. In entrambi i casi occorre definire, per ogni nodo di interesse, un insieme di sei numeri: tre masse traslazionali e tre masse rotazionali (momenti di inerzia). Questi ultimi sono generalmente nulli, a meno che si simuli un macchinario o un amminicolo con una rilevante estensione geometrica e/o una massa rilevante. È responsabilità dell'analista stabilire se una certa massa rotazionale possa o meno essere trascurata. In assenza di momenti di inerzia rilevanti e concentrati le masse rotazionali sono generalmente nulle. In particolare, nella schematizzazione di ordinari edifici civili le masse rotazionali vengono spesso omesse: è infatti la componente traslazionale ad imporre movimenti dell'edificio nel suo complesso, che, tramite le rotazioni dei nodi e le traslazioni, generano momenti flettenti. Non si deve quindi ritenere che l'assenza di momenti di inerzia porti a non avere rotazioni nei nodi o momenti flettenti.

Il fatto che vi siano masse rotazionali nulle porta una corrispondente diminuzione nel rango della matrice delle masse, cosicché essa è in genere sempre singolare. Questo fatto porta ad una riduzione nel numero dei modi che si possono estrarre pari al corrispondente numero di

masse rotazionali. Se, ad esempio, si studia una beam doppiamente incastrata con tre elementi finiti, vi saranno due nodi liberi e pertanto 12 gradi di libertà. I modi che si possono estrarre sono però solo la metà: 6. Se si vogliono estrarre tutti i modi occorre definire anche tutti i momenti di inerzia. Normalmente ciò non si fa, ed è facile vedere che già con pochi elementi si converge ai valori della teoria tecnica della beam.

Ancorché banale merita un cenno il problema delle unità di misura: è infatti molto facile commettere errori se non si fanno frequentemente analisi modali. Certi programmi poi, consentono l'introduzione di masse in unità forza, certi altri no. In generale la massa si ottiene dividendo la forza peso ad essa associata per l'accelerazione di gravità. In certi casi però g è fittiziamente pari ad 1, e ciò può indurre in errore.

Dopo aver descritto per linee generali il fatto che la massa viene aggiunta ai nodi indirettamente come densità di peso, e direttamente come massa applicata, siamo in grado di approfondire la questione seguente: quanta massa?

Il problema è davvero fondamentale, perché influenza direttamente tutti i successivi risultati. In generale si può dire che tanto maggiore è la massa tanto più alti sono i periodi, ovvero la struttura oscilla più lentamente. Ciò è intuitivo, ma si può anche ricordare facilmente facendo mente locale alla formula dell'oscillatore semplice ($\omega^2 = k/m$). Altrettanto generale è la circostanza che vede aumentare le forze apparenti all'aumentare della massa: è molto più difficile giocare alla fionda con una palla di cannone che con una biglia. Ovvero anche: per far cambiare direzione di moto ad una massa elevata sono necessarie forze di richiamo elastico maggiori di quelle necessarie per far cambiar direzione di moto ad una massa trascurabile. La comprensione di questo semplice meccanismo è basilare, anche se molto spesso capita di vedere persone perdersi nella nebbia di proposizioni astruse anziché riflettere sul principio di D' Alembert.

Quando si analizzano strutture che possono accogliere carichi variabili nel tempo e dovuti alle masse (gravità, forze centrifughe), è quindi necessario decidere quanta massa applicare al modello: la massa massima, quella minima, una media tra le due, un valore a sentimento, cosa? In certi casi le norme fissano dei valori (tipicamente per gli edifici), in altri no. Questa decisione è una delle tante lasciate libere all'analista, il quale può, entro certi limiti, ampliare o ridurre la massa applicata sul suo modello. Inutile negare che questo margine di incertezza può essere usato in una direzione o nell'altra, a seconda delle opportunità (ridurre o aumentare quel che interessa). Tuttavia, un'analisi condotta seriamente dovrebbe stabilire il

range di variabilità nel quale ci si trova, e stabilire un estremo superiore ed uno inferiore per le grandezze che interessano. Non ha comunque senso dare a tutti i piani di un edificio per una analisi sismica la massa che competerebbe loro per folla compatta, a meno che l' edificio non sia una palazzo congressi. Se infatti l' analista può dirsi " deve accadere un terremoto proprio quando le sale sono tutte piene" può anche dirsi " se avviene un terremoto in questa zona tra le 8 e le 19, le mie sale congressi saranno piene o saranno vuote?". In molti casi é la legge che impone, in altri occorre comunque avere senso critico. Una biblioteca sarà ragionevolmente sempre piena di libri, ad esempio. Occorre anche pensare alla possibilità che la situazione muti nel tempo, per cui magari una palazzina venga adibita a scuola, e così via.

Si noti che a priori nelle analisi sismiche non é possibile dire che effetto avrà l' aggiunta di una massa su una sollecitazione o uno spostamento: vi sono infatti fattori, come il coefficiente di risposta, che beneficiano di un aumento del periodo di oscillazione. *Molto spesso comunque ad un aumento della massa corrispondono maggiori spostamenti e maggiori sollecitazioni.*

Molto importante e negletta é la ricerca degli errori. Non bisogna fidarsi dei dati di input sinché un buon numero di diversi fattori non testimonia a favore. Per esempio, se trovo un periodo di 100 secondi come primo modo di un edificio, é molto probabile (certo) che abbia sbagliato qualcosa nelle unità di misura delle masse, o che vi sia un cedevolezza concentrata o, in somma, che ci sia un errore. Se poi il modello deriva da un modello usato per le analisi statiche, ed in quella sede non c'erano anomalie, allora é certo che l' errore é stato fatto nella discretizzazione delle masse. Quando gli errori sono grossolani é facile avvedersene. Più difficile accorgersi di aver dimenticato una massa o le masse di un piano, per esempio. *Le masse applicate al modello dovrebbero pertanto sempre essere confrontate con quelle che si sarebbe voluto mettere.* Infatti, nessuno può dire a priori che é sbagliato un periodo di 1.23 secondi che sarebbe dovuto essere 1.47 perché non sono state messe le masse su un piano. Per errori clamorosi ma con conseguenze scarse negli indicatori principali noi siamo vulnerabili: attenzione.

Preziosi per la ricerca degli errori sono pertanto quei programmi che dicono quanta massa é applicata zona per zona su una struttura, e che riportano le masse partecipanti. Sottolineo, per concludere, che occorre sempre sottoporre il proprio modello ad un vero e proprio *terzo grado* per convincersi della sua affidabilità.

3.2) Modellazione delle rigidzze

Sebbene la modellazione delle rigidità sia in comune con le analisi statiche, spesso il modello strutturale adatto per l'analisi modale è diverso da quello adatto per l'analisi statica. Ciò è dovuto al fatto che in una analisi modale ha spesso interesse l'analisi del comportamento delle strutture principali, e non di quelle secondarie.

In una analisi modale viene chiesto un numero di modi generalmente molto inferiore all'ordine del problema. Questi modi non devono essere sprecati. Non ha quindi alcun senso modellare zone secondarie della struttura (figg. 1 e 2), che, per la loro particolare cedevolezza, tendono a comportarsi in modo disaccoppiato rispetto alle parti principali. Talvolta capita di vedere modelli nei quali i modi richiesti coinvolgono solo parti estremamente limitate della struttura, quelle più cedevoli, mentre l'intero insieme delle strutture principali resta immobile.

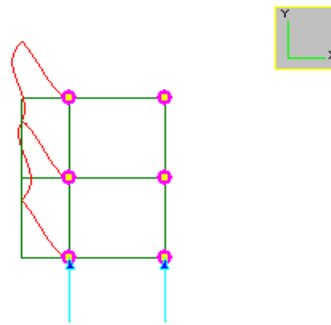


Figura 1: il terrazzo oscilla da solo.

La percentuale di massa partecipante su questo modo è molto bassa

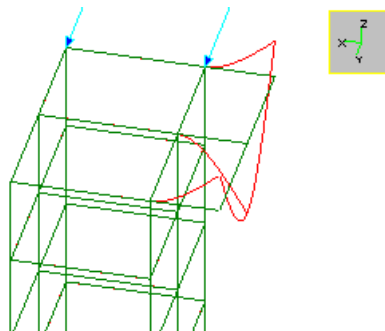


Figura 2: il terrazzo oscilla da solo.

La percentuale di massa partecipante su questo modo è molto bassa

Per capire se un modo è realmente significativo si può vedere la deformata modale e, in associazione, la percentuale di massa partecipante. In tutti i casi in cui la massa partecipante è percentualmente scarsa occorrerebbe agire con cautela. Non si può escludere a priori che modi

siffatti siano significativi per la struttura (si pensi ad un sistema tale per cui tutta la massa è concentrata in pochi punti), tuttavia ciò è improbabile.

Molti fanno modelli strutturali come se dipingessero, aggiungono cioè una serie di dettagli che aumentano il realismo del modello e che al tempo stesso, a loro insaputa, ne minano la attendibilità: un modello strutturale non è un quadro, chi lo fa non sta dipingendo. Questo approccio *artistico* alla modellazione agli elementi finiti è piuttosto diffuso, ed è un indice indiretto di scarsa padronanza del Metodo degli Elementi Finiti. Purtroppo ci sono analisi modali eseguite senza alcun controllo su modelli *pittoreschi*, con massa partecipante scarsissima, di scarsissima attendibilità, che vengono consegnati come se niente fosse all'ignaro committente (che anzi apprezza i dettagli).

Per evitare i problemi suddetti talvolta è necessario escudere o vincolare parti della struttura, al fine di poter avere analisi significative. L'altra alternativa è quella di aumentare il numero dei modi richiesti, il che comporta un aggravio dei costi e, in generale, può non essere una soluzione. A priori non è infatti possibile dire quale sarà il primo modo davvero significativo. L'esclusione di una parte secondaria si può ottenere anche ritoccando localmente il materiale, in modo da irrigidire la sottostruttura. Questo ultimo è un trucco da usare con molta cautela, solo quando indispensabile: ci sono casi, ad esempio, in cui una parte è trascurabile per l'analisi modal ma fondamentale per l'analisi statica. Se si vogliono combinare gli effetti statici e quelli dinamici, inoltre, il modello deve essere proprio lo stesso.

In altre circostanze il fatto che l'analisi modal produca deformate modali che coinvolgono solo parti limitate della struttura è un fatto inatteso, imprevedibile ed imprevedibile. In questi casi questa informazione è un importante indizio di un possibile errore di modellazione, oppure di una debolezza della struttura, di un modo di attivarla particolarmente pervio ovvero di un'importante valvola di sfogo (come nei filtri interposti tra struttura e terreno) o, al limite, di un fatto irrilevante: a seconda dei casi. Nella dinamica degli edifici là dove ci sono forti disaccoppiamenti essi sono sempre da guardare con attenzione e sospetto (edifici *a pilotis*, colonne a baionetta come in fig. 3, corpi di fabbrica nè congiunti nè disgiunti, e così via).

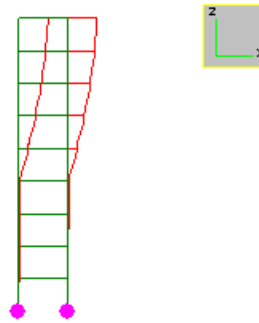


Figura 3: la brusca variazione di rigidezza delle colonne produce un disaccoppiamento pericoloso

Supponendo che il modello strutturale sia adeguato allo scopo, vale la pena di osservare che la discretizzazione non influisce solo sull'ordine della matrice di rigidezza, bensì anche sulla rigidezza nel suo complesso. Si può infatti dimostrare che il Metodo tende alla soluzione esatta con modelli più rigidi della struttura reale (ovvero della reale idealizzazione matematica della struttura reale). Volendo fare un'analisi accurata sarebbe pertanto opportuno eseguire un test di sensitività alla discretizzazione, per esempio suddividendo tutti gli elementi in due o più sotto-elementi.

3.3) Modellazione degli smorzamenti

Il problema degli smorzamenti è uno dei più ostici della dinamica delle strutture, non tanto per la difficoltà matematica, quanto per la aleatorietà della sua corretta valutazione.

Lo smorzamento può riguardare le strutture stesse o l'interazione suolo-struttura. In alcuni casi esso può derivare da circostanze del tutto specifiche (smorzamento indotto da opportuni dispositivi).

Lo smorzamento strutturale riguarda gli elementi ed è compreso tra il 3% ed il 10% dello smorzamento critico, dipendentemente dal materiale, dai sistemi costruttivi e da altri fattori. Esso viene normalmente tenuto in conto con lo smorzamento alla Rayleigh, vale a dire esprimendo la matrice C nel seguente modo:

$$C = \alpha M + \beta K$$

dove α e β sono due scalari.

Lo smorzamento alla Rayleigh ha il pregio fondamentale di consentire il disaccoppiamento delle equazioni del moto, ovvero di consentire l'analisi modal. Se lo smorzamento non è alla Rayleigh non è infatti in generale possibile eseguire un'analisi modal.

In questo caso l'integrazione delle equazioni del moto deve essere fatta con gli ordinari metodi di risoluzione dei sistemi di equazioni differenziali, con un evidente aggravio di tempi e di costi.

Lo smorzamento alla Rayleigh gestito dai programmi di calcolo è pressochè sempre del tipo qui descritto, anche se lo smorzamento alla Rayleigh può essere più generale (si veda ad esempio il Clough [2]). Per definire lo smorzamento qui descritto occorre specificare i due parametri α e β . Come determinarli?

Ad ogni modo corrisponde una equazione differenziale che può essere scritta così:

$$ap'' + (\alpha a + \beta b)p' + bp = 0$$

Dall'equazione precedente posta in forma canonica risulta:

$$2\omega \nu \quad \alpha + \beta \omega^2$$

Dati m modi si possono scrivere m di tali equazioni. Per avere un sistema determinato (le incognite sono α e β) occorre imporre lo smorzamento relativo al critico di due soli modi. I due modi vengono scelti in modo da essere significativi: in genere si scelgono i modi con maggiore massa partecipante. Sugli altri modi lo smorzamento sarà quello derivante dagli α e β così calcolati. È pertanto della massima importanza fare in modo che la curva $\nu(\omega)$ definita fissando α e β non dia luogo ad assurdi, per esempio imponendo smorzamenti elevatissimi su modi significativi. *Ognuno dei modi impiegati nella analisi deve avere uno smorzamento ν accettabile tenuto conto della sua massa partecipante e del suo periodo.*

Lo smorzamento alla Rayleigh viene impiegato allorchè si è interessati alle equazioni del moto senza voler risolvere il sistema di equazioni differenziali. Nelle analisi a spettro di risposta è bene chiarire che lo smorzamento alla Rayleigh non viene utilizzato. In tali analisi lo smorzamento è associato allo spettro stesso.

4) L' aspetto matematico: subspace iteration e parametri di controllo

Per *aspetto matematico* dell'analisi modal si intende qui l'esame dell'insieme di tutti quei parametri e di quegli indicatori che servono a tenere sotto controllo la soluzione numerica

del problema. La soluzione di un problema agli autovalori di grande dimensione avviene per mezzo di metodi iterativi che richiedono una serie di delicate decisioni. I numerosissimi studi sull'argomento hanno consentito di fissare dei valori di riferimento per questi parametri, ma questi valori di riferimento possono non andare bene in certi casi. È pertanto della massima importanza capire esattamente il loro significato per potersi regolare nei casi in cui i valori di *default* debbano essere cambiati.

Tra le procedure numeriche impiegate per risolvere il problema agli autovalori che ci è di fronte con le caratteristiche ad esso proprie, due tecniche si sono in particolar modo affermate: il metodo *subspace iteration* e il metodo di Lanczos.

Il metodo più universalmente diffuso è la *subspace iteration* (iterazione nel sottospazio). Per sottospazio si intende uno spazio di dimensione ridotta rispetto alla dimensione dello spazio di partenza. La dimensione dello spazio di partenza è pari a n , mentre la dimensione del sottospazio è scelta dall'utente, in generale in funzione del numero dei modi richiesti. Subspace iteration funziona nel modo che segue.

1) Siano \mathbf{M} e \mathbf{K} le matrici delle masse e delle rigidezze di ordine n , ed r l'ordine del sottospazio (cfr. più oltre). Occorre seguire i seguenti passi.

2) Prendere una matrice (n, r) di vettori di tentativo \mathbf{R}

3) Formare le matrici (r, r)

$$\mathbf{M}^* = \mathbf{T}_T \mathbf{M} \mathbf{T}$$

$$\mathbf{K}^* = \mathbf{T}_T \mathbf{K} \mathbf{T}$$

dopo aver calcolato

$$\mathbf{T} = \mathbf{R} / \mathbf{K}$$

4) Risolvere il problema agli autovalori (di ordine r)

$$\mathbf{K}^* \mathbf{V} = \mathbf{M}^* \mathbf{V} \Omega$$

5) Formare la stima degli autovettori

$$\Psi = \mathbf{T} \mathbf{V}$$

6) Controllare la convergenza, e se non si è raggiunto il valore desiderato

7) Formare una nuova matrice

$$\mathbf{R} = \mathbf{M} \Psi$$

e tornare al punto 3).

Nel seguito verrà illustrato il significato dei parametri impiegati nel pilotare una subspace iteration ad uno ad uno, per mostrare l'impiego che se ne debba fare.

4.1) Numero dei modi

La prima cosa che occorre decidere è quale sia il numero dei modi che servono. In generale si può affermare che il numero dei modi che servono è quello che consente di avere nelle tre direzioni una massa partecipante eguale almeno ad una percentuale rilevante di quella totale. Per percentuale rilevante intendiamo l'80% o più. Come sempre deroghe e casi particolari sono ipotizzabili.

Se la struttura è stata ben modellata ed è abbastanza regolare m può essere compreso tra 6 e 10. Nel caso in cui l'oscillazione di massa in una direzione non interessi se ne terrà conto nel valutare la bontà di una analisi.

Se la struttura è complessa il numero dato precedentemente può crescere, anche se non è da attendersi che superi qualche decina. Se una struttura richiede moltissimi modi per per

raggiungere l'80% di massa partecipante si possono fare le seguenti ipotesi:

- 1) La struttura è stata modellata scorrettamente
- 2) La struttura deve essere analizzata con una analisi *step by step*.

Il numero dei modi richiesto non deve essere esorbitante. Su problemi di qualche migliaia di gradi di libertà, che sono ormai problemi del tutto ordinari, chiedere cento o più modi porterebbe ad un considerevole onere di calcolo, tale da rendere competitiva l'analisi passo-passo. In genere comunque strutture ben progettate e ben modellate si accontentano di 10 o 20 modi, raramente di più.

Se la percentuale di massa partecipante è già molto elevata non ha alcun senso il tentare di massimizzarla. Essa tende asintoticamente al 100% al crescere del numero dei modi richiesti, ma tale percentuale viene raggiunta solo quando il numero dei modi richiesti coincide con il numero dei modi possibili (pari al rango della matrice delle masse nei casi pratici). Chiedere 1000 modi è un atto generalmente insensato.

4.2) Ordine del sottospazio

Per ordine del sottospazio si intende il numero dei vettori che vengono impiegati per far convergere la soluzione a quella esatta. Secondo Clough [2] l'ordine del sottospazio deve essere pari a r , ove

$$r = \min(2m, m+8)$$

Molti codici usano questa stessa regola per fissare r una volta che l'utente ha scelto m . Altri codici usano invece la regola seguente:

$$r = 3m$$

In ogni caso l'utente può sempre scegliere l'ordine del sottospazio facendo a meno di queste regole e fissandolo direttamente. Si noti che, ovviamente, r non può mai essere superiore al rango della matrice delle masse.

Ciò detto, quali regole occorre seguire per fissare l'ordine del sottospazio, e che cosa influenza?

L'ordine del sottospazio influisce sulla RAM necessaria, e sull'occupazione di hard disk aumentandole.

Aumentando r cresce il numero di operazioni da compiere per ogni iterazione, ed in modo non lineare.

Al tempo stesso, aumentare l'ordine del sottospazio porta ad una maggior rapidità di convergenza, per cui il numero delle iterazioni necessarie per ottenere il raggiungimento della convergenza stessa può diminuire sensibilmente.

L'occupazione su disco e di RAM dipende dalle strategie di soluzione impiegate dai vari solutori, e non è quindi possibile fornire formule esatte. Al tempo stesso non è possibile dire a priori quale sarà il beneficio di un ordine di sottospazio più grande.

Quel che si può dire è che se si osserva una convergenza lenta (più di dieci o dodici iterazioni) e ci si avvicina alla ventina di iterazioni, un successivo run dovrebbe essere eseguito con un ordine di sottospazio maggiore. Si noti che la precisione che si ottiene sugli autovettori cresce considerevolmente aumentando l'ordine del sottospazio, anche se ciò non comporta sensibili variazioni nella tolleranza raggiunta (cfr. *tolleranza*). Se la convergenza è troppo lenta, o addirittura non la si raggiunge, aumentare l'ordine del sottospazio può risolvere il problema.

4.3) Massimo numero di iterazioni

Generalmente il massimo numero di iterazioni è fissato pari a 20. È illusorio credere di poter ottenere la convergenza semplicemente aumentando a dismisura questo numero. Allorché il numero di iterazioni necessario per la convergenza è prossimo al massimo conviene, nei run successivi, aumentare l'ordine del sottospazio.

Nel caso particolare in cui venga raggiunto il numero massimo di iterazioni senza che si sia raggiunta la convergenza i programmi generalmente stampano un messaggio di warning. La precisione ottenuta è infatti minore di quella richiesta.

4.4) Tolleranza

Questo numero esprime la variazione relativa della pulsazione da una iterazione a quella successiva. Precisamente, se i è l'indice di iterazione

$$TOL = (\omega_{i+1} + \omega_i) / \omega_i$$

Generalmente la tolleranza viene fissata pari a 0.00001, ma in alcuni programmi, soprattutto al fine di migliorare gli autovettori, è ancora più piccola (0.00000001 ad esempio).

Per facilitare la convergenza si può aumentare TOL, ma tale operazione può riverberarsi sulla precisione degli autovettori. Tolleranze al di sotto di 0.001 devono essere guardate con sospetto.

[il lavoro di stesura è in progress]

5.6 Combinazioni di verifica agli stati limite

COMBINAZIONI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE: IL NON DETTO DELLE NORMATIVE

Paolo Rugarli

Ingegneria Sismica, n° 2 2004

Sommario

Questo articolo si riferisce alla determinazione delle combinazioni di verifica da adottare in accordo al metodo semi-probabilistico agli stati limite. Il lavoro intende porre in evidenza che le combinazioni suggerite dalle norme italiane per gli stati limite ultimi, diverse da quelle previste dall'EC1, non sono a favore di sicurezza. Inoltre, le formule relative alle combinazioni di verifica per gli stati limite ultimi in presenza di carichi accidentali (sisma), presenti nelle norme italiane ed in quelle europee, non sono a favore di sicurezza. Verrà inoltre messo in luce che le formule previste dalle norme italiane e da quelle europee per le combinazioni relative agli stati limite di servizio, in generale, non sono a favore di sicurezza. Scopo del lavoro, inoltre, è quello di descrivere in modo comprensibile le numerose difficoltà riscontrate affrontando il problema in modo realmente conforme, e, per confronto, le considerevoli sottovalutazioni del problema oggi diffuse, e mostrare come, a voler essere realmente coerenti, le prescrizioni delle norme attualmente in vigore in Europa portino a una sostanziale abdicazione verso il calcolatore elettronico del lavoro di controllo e verifica del progetto, con tutte le conseguenze del caso, in gran parte inesplorate.

Summary

This paper deals with the rules used to set up limit states load combinations according to european and italian standards. The work shows that the combination rules for limit states suggested in italian norms, different from those in Eurocode 1, may be unsafe. Also,

the combination rules used for ultimate limit states concerning accidental actions, as described in Eurocodes and italian norms, may be unsafe. The same holds for damage limit states load combinations, in both european and italian standards.

Moreover, it will be shown that these rules, when consistently applied, lead to hundreds or thousands of load combinations in quite frequent structural problems. This, in turn, leads to still unexplored problems of large-data management and large-data checks, and tends to shift the leading design action from the designer to computers.

Parole Chiave

Combinazioni, Stati limite, Eurocodici

Keywords

Combination rules, Limit States, Eurocodes

1 Introduzione, notazione

Chiamiamo “caso di carico” una riunione di azioni aventi tutte una medesima causa fisica e che debbano considerarsi agenti contemporaneamente. Nella analisi di modelli di calcolo strutturale è uso definire un certo numero di casi di carico base che vengono poi combinati tra loro per generare delle situazioni significative ai fini delle verifiche. La combinazione dei casi di carico base viene introdotta per tenere in conto il verificarsi contemporaneamente di azioni che siano statisticamente indipendenti. Distinguiamo pertanto in modo ben marcato tra “casi” e “combinazioni”.

L’aver raggruppato le azioni dovute ad una causa comune in un unico caso di carico, comporta il fatto che un eventuale fattore amplificativo o riduttivo dei valori caratteristici, introdotto per tener conto delle aleatorietà, si applichi a tutte le azioni presenti in un caso, e quindi implica che le azioni di un caso vengano tutte amplificate o tutte ridotte allo stesso modo.

Sia dato un generico problema strutturale nel quale compaiano n casi di carico differenti. Ciascuno dei casi di carico abbia una sua etichetta che ne distingua la tipologia secondo almeno tre grandi famiglie: casi relativi ad azioni permanenti (sia n_g il numero di questi casi),

a carichi variabili (**nq**), a carichi accidentali (**na**). Sia dunque

$$\mathbf{n}=\mathbf{ng}+\mathbf{nq}+\mathbf{na}$$

Per “accidentale” noi qui intendiamo, in ossequio a EC1, quelle azioni che in italiano troviamo anche tradotte con “eccezionali”: urti, esplosioni, sismi, ecc.. Accidentale *non è* quindi il carico variabile “normale”, ma un carico di natura eccezionale ed intrinsecamente assai raro.

Ad ogni caso di carico non permanente sia associata una terna di moltiplicatori atti a ottenere i valori rari (0), frequenti (1) e quasi permanenti (2) delle azioni raggruppate in un certo caso di carico.

Le regole di generazione delle combinazioni suggerite dalle normative italiane ([2], [3], [4]) assomigliano a quelle previste dagli Eurocodici, ed in particolare a quelle previste da Eurocodice 1 parte 1.1 ([1]), con alcune importanti differenze che varrà qui la pena di rilevare. Nelle nostre norme troviamo le seguenti regole di combinazione valide per lo stato limite ultimo, escludendo per ora le azioni accidentali ed eliminando, per semplicità di trattazione, i carichi dovuti alla precompressione ([2]):

$$\gamma_g G_k + \gamma_q Q_{1k} + \sum_{i=2}^{nq} \gamma_q (\psi_{0i} Q_{ik}) \quad (1)$$

dove il pedice “k” sta per caratteristico, il pedice “g” per permanente ed il pedice “q” per variabile.

In pratica combinazioni di questo tipo devono essere generate prendendo a turno uno dei casi di carico variabili come base della combinazione e sommando poi tutti gli altri ridotti al valore “raro” mediante il pertinente coefficiente ψ_{0i} .

Nel caso in cui siano presenti anche carichi di tipo accidentale, alle combinazioni di tipo (1) occorre aggiungere combinazioni di tipo

$$G_k + \gamma_{1a} E_a + \sum_{i=1}^{nq} (\psi_{1i} Q_{ik}) \quad (2)$$

dove l’indice “a” sta per accidentale e occorre tenere in conto, a turno, tutti i possibili carichi di tipo accidentale.

2 Osservazioni sulle formule di normativa

2.1 Carichi permanenti

Una prima osservazione riguarda la parte permanente del carico; osserviamo che la norma italiana assume:

$$\gamma_g G_k$$

e non

$$\gamma_{gi} G_{ki}$$

come invece scritto nell'EC1. La norma italiana fa come se vi fosse un'unica condizione di carico di tipo permanente.

In realtà questo non è vero: normalmente i carichi “permanenti” sono composti da una serie di contributi che tra loro sono statisticamente indipendenti, e che dovranno pertanto essere messi in casi di carico differenti. Pertanto dovremo ad esempio distinguere tra peso proprio strutturale e carichi permanenti portati, poiché questi possono variare indipendentemente, e magari uno può essere massimo mentre l'altro è minimo, o viceversa.

E' da tenere ben presente che tali casi di carico non hanno la medesima distribuzione spaziale, in generale non si ottengono l'uno dall'altro mediante una semplice amplificazione o riduzione: sono a tutti gli effetti carichi diversamente distribuiti e diversamente collocati sulla struttura. Si noti che l'EC1 impone di considerare sia il valore superiore ($\gamma_g = 1.4$) sia il valore inferiore ($\gamma_g = 1$) di ciascun caso di carico permanente, proprio al fine di individuare le situazioni più pericolose.

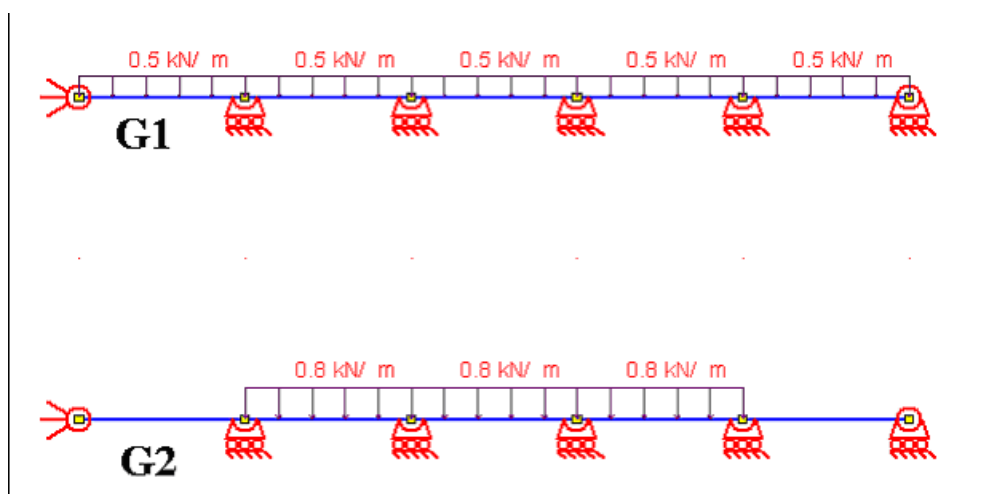


Fig. 1: Valori caratteristici dei carichi permanenti collocati in due casi di carico “base”: si immagina che i carichi in G1 o in G2 dipendano da un unico fattore (γ_{g1} o γ_{g2})

Prendiamo ad esempio una beam continua di 5 campate ed esaminiamo il peso proprio strutturale ($G1=0.5\text{kN/m}$) applicato sulle cinque campate ed i permanenti portati ($G2=0.8\text{kN/m}$), applicati alle sole tre campate centrali (fig. 1). Mettiamo nel caso 1 il peso proprio e nel caso 2 i permanenti. Dovremo considerare per lo meno le seguenti situazioni:

$$1,4G1+1,4G2$$

$$1,4G1+1,0G2$$

$$1,0G1+1,4G2$$

$$1,0G1+1,0G2$$

Se ammettiamo che tutte le azioni all'interno del medesimo caso di carico siano statisticamente collegate ad un unico fattore γ_{gi} , abbiamo tenuto in conto tutte le possibilità.

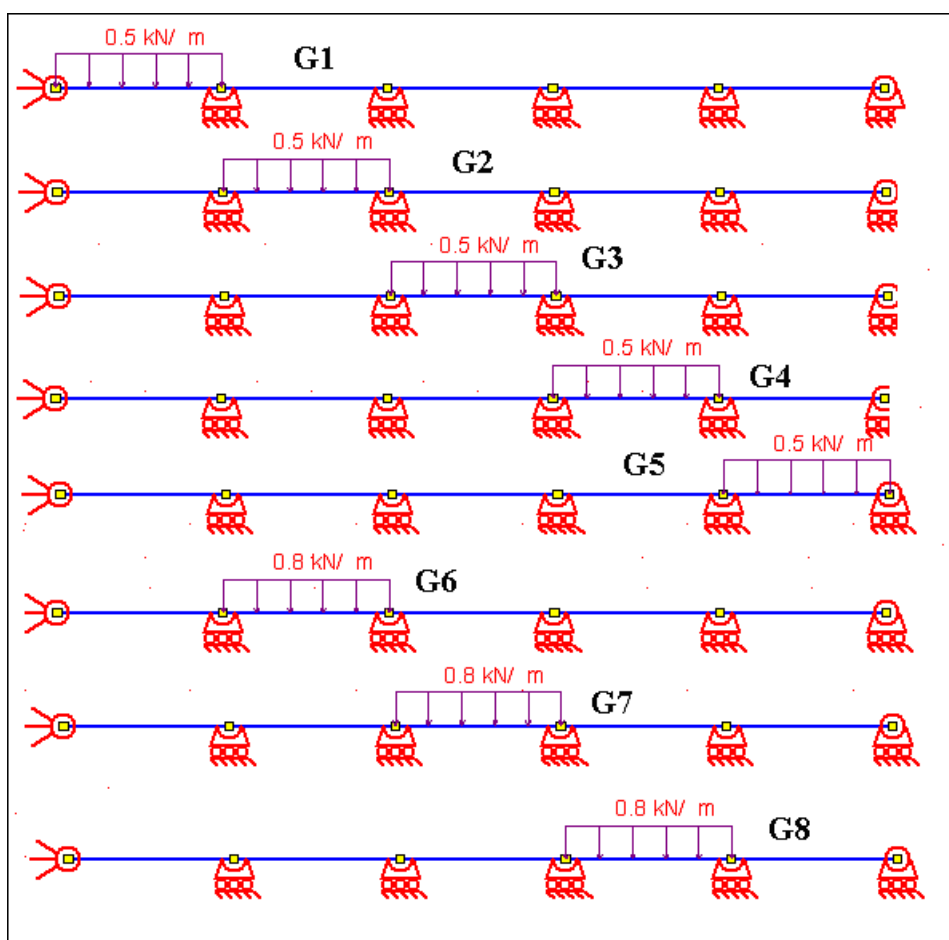


Fig. 2: Se si impone che il carico su ogni campata sia statisticamente indipendente

dagli altri si hanno 8 casi di carico base, ciascuno dei quali ha un suo γ_{gi} .

Se invece ammettiamo che all'interno del caso di carico le singole azioni possano dipendere da un proprio γ_{gi} (e potremmo desiderare di far ciò per ottenere le scacchiere di carichi permanenti più sfavorevoli), *allora non avremmo dovuto tenere in conto solo 2 condizioni di carico base, bensì 8*: 5 condizioni di carico relative, ciascuna, ad una campata soggetta ai carichi permanenti dovuti al peso proprio, e 3 casi di carico relativi ai permanenti applicati ad una singola campata delle tre caricate (fig. 2).

In questo ultimo caso avremmo dovuto considerare tutte le possibili combinazioni di γ_g eguali a 1,4 oppure a 1,0, applicate a tutte e otto le condizioni di carico permanenti così trovate. Solo così facendo avremmo ritrovato, per tutte le campate, le situazioni più sfavorevoli. E' chiaro che un simile ragionamento è *in larga misura convenzionale*: infatti nessuno può dire quale sia la scala alla quale fermarsi: carichi completi, carichi su una campata, carichi su metà campata, su un terzo, o chi sa cosa e come.

A rigore la circostanza che decide quante condizioni di carico assumere è questa: sono davvero statisticamente correlate ad un unico fattore le singole azioni presenti in caso di un dato carico base?

Se sì il caso di carico va bene, se no esso dovrà essere ulteriormente suddiviso in casi elementari.

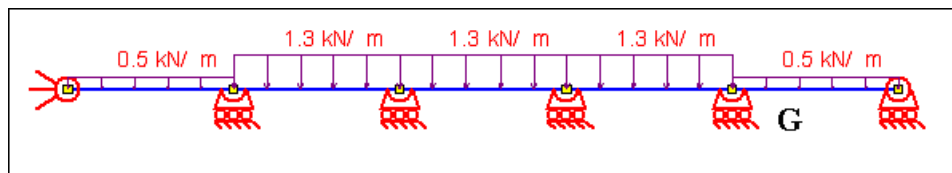


Fig. 3: la nostra norma assume che tutti i permanenti stiano in un unico caso di carico

E' ben chiaro (fig. 3), comunque, che attribuire a tutte le azioni permanenti presenti sulla struttura un unico valore di γ_g , come fa la nostra norma (a differenza dell'EC1) rappresenta il massimo della semplificazione possibile, e di fatto ciò diminuisce di molto il numero delle combinazioni da indagare (ed anche l'efficacia della richiesta di indagare il valore superiore ed il valore inferiore delle azioni permanenti).

2.2 Carichi variabili

Una analoga semplificazione si ha nella nostra norma per i carichi variabili: tutti i casi di carico variabili hanno in comune il fattore γ_q (che le nostre norme pongono eguale a 1,5 oppure eguale a 0, a seconda che il carico corrispondente diminuisca o aumenti la sicurezza), mentre in EC1 troviamo:

$$\sum_{i=1}^{n_g} \gamma_{gi} G_{ki} + \gamma_{q1} Q_{1k} + \sum_{i=2}^{n_g} \gamma_{gi} \psi_{0i} Q_{ik} \quad (1bis)$$

che è ben diversa dalla (1) della nostra normativa, in quanto il termine γ_q *dipende da i* e non è eguale per tutti i carichi variabili. La differenza non è affatto trascurabile e porta a rilevanti semplificazioni non giustificate: a ben vedere la (1) è *errata* in quanto esclude che *solo alcuni* dei carichi variabili si presentino contemporaneamente al carico variabile fondamentale, ed esclude che i carichi variabili siano statisticamente indipendenti. Ciò porta, *anche in casi elementari*, a pericolose sottostime delle azioni interne, sottostime che nei casi elementari il buon senso ingegneristico, pur non imbrigliato in formule statistiche, porta senz'altro ad escludere.

Si darà più avanti un esempio esplicito a dimostrazione del fatto che tali formule (1) sono errate, affermazione della quale non sfugge a chi scrive né la gravità né le pesanti implicazioni.

Si deve infatti osservare che se le (1) sono errate perché a sfavore di sicurezza per qualche elemento strutturale, allora il loro uso diretto o la loro implementazione automatica in qualche software di calcolo, ed il loro successivo fiducioso impiego da parte dei progettisti, può portare a situazioni assai pericolose.

Si chiede pertanto che le norme vengano al più presto corrette, ponendo fine ad una imprecisione che dura da quasi un quarto di secolo. Va infatti incidentalmente detto che la formula (1) è presente nelle nostre norme da gran tempo: in [7], 1982, era scritto

“si adotteranno le combinazioni del tipo”

mentre nella più recente circolare del 1996 è scritto, in modo più mitigato ma pur sempre fuorviante

“si adotteranno le combinazioni espresse simbolicamente come segue [formula (1)] ed il coefficiente γ_q (pari a 1,5 oppure a 0) va applicato a ciascun carico Q_{ik} con il valore appropriato”

In pratica si tenta di dire che non è la (1) ma la (1bis) da considerare, ma lo si dice in

modo involuto e poco comprensibile, stante il fatto che la formula (1) ha il γq a fattor comune. Inoltre si continua a dire che “si adotteranno” le combinazioni mentre, come vedremo, le combinazioni (1) *non sono* da adottare.

La formula (1) è infatti reperibile nel *Code Modele* del 1978 ([8]). E nel *Code Modele*, dopo la formula (1) veniva scritto:

“Questa equazione è simbolica e non è, in generale, direttamente applicabile”.

Non a caso pochi paragrafi dopo *veniva invece proposta la (Ibis), quella che ancora oggi è presente in EC1*. Del resto in quegli anni di calcolatori per uso personale non v’era l’ombra, e gli estensori del *Code Modele* trovavano modo di scrivere

“Molto spesso, nel calcolo, il numero di azioni individuali da considerare è evidente, e sarà raramente necessario tenere in conto più di due azioni variabili”.

affermazioni che *oggi* fanno sorridere chiunque abbia a che fare con modelli reali di strutture reali (tralasciamo gli esempietti usati per dimostrare una semplicità che non esiste).

Non è dato sapere perché relativamente alla stessa equazione (1) la frase “*questa equazione è simbolica e non è in generale direttamente applicabile*” qui in Italia sia diventata “*si adotteranno le combinazioni espresse simbolicamente come segue*”: sarebbe interessante capirlo. Che senso ha dire “si adotteranno le combinazioni” facendo riferimento ad una formula errata?

2.3 Carichi variabili nelle combinazioni relative ai carichi accidentali

Consideriamo ora le combinazioni relative ai carichi accidentali, le (2). E’ da notare che il coefficiente $2i$ in alcuni casi può valere 0: questo avviene quando si assume nullo il valore quasi permanente di una certa azione. Se questo accade il corrispondente carico variabile non è presente nel corso dell’azione accidentale. Per la normativa italiana questo è vero, ad esempio, per il vento. La presenza di un coefficiente $2i$ nullo diminuisce il possibile numero di combinazioni (2) da aggiungere a quelle di tipo (1). Alla base di ciò v’è il fatto che è molto improbabile che l’evento accidentale massimo si verifichi in concomitanza con azioni variabili in sé rare.

E' da notare che il coefficiente γ_q è sparito: esso è implicitamente stato posto eguale a 1 per tutti i casi di carico variabili, *quindi di fatto è a fattor comune*. Ciò porta a scartare la possibilità che una azione variabile con effetto favorevole per qualche elemento strutturale abbia la ventura *di non esserci* nel corso della azione eccezionale. Secondo la (2) ha da esserci per forza.

Si tratta di una assunzione non a favore di sicurezza, che compare anche nell'EC1, e che anche è stata confermata dalle recenti norme [4] (la ben nota "Ordinanza 3274" sulle costruzioni sismiche).

Se si pensa ad esempio agli effetti di ribaltamento, si vede che la completa assenza di carichi variabili che potrebbero essere stabilizzanti (*completa assenza non prevista dalla (2)*) può portare per qualche elemento strutturale a situazioni peggiori: era la combinazione di sisma + permanenti senza i variabili, che sempre i progettisti in gamba prevedevano, perché a favore di sicurezza. Bene, tale combinazione è di fatto esclusa dalla (2), e non pare che questo sia corretto, perché sebbene una azione variabile possa avere un valore quasi permanente non nullo, *dato che essa è "variabile" può anche darsi che non ci sia*, cosa che, lo ribadiamo, è esclusa dalla (2) a causa del $\gamma_q = 1$ a fattor comune.

Infatti un conto è valutare il valore quasi permanente di un'azione che può variare nel tempo, stabilendo con ciò il valore *non nullo* più probabile che si possa assumere come "quasi permanente", un conto è sostenere che non vi sono rilevanti intervalli di tempo nei quali essa è nulla. Sono due cose nettamente diverse. In effetti, per fare uno degli innumerevoli esempi possibili, di notte e di sera i carichi variabili negli uffici non ci sono, ed un sisma può ben avvenire di notte, no? I teatri al mattino sono vuoti. Gli stadi nei giorni feriali sono vuoti. I carichi variabili avranno pure un valore "quasi permanente" pari a 0.3 volte il valore caratteristico, ma per la metà del tempo (o più) non ci sono affatto. *La metà del tempo o più.*

Pertanto a parere di chi scrive la (2) dovrebbe essere corretta come segue:

$$\sum_{i=1}^{ng} G_{ik} + \gamma_{1a} E_a + \sum_{i=1}^{ng} (\gamma_{qi} \psi_{2i} Q_{ik}) \quad (2bis)$$

con la specificazione che " γ_{qi} può assumere il valore 0 o 1 a seconda di quale situazione risulti individualmente peggiore per la struttura".

2.4 Esempi a confutazione delle formule di normativa

2.4.1 Stati limite ultimi

Nel seguente semplice esempio si vede come il mettere a fattore comune il γ_q porti a pericolose sottostime delle azioni interne, leggibili invece con la formula corretta che prevede di non mettere a fattor comune γ_q .

Abbiamo (fig. 4) un semplice portale alto 4m, luce di 4m e sbalzo di 2m. Le colonne sono in Rck250 30x30cmq, le travi sono 30x45cmq. I carichi permanenti (P) siano modellati con un carico uniforme di $20\text{KN/m}=20\text{N/mm}$. Siano presenti tre carichi variabili:

1. **Q1** un carico uniforme di 30N/mm su tutto il beamrso;
2. **Q2** un carico appeso all'estremità dello sbalzo e pari a 30000N ;
3. **Q3** un carico distribuito pari a 8N/mm (ad esempio il vento).

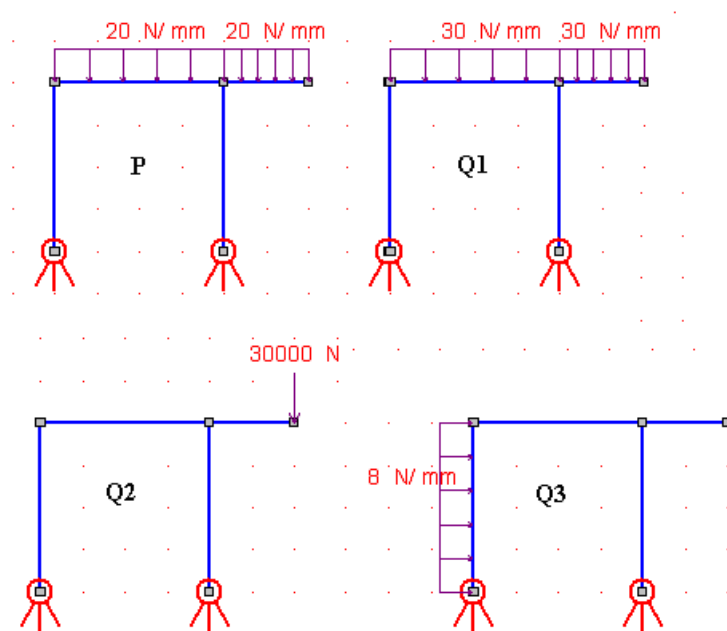


Fig.4: Structure esemplificativa: un carico permanente, tre carichi variabili: è allo studio la trazione (eventuale) nella colonna di sinistra.

Con le formule della nostra normativa si generano le seguenti combinazioni (omettiamo di variare il segno di Q3 e supponiamo di tenere distinti il primo γ_q da quello a fattor comune nella sommatoria):

C1	$1,4P + 1,5Q1 + 1,5(0,7 Q2+0,7 Q3)$
C2	$1,4P + 1,5Q2 + 1,5(0,7 Q1+0,7 Q3)$
C3	$1,4P + 1,5Q3 + 1,5(0,7 Q1+0,7 Q2)$
C4	$1,4P + 1,5Q1$
C5	$1,4P + 1,5Q2$
C6	$1,4P + 1,5Q3$
C7	$1,0P + 1,5Q1 + 1,5(0,7 Q2+0,7 Q3)$
C8	$1,0P + 1,5Q2 + 1,5(0,7 Q1+0,7 Q3)$
C9	$1,0P + 1,5Q3 + 1,5(0,7 Q1+0,7 Q2)$
C10	$1,0P + 1,5Q1$
C11	$1,0P + 1,5Q2$
C12	$1,0P + 1,5Q3$

Se si esamina l'involuppo della azione assiale della colonna di sinistra (fig.5 a sinistra), si osserva che essa non va mai in trazione.

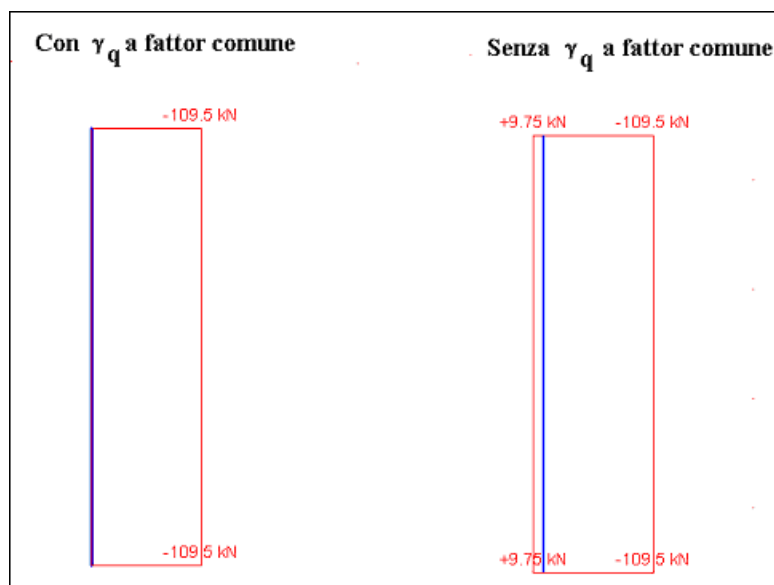


Fig.5: Involuppo dell'azione assiale nella colonna di sinistra. Le combinazioni di normativa (a sinistra) non mettono in evidenza la trazione, correttamente predetta evitando di mettere a fattor comune il γ_q .

Esaminiamo ora le stesse combinazioni, ma aggiungiamo in più la combinazione seguente

C13	$1,0P + 1,5Q3 + 0,0 \times 0,7 Q1 + 1,5 \times 0,7 Q2$
-----	--

Questa combinazione non ha il γ_q a fattor comune, essa usa un γ_q eguale a 0 per il carico Q1 ed un γ_q eguale a 1,5 per il carico Q2. Questa combinazione, *non prevista dalle formule della nostra normativa*, comporta una trazione nella colonna di sinistra (fig. 5 a destra), trazione che non avremmo potuto prevedere se avessimo usato le formule indicate da [2]. E' da notare che modificando opportunamente lo sbalzo o l'entità dei carichi avremmo potuto agevolmente avere valori di trazione assai superiori.

Si vuole ora esaminare il caso delle combinazioni sismiche, ed in particolare le regole di combinazione ribadite dalla recente Ordinanza, tratte da EC1 (senza modifiche se non quelle relative alla mancanza della sommatoria sui carichi permanenti). Stiamo parlando della formula (2).

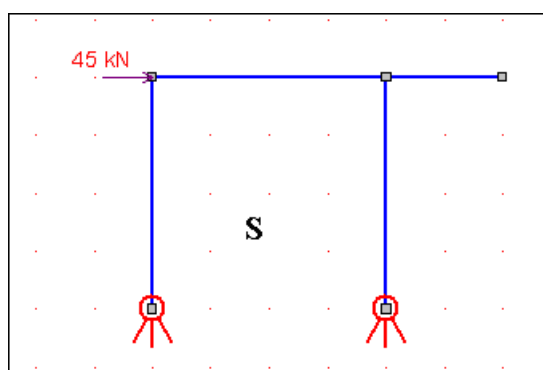


Fig. 6: il caso di carico “sisma”

Aggiungiamo alla struttura che abbiamo trattato una nuova condizione di carico “sismica”, schematizzata con una forza orizzontale agente al piano, valutata con la analisi statica equivalente (fig. 6). Immaginiamo di aver calcolato tale forza pari a 45kN (prendiamo una forza relativamente alta in modo da rendere la condizione sismica significativa).

A questo punto aggiungiamo la condizione sismica S e, accanto alle combinazioni precedenti generiamo con le formule delle nostre norme (decreto ministeriale, Ordinanza 3274 o EC8 fa lo stesso) la seguente *unica* combinazione aggiuntiva (si noti che il vento Q3 non è concomitante in quanto il suo $2=0$):

S1

$$1,0P+1,0S+(1x0,3Q1+1x0,3Q2)$$

Se analizziamo questa combinazione, e la involuppiamo con le altre non sismiche, otteniamo una trazione nella colonna di sinistra stimata pari a +6kN.

Adesso aggiungiamo le combinazioni previste dalla (2bis) e scartate dalla (2), ovvero *combinazioni nelle quali alcuni carichi variabili non ci sono*:

S2	$1,0P+1,0S+(0,0x0,3Q1+1,0x0,3Q2)$
S3	$1,0P+1,0S+(1,0x0,3Q1+0,0x0,3Q2)$
S3	$1,0P+1,0S+(0,0x0,3Q1+0,0x0,3Q2)$

Considerando anche queste combinazioni (*non previste dalle norme attualmente in vigore, inclusa l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274*), otteniamo che la azione assiale di trazione nella colonna di sinistra passa a +19,5KN, vale a dire un valore più che triplo di quanto stimato con le combinazioni di normativa.

Resta quindi evidenziato che le formule di combinazione per i carichi accidentali possono non essere a favore di sicurezza.

2.4.2 Stati limite di servizio

Anche le formule previste per gli stati limite di servizio mettono a fattor comune γ_q ed anche loro non sono in generale a favore di sicurezza. Le formule di combinazione per gli stati limite di servizio sono le seguenti

Combinazioni rare	$G_k + Q_{ik} + \sum_{i=2}^{nq} \psi_{0i} Q_{ik}$
Combinazioni frequenti	$G_k + \psi_{1i} Q_{ik} + \sum_{i=2}^{nq} \psi_{2i} Q_{ik}$
(3)	
Combinazioni quasi permanenti	$G_k + \sum_{i=1}^{nq} \psi_{2i} Q_{ik}$

In tutte queste formule c'è tacitamente un fattore $\gamma_q=1$ a fattor comune. Il seguente esempio, tratto da [10], di prossima pubblicazione, mette molto efficacemente in evidenza il problema.

Sia data una copertura non praticabile per la quale i carichi di riferimento siano

Permanente	G	
0.2kN/mq		
Variabile da Neve	Qn	0.55kN/mq
Variabile da Vento	Qv	-0.65kN/mq

Caso	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Vento	0.7	0.2	0
Neve	0.7	0.2	0

Il variabile da vento sia una depressione (da qui il segno negativo). Secondo le norme in vigore sono da considerare le seguenti combinazioni (per semplicità di lettura in grassetto sono i valori degli ψ):

RARE

$$0.2 + 0.55 + [0.7 \times (-0.65)] = 0.295 \text{ kN/mq}$$

$$0.2 - 0.65 + [0.7 \times 0.55] = -0.065 \text{ kN/mq}$$

FREQUENTI

$$0.2 + 0.2 \times 0.55 + [0 \times (-0.65)] = 0.310 \text{ kN/mq}$$

$$0.2 + 0.2 \times (-0.65) + [0 \times 0.55] = 0.07 \text{ kN/mq}$$

QUASI PERMANENTI

$$0.2 + 0 \times 0.55 + 0 \times (-0.65) = 0.2 \text{ kN/mq}$$

Con queste formule il carico di calcolo sarebbe *con le attuali normative*:

MAX 0.310 kN/mq

MIN -0.065 kN/mq .

Proviamo ora a considerare le combinazioni rare, ed ammettiamo che il γ_q non sia a fattore comune e che possa assumere anche il valore nullo (come è sacrosanto dato che si tratta di azioni variabili):

Aggiungeremo le combinazioni

RARE

$$0.2 + 0.55 + [0 \times (-0.65)] = 0.75 \text{ kN/mq}$$

$$0.2 - 0.65 + [0 \times (0.55)] = -0.45 \text{ kN/mq}$$

E pertanto i carichi da assumere per il calcolo sarebbero i seguenti:

MAX	0.75kN/mq
MIN	-0.45kN/mq.

Decisamente maggiori di quelli previsti dalle formule di normativa.

Rimarchiamo il fatto che queste formule (3), *in generale non a favore di sicurezza*, sono ubique: si trovano nel Decreto Ministeriale del 1996, si trovano nell'EC1, nell'EC3, nell'EC2. Esse dovrebbero essere corrette, a parere di chi scrive, con le seguenti:

Combinazioni rare	$\sum_{i=1}^{nG} G_{ki} + Q_{ik} + \sum_{i=2}^{nQ} \gamma_{qi} \psi_{0i} Q_{ik}$
Combinazioni frequenti (3bis)	$\sum_{i=1}^{nG} G_{ki} + \psi_{1i} Q_{ik} + \sum_{i=2}^{nQ} \gamma_{qi} \psi_{2i} Q_{ik}$
Combinazioni quasi permanenti	$\sum_{i=1}^{nG} G_{ki} + \sum_{i=1}^{nQ} \gamma_{qi} \psi_{2i} Q_{ik}$

con la specificazione “ γ_{qi} deve assumere il valore 0 o 1 a seconda di quale situazione risulti individualmente peggiore per la struttura”.

3 Il numero delle combinazioni

Passiamo ora ad esaminare il problema del numero di combinazioni che occorrerebbe generare secondo le formule (1bis) e (2bis). Ad una prima lettura può apparire che il numero di combinazioni richiesto dalla (1bis) (la (1) la mettiamo da parte) sia pari a **nq**, ovvero una per ogni distinto carico variabile. Per la (2bis) si può credere che il numero di combinazioni sia eguale a **na**.

In realtà le cose sono molto molto diverse. Nei prossimi paragrafi verrà chiarito come, a causa di una serie di motivi, il numero di combinazioni di cui occorre tener conto sia molto più elevato.

3.1 La matrice di contemporaneità

Una prima ragione per la quale il numero di combinazioni cresce è che i carichi variabili collocati nelle varie condizioni di carico base possono dover essere mutuamente esclusivi. In altre parole può accadere che in presenza di un certo caso di carico variabile I i casi di carico J, K... non debbano essere presenti.

Del resto in [1] troviamo esplicitamente scritto: “actions which cannot occur simultaneously, for example, due to physical reasons, should not be considered together in combinations”.

Volendo fare un esempio, possiamo considerare il caso di un carico che assume differenti configurazioni, per esempio m, poste in m distinti casi di carico: si pensi alle differenti posizioni di un carico mobile, o alle differenti “scacchiere” di un carico variabile posto su una struttura.

Nella circolare [2] a spiegazione della norma [3], il punto non è esplicitamente chiarito. Resta tuttavia ben evidente che, ad esempio, un carico mobile non può essere contemporaneamente in due posizioni diverse.

Per tener conto di questo problema occorre generare una matrice quadrata booleana, la quale dica, per ogni generico caso di carico variabile I, se i casi di carico variabili J (con J diverso da I) siano o meno ammessi ad essere contemporaneamente agenti rispetto ad I.

Per fissare le idee consideriamo il seguente primo insieme di condizioni di carico.

Caso	Nome sintetico	Type
1	G1	Permanente (peso strutture)
2	G2	Permanente (carichi portati)
3	V1	Variabile “V” (prima scacchiera)
4	V2	Variabile “V” (seconda scacchiera)
5	V3	Variabile “V”(carichi pieni)
6	W1	Variabile “W” (vento x)
7	W2	Variabile “W” (vento y)
8	T1	Variabile “T” (termico)

Introduciamo la *matrice di contemporaneità* per la struttura in esame:

	Caso	Caso	Caso	Caso	Caso	Caso
--	------	------	------	------	------	------

	3 V1	4 V2	5 V3	6 W1	7 W2	8 T1
Caso 3 V1	-	0	0	1	1	1
Caso 4 V2	0	-	0	1	1	1
Caso 5 V3	0	0	-	1	1	1
Caso 6 W1	1	1	1	-	0	1
Caso 7 W2	1	1	1	0	-	1
Caso 8 T1	1	1	1	1	1	-

Tabella 1: matrice di contemporaneità per la struttura in esame.

In questa matrice il termine C_{ij} sta ad indicare se il caso di carico presente nella colonna j può presentarsi quando si presenta il caso di carico presente nella riga i . Il numero “0” indica che non si può presentare, il numero “1” indica che si può presentare. La matrice è simmetrica.

La matrice che abbiamo scritto nel nostro esempio ci dice che nessun carico di tipo VI può presentarsi contemporaneamente ad un carico di tipo VJ. Si noti che la contemporanea presenza di vento X ed Y è esclusa: se si vuole un vento diretto con un certo angolo, occorrerà aggiungere una condizione di carico che lo preveda esplicitamente (e che escluda le altre). La mancanza del vento in direzione inclinata è voluta: si intende far vedere che anche in un caso molto semplice il numero di combinazioni che otterremo è molto elevato. A fine lavoro verranno dati i risultati anche per casi più realistici e approfonditi.

Tenendo conto della impossibilità della presenza contemporanea dei vari casi di carico e di tutte le permutazioni possibili, si ottengono 19 combinazioni, la prima delle quali prevede solo i permanenti e nessun variabile.

Infatti si ottengono:

- A1) 1 combinazione con solo i permanenti

- A2) 2 combinazioni con a base il caso 3 (concomitanti termico + vento x oppure + vento y);
- A3) 2 combinazioni con a base il caso 4 (come sopra)
- A4) 2 combinazioni con a base il caso 5 (come sopra);
- A5) 3 combinazioni con a base il caso 6 (concomitanti T1 e V1, V2 o V3);
- A6) 3 combinazioni con a base il caso 7 (come sopra);
- A7) 6 combinazioni con a base il caso 8 (ognuna delle tre V con ognuna delle due W);

3.2 *Effetto segno*

E' possibile che alcune delle condizioni di carico base si presentino o con il segno positivo o con il segno negativo. In questo caso ciascuna combinazione precedentemente definita dovrà essere ulteriormente suddivisa in altre combinazioni, in modo da considerare tutte le possibili permutazioni possibili. Se immaginiamo che i casi 6, 7, ed 8 possano avere segno positivo o segno negativo, il numero delle combinazioni cresce e da 19 va a 73.

Precisamente avremo:

- B1) 1 combinazione coi soli permanenti
- B2) 8 combinazioni con a base il caso 3 (concomitanti termico o vento x o y, tutti col più o il meno: $2^3=8$);
- B3) 8 combinazioni con a base il caso 4 (come sopra);
- B4) 8 combinazioni con a base il caso 5 (come sopra);
- B5) 12 combinazioni con a base il caso 6 (concomitanti T1 e V1, V2 o V3, le 3 viste in precedenza in A5 si sdoppiano due volte, a causa di T ed a causa di W1, ovvero dello stesso caso 6);
- B6) 12 combinazioni con a base il caso 7 (come sopra);
- B7) 24 combinazioni con a base il caso 8 (le precedenti 6 viste in A7 si sdoppiano due volte: a causa di T1 ed a causa di W1 o W2).

3.3 *Effetto inf-sup*

Le norme si premurano di spiegare che nel caso in cui un carico permanente produca un

effetto favorevole, il suo coefficiente γ deve valere 1 e non 1.4. Questo vuol dire che ciascun carico permanente indipendente deve assumere il suo valore superiore ($\gamma_g = 1.4$) o il suo valore inferiore ($\gamma_g = 1$). Di questo non abbiamo tenuto conto nel nostro esempio, sino ad ora.

Si noti che in una struttura reale non è affatto possibile dire a priori che *per tutti gli elementi strutturali* un carico permanente al valore superiore rappresenti il massimo cimento: al contrario si deve sostenere che in ogni struttura reale esistono uno o più componenti che devono essere verificati anche per combinazioni che comportino i valori inferiori dei carichi permanenti. Si pensi ad esempio alla possibilità di trazione nelle colonne o alla verifica delle fondazioni sotto effetti ribaltanti quali normalmente producono vento o sisma.

Ricordiamo che non è affatto corretto assumere che il valore superiore o inferiore dei carichi permanenti debba presentarsi in contemporanea tra essi: ogni condizione di carico permanente è indipendente dalle altre ed ha una distribuzione spaziale diversa, e quindi si possono dare casi in cui il peggio avviene per particolari sequenze di sup/inf nei vari casi di carico di tipo permanente.

Se si tiene conto della variabilità inf/sup di ciascuno dei due carichi permanenti che sono stati ipotizzati per la nostra struttura, si ottiene che il numero di combinazioni passa a 291. Il numero è sostanzialmente ottenibile moltiplicando per 4 il numero di precedenti combinazioni (73), e togliendo 1 (quella coi carichi permanenti da soli già esistente). Il numero 4 deriva dal fatto che si possono dare le seguenti possibilità per i casi 1 e 2:

- sup/sup
- sup/inf
- inf/sup
- inf/inf

mentre in precedenza avevamo considerato il solo caso sup/sup. Si ribadisce che i carichi permanenti possono in generale essere applicati a zone differenti della struttura: per esempio il peso proprio strutturale può essere equidistribuito sulla struttura, mentre i carichi permanenti portati possono riguardare una parte specifica della struttura (vedi fig. 1).

A questo punto dobbiamo constatare che analogo ragionamento sui valori superiore ed inferiore deve essere fatto per ciascun carico variabile, nessuno escluso (ed è questo il motivo

per cui il γ_q a fattor comune della (1) è errato). Infatti data la arbitraria disposizione dei carichi nello spazio (stiamo parlando ovviamente di strutture reali, civili, industriali, non di schemini semplificati) occorre anche in questo caso osservare che un valore ridotto può, in taluni componenti strutturali, generare situazioni peggiorative, né a priori siamo in grado di escluderlo. *Non è affatto detto che tutti i carichi variabili agenti contemporaneamente producano un effetto peggiore di quello prodotto da alcuni carichi (terne, quaterne...) agenti senza altri.* Ad esempio abbiamo visto che nei riguardi del rischio di trazione delle colonne, in un banale portale, la situazione peggiore è quella con il vento massimo, i permanenti minimi, i variabili verticali nulli, una situazione che si ottiene annullando gli effetti dei variabili e minimizzando quelli dei permanenti.

Tornando al nostro esempio-test, con 8 condizioni di carico base dovremo pertanto sdoppiare ogni evenienza di ciascun carico variabile, mettendo sia il suo valore superiore ($\gamma_{qi} = 1,5$) sia quello inferiore ($\gamma_{qi} = 0$). E dovremo naturalmente considerare tutte le permutazioni possibili. Quindi il numero delle combinazioni passa a 675.

Nel generare le combinazioni (con l'ausilio di un calcolatore elettronico) siamo naturalmente stati attenti a non generarne di ridondanti. In particolare:

- non vengono aggiunte combinazioni se già aggiunte in precedenza;
- non vengono aggiunte combinazioni se queste sono ottenibili da un'altra aggiunta in precedenza e per la quale i moltiplicatori possano essere ottenuti mediante un unico fattore moltiplicativo.

Questa ultima condizione deve essere spiegata. Supponiamo di aver generato una combinazione "F" definita dai valori degli n moltiplicatori dei casi di carico base F_i . Se tra le combinazioni già aggiunte figura una combinazione "G" definita dai moltiplicatori G_i , e se per ogni "i" risulta

$$F_i = K G_i$$

allora le due combinazioni sono simili. Se $K < 1$ la combinazione "G" è peggiore di quella "F" e sarà tenuta, scartando F. Se invece $K > 1$ allora la peggiore è "F" e sarà tenuta "F", scartando "G".

Abbiamo ottenuto 675 combinazioni per una struttura avente 8 casi di carico base, una

struttura che certo non vuole essere specialmente ostica: non abbiamo tenuto in conto la neve, né il sisma. Abbiamo preso in considerazione le sole direzioni X ed Y e non abbiamo tenuto in conto direzioni inclinate rispetto agli assi di riferimento: l'unica caratteristica alla quale non abbiamo rinunciato è la genericità della struttura, la sua spazialità e la sua non completa simmetria, condizioni, queste, che quasi sempre si verificano nella realtà dei progetti.

Poi abbiamo applicato rigorosamente le formule ed i principi.

4 Esempi sul numero di combinazioni

Produciamo ora una serie di esempi su possibili altre configurazioni di carico.

4.1 Esempio 1: aggiungiamo il sisma

In questo esempio aggiungiamo due condizioni di carico di tipo accidentale (sisma). Occorrerà aggiungere alle combinazioni di tipo (1bis) anche le combinazioni di tipo (2bis).

Caso	Nome sintetico	Type
1	G1	Permanente (peso strutture)
2	G2	Permanente (carichi portati)
3	V1	Variabile "V" (prima scacchiera)
4	V2	Variabile "V" (seconda scacchiera)
5	V3	Variabile "V" (carichi pieni)
6	W1	Variabile "W" (vento x)
7	W2	Variabile "W" (vento y)
8	T1	Variabile "T" (termico)
9	E1	Accidentale "E" (sisma X)
10	E2	Accidentale "E" (sisma Y)

La matrice di contemporaneità sia la seguente:

	Caso 3 V1	Caso 4 V2	Caso 5 V3	Caso 6 W1	Caso 7 W2	Caso 8 T1	Caso 9 E1	Caso 10 E2
Caso 3 V1	-	0	0	1	1	1	1	1
Caso 4 V2	0	-	0	1	1	1	1	1
Caso 5 V3	0	0	-	1	1	1	1	1
Caso 6 W1	1	1	1	-	0	1	1	1

Caso 7 W2	1	1	1	0	-	1	1	1
Caso 8 T1	1	1	1	1	1	-	1	1
Caso 9 E1	1	1	1	1	1	1	-	0
Caso 10 E2	1	1	1	1	1	1	0	-

Inoltre i segni dei casi 9 e 10 potranno variare (trattandosi di sisma).

Nella seguente tabella si danno i risultati ottenuti facendo crescere gradualmente i criteri tenuti in conto (come per l'esempio precedentemente svolto):

Tenendo in conto	Numero combinazioni
Contemporaneità	25
Contemporaneità + segni	97
Contemporaneità + segni+ inf/sup sui permanenti	315
Contemporaneità + segni+ inf/sup sui permanenti+inf/sup sui variabili	734

4.2 Esempio 2: aggiungiamo tre possibili configurazioni per la neve

Abbiamo ora i seguenti casi di carico:

Caso	Nome sintetico	Type
1	G1	Permanente (peso strutture)
2	G2	Permanente (carichi portati)
3	V1	Variabile "V" (prima scacchiera)
4	V2	Variabile "V" (seconda scacchiera)
5	V3	Variabile "V"(carichi pieni)
6	W1	Variabile "W" (vento x)
7	W2	Variabile "W" (vento y)
8	T1	Variabile "T" (termico)
9	E1	Accidentale "E" (sisma X)
10	E2	Accidentale "E" (sisma Y)
11	S1	Variabile "S" (neve su metà copertura)
12	S2	Variabile "S" (neve su altra metà copertura)
13	S3	Variabile "S" (neve su tutta la copertura)

La matrice di contemporaneità sia la seguente:

	Caso 3 V1	Caso 4 V2	Caso 5 V3	Caso 6 W1	Caso 7 W2	Caso 8 T1	Caso 9 E1	Caso 10 E2	Caso 11 S1	Caso 12 S2	Caso 13 S3
Caso 3 V1	-	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Caso 4 V2	0	-	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Caso 5 V3	0	0	-	1	1	1	1	1	1	1	1
Caso 6 W1	1	1	1	-	0	1	1	1	1	1	1
Caso 7 W2	1	1	1	0	-	1	1	1	1	1	1
Caso 8 T1	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1
Caso 9 E1	1	1	1	1	1	1	-	0	1	1	1
Caso 10 E2	1	1	1	1	1	1	0	-	1	1	1
Caso 11 S1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	0	0
Caso 12 S2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	-	0
Caso 13 S3	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	-

Inoltre i segni dei casi 11 e 12 e 13 non potranno variare (trattandosi di neve).

Si ottengono i seguenti risultati:

Tenendo in conto	Numero combinazioni
Contemporaneità	79
Contemporaneità + segni	313
Contemporaneità + segni+ inf/sup sui permanenti	1179
Contemporaneità + segni+ inf/sup sui permanenti+inf/sup sui variabili	3578

4.3 Esempio 3: un caso più articolato

Aggiungiamo un altro variabile R, le direzioni inclinate e sdoppiamo il termico per evitare la contemporaneità del riscaldamento con la neve. Abbiamo i seguenti casi di carico base:

Caso	Nome sintetico	Type
1	G1	Permanente (peso strutture)
2	G2	Permanente (carichi portati)
3	V1	Variabile "V" (prima scacchiera)
4	V2	Variabile "V" (seconda scacchiera)
5	V3	Variabile "V"(carichi pieni)

6	R1	Variabile "R"
7	W1	Variabile "W" (vento x)
8	W2	Variabile "W" (vento y)
9	W3	Variabile "W" (vento +45°)
10	W4	Variabile "W" (vento -45°)
11	T1	Variabile "T" (termico +25°C)
12	T2	Variabile "T" (termico -25°C)
13	E1	Accidentale "E" (sisma X)
14	E2	Accidentale "E" (sisma Y)
15	E3	Accidentale "E" (sisma +45°)
16	E4	Accidentale "E" (sisma -45°)
17	S1	Variabile "S" (neve su metà copertura)
18	S2	Variabile "S" (neve su altra metà copertura)
19	S3	Variabile "S" (neve su tutta la copertura)

E la seguente matrice di contemporaneità (si noti la non contemporaneità del riscaldamento con la neve):

	Caso 3 V1	Caso 4 V2	Caso 5 V3	Caso 6 R1	Caso 7 W1	Caso 8 W2	Caso 9 W3	Caso 10 W4	Caso 11 T1	Caso 12 T2	Caso 13 E1	Caso 14 E2	Caso 15 E3	Caso 16 E4	Caso 17 S1	Caso 18 S2	Caso 19 S3
Caso 3 V1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Caso 4 V2	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Caso 5 V3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Caso 6 R	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Caso 7 W1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Caso 8 W2	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Caso 9 W3	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Caso 10 W4	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Caso 11 T1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0
Caso 12 T2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Caso 13 E1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
Caso 14 E2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1
Caso 15 E3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1
Caso 16 E4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
Caso 17 S1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0
Caso 18 S2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0
Caso 19 S3	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1

I risultati che si ottengono per le combinazioni degli stati limite ultimi sono i seguenti:

Tenendo in conto	Numero combinazioni
Contemporaneità	457
Contemporaneità + segni	913
Contemporaneità + segni+ inf/sup sui permanenti	3507
Contemporaneità + segni+ inf/sup sui permanenti+inf/sup sui variabili	11422

5 HAL9000

I risultati presentati mostrano con plastica evidenza che gli algoritmi previsti dalle norme europee attualmente in vigore, se applicati con coerenza, portano a dover considerare un numero di combinazioni così alto da escludere in modo categorico, anche per le strutture più semplici e per le configurazioni di carico più elementari, la possibilità di fare i calcoli a mano. Nei casi più frequenti è di fatto inibito al progettista anche il controllo sui risultati della elaborazione, a meno che non si intenda il controllo in senso meramente statistico, al pari delle combinazioni generate.

L'applicazione rigorosa delle formule di EC1/EC2/EC3 porta ad affidare al calcolatore elettronico il ruolo fondamentale ed ineludibile di generare tutti i miliardi di numeri necessari ad eseguire le verifiche. Non sembra esagerato riferirsi alla ben nota rappresentazione di Stanley Kubrick, che nel film *2001 Odissea nello Spazio* descrisse in modo romanzato i problemi derivanti da un inappropriato funzionamento di un elaboratore elettronico (HAL9000) il quale aveva smesso di funzionare correttamente.

Nel caso dei calcoli strutturali v'è l'aggravante che un eventuale cattivo funzionamento di una routine, potrebbe non comportare violazioni così plateali da essere immediatamente riscontrate. Se si vogliono realmente esaminare tutte le combinazioni potenzialmente sfavorevoli generabili con ragionamenti statistici per tutte le componenti strutturali, è necessario introdurre una intera gamma di nuovi controlli e di nuovi test volti a controllare i risultati ottenuti mediante l'elaboratore. Sebbene tale metodo non possa consentire di escludere la possibilità di errori e di imprecisioni nel calcolo, esso sembra indispensabile al fine di ridurre entro margini accettabili la probabilità che i numeri generati da un tale marchingegno siano effettivamente affidabili.

E' inoltre quanto mai necessario elaborare dei metodi atti a raffrontare tra loro stati di sforzo differenti al fine di scartare quelli sicuramente non rilevanti *prima* della esecuzione delle verifiche. E' infatti ben evidente che su strutture normali (centinaia di elementi) la necessità di verificare centinaia o migliaia di combinazioni porta a tempi di calcolo formidabilmente alti.

E' appena il caso di dire, poi, che se si esce dal campo lineare la necessità di indagare tutte le combinazioni potenzialmente rilevanti porta a tempi di calcolo del tutto fuori scala rispetto alle attuali – pur potenti – possibilità di elaborazione.

6 Rigore a tratti

Resta da capire come mai non sia corrente la segnalazione di questo genere di problemi nell'applicazione del metodo degli stati limite e delle regole di generazione delle combinazioni previste da EC1 e, di conseguenza, dalle varie normative nazionali.

Abbiamo visto che la identificazione dei casi di carico permanenti in un unico caso statisticamente omogeneo porta la normativa italiana a semplificare e notevolmente ridurre il numero di combinazioni attese.

Analogamente il mettere a fattor comune il γ_q porta ad avere assai meno combinazioni di quelle necessarie, e soprattutto, porta a scartare alcune importanti configurazioni dei carichi.

Tali semplificazioni sono solo artifici atti a ridurre il numero di combinazioni che diventerebbe, in caso contrario, nettamente più alto. Non vi sono, a parere di chi scrive, ragioni di principio né di metodo per considerare statisticamente indipendenti azioni che, pur essendo tutte “permanenti”, o “variabili”, hanno in realtà origini ben distinte.

Questo è un classico esempio di semplificazione brutale introdotta a fianco di un metodo che vorrebbe essere preciso e rigorosamente fondato su basi statistiche. Ci si chiede che senso abbia introdurre semplificazioni del genere e perché queste semplificazioni debbano avere crisma di attendibilità, mentre al progettista è di fatto negato il diritto di scegliere le combinazioni più rilevanti per la sua struttura. Non vi è una differenza qualitativa tra questa semplificazione ed altre, tipiche della progettazione tradizionale.

Citiamo ora da EC1, annesso A ([1]):

A.(4) In linea di principio ci sono due modi per determinare i valori numerici dei fattori parziali:

- a) *Sulla base della calibrazione rispetto ad una lunga e efficace storia di tradizioni di costruzione; questo è il principio base per la maggior parte dei fattori proposti dalle versioni attuali degli Eurocodici.*
- b) *Sulla base di valutazioni statistiche di dati sperimentali ed osservazioni sul campo; ciò deve essere fatto all'interno della cornice della teoria probabilistica della affidabilità.*

*A.(5) In pratica i due metodi possono anche essere usati in combinazione. In particolare un mero approccio statistico (probabilistico) di solito fallisce a causa della mancanza di dati sufficienti. **Qualche riferimento ai metodi di progetto tradizionali deve sempre essere fatta.** [...]*

Dunque non serve essere grandi esperti per capire che alla base dei metodi “probabilistici” che ci vengono presentemente indicati dal pensiero accademico prevalente come i migliori e più affidabili, ci sono pazienti ed approfondite analisi volte a cercare di sposare retroattivamente quei metodi semplificati che hanno mostrato la loro validità, e che poi formalmente si vogliono abolire in quanto arretrati ed inappropriati. In altre parole, ciò che è oggetto di attente calibrature da una parte, dall'altra viene bandito come metodologia vecchia ed inappropriata. E' peraltro significativo che la affermazione in grassetto sia scomparsa dalla più recente EN [9].

Ma v'è ancora da dire.

I metodi previsti dalle normative per la generazione delle combinazioni sono sistematicamente disattesi e non applicati sulla base di considerazioni che sono prive di rigore logico, e che di fatto introducono pesanti semplificazioni, giustificate unicamente dal tentativo di rendere abordabili metodologie che invece snaturano il percorso progettuale trasferendone la responsabilità ai calcolatori elettronici.

E' classico, nei testi che esemplificano il metodo degli stati limite (molti i casi, ad esempio i manuali ECCS [5], [6] ma anche molti testi italiani, alcuni dei quali recentissimi) introdurre semplificazioni come la totale simmetria della struttura; la trascurabilità di un certo caso a confronto di altri; il non tenere in conto la simultaneità, per cui ad un carico variabile assunto come base corrispondono sempre *tutti* gli altri a valori ridotti; l'effetto inf/sup; ecc. ecc., semplificazioni che devono servire a mostrare la semplicità di un metodo che tutto è tranne che semplice. Tali semplificazioni o si riferiscono a strutture così elementari da non

essere un realistico banco di prova (totalmente simmetriche, piane o addirittura lineari), o sono semplificazioni a stretto rigore non lecite (omessa analisi di contemporaneità, omessi valori superiore ed inferiore, omessa variabilità dei segni in virtù della simmetria non a caso ipotizzata), perché evitano di considerare combinazioni che hanno importanza come le altre, ma che se aggiunte con coerenza porterebbero alla palmare evidenza della necessità di HAL9000.

Il rigore preteso dalle normative agli stati limite italiane ed europee è pertanto un “rigore a tratti”, introdotto dove è utile introdurlo, fatto sparire dove invece esso sarebbe d’impiccio.

7 Conclusioni

Si è mostrato che le normative italiane contengono da gran tempo indicazioni relative alla generazione di combinazioni che *non sono* a favore di sicurezza. Si chiede pertanto la loro modifica.

Anche le combinazioni per gli stati limite ultimi previste da EC1, dal Decreto Ministeriale e dall’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274, e relative ai carichi accidentali non sono a favore di sicurezza, dato che si esclude la selettiva nullità delle azioni variabili. Analogo discorso vale per le combinazioni relative agli stati limite di servizio. A tale riguardo si è proposta una modifica alla formula di EC1, del Decreto Ministeriale e dell’Ordinanza 3274 PCM, relativa alle combinazioni accidentali.

Si è evidenziato con chiarezza che le prescrizioni relative alla generazione delle combinazioni, sia per gli stati limite ultimi che per quelli di servizio, attualmente previste dalle normative europee, portano a generare centinaia o migliaia di combinazioni in casi strutturali del tutto correnti. Ciò tende a snaturare il lavoro del progettista.

Si propone pertanto di lasciare libero il progettista di decidere le combinazioni a proprio giudizio, ferma restando la necessità di impiegare i coefficienti parziali di sicurezza previsti dalla normativa. Può darsi che ciò comporti la generazione di combinazioni così improbabili da risultare impossibili, *ma tale approccio può portare a calcoli a favore di sicurezza con un numero assai inferiore di combinazioni.*

Le formule per la generazione delle combinazioni previste dalle normative devono essere ritirate per lasciar posto alla libertà (e responsabilità) del progettista. *In alternativa esse devono essere applicate rigorosamente*, con tutto quello che questo comporta: non sembrano essere corrette le attuali vie di mezzo, né le banalizzazioni così oggi alla moda.

8 Riferimenti

- [1] Eurocode 1 – Basis of design and actions on structures – Part 1: Basis of design, ENV1991-1, September 1994
- [2] Circolare 4 luglio 1996, N.156AA.GG./STC “Istruzioni per l’applicazione delle ‘Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi’ di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996”.
- [3] Decreto Ministeriale 16-1-1996 “Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”, G.U. 5-2-1996, n. 29
- [4] Ordinanza Presidenza del Consiglio dei Ministri n°3274 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”, S.O. G.U. n.105, 8-5-2003.
- [5] Chantrain Ph., Schleich J.B., Conay Y., Mauer Th, „Manuale di progettazione per Edifici in Acciaio Controventati o a Nodi Fissi relativo all’Eurocodice 3“, ECCS, N°85 IT, prima ed. 1996
- [6] Examples to Eurocode 3, ECCS N°71, 1993
- [7] Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici, 24 maggio 1982, n. 22631 “Istruzioni relative ai carichi, sovraccarichi ed ai criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni”.
- [8] Code Modele, CEB-FIP Pour Les Structures En Beton, Septembre 1977 (pubblicato Avril 1978).
- [9] Eurocode- Basis of structural Design, prEN1990, final draft, July 2001
- [10] Bernuzzi, C. “Proporzionamento di Costruzioni in Acciaio”, POLIPRESS, 2004, di prossima pubblicazione.

5.7 Spettro di risposta con fattore di errore

Spettro di Risposta con Fattore di Errore

Paolo Rugarli - Ingegnere Strutturista – Castalia srl

Sommario

Questo articolo esplicita gli errori commessi sugli spostamenti e sulle azioni interne in funzione degli errori commessi sulla intensità di massa, di rigidezza, sul fattore di struttura e sulla frequenza. Viene proposto un metodo ingegneristico per modificare i risultati di una analisi a spettro di risposta al fine di involuppare gli errori sugli spostamenti e sulle azioni interne.

Summary

This paper deals with mass intensity and stiffness intensity error consequences, while using response spectrum analysis. Explicit formulae showing displacements and internal stresses dependency on errors on mass and stiffness are presented. A simplified method to keep into account errors without re-running modal analyses is proposed.

Parole Chiave

Spettro di risposta, errore, Eurocodici, EC8

Keywords

Response spectrum, error, Eurocodes, EC8

1 Premessa

Il metodo dello spettro di risposta è oggi il metodo di riferimento per i calcoli di verifica delle strutture in zona sismica. Come è noto il metodo viene impiegato eseguendo una o più analisi modali con il metodo degli elementi finiti. Calcolati in questo modo i periodi dei modi di vibrare, le ascisse, vengono poi valutate le ordinate impiegando le curve di spettro proposte dalle varie normative. In questo modo si valutano i massimi effetti del sisma di progetto su ciascun modo, effetti che vengono poi combinati tra loro per mezzo di formule di combinazione, in genere di tipo quadratico (SRSS con *cluster factor*, CQC).

Le numerose incertezze presenti sui dati di partenza (masse, rigidezze, dimensioni geometriche, fattore di struttura) fanno sì che sia le ascisse dello spettro T , sia le ordinate a parità

di ascissa $C(T, q)$ siano in realtà solo plausibili approssimazioni.

Si propone pertanto di tener conto ingegneristicamente della presenza di errori nella valutazione dei periodi mediante la introduzione di opportuni fattori di errore, che tengano in conto la possibilità che masse, rigidzze e fattore di struttura abbiano valori intorno a quelli nominali ma non coincidenti con essi.

La precisione con la quale i programmi di calcolo valutano la risposta sismica è ampiamente fuorviante. Le ascisse devono essere considerate volenterose approssimazioni e non valori “esatti”. Ne consegue che si dovrà indagare quel che succederebbe anche nel caso di periodi prossimi (superiori o inferiori) a quelli nominalmente calcolati.

In questo lavoro viene proposto un metodo ingegneristico per tener conto di questo fatto senza dover rieseguire n analisi modali.

2 Fattori di errore

Supponiamo di aver quantificato una certa grandezza “d” nel modo che a noi analisti, in una certa fase del progetto, potrà sembrare il migliore. Contrassegniamo con un “*” questa grandezza nominale d^* , e invece immaginiamo che la grandezza “d” assuma un certo altro valore a noi ignoto, che meglio potrebbe, nell’ambito del modello adottato, sposare le misure sperimentali. Sia “d” tale valore ottimo incognito.

Possiamo definire “fattore di errore su d, fed” un numero (sperabilmente prossimo ad 1) tale per cui

$$d = fed d^*$$

Il fattore di errore così definito dipende, per ciascuna grandezza “d”, da una moltitudine di circostanze. Volendo, in certi casi, sarà possibile eseguire una campionatura statistica pertinente (ovvero direttamente legata al caso allo studio) ed in tal modo stimare certi numeri convenzionali che chiamiamo “probabilità”. In altri casi si pretenderà, in base ad un giudizio soggettivo, che altre campionature statistiche, eseguite in altre situazioni, siano pertinenti ed adattabili al caso allo studio, e quindi si assegneranno a “d” le medesime caratteristiche statistiche valutate per grandezze identiche in altri casi o per grandezze più o meno vagamente simili, sempre in altre situazioni. In altri casi ancora non si disporrà di alcuna campionatura statistica, non sarà economicamente possibile farla, non ci sarà modo di farla per ragioni di tempo, oppure, ancora, non la si potrà fare perché mancherà il fondamentale requisito della ripetibilità e della

campionabilità.

Non è questa la sede per fare un ragionamento sulla probabilità, anche se chi scrive ritiene che farne uno sarebbe quanto mai urgente. Basti dire che la pretesa di cancellare il “giudizio ingegneristico” dalla lista delle accettabili modalità per emettere un parere o fare una stima, lasciando il posto unicamente a campionature statistiche delle quali si pretenderebbe maggior rigore, non è a parere di chi scrive condivisibile.

Il fattore di errore è una stima ingegneristica della nostra ignoranza. Una stima sostanzialmente soggettiva, che deve essere usata dal progettista per prendere le opportune distanze dai risultati del modello. Tutto qui.

3 Natura degli errori e conseguenze

Supponiamo che siano definiti i fattori di errore su masse e rigidezze, f_{em} ed f_{ek} . In tal caso nella semplice ipotesi di oscillatore semplice, potremo scrivere

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{k^*}{m^*}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{k}{m}} = 2\pi \sqrt{\frac{f_{ek} k^*}{f_{em} m^*}} = T^* \sqrt{\frac{f_{ek}}{f_{em}}}$$

La precedente relazione si può esprimere sinteticamente nel seguente modo:

$$f_{eT} \equiv \frac{T}{T^*} = \sqrt{\frac{f_{ek}}{f_{em}}}$$

Poiché è del tutto normale che nelle situazioni reali dei progetti la massa e la rigidezza siano note solo con (ampi) margini di approssimazione, ne consegue che il periodo sarà affetto da altrettanti possibili errori. Sviluppando in serie nell'intorno di $f=1$, si ottiene la seguente stima semplificata:

$$f_{eT} = 1 + 0.5(f_{em} - f_{ek})$$

Naturalmente analoga formula è ottenibile per $f_{e\omega}$:

$$f_{e\omega} = 1 + 0.5(f_{ek} - f_{em})$$

Ad esempio supponiamo di avere un errore del 10% sia su massa che su rigidezza, ma tale per cui la massa sia minore di quella stimata e la rigidezza maggiore. Il periodo nominale T^* sarà affetto da un errore del 10% circa anch'esso, il che vuol dire che se avremo calcolato ad esempio $T^*=1.0$ sec, in realtà potremmo avere $T=0.9$ sec.

Passando in rapida rassegna alcune delle possibili cause di errore nei modelli di calcolo che costruiamo, troviamo i seguenti.

- La massa “m*” viene a dipendere dalla massa dei permanenti più la massa dei variabili. A parte le ignoranze sugli effettivi valori delle masse dei permanenti, le masse dei variabili nel momento pertinente (o nei momenti pertinenti) sono ignote per definizione. Mentre per certe tipologie di strutture tali masse “variabili” sono una minima quota rispetto alle totali, per altre questo non è vero affatto (teatri, biblioteche, serbatoi, scaffalature industriali, ecc. ecc.).
- Anche immaginando di conoscere l’intensità delle masse presenti sul modello, queste possono distribuirsi in molti modi diversi sulla struttura, non solo perché così avviene fisicamente- vedi anche il problema della eccentricità “accidentale”-, ma anche perché così può avvenire nella modellazione (approccio *lumped* e *consistent*, *ad hoc lumping*, *optimal lumping*, metodo del “maxi node” ecc. ecc.).
- Le rigidezze “k” dipendono direttamente dalle caratteristiche del materiale. Tali caratteristiche sono relativamente precise nel caso dell’acciaio, relativamente imprecise, o, a voler essere sinceri, un puro atto di fede nel caso del calcestruzzo armato, dove gli errori su E e su G possono essere assai rilevanti [2].
- Le rigidezze “k” dipendono dal grado di infittimento della mesh, in specie se sono presenti pareti di taglio e nuclei di controvento. Esse dipendono inoltre dal tipo di elemento finito adoperato e dalla sua distorsione nella mesh (gli errori dovuti alla distorsione degli elementi possono arrivare a diversi punti percentuali, in specie sui modi più alti).
- Come è noto le rigidezze dipendono fortemente dal modo in cui è fatto il modello, in specie se sono o no stati tenuti in conto gli estremi rigidi degli elementi. Ad esempio si sono trovati errori sulle frequenze fino al 14% con elementi alti 1/20 della luce per il solo fatto di modellare o meno gli estremi rigidi ([1]).
- L’effetto delle partizioni interne e della ampiezza delle oscillazioni sul periodo delle strutture reali è marcato ([3]). Tali partizioni interne o non sono tenute in conto, o, se lo sono, attualmente sono prese in considerazione solo mediante rozzi schemi semplificativi.
- L’interazione suolo struttura viene a dipendere da fattori di assai difficile valutazione

come quelli geotecnici, e comunque con risultati ampiamente incerti. Detto G il modulo di elasticità tangenziale del semispazio elastico equivalente, il fattore di errore sul periodo accoppiato viene a dipendere dalla radice quadrata del fattore di errore su G (cfr. [1]).

Tutte queste ragioni, ed altre ancora, devono far chiaramente intendere che usiamo modelli approssimati e largamente convenzionali, e quindi i periodi calcolati dai programmi sono solo volenterose approssimazioni.

Le approssimazioni sul periodo non sono purtroppo le uniche. L'uso di spettri di risposta di progetto ottenuti mediante il fattore di struttura " q " introduce un'altra causa di errore e certo non trascurabile. E' infatti ben noto che la valutazione del fattore di struttura è oltremodo difficile e può dare luogo solo a valutazioni di massima. Vorremo quindi introdurre, accanto ad un fattore di struttura q^* di miglior stima, un prudenziale fattore di errore f_{eq} , in modo che il valore ottimale incognito sia q^*f_{eq} .

Contrariamente a quanto avviene per le altre azioni, l'azione sismica non viene fattorizzata, o meglio, viene fattorizzata mediante un coefficiente γ_I che tiene in conto l'importanza dell'opera, ma in nessun modo gli errori sul modello. D'altro canto le ordinate dello spettro e la sua forma tengono in conto errori di altra natura, non gli errori nella valutazione dei periodi, che sono in quella sede un dato, non un risultato.

Le azioni interne valutate col metodo dello spettro di risposta entrano quindi direttamente nelle combinazioni di verifica, e queste dipendono direttamente dai periodi calcolati senza che siano normalmente introdotte correzioni di alcun tipo.

Nel seguito vedremo invece come errori sul periodo possano portare a sensibili scarti nelle quantità calcolate.

4 Spettri di risposta EC8 con fattori di errore

4.1 Fattore di errore su C

In questo paragrafo verranno scritte le formule che danno il coefficiente di risposta secondo EC8 esplicitando i fattori di errore su massa e rigidezza. In quanto segue " C " è il coefficiente di risposta, ovvero un numero adimensionale. Ragioniamo per ora ancora

sull'oscillatore semplice.

per $0 < T < T_b$

$$Cg = a_{g\max} S \left[\frac{2}{3} + \sqrt{\frac{f_{em}}{f_{ek}}} \frac{T^*}{T_B} \left(\frac{2,5}{q^* f_{eq}} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

per $T_b < T < T_c$

$$Cg = a_{g\max} S \cdot \frac{2,5}{q^* f_{eq}}$$

per $T_c < T < T_d$

$$Cg = a_{g\max} S \cdot \frac{2,5}{q^* f_{eq}} \left[\sqrt{\frac{f_{ek}}{f_{em}}} \frac{T_c}{T^*} \right]$$

per $T_d < T$

$$Cg = a_{g\max} S \cdot \frac{2,5}{q^* f_{eq}} \left[\frac{f_{ek}}{f_{em}} \frac{T_c T_d}{T^{*2}} \right]$$

Da quanto precede è possibile valutare il rapporto tra C^* e C , e quindi dare il fattore di errore su C , feC , in funzione dei fattori di errore su massa, rigidezza e fattore di struttura.

Immaginiamo che il periodo T^* (che dà C^*) vari a causa degli errori su m e k , in modo da dare un periodo T diverso da T^* e quindi un coefficiente di risposta C diverso da C^* . Quale sarà il rapporto feC C/C^* ? In che modo varierà C^* ?

Per semplicità faremo l'ipotesi che T cada nello stesso intervallo di T^* , è evidente che così in generale non sarà. Chi scrive ha messo a punto un programmino che fa questo lavoro tenendo in conto i salti di intervallo (cfr. paragrafo successivo), ma questo aspetto non è davvero importante per i ragionamenti che si devono fare.

per $0 < T < T_b$

$$f_{sc} = \frac{\left[\frac{2}{3} + \sqrt{\frac{f_{em}}{f_{ek}}} \frac{T^*}{T_B} \left(\frac{2,5}{q^* f_{eq}} - \frac{2}{3} \right) \right]}{\left[\frac{2}{3} + \frac{T^*}{T_B} \left(\frac{2,5}{q^*} - \frac{2}{3} \right) \right]}$$

per $T_b < T < T_c$

$$f_{sc} = \frac{1}{f_{eq}}$$

per $T_c < T < T_d$ (senza tener conto della limitazione $C < 0,2 a_{g\max}/g$)

$$f_{eC} = \frac{1}{f_{eq}} \sqrt{\frac{f_{ek}}{f_{em}}}$$

per $T_d < T$ (senza tener conto della limitazione $C < 0.2 \text{ agmax/g}$)

$$f_{eC} = \frac{f_{ek}}{f_{eq} f_{em}}$$

Abbiamo espresso il fattore di errore su C in funzione degli errori su m e k ed in funzione dell'errore su q .

La formula più complicata è anche quella più inutile: raramente il periodo è così breve da essere inferiore a T_B .

4.2 Fattore di errore sullo spostamento massimo

Ricordando come funziona il metodo dello spettro di risposta, possiamo dire che lo spostamento massimo dell'oscillatore, X , sarà ottenuto mediante la relazione seguente:

$$X = Cmg/k = Cg/\omega^2 = CgT^2/(4\pi^2)$$

dalla quale è facile estrarre il fattore di errore sullo spostamento massimo f_{eX} in funzione degli altri fattori di errore

$$f_{eX} = f_{eC} f_{eT}^2$$

Sostituendo le espressioni trovate per f_{eC} nella espressione precedente troviamo

per $0 < T < T_b$

$$f_{eX} = \frac{\left[\frac{2f_{em}}{3f_{ek}} + \frac{f_{em}}{f_{ek}} \sqrt{\frac{f_{em}}{f_{ek}}} \frac{T^*}{T_B} \left(\frac{2.5}{q^* f_{eq}} - \frac{2}{3} \right) \right]}{\left[\frac{2}{3} + \frac{T^*}{T_B} \left(\frac{2.5}{q^*} - \frac{2}{3} \right) \right]}$$

per $T_b < T < T_c$

$$f_{eX} = \frac{f_{em}}{f_{eq} f_{ek}}$$

per $T_c < T < T_d$ (senza tener conto della limitazione $C < 0.2 \text{ agmax/g}$)

$$f_{eX} = \frac{1}{f_{eq}} \sqrt{\frac{f_{em}}{f_{ek}}}$$

per $T_d < T$ (senza tener conto della limitazione $C < 0.2 \text{ agmax/g}$)

$$f_{eX} = \frac{1}{f_{eq}}$$

Dove la complicatezza della prima formula è elisa dal fatto che è raramente utile.

4.3 Fattore di errore sulla forza di richiamo elastico massima

La massima forza di richiamo elastico subita dall'oscillatore è data da

$$F=kX=Cmg$$

pertanto il fattore di errore sulla forza di richiamo F è dato da

$$f_{eF}=f_{em}f_eC$$

Sempre nell'ipotesi in cui non ci siano salti di intervallo, possiamo scrivere le seguenti formule per il fattore di errore:

per $0 < T < T_b$

$$f_{eF} = \frac{\left[\frac{2f_{em}}{3} + f_{em} \sqrt{\frac{f_{em}}{f_{ek}}} \frac{T^*}{T_B} \left(\frac{2.5}{q^* f_{eq}} - \frac{2}{3} \right) \right]}{\left[\frac{2}{3} + \frac{T^*}{T_B} \left(\frac{2.5}{q^*} - \frac{2}{3} \right) \right]}$$

per $T_b < T < T_c$ (senza tener conto della limitazione $C < 0.2 ag_{max}/g$)

$$f_{eF} = \frac{f_{em}}{f_{eq}}$$

per $T_c < T < T_d$ (senza tener conto della limitazione $C < 0.2 ag_{max}/g$)

$$f_{eF} = \frac{1}{f_{eq}} \sqrt{f_{ek} f_{em}}$$

per $T_d < T$

$$f_{eF} = \frac{f_{ek}}{f_{eq}}$$

4.4 Valutazione automatica dei fattori di errore

In quanto precede si è fatta l'ipotesi che nel passare dal periodo nominale T^* al periodo ottimo T non si dovesse cambiare formula nella identificazione del coefficiente di struttura.

Tenere contemporaneamente in conto il possibile salto di intervallo e le limitazioni su C (quando sarebbe $C < 0.2 ag/g$) è abbastanza complicato, si tratta di calcoli noiosi e quindi chi scrive ha approntato un programmino, denominato, non a caso, SPE (SPectrum Error).

Il programma funziona così. Prima si scrivono i valori nominali di T e di q , T^* e q^* . Poi si danno i valori minimo e massimo per i fattori di errore sulla massa, sulla rigidezza e sul

coefficiente di struttura. I fattori di errore “minimi” sono numeri ≤ 1 , e tengono in conto la possibilità che in realtà i valori “giusti” siano inferiori ai valori di miglior stima. I fattori di errore “massimi” sono numeri ≥ 1 e tengono in conto la possibilità che i valori “giusti” siano superiori a quelli di miglior stima.

Ad esempio, un fattore di errore su q minimo pari a 0.95 ed un fattore di errore su q massimo pari a 1.1, implicano che:

$$0.95q \leq q \leq 1.1q$$

Prendiamo ad esempio i dati della figura seguente:

Figura 1

Immaginiamo di aver calcolato per il periodo di oscillazione il valore $T^*=1$ sec. Questo calcolo è stato fatto immaginando di conoscere la massa m con un fattore di errore compreso tra 0.9 ed 1.1, il che vuol dire stimare d’aver fatto un errore del 10% al massimo sulla massa; per la rigidezza si immagina che il fattore di errore sia compreso tra 0.95 e 1.05, ovvero che sulla rigidezza ci sia un errore del 5%.

Sulla base della tipologia strutturale, ed applicando le regole della norma, abbiamo stimato un fattore di struttura pari a 3, ma immaginiamo che ci possa essere un errore del 10% ($2.7 < q < 3.3$).

Non paiono numeri irragionevoli, tenuto conto del modo in cui sono ottenuti i dati sui quali lavoriamo. Supponiamo che lo spettro sia di tipo 1, ed il suolo di tipo C, che la PGA sia 0.35. Quale errore ci aspettiamo di commettere sugli spostamenti e sulle forze di richiamo elastico massimi?

Premendo il button “Calcola fattori di errore!” si ottiene la risposta che si vede nella figura seguente:

Figura 2

Questo risultato, un semplice esempio, sembra molto interessante: l'errore sugli spostamenti va da +16% a -20%, e la forza massima di richiamo elastico potrebbe egualmente essere del 14% *maggiore* come del 12% *minore*.

Un 20% di errore sul valore dello spostamento non è poco. Se anziché partire da $T=1\text{sec}$ partissimo da $T=0.5\text{sec}$ – a parità di tutti gli altri dati – otterremmo i risultati della figura seguente

Figura 3

5 Estensione al caso di sistemi a molti gradi di libertà

Il caso di un sistema a molti gradi di libertà è ovviamente assai più complesso di quello di un oscillatore semplice. Esistono tuttavia alcune importanti cause di errore sulla stima della frequenza o del periodo che possono essere ridotte ad un errore sulla quantità di massa e di rigidezza, mentre nel caso più generale ci dovremo accontentare di valutare questo errore sulla frequenza direttamente mediante stima.

5.1 Errori scalari lato massa, o assimilabili

Se si immagina che a parità di distribuzione di massa si abbia a che fare, anziché con una

matrice delle masse \mathbf{M}^* , con una matrice delle masse variata $a\mathbf{M}^* = \mathbf{M} = \text{fem}\mathbf{M}^*$, dove “a” è uno scalare che di fatto è il fattore di errore sulla massa già visto, è facile dimostrare che i modi non variano e che i periodi di tutti i modi cambiano nel seguente modo:

$$T = \sqrt{f_{em}} T^*$$

e quindi, come per l'oscillatore semplice in caso di errore sulla sola massa

$$f_{eT} = \sqrt{f_{em}}$$

Nel caso in cui la variazione di massa dovuta all'errore commesso non sia tale da rispettare la distribuzione, si può vedere con qualche passaggio che, detta \mathbf{M}^* la matrice delle masse nominale, detta $\Delta\mathbf{M}$ la variazione di massa dovuta all'errore, detto ψ^* il vettore che dà la forma del modo nominalmente calcolata, e detto ψ il vettore che dà la forma del modo “esatta”, risulta

$$f_{eT} = \frac{1}{f_{e\omega}} = \sqrt{1 + \frac{\psi^{*T} \Delta\mathbf{M} \psi}{\psi^{*T} \mathbf{M}^* \psi}}$$

Se la variazione di massa è tale da non far variare in modo significativo la forma del modo (ipotesi molte volte ragionevole per il primo modo di edifici), si può stimare tale fattore di errore nota $\Delta\mathbf{M}$ e nota la forma del modo nominale con la seguente formula:

$$f_{eT} = \frac{1}{f_{e\omega}} = \sqrt{1 + \frac{\psi^{*T} \Delta\mathbf{M} \psi}{\psi^{*T} \mathbf{M}^* \psi}} \equiv \sqrt{f_{em}}$$

Nella precedente formula si è *definito* fem in funzione di opportuni prodotti matriciali e scalari tra matrici e vettori. In questo caso, analogamente a quanto visto per l'oscillatore semplice, esiste uno scalare associato alla massa, fem, che dà conto della variazione di frequenza dovuta alla variazione di massa causata da un possibile errore.

Nel caso di edifici, immaginando la forma del modo lineare, i piani di eguale altezza, e dando ad m_i^* il significato di massa di piano ed a Δm_i il significato di variazione della massa di piano, la precedente formula porta alla seguente stima del fattore di errore sul periodo

$$f_{eT} = \sqrt{1 + \frac{\sum_{i=1}^n i^2 \Delta m_i}{\sum_{i=1}^n i^2 m_i^*}}$$

ed il fattore di errore sulla massa – uno scalare- può essere in questo caso definito come

$$f_{em} = 1 + \frac{\sum_{i=1}^n i^2 \Delta m_i}{\sum_{i=1}^n i^2 m_i^*}$$

Questi fattori di errore hanno un senso ingegneristico, e vogliono stimare la variazione di

periodo dovuta ad errori sulla massa.

5.2 Errori scalari lato rigidezza

Il modulo di elasticità assunto per il materiale entra direttamente nella espressione della matrice di rigidezza. Se lo schema resistente prevede un unico materiale (come spesso avviene) si può facilmente mostrare che, detto f_{eE} il fattore di errore sul modulo di Young, risulta su tutti i modi

$$f_{eT} = \sqrt{\frac{1}{f_{eE}}} = \sqrt{\frac{1}{f_{eI}}}$$

ovvero il fattore di errore sul modulo di Young gioca il ruolo che il fattore di errore su k gioca nel caso di oscillatore semplice.

L'errore sul modulo di Young nel caso del calcestruzzo può essere molto forte. E' noto che le formule di normativa fanno dipendere E dalla resistenza cubica o cilindrica caratteristica, ma le leggi che fissano tale dipendenza sono soggette a dispersioni significative. Inoltre il reale valore di resistenza è in larga parte ignoto, dipendendo da una miriade di fattori molti dei quali assolutamente imprevedibili o non governabili, di fatto, da parte del progettista. Pertanto su E sono da attendersi errori anche del 20 o del 30%.

Nel caso dell'acciaio gli errori sono certamente minori, ma comunque non inferiori ad un 3-5%. Basti dire che mentre le CNR10011 danno ad E il valore di 206000N/mm², l'EC3 usa il valore 210000N/mm², con uno scarto tra le due norme pari al 2%.

Nel caso in cui la struttura sia costituita da materiali diversi, se non è possibile attribuire comunque un materiale di riferimento alle parti resistenti alle azioni orizzontali, è possibile stimare ingegneristicamente (del resto, questo stiamo facendo) il fattore di errore complessivo mediante modelli di molle in parallelo ($k=k_1+k_2$) o in serie ($k=k_1k_2/(k_1+k_2)$).

5.3 Il modello di errore complessivo

Terremo conto degli errori di modellazione su sistemi a molti gradi di libertà mediante i seguenti fattori di errore:

1. f_{em} . Dà una misura dell'errore nella stima della quantità di massa (non dell'errore nella sua distribuzione, a meno che le forme modali non possano reputarsi sostanzialmente invariate al variare della distribuzione di massa).
2. f_{eE} . Dà una misura dell'errore sulla rigidezza legato all'errore sul modulo di Young.
3. f_{ea} . Dà una misura degli errori aggiuntivi sulla stima della frequenza dovuti ad altri fattori. A rigore occorre sempre fare l'ipotesi che questi errori non comportino variazioni nella forma del modo.
4. f_{eq} . Dà una misura degli errori sul fattore di struttura.

Con queste ipotesi il fattore di errore sul periodo risulta

$$f_{eT} = \frac{1}{f_{ea}} \sqrt{\frac{f_{em}}{f_{eE}}}$$

Se generalizziamo i ragionamenti fatti nel caso dell'oscillatore semplice a questo modello di errore sui sistemi a molti gradi di libertà, otteniamo le seguenti formule di errore per gli spostamenti modali e per la risultante delle forze apparenti modali (si omette di dare il risultato per l'intervallo $T < T_B$):

Periodo	Periodo f_{eT}	Spostamenti f_{eX}	Taglio alla Base Azioni interne $f_{e?}$
$T_B < T < T_c$	$\frac{1}{f_{\omega}} = \frac{1}{f_{ea}} \sqrt{\frac{f_{eM}}{f_{eE}}}$	$\frac{f_{eM}}{f_{eq} f_{ea}^2 f_{eE}}$	$\frac{f_{eM}}{f_{eq}}$
$T_c < T < T_D$	$\frac{1}{f_{\omega}} = \frac{1}{f_{ea}} \sqrt{\frac{f_{eM}}{f_{eE}}}$	$\frac{1}{f_{eq} f_{ea}} \sqrt{\frac{f_{eM}}{f_{eE}}}$	$\frac{f_{ea}}{f_{eq}} \sqrt{f_{eM} f_{eE}}$
$T_D < T$	$\frac{1}{f_{\omega}} = \frac{1}{f_{ea}} \sqrt{\frac{f_{eM}}{f_{eE}}}$	$\frac{1}{f_{eq}}$	$\frac{f_{eE} f_{ea}^2}{f_{eq}}$
per $T < T_-$	$\frac{1}{f_{\omega}} = \frac{1}{f_{ea}} \sqrt{\frac{f_{eM}}{f_{eE}}}$	$\frac{f_{eM}}{f_{eq} f_{ea}^2 f_{eE}}$	$\frac{f_{eM}}{f_{eq}}$

Tabella 1: fattori di errore sul periodo, lo spostamento e la forza di richiamo in funzione dei fattori di errore sulla massa, la rigidezza, il fattore di struttura e la frequenza

L'ultima riga della tabella corrisponde alla situazione in cui debba scattare la limitazione prevista dalle norme, che impongono che C sia maggiore o eguale di 0,2 volte la PGA in unità g. Di fatto questa limitazione impone un nuovo “pianerottolo” e quindi le formule della ultima riga coincidono con quelle della prima.

6 Esempi

Per verificare la validità di quanto trovato è stato messo a punto un semplice modello di portale, sul quale sono stati simulati errori sulla massa e sul modulo di elasticità del materiale. Si sono poi raffrontati i diversi valori ottenuti mediante un programma di calcolo con i valori stimati mediante le formule proposte.

6.1 Studio numero 1: tratto BC dello spettro (plateau)



Figura 1 Mesh relativa al portale allo studio

Consideriamo un portale con luce di 5m ed altezza di 4m, realizzato con profili quadrati 30x30cm, materiale nominale calcestruzzo con $E=28500\text{N/mm}^2$, $\nu=0.2$. La massa è posta sul beamrso e corrisponde ad un carico distribuito nominale di 30kN/m , per un totale di 150kN , 15291Kg . Pilastri e beam sono stati modellati ciascuno con 2 elementi finiti, per un totale di 6 elementi finiti di tipo beam. Si sceglie di studiare la struttura sotto l'azione di un sisma orizzontale impiegando gli spettri di tipo 1 dell'EC8, accelerazione di riferimento pari a $0.35g$, suolo di tipo B e fattore di struttura q^* pari a 3. Il periodo corrispondente al primo e fondamentale modo in X (vedi figura 1) è pari a 0.359sec , e quindi tale da corrispondere al pianerottolo dello spettro per il tipo di suolo in esame ($C=0.35 \times 2.5 \times 1.2 / 3 = 0.35$).

La risposta strutturale ottenuta impiegando il metodo dello spettro di risposta sul solo primo modo è quella indicata nella successiva tabella, in corrispondenza alla riga “FERRORE1”, che è il nome del modello adottato. Si ha uno spostamento in sommità pari a 11,21mm ed un momento al piede del pilastro pari a 61.67kNm, un taglio alla base pari a 52.50kN (=150x0.35).

Modello	Note	Periodo	Spostament o	Momento al piede	Taglio al piede
FERRORE1	Riferimento E=28500N/ mm ² M=15.291t	0,359 sec	11,21mm	61,67 kNm	52.50kN
FERRORE2	E=0.9Eriferimento	0,379 sec	12,46m	61,67 kNm	52.50kN
FERRORE3	M=1,1Mriferimento	0,377 sec	12,33mm	67,84 kNm	57.74kN

Tabella 2- Studio numero 1, risultati delle analisi

6.1.1 Prima variazione

Un primo modello variato (FERRORE2) immagina che il modulo di elasticità del calcestruzzo sia del 10% inferiore al valore iniziale, e cioè pari a E=25650N/mm². I risultati ottenuti sono quelli della seconda riga della tabella 2, ed indicano che lo spostamento si è accresciuto di circa il 10% mentre il valore del momento e del taglio alla base è rimasto invariato.

Se contrassegniamo con l'*** i dati del modello iniziale e senza asterisco i dati del modello variato, possiamo interpretare la variazione dicendo che essa dipende da un errore nella stima del modulo di elasticità del materiale. Sia f_E il fattore di errore su E. Nel nostro caso f_E=0.9. Tutti gli altri fattori di errore siano pari ad 1. Il fattore di errore sul periodo è pari a (cfr. tabella 1, seconda riga, seconda colonna, quindi cella 2,2)

$$f_{sT} = \frac{1}{\sqrt{f_{sE}}}$$

quindi possiamo dire che

$$T = \frac{T^*}{\sqrt{f_{sE}}} = \frac{0.35911}{\sqrt{0.9}} = 0.37853$$

come in effetti è (vedi tabella 2, cella 3,3).

Vediamo ora il fattore di errore sullo spostamento. Il nostro errore sul modulo di elasticità porta a sottovalutare la risposta. In effetti, il rapporto tra i due spostamenti secondo le nostre previsioni (cfr. tabella 1) dovrebbe essere pari a

$$f_{eX} = 1 / f_{e\omega}^2 = 1 / f_{eE} = 1 / 0.9 = 1.1111$$

in effetti si constata che

$$12.46 / 11.21 = 1.11$$

Per quanto riguarda lo sforzo questo non viene amplificato ma resta eguale, infatti il fattore di errore su di esso non dipende da f_E in questo caso (cfr. tabella 1). Ciò dipende dal fatto che se è vero che gli spostamenti si sono accresciuti di un fattore $f_{eX} = 1 / f_{eE}$, è anche vero che le rigidezze sono diminuite di un fattore f_{eE} . Pertanto, il prodotto di spostamenti per rigidezze è rimasto costante.

Il taglio alla base non dipende da f_E e quindi resta anch'esso inalterato.

6.1.2 Seconda variazione

In questo caso poniamo $f_{eM} = 1.1$ e lasciamo eguali ad 1 tutti gli altri fattori di errore. In altre parole supponiamo che la massa del modello nominale sottostimi del 10% la massa "ottima". Che succede? Il periodo, secondo le nostre stime (siamo nell'intervallo tra TB e TC), si accresce di un fattore

$$\sqrt{f_{eM}} = \sqrt{1.1} = 1.049$$

infatti

$$0.377 / 0.359 = 1.050$$

eguale a 1.049 nei limiti degli errori di troncamento ed arrotondamento.

Lo spostamento prevediamo si accresca di un fattore pari a f_{eM} , e quindi 1.1. Infatti:

$$12.33 / 11.21 = 1.0999$$

Gli sforzi dovrebbero crescere allo stesso identico modo e infatti

$$67.84 / 61.67 = 1.1$$

analogamente per il taglio alla base.

6.2 Studio numero 2: tratto CD dello spettro

Studiamo un nuovo insieme di tre problemi nei quali le stesse variazioni sono ripetute ma

avendo una massa iniziale pari a 60kN/m. L'aumento di massa nominale fa aumentare il periodo così da portarci nell'intervallo CD dello spettro. In questo caso si trovano i risultati della tabella successiva.

Modello	Note	Periodo	Spostamento	Momento al piede
FERRORE4	Riferimento $E=28500\text{N/mm}^2$ $M=30.582\text{t}$	0,5078 sec	22,07mm	121,4 kNm
FERRORE5	$E=0.9E$ riferim ento	0,5353 sec	23,27mm	115,2 kNm
FERRORE6	$M=1,1M$ riferi mento	0,5326 sec	23,15mm	127,40 kNm

Tabella 3. Studio numero 2, risultati delle analisi

6.2.1 Prima variazione

Un primo modello variato (FERRORE5) immagina che il modulo di elasticità del calcestruzzo sia del 10% inferiore al valore iniziale, e cioè pari a $E=25650\text{N/mm}^2$. I risultati ottenuti sono quelli della seconda riga della tabella. In questo caso $f_e E = 0.9$ e gli altri f sono pari ad 1.

Risulta.

$$f_e T = 1 / f_e E = 1.0540.5353 / 0.5078 = 1.054$$

$$f_e X = 1 / f_e E = 1.05423.27 / 22.07 = 1.054$$

$$f_e \sigma = f_e E = 0.9486115.2 / 121.4 = 0.9489$$

e quindi si vede che tutte le formule sono verificate.

6.2.2 Seconda variazione

Anche in questo caso aumentiamo la massa (FERRORE6), ma siamo ora nell'intervallo

CD. $f_e M = 1.1$, gli altri $f = 1$.

$$f_e T = f_e M = 1.04880.5326 / 0.5078 = 1.0488$$

$$f_e X = f_e M = 1.048823.15 / 22.07 = 1.0489$$

$$f_e \sigma = f_e M = 1.0488127.4 / 121.4 = 1.0489$$

e quindi si vede che tutte le formule sono verificate.

6.3 Studio n° 3: tratto D- dello spettro

Infine ci portiamo nell'intervallo $T > T_D$ aumentando ancora la massa. Portiamo la massa a 1200kN/m ottenendo i risultati della tabella successiva.

Modello	Note	Periodo	Spostamento	Momento al piede
FERRORE7	Riferimento $E = 28500 \text{ N/mm}^2$ $M = 611.64 \text{ t}$	2,271 sec	89,68mm	493,4 kNm
FERRORE8	$E = 0.9 E_{\text{riferimento}}$	2,3940 sec	99,64mm	493,4 kNm
FERRORE9	$M = 1,1 M_{\text{riferimento}}$	2,3821 sec	98,64mm	542,7 kNm

Tabella 4. Studio numero 3, risultati delle analisi

Contrariamente a quanto predetto dalle formule che sono state ricavate per $T > T_D$ (riga quarta della tabella 1), lo spostamento aumenta sia aumentando la massa che diminuendo la rigidezza. Ciò dipende dal fatto che le curve date per gli spettri vengono abbandonate quando si riscontra, come nel nostro caso, $C < 0.2 a_{g\max}/g$.

Infatti per $T = 2.271 \text{ sec}$ si avrebbe

$$C/g a_{g\max} = S_{2,5} T C T_D / (q T^2) = 1,2 \times 2,5 \times 0,5 \times 2 / (3 \times 2.271^2) = 0.1938 < 0,2$$

Il periodo limite al di sopra del quale si ha questa limitazione è dato in questo caso da

$$\underline{T}=(10/3)= 3.3333=1.825\text{sec}$$

In questo caso, quindi, gli spettri vengono ad assumere un valore costante ed indipendente dal periodo in analogia a quanto avviene per il tratto BC dello spettro. Se proviamo ad applicare le formule previste per il tratto in cui si è sul pianerottolo abbiamo le seguenti formule:

$$feX = \frac{f_{eM}}{f_{eq} f_{ea}^2 f_{eE}}$$

$$fe\sigma = \frac{f_{eM}}{f_{eq}}$$

6.3.1 Prima variazione

Applicando le formule relative al tratto BC, per le ragioni chiarite, troviamo (ricordando che $feM=1$, $feE=0.9$):

$$feX = 1/0.9=1.111$$

$$fe\sigma = 1$$

Ed infatti

$$98.64/89.68=1.09991.1$$

e gli sforzi non variano.

6.3.2 Seconda variazione

In questo caso $fem=1.1$, $feE=1$ e si ottiene:

$$feX = 1.1/1=1.1$$

$$fe\sigma = 1.1/1$$

Ed infatti

$$99.64/89.68=1.111$$

$$542.7/493.4=1.09991.1$$

6.4 Conclusioni

Sulla base degli esperimenti numerici fatti, risultano verificate le formule predittive di

tabella 1, le quali consentono di conoscere la variazione degli spostamenti e degli sforzi modali, noti che siano i fattori di errore sulla massa e la rigidezza, nonché sul fattore di struttura e sulla frequenza (fattore di errore aggiuntivo f_{ea}). Queste formule possono quindi essere impiegate per perturbare i risultati di un calcolo basato su valori nominali al fine di stimare ingegneristicamente valori a favore di sicurezza degli spostamenti e delle azioni interne.

E' da notare che questi errori sugli spostamenti e sulle azioni interne possono essere rilevanti. Ad esempio, si immagini di avere stimato

$$f_{em}=0.85-1.15$$

$$f_{eE}=0.85-1.15$$

$$f_{eq}=0.9-1.1$$

$$f_{ea}=0.95-1.05$$

Tratto di spettro	f_{eX}	$f_{e\sigma}$
BC	1.67	1.28
CD	1.36	1.34
D- ∞	1.11	1.41
Limitazione $C < 0.2 a_{gmax} / g$ attiva	1.67	1.28

Tabella 5. Esempio di fattori di errore su spostamento e azioni interne per errori del 15% su massa e modulo di Young, 5% sulla frequenza e 10% sul fattore di struttura.

ovvero un 15% di errore sulla massa, un 15% di errore sul modulo di Young, un 10% di errore sul fattore di struttura ed un 5% di errore sulla frequenza dovuto alla modellazione.

Si fa presente che un errore del 15% sulla massa, in molti casi di carichi variabili non piccoli, può tranquillamente verificarsi: si pensi a una scaffalatura industriale o a una biblioteca, impiegando i coefficienti probabilistici proposti dall'EC8 (per i magazzini e gli archivi il calcolo è fatto con il valore di massa associata al valore quasi permanente, ovvero alla massa associata al carico caratteristico ridotto del 20%, $2i=0.8$), la massa potrebbe essere $1/0.8=1.25$ volte maggiore di quella messa nel modello.

Analogamente, un errore del 15% sul modulo di elasticità potrebbe tranquillamente verificarsi, date le incertezze tipiche del calcolo nel caso del calcestruzzo gettato in opera.

Combinando nel modo più sfavorevole queste incertezze si possono ottenere gli imbarazzanti risultati di tabella 5, i quali pare rendano conto meglio di qualsiasi discorso delle attuali incertezze nell'eseguire calcoli sismici.

La conclusione logica di quanto abbiamo visto è che piuttosto che cercare di quantificare le azioni e gli spostamenti alla terza o quarta cifra significativa, dovremmo accontentarci di quantificarle alla seconda, eppoi amplificare conseguentemente. La cura maggiore, più che nella valutazione delle cifre significative, andrà posta nei controlli di esecuzione e nei dettagli costruttivi.

Nel successivo paragrafo verrà pertanto proposto un metodo atto a fornire possibili valori estremali coi quali fare il calcolo, noti che siano (ingegneristicamente, non probabilisticamente) i valori estremali delle intensità di massa e rigidezza, nonché di frequenza e fattore di struttura.

7 Spettro di risposta con fattore di errore

La procedura che viene qui proposta, denominata “spettro di risposta con fattore di errore” consiste nel perturbare i risultati ottenuti in termini di spostamento e di azioni interne mediante i fattori di errore stimati a partire da ragionevoli valutazioni per gli errori su massa e rigidezza. Non si ha nessuna pretesa di “precisione”, ma si vuole tenere conto del fatto che i numeri ottenibili con complicati modelli agli elementi finiti sono in realtà da considerare affetti da errori inevitabili, l'ordine di grandezza dei quali si desidera almeno parzialmente stimare.

Facendo la ipotesi (generalmente verificata) che sia a favore di sicurezza sovrastimare gli sforzi e gli spostamenti, il metodo che qui si propone funzionerebbe così, quando impiegato “a mano” da un analista strutturale.

- 1) Preparare un modello agli elementi finiti e eseguire una analisi a spettro di risposta coi valori nominali di massa, rigidezza e fattore di struttura.
- 2) Valutare ingegneristicamente la quantità di errore atteso sull'intensità della massa (f_m), del modulo di elasticità (f_E) e sul fattore di struttura (f_s). Valutare l'errore atteso sulla frequenza in seguito a problemi di discretizzazione e di modello (f_a).
- 3) Stimare mediante procedure di calcolo tipo **SPE** il fattore di errore atteso (in generale > 1) sugli spostamenti e sugli sforzi del modo dominante (quando esistente) così come stimati

nominalmente dal metodo.

- 4) Correggere gli spostamenti e gli sforzi incrementandoli del fattore corrispondente, eventualmente assegnandolo come moltiplicatore aggiuntivo al caso di carico sismico.

Si noti che la procedura funzionerebbe in modo analogo anche nel caso in cui fosse impiegato il metodo della analisi sismica statica equivalente.

Volendo delineare invece come dovrebbe essere programmato un calcolatore per eseguire una analisi modal con spettro di risposta con fattore di errore si indicano i seguenti passi:

- 1) Eseguire una normale analisi modal con spettro di risposta e valutare tutti gli effetti dei singoli modi.
- 2) Per ogni modo valutare il fattore di errore su spostamenti e azioni interne a partire da opportuni fattori di errore su massa, rigidezza, frequenza e fattore di struttura (unici per tutta la struttura), forniti dall'utente. Tale valutazione viene fatta in affinità a quanto fatto dal programma **SPE** e dipende dal periodo nominale del modo considerato.
- 3) Amplificare gli spostamenti di ciascun modo per il fattore di errore sugli spostamenti del modo in questione. Amplificare le azioni interne con il fattore di errore sugli sforzi del modo in questione.
- 4) Combinare gli effetti dei modi per le vie normali.

8 Conclusioni

E' stato proposto un metodo per tenere conto in modo ingegneristico degli errori sulla intensità di massa e di rigidezza, nonché degli errori sulla frequenza e sul fattore di struttura. Si propone di usare questo metodo per arrivare a stime maggiormente a favore di sicurezza degli spostamenti e delle azioni interne valutate mediante il metodo dello spettro di risposta.

9 Riferimenti

- [1] Rugarli P. "Analisi modal ragionata", EPC Libri, Roma, 2005 (in stampa)
- [2] Collepardi Mario, "Scienza e Tecnologia del Calcestruzzo", 3^a ed., Hoepli, 1991

[3] Satake N., Suda K., Arakawa T., Sasaki A., Tamura Y., “Damping Evaluation Using Full-Scale Data of Buildings in Japan”, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 129, 4, April 2003

5.8 Proprietà flessionali elastiche e plastiche - Calcolo automatico di sezioni generiche

Proprietà flessionali elastiche e plastiche Calcolo automatico di sezioni generiche

Paolo Rugarli
[Costruzioni Metalliche, 4-1998]

Premessa

La ricerca di soluzioni più vantaggiose in termini progettuali ed economici porta sempre più frequentemente all'uso di sezioni di forma non standard. Lo stesso concetto di *forma standard* tende a perdere il suo significato visto l'arricchimento delle forme disponibili.

I produttori di profilati metallici hanno tradizionalmente diffuso i propri prodotti mettendo a disposizione dei progettisti manuali più o meno estesi contenenti l'elencazione delle forme disponibili, corredate da un insieme di caratteristiche statiche per lo più eterogenee al variare dei produttori e dei manuali. Nel frattempo, con il passare degli anni, i manuali si sono moltiplicati senza che nessuno affrontasse in modo generale e sistematico il problema. Lo sforzo migliore compiuto in Italia in quest'ambito resta la traduzione in italiano del classico testo tedesco “Stahl im Hochbau”¹ ([1]), il quale dà un'ampia casistica di forme anche composte, oltre ad una notevole messe di informazioni, purtroppo non più aggiornate.

Il testo [1] rappresenta uno dei vertici raggiunti dall'approccio manualistico classico, solidi tomi da consultare nei casi più disparati, ma è opinione diffusa che sia ormai necessario raccogliere il testimone per proseguire lo sforzo originario alla luce della parlata attuale, la quale usa l'informatica. Questa necessità non deriva dalla voglia di seguire la moda, bensì dalla possibilità di portare a compimento lo sforzo che ha animato chi ha redatto i nostri classici testi di consultazione, vale a dire dare una risposta precisa e rapida ad una amplissima classe di problemi. I progettisti ed i produttori oggi desiderano poter descrivere qualsiasi forma sezionale in modo efficiente e rapido avendo in cambio tutti i dati della sezione descritta. Un particolare interesse riguarda le sezioni ottenute assemblando più sezioni elementari (sezioni composte) e le sezioni formate a freddo, per le quali l'industria ha creato una amplissima gamma di tipi, in continua evoluzione.

Questo lavoro illustra la procedura seguita dall'autore per implementare il calcolo di sezioni in modo del tutto generale, nell'ambito del progetto SAMBA.

Nostro obiettivo è il calcolo delle proprietà flessionali elastiche e plastiche su una sezione o una riunione di sezioni completamente generica. Il lavoro porrà l'accento sugli aspetti numerici e computazionali che caratterizzano la questione, individuando alcuni degli aspetti da affrontare per risolverla.

La sezione potrà essere elementare, composta, formata a freddo e contenere fori: il procedimento si applica in modo generale.

Descrizione a poligonali

Generalità

In questo lavoro una sezione verrà descritta come la riunione di un certo numero m di poligoni chiusi, riferite ad un sistema di coordinate (x, y) . Ogni poligonale può rappresentare un pieno o un vuoto. Sinteticamente la sezione Θ è tale per cui

$$\Theta = \bigcup_{i=1}^m h_i P_i \quad (1)$$

dove P_i è la i -esima poligonale ed h_i vale +1 se tale poligonale è piena, -1 se tale poligonale è vuota. E' pacifico che ogni tratto curvilineo può essere approssimato da un certo numero di tratti rettilinei pur di adottare un numero di punti sufficiente.

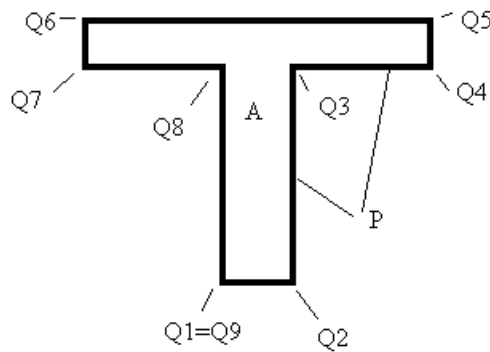


fig. 1

Ogni poligonale P_i viene descritta da $n+1$ punti del piano ed n lati, essendo il punto Q_1 coincidente per definizione con il punto Q_{n+1} .

Affinchè questa descrizione abbia senso è necessario che nessun lato di una poligonale intersechi un altro lato (né della stessa né di altre poligonali).

I punti di ciascuna poligonale sono ordinati da Q_1 a Q_{n+1} percorrendo la poligonale in modo antiorario².

Calcolo di integrali

Siamo interessati al calcolo del seguente integrale, definito sul dominio A interno ad una poligonale P :

$$\int_A x^p y^q dA$$

dove p e q sono due interi positivi o nulli. Utilizzando la formula di Green si ha:

$$\int_A x^p y^q dA = \int_P \frac{x^{p+1}}{(p+1)} y^q dy \quad (2)$$

dove la poligonale P è il contorno di A.

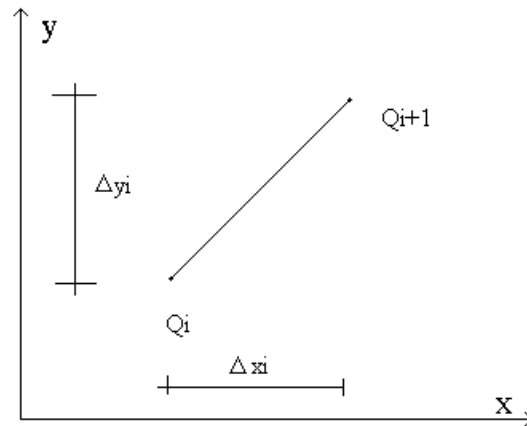


fig. 2

Pertanto

$$\int_P \frac{x^{p+1}}{(p+1)} y^q dy = \sum_{i=1}^n \int_{Q_i}^{Q_{i+1}} \frac{x^{p+1}}{(p+1)} y^q dy \quad (3)$$

Se Q_i ha le coordinate x_i ed y_i e $\Delta x_i = x_{i+1} - x_i$ possiamo porre, lungo il tratto Q_i, Q_{i+1} :

$$x = x_i + \lambda \Delta x_i \quad (4.a)$$

$$y = y_i + \lambda \Delta y_i \quad (4.b)$$

$$dy = \Delta y_i d\lambda \quad (5)$$

ove λ è un'ascissa adimensionale compresa tra 0 ed 1. Sostituendo le (4)-(5) nelle (2) (3) si ottiene

$$\int_A x^p y^q dA = \sum_{i=1}^n \int_0^1 \frac{(x_i + \lambda \Delta x_i)^{p+1}}{(p+1)} (y_i + \lambda \Delta y_i)^q \Delta y_i d\lambda \quad (6)$$

L'integrale definito che compare nella (6) può essere valutato numericamente o in forma chiusa. Per esso introduciamo il simbolo abbreviato (a tre o quattro indici)³

$$Q_{ipq} = \int_0^1 \frac{(x_i + \lambda \Delta x_i)^{p+1}}{(p+1)} (y_i + \lambda \Delta y_i)^q \Delta y_i d\lambda \quad (7)$$

dove Q_i è il punto di partenza e p e q sono gli esponenti di x ed y, rispettivamente. Grazie alla (7) possiamo scrivere

$$\int_A x^p y^q dA = \sum_{i=1}^n Q_{ipq} \quad (8)$$

Risultano particolarmente utili alcuni integrali, precisamente:

$$Q_{i00} = \int_0^1 (x_i + \lambda \Delta x_i) \Delta y_i d\lambda \quad (9.a)$$

$$Q_{i10} = \int_0^1 \frac{(x_i + \lambda \Delta x_i)^2}{2} \Delta y_i d\lambda \quad (9.b)$$

$$Q_{i01} = \int_0^1 (x_i + \lambda \Delta x_i)(y_i + \lambda \Delta y_i) \Delta y_i d\lambda \quad (9.c)$$

$$Q_{i11} = \int_0^1 \frac{(x_i + \lambda \Delta x_i)^2}{2} (y_i + \lambda \Delta y_i) \Delta y_i d\lambda \quad (9.d)$$

$$Q_{i20} = \int_0^1 \frac{(x_i + \lambda \Delta x_i)^3}{3} \Delta y_i d\lambda \quad (9.e)$$

$$Q_{i02} = \int_0^1 (x_i + \lambda \Delta x_i)(y_i + \lambda \Delta y_i)^2 \Delta y_i d\lambda \quad (9.f)$$

Tutti questi integrali definiti sono facilmente calcolabili in forma chiusa. Ad esempio:

$$Q_{i00} = x_i \Delta y_i + \frac{1}{2} \Delta x_i \Delta y_i$$

$$Q_{i10} = \frac{1}{6} \Delta y_i (x_{i+1}^2 + x_{i+1} x_i + x_i^2)$$

e così via.

Il risultato trovato si presta ad essere generalizzato al caso in cui la sezione segua la (1), sia cioè composta da una riunione di m poligonali piene e vuote. In tal caso l'integrale andrà dal punto Q_j della poligonale i al punto Q_{j+1} della stessa poligonale i , o, più brevemente da Q_{ij} a Q_{ij+1} . In definitiva, generalizzando la (8) con una scrittura a quattro indici

$$\int_{\Omega} x^p y^q dA = \sum_{i=1}^m h_i \sum_{j=1}^n Q_{ijpq} \quad (10)$$

ovvero qualsiasi integrale è ridotto a somme algebriche.

Proprietà flessionali elastiche

Con la notazione introdotta risulta:

$$A = \int dA = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_i Q_{ij00} \quad (11.a)$$

$$I_x = \int y^2 dA = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_i Q_{ij02} \quad (11.b)$$

$$I_y = \int x^2 dA = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_i Q_{ij20} \quad (11.c)$$

$$I_{xy} = \int xy dA = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_i Q_{ij11} \quad (11.d)$$

$$S_x = \int y dA = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_i Q_{ij01} \quad (11.e)$$

$$S_y = \int x dA = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_i Q_{ij10} \quad (11.f)$$

Dalle (11) è possibile calcolare il baricentro G e gli assi principali per le vie ordinarie. Sia γ

l'angolo formato dall'asse principale u con l'asse x.

La distanza del generico punto Q_{ij} (punto j della poligonale i) dall'asse u è

$$d_{u\bar{ij}} = |(x_{ij} - x_G) \cos(\gamma) - (y_{ij} - y_G) \sin(\gamma)|$$

e dall'asse v è

$$d_{v\bar{ij}} = |(x_{ij} - x_G) \sin(\gamma) + (y_{ij} - y_G) \cos(\gamma)|$$

Poniamo ora semplicemente

$$W_u = \frac{I_u}{\max_{ij} \{d_{u\bar{ij}}\}} \quad (12.a)$$

$$W_v = \frac{I_v}{\max_{ij} \{d_{v\bar{ij}}\}} \quad (12.b)$$

trovando i moduli di resistenza elastici.

Sezioni composte

Una delle situazioni più frequenti e più interessanti per il progettista in acciaio è costituita dalla possibilità di creare una sezione “composta” assemblando altre sezioni elementari, in modo da ottenere un certo scopo. In questo ambito non esistono regole a priori che limitino le casistiche possibili, così sembra proprio che ogni elencazione, per quanto completa, sia destinata ad essere insufficiente. Spesso la necessità di assemblare in un certo modo le sezioni elementari deriva da situazioni contingenti o da necessità estetiche che creano una situazione irripetibile. La soluzione del problema consiste nel creare un software in grado di simulare con assoluta libertà (la stessa del progettista) l'assemblaggio delle sezioni elementari. La procedura di calcolo deve pertanto essere specializzata per trattare in modo efficiente il problema.

Chiamiamo dunque sezione composta Φ la riunione di un numero arbitrario f di sezioni elementari Θ . Ogni sezione Θ è riferita ad un proprio SC (x, y) e dotata dei propri assi principali (u, v) formanti un angolo γ col sistema (x, y). Chiamiamo invece (X, Y) il SC adottato per la sezione composta ed (U, V) il suo sistema principale.

La posizione di ogni sezione elementare Θ_k nel piano è individuata da tre numeri: le coordinate (X_k, Y_k) del suo baricentro e l'angolo di rotazione α_k dell'asse x_k rispetto all'asse X.

Per prima cosa osserviamo che il metodo precedentemente illustrato resta valido, perchè è facile vedere che anche la sezione composta soddisfa la (1), può cioè essere vista come riunione di opportune poligonali. Naturalmente, perchè il metodo sia applicabile è necessario che tutte le poligonali siano riferite al medesimo SC (X, Y), ciò che si fa imponendo a tutte le poligonali i della sezione k, P_{ki} , una rototraslazione dipendente da (X_k, Y_k) e α_k .

Il software deve aggiornare in tempo reale i dati della sezione composta man mano che chi lo usa trasla e ruota liberamente le sezioni componenti nel piano.

Particolare rilievo assumono i controlli di congruenza di cui si è fatto cenno in precedenza, poichè le sezioni componenti non possono sovrapporsi. E' pertanto necessario assicurarsi che la scelta corrente di X_k, Y_k e α_k , ovvero il modo in cui l'utente ha deciso di muovere e ruotare la sezione corrente k nel piano, non violi queste condizioni di regolarità. Ciò si fa controllando che nessuna poligonale della sezione correntemente spostata P_{ki} intersechi le poligonali delle altre sezioni, e che nessuna poligonale di una sezione sia contenuta o contenga un'altra poligonale presa da un'altra sezione. Da un punto di vista pratico il software non deve accettare come definitive situazioni che violino la congruenza, pur consentendo di “transitare” per situazioni inammissibili.

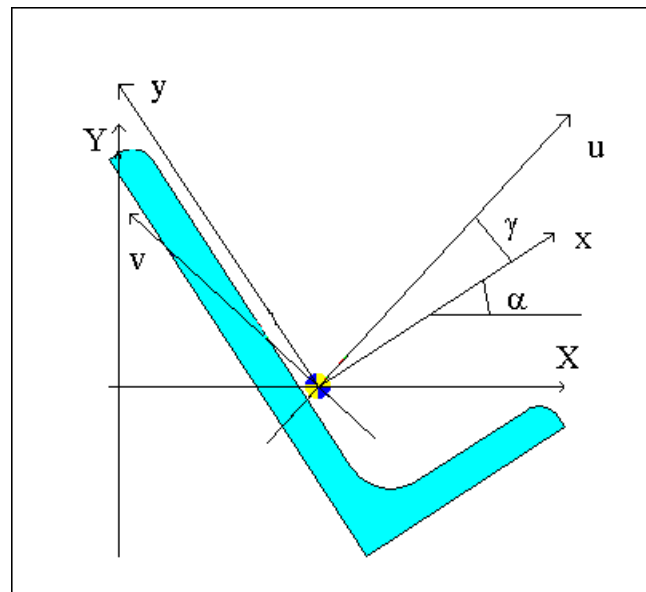


fig. 3

Oltre al metodo generale già descritto è possibile utilizzare il metodo diretto per il calcolo dei momenti di inerzia e degli assi principali della sezione composta a partire dalle analoghe grandezze delle sezioni elementari. Naturalmente nel far ciò occorre considerare oltre alla traslazione anche la rotazione di ciascuna sezione elementare. Le formule che si ottengono sono le seguenti:

$$A = \sum_{k=1}^f A_k \quad (13.a)$$

$$S_X = \sum_{k=1}^f A_k Y_k \quad (13.b)$$

$$S_Y = \sum_{k=1}^f A_k X_k \quad (13.c)$$

$$I_X = \sum_{k=1}^f (I_{Xk} + A_k Y_k^2) \quad (13.d)$$

$$I_Y = \sum_{k=1}^f (I_{Yk} + A_k X_k^2) \quad (13.e)$$

$$I_{XY} = \sum_{k=1}^f (I_{XYk} + A_k X_k Y_k) \quad (13.f)$$

Inoltre risulta, ponendo $\beta_k = \alpha_k + \gamma_k$

$$I_{Xk} = I_{vk} \sin^2(\beta_k) + I_{uk} \cos^2(\beta_k) \quad (14.a)$$

$$I_{Yk} = I_{vk} \cos^2(\beta_k) + I_{uk} \sin^2(\beta_k) \quad (14.b)$$

$$I_{XYk} = -(I_{uk} - I_{vk}) \sin(\beta_k) \cos(\beta_k) \quad (14.c)$$

Le (14) esprimono i momenti di inerzia della sezione elementare rispetto agli assi paralleli agli assi (X, Y) e passanti per il baricentro della sezione elementare. Sostituendo le (14) nelle (13) si trovano le proprietà della sezione composta rispetto al suo sistema di riferimento, in funzione delle proprietà principali delle sezioni componenti, delle posizioni (X_k , Y_k) delle sezioni componenti e della rotazione α_k loro applicata.

Ottenute le quantità (13) con il metodo generale o con quello diretto è poi possibile calcolare il baricentro della sezione composta, i suoi assi principali ed il suo angolo γ (angolo tra X ed U). Per ottenere i momenti di inerzia baricentrici basterà applicare le formule di trasporto ben note. Per il calcolo dei moduli di resistenza sarà comunque necessaria la descrizione a poligoni ed il calcolo delle (12).

Profili formati a freddo: alcune specializzazioni

Definiamo qui “formato a freddo” un profilo che possa essere individuato da una linea media K e da uno spessore costante t. Supponiamo che la linea media sia composta da tratti rettilinei e da archi di circonferenza. Per ragioni di regolarità imponiamo

$$K \in C$$

ovvero la linea media deve essere continua con la sua derivata prima. In questo caso il calcolo delle proprietà elastiche può essere fatto in forma chiusa. Poniamo

$$K = \bigcup_{i=1}^n I_i \quad (15)$$

ove I_i è il generico lato, rettilineo o circolare. Scriviamo ora i contributi di ciascun lato, rettilineo o curvilineo, alle grandezze utili al calcolo. Se I_i è rettilineo, è inclinato di γ sull'asse di riferimento x, ha il baricentro in G_i ed è lungo b_i , risulta banalmente

$$S_{xi} = t b_i y_{Gi} \quad (16.a)$$

$$S_{yi} = t b_i x_{Gi} \quad (16.b)$$

$$I_{xi} = \frac{1}{12} b_i t^3 \cos^2(\gamma) + \frac{1}{12} t b_i^3 \sin^2(\gamma) \quad (16.c)$$

$$I_{yi} = \frac{1}{12} b_i t^3 \sin^2(\gamma) + \frac{1}{12} t b_i^3 \cos^2(\gamma) \quad (16.d)$$

$$I_{xyi} = -\frac{1}{12} b_i t^3 \sin(\gamma) \cos(\gamma) + \frac{1}{12} t b_i^3 \sin(\gamma) \cos(\gamma) \quad (16.e)$$

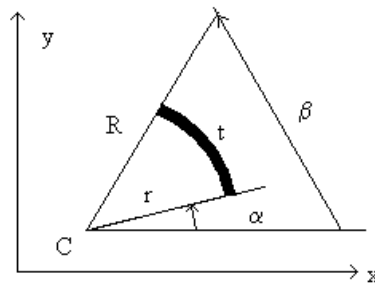


fig. 4

Se I_i è un arco di circonferenza risulta, ponendo per definizione $z_k = R_k - r_k$:

$$S_{xi} = \frac{y_c}{2} z_2 (\beta - \alpha) + \frac{z_3}{3} (\cos(\alpha) - \cos(\beta)) \quad (17.a)$$

$$S_{yi} = \frac{x_c}{2} z_2 (\beta - \alpha) + \frac{z_3}{3} (\sin(\beta) - \sin(\alpha)) \quad (17.b)$$

$$I_{xi} = \frac{y_c^2}{2} (\beta - \alpha) z_2 + \frac{2}{3} y_c z_3 (\cos(\alpha) - \cos(\beta)) + \frac{(\beta - \alpha)}{8} z_4 + \frac{z_4}{16} (\sin(2\alpha) - \sin(2\beta)) \quad (17.c)$$

$$I_{yi} = \frac{x_c^2}{2} (\beta - \alpha) z_2 + \frac{2}{3} x_c z_3 (\sin(\beta) - \sin(\alpha)) + \frac{(\beta - \alpha)}{8} z_4 + \frac{z_4}{16} (\sin(2\beta) - \sin(2\alpha)) \quad (17.d)$$

$$I_{xyi} = \frac{x_c y_c}{2} (\beta - \alpha) z_2 + \frac{1}{3} y_c z_3 (\sin(\beta) - \sin(\alpha)) - \frac{1}{3} x_c z_3 (\cos(\beta) - \cos(\alpha)) + \frac{z_4}{8} (\sin^2(\beta) - \sin^2(\alpha)) \quad (17.e)$$

dove x_c ed y_c sono le coordinate del centro, α e β sono i due angoli in figura, R ed r sono il raggio esterno e quello interno.

Le proprietà della sezione si ottengono sommando i contributi di ciascun lato, per esempio

$$I_x = \sum_{i=1}^n I_{xi}$$

dove si usa la (16.c) o la (17.c) a seconda che il lato i sia rettilineo o circolare.

Per il calcolo dei W è comunque necessario trasformare la linea media K di spessore t nella poligonale chiusa equivalente P, cosa che si fa *orlando* K di uno spessore $t/2$, e trasformando gli archi di circonferenza in poligoni con un numero opportuno di lati.

Proprietà flessionali plastiche

Generalità

Il calcolo dei moduli di resistenza plastici assume un'importanza crescente dato il maggior impiego di norme agli stati limite (EC3, BS, AISC, ecc.).

Riferiamo la sezione ai suoi assi principali elastici (u, v). Dato un generico asse neutro plastico k (fig. 5) di equazione

$$a_u + b_v + c = 0$$

ove risulti

$$\sqrt{a^2 + b^2} = 1$$

questo divide la sezione in una zona tesa ed in una compressa A_{k+} ed A_{k-} . Nella zona tesa la tensione normale vale $+f_y$, nella zona compressa essa vale $-f_y$. Introduciamo la funzione del punto s(Q) così definita:

$$s(Q) = \text{sign}(a_u + b_v + c) = +1 \text{ se } Q \in A_{k+}$$

$$s(Q) = \text{sign}(a_u + b_v + c) = -1 \text{ se } Q \in A_{k-}$$

Ad ogni generico asse neutro plastico k (PNA_k) corrispondono un'azione assiale e due momenti flettenti, ovvero

$$N_{p\bar{k}} = \int_A s_{\bar{k}}(Q) f_y dA \quad (18.a)$$

$$M_{up\bar{k}} = \int_A s_{\bar{k}}(Q) f_y v dA \quad (18.b)$$

$$M_{vp\bar{k}} = \int_A s_{\bar{k}}(Q) f_y u dA \quad (18.c)$$

La terna $f_y \Lambda_k = \{N_{p\bar{k}}, M_{up\bar{k}}, M_{vp\bar{k}}\}^T$ rappresenta un punto del dominio limite (uno e non due perchè si suppone che l'asse sia orientato). Il vettore Λ_k ha per componenti i moduli plastici reattivi al generico asse neutro k prescelto, precisamente risulta:

$$A_{p\bar{k}} = \frac{N_{p\bar{k}}}{f_y} = \int_A s_{\bar{k}}(Q) dA = \int_{A^+} dA - \int_{A^-} dA \quad (19.a)$$

$$Z_{up\bar{k}} = \frac{M_{up\bar{k}}}{f_y} = \int_A s_{\bar{k}}(Q) v dA = \int_{A^+} v dA - \int_{A^-} v dA \quad (19.b)$$

$$Z_{vp\bar{k}} = \frac{M_{vp\bar{k}}}{f_y} = \int_A s_{\bar{k}}(Q) u dA = \int_{A^+} u dA - \int_{A^-} u dA \quad (19.c)$$

Calcolo degli integrali

Sia data una poligonale P_i con dominio interno A_i tagliata da un asse s . Chiameremo P_i' la poligonale (equivalente a P_i) ottenuta aggiungendo a P_i i punti ottenuti intersecando i lati di P_i con s .

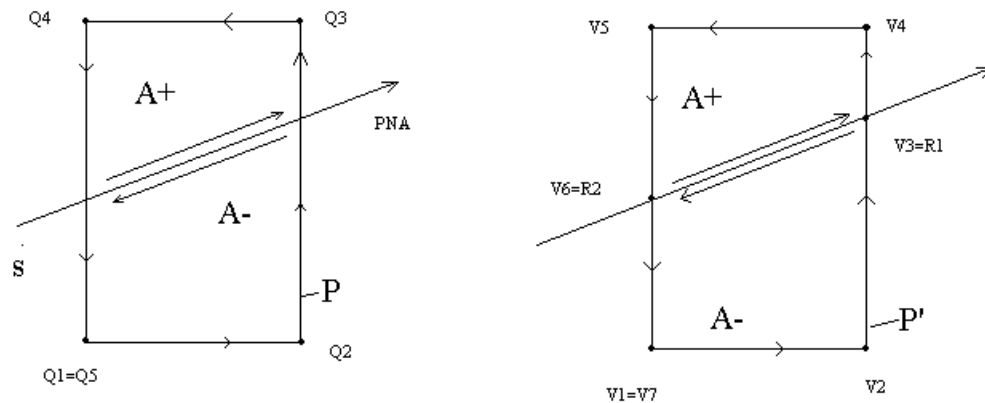


fig. 5

Se inizialmente i punti di P_i sono $(n+1)$, i punti di P_i' saranno in generale $(n+1+r)$. Gli r nuovi punti trovati stanno tutti su s . Chiamiamo V_{ij} i punti della nuova poligonale P_i' (j va da 1 a $n+1+r$), e ordiniamo gli r nuovi punti trovati, R_{il} , lungo s a partire dal primo verso l'ultimo (in modo che il primo e l'ultimo siano tra loro i più distanti, fig. 6).

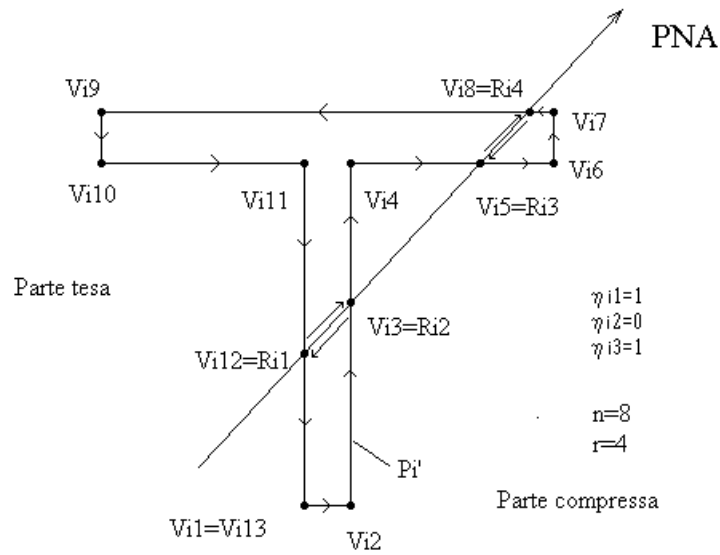


fig. 6

Data una coppia di punti successivi R_{il} ed R_{il+1} , posti entrambi sulla poligonale i , ed un asse neutro plastico di equazione $a_u + b_v + c = 0$, introduciamo la funzione $\eta_{il}(R_{il})$ così definita (fig. 6):

$$\eta_{il} = \text{sign}(b\Delta u_{il} - a\Delta v_{il})$$

è interno a P_i'

se il punto medio del segmento $R_{il}R_{il+1}$

$$\eta_{il} = 0$$

segmento $R_{il}R_{il+1}$ è esterno a P_i'

se il punto medio del

Questa funzione η_{il} vale dunque +1 o -1 a seconda che il vettore che va da R_{il} a R_{il+1} sia equiverso o meno con l'orientazione dell'asse neutro plastico, e vale 0 se il tratto $R_{il}R_{il+1}$ non appartiene al dominio.

La opportunità di introdurre questa funzione è puramente informatica. Di fatto essa tiene in conto due cose: la prima è che non tutti i segmenti giacenti su s fanno effettivamente parte della sezione, e ciò va fatto comprendere al calcolatore (ad esempio il segmento $R_{12}R_{13}$ della figura 6). La seconda è che andando da R_1 a R_2, R_3 eccetera, si può percorrere l'asse neutro plastico nel suo verso o in verso ad esso opposto, e di ciò occorre tener conto nel valutare i contributi, che hanno segno + solo se appartengono al contorno della parte tesa, ovvero solo se si percorre la frontiera nel verso di PNA (fig.5).

Si può dimostrare⁵ che

$$\int_{Ai} s(Q) u^p v^q dA = \left(\sum_{j=1}^{n+r} s(V_{ij}) V_{ijpq} \right) + 2 \left(\sum_{i=1}^{r-1} \eta_{ii} R_{iipq} \right) \quad (20)$$

dove si intende come al solito

$$V_{ijpq} = \int_0^1 \frac{(u_{ij} + \lambda \Delta u_{ij})^{p+1}}{(p+1)} (v_{ij} + \lambda \Delta v_{ij})^q \Delta v_{ij} d\lambda \quad (21)$$

e similmente per R_{ilpq} .

Per una sezione composta da m poligonali P_i , trasformate in poligonali equivalenti P_i' (dando

luogo ai nuovi punti R_{ij}), possiamo quindi porre, ricordando le (19) ed applicando la (20):

$$A_{pik} = \sum_{i=1}^m h_i \left[\sum_{j=1}^{n+r} s_k(V_{ij}) V_{ij00} + 2 \sum_{i=1}^{r-1} \eta_{ii} R_{i00} \right] \quad (22.a)$$

$$Z_{upik} = \sum_{i=1}^m h_i \left[\sum_{j=1}^{n+r} s_k(V_{ij}) V_{ij01} + 2 \sum_{i=1}^{r-1} \eta_{ii} R_{i01} \right] \quad (22.b)$$

$$Z_{vpik} = \sum_{i=1}^m h_i \left[\sum_{j=1}^{n+r} s_k(V_{ij}) V_{ij10} + 2 \sum_{i=1}^{r-1} \eta_{ii} R_{i10} \right] \quad (22.c)$$

Le (22) dicono come calcolare i moduli limite (e perciò le sollecitazioni limite) dato un certo asse neutro plastico k . Si noti che le quantità h_i valgono $+1$ se la poligonale P_i rappresenta un pieno, -1 se la poligonale P_i rappresenta un vuoto. Analogamente $s_k(V_{ij})$ valgono $+1$ o -1 a seconda della posizione di V_{ij} rispetto all'asse neutro plastico k (in zona tesa o compressa), e che la quantità η_{ii} vale $1, -1$ o 0 . Pertanto le (22) sono la somma con segni opportuni di un certo numero di integrali del tipo (9).

Ricerca dei moduli plastici

Tra tutti i possibili assi neutri plastici k ai quali sono associate le terne Λ_k , siamo interessati ai due assi PNA_u e PNA_v tali per cui le terne diventano, rispettivamente

$$\Lambda_u = \{0, Z_u, 0\} \quad (23.a)$$

$$\Lambda_v = \{0, 0, Z_v\} \quad (23.b)$$

ovvero a quegli assi neutri plastici che generano distribuzioni di sforzo equilibrate con le sollecitazioni flessionali semplici.

Supponiamo di voler trovare Z_u . Ciò si fa con un procedimento iterativo che tenda ad annullare Z_v ed N_{pl} .

Consideriamo dapprima l'annullamento di N_{pl} .

Dato un generico angolo di inclinazione ϕ dell'asse neutro plastico, e posta l'equazione dell'asse neutro plastico nella forma

$$v \cos(\phi) - u \sin(\phi) - c = 0$$

è possibile vedere che esiste uno e un solo $c = c(\phi)$, e perciò un solo asse neutro plastico di inclinazione ϕ , tale per cui la zona tesa sia eguale a quella compressa, ovvero perchè sia vera la condizione

$$A_{pl} = A_k^+ - A_k^- = 0 \quad (24)$$

Tale condizione è necessaria affinché la sezione sia puramente inflessa, ovvero sia annullato N_{pl} . Per ogni generico ϕ il corrispondente valore di c può essere trovato con un metodo iterativo che usi ad esempio il metodo delle secanti (i è ora l'indice di iterazione):

$$c_{i+1} = c_i - A_{pi} \frac{(c_i - c_{i-1})}{(A_{pi} - A_{p(i-1)})}$$

L'errore ε viene calcolato come

$$\varepsilon_i = \frac{|A_{pi}|}{A} < TOLLERANZA \quad (25)$$

L'iterazione si arresta quando la disequazione (25) è soddisfatta.

Ad ogni variazione di c , che corrisponde ad una traslazione dell'asse neutro plastico a inclinazione costante, occorre valutare i moduli plastici corrispondenti usando le (22).

Consideriamo ora l'annullamento di Z_v .

Al valore \underline{c} ottenuto con un generico ϕ corrispondono terne del tipo

$$\{ 0, Z_u(\phi), Z_v(\phi) \}$$

ovvero terne dove Z_v non è nullo. Il problema è trovare il valore di ϕ che annulli Z_v , cosa che viene fatta anche qui con un procedimento iterativo. Poniamo (sia sempre i l'indice di iterazione):

$$\phi_{i+1} = \phi_i - Z_{vi} \frac{(\phi_i - \phi_{i-1})}{(Z_{vi} - Z_{v(i-1)})} \quad (26)$$

valutando l'errore come

$$\varepsilon_i = \frac{|Z_{vi}|}{W_v} < TOLLERANZA \quad (27)$$

Ad ogni nuovo ϕ viene compiuta un'iterazione completa su c per trovare il valore \underline{c} che soddisfa la (24). Con la coppia $(\phi_i, \underline{c}(\phi_i))$ si calcolano le (22), si valuta l'errore secondo la (27) e si cerca un nuovo ϕ con la (26). Il procedimento viene arrestato quando la disequazione (27) è soddisfatta.

Conclusione

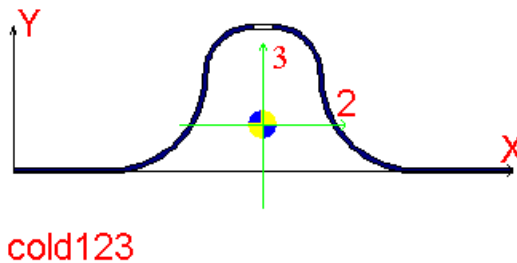


fig. 7

Il procedimento qui illustrato è stato implementato nel programma SAMBA, e con esso sono state valutate le caratteristiche elastiche e plastiche di sezioni composte e formate a freddo complesse, come quelle riportate nelle figure 7 (sezione formata a freddo con foro) ed 8 (sezione composta generica).

La generalità del metodo seguito e la sua impostazione pensata per l'implementazione hanno consentito di risolvere il problema in una amplissima varietà di casi, rispondendo al proposito originario.

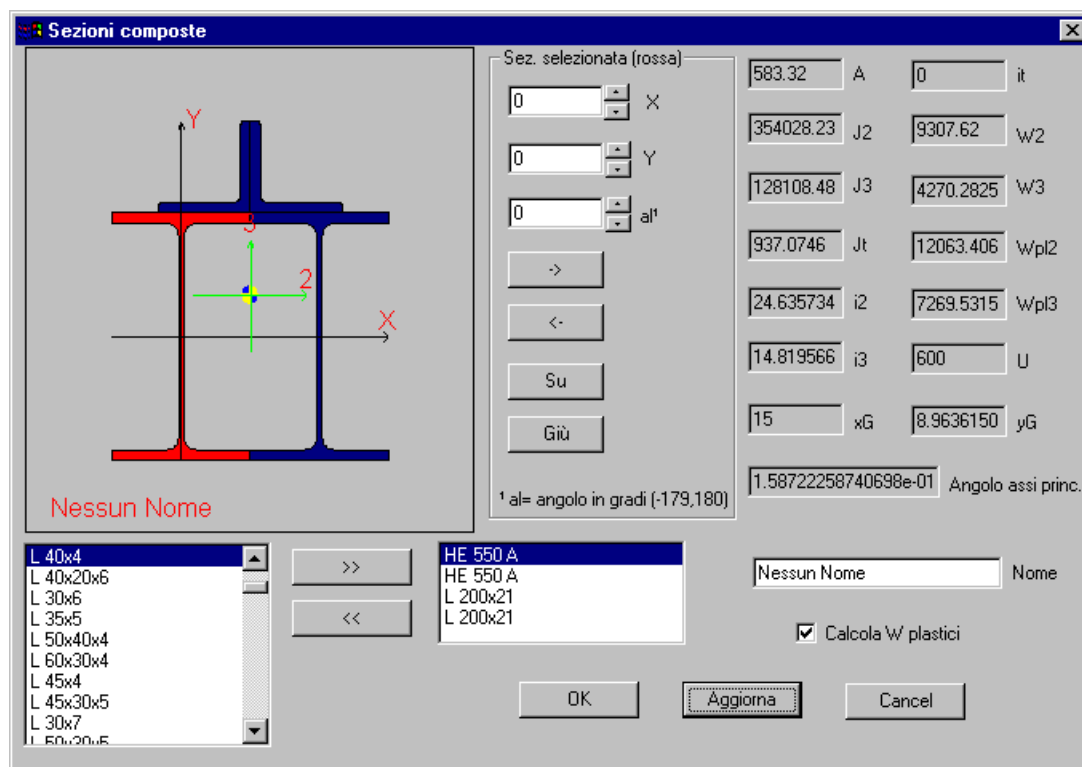


fig.8

Ad esempio lo studio delle sezioni composte avviene per mezzo del dialog di fig. 8, nel quale si può vedere come le sezioni componenti (rettangolo centrale in basso) vengano aggiunte o rimosse (>>, <<)> scegliendole da una lista opportuna (rettangolo a sinistra).

La sezione selezionata (in rosso in figura) può poi essere traslata e ruotata con continuità (controlli "X", "Y", "al") oppure spostata "a scatti" cercando le condizioni di tangenza con le altre sezioni componenti (pulsanti ->, <-, "su", "giù").

Le grandezze di calcolo vengono aggiornate con continuità, mentre i moduli plastici possono essere calcolati su richiesta innescando la doppia iterazione descritta ("Calcola W plastici", in fig. 8).

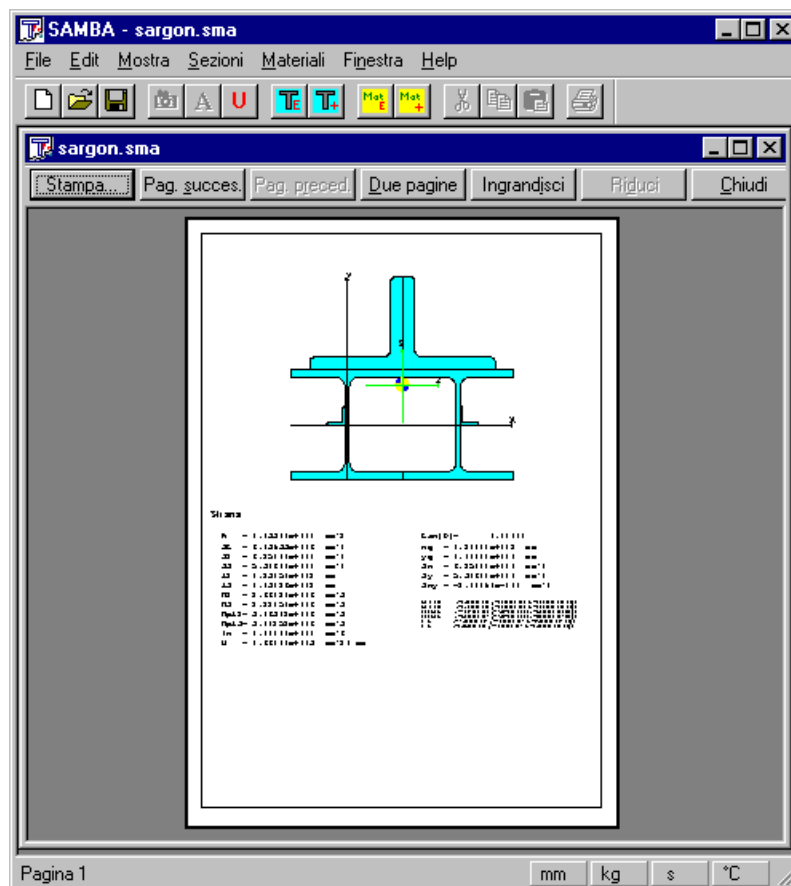


Fig.9

I dati della sezione possono poi essere comodamente stampati su qualsiasi periferica (fig.9).

Legenda

α	angolo formato dall'asse x con l'asse X, angolo iniziale di lato circolare
β	angolo finale di lato circolare
γ	angolo formato dall'asse principale u con l'asse x
Δx_i	per definizione eguale a $x_i + 1 - x_i$
ε	errore di un processo iterativo
ϕ	angolo di inclinazione di PNA sull'asse u
η_{il}	funzione dei punti R_{il} ed R_{il+1}
λ	ascissa adimensionale compresa tra 0 ed 1
Γ	contorno di A
Γ^+	contorno di A+
Γ^-	contorno di A-
Λ	vettore contenente i moduli plastici
Θ	sezione composta da poligoni
a	parametro dell'equazione di PNA
b	lunghezza di un lato rettilineo di sezione formata a freddo, parametro dell'equazione di PNA
c	parametro dell'equazione di PNA
d	distanza di un punto da un asse

f	numero di sezioni componenti di una sezione composta
f_y	tensione di snervamento
h	funzione che stabilisce se una poligonale è un pieno o un vuoto
i	indice del punto su una poligonale P, indice della poligonale di Θ , indice di iterazione, indice del lato.
j	indice del punto sulla poligonale P_i
k	indice della sezione componente, indice del generico asse neutro plastico
l	lato di sezione formata a freddo, indice
m	numero di poligonali di una sezione
n	numero di lati di una poligonale
p	esponente intero positivo o nullo
q	esponente intero positivo o nullo
r	raggio interno di lato circolare, numero di (nuovi) punti di P giacenti su s
s	retta corrispondente a PNA
$s(Q)$	funzione del punto Q
t	spessore di una sezione formata a freddo
z_k	$R_k - r_k$
A	dominio interno a una poligonale, area di una sezione
A^+	zona tesa
A^-	zona compressa
C	centro della circonferenza a cui appartiene un lato circolare
G	baricentro
H	parte comune tra Γ^+ e Γ^-
I	momento di inerzia
M	momento flettente
N	azione assiale
P	poligonale
PNA	asse neutro plastico
Q	punto del piano se con uno o due indici, se con tre o quattro indici valore di un integrale definito
R	raggio esterno di lato circolare, punto della poligonale P' giacente su s
S	momento statico
V	punto del piano appartenente alla poligonale P'
Z	modulo plastico
W	modulo di resistenza
(x,y)	sistema di riferimento per una sezione
(X,Y)	sistema di riferimento per una sezione composta
(u,v)	sistema di riferimento principale per una sezione
(U,V)	sistema di riferimento principale per una sezione composta

NOTE:

¹ “L'acciaio nelle costruzioni”, Edizioni Cremonese, Roma, 1973

² In alternativa alla introduzione di h_i si potrebbe convenire di percorrere le poligonali piene in modo antiorario e le poligonali vuote in modo orario.

³ Si usano quattro indici quando al punto Q_i si sostituisca il punto Q_{ij} , ovvero il punto j della poligonale i.

⁴ La parola “composta” si presta a qualche fraintendimento: in questo lavoro si intende “ottenuta assemblando sezioni elementari” (che al limite possono essere piatti come nelle sezioni composte saldate, ma anche IPE, angolari, UPN, altre sezioni “composte”, ecc.).

⁵ La dimostrazione è omessa per brevità. Si noti però che se Γ^+ e Γ^- sono il contorno della parte tesa e della parte compressa, rispettivamente, risulta

$$\int_A s(Q) f_u(u, v) dA = \int_{\Gamma^+} f(u, v) dv - \int_{\Gamma^-} f(u, v) dv$$

Γ^+ e Γ^- hanno in comune la parte di frontiera H che è una parte di s. H come parte di Γ^- viene percorsa però con verso opposto di H come parte di Γ^+ , di modo che

$$\int_{\Gamma^+}(\cdot) - \int_{\Gamma^-}(\cdot) = \int_{\Gamma} s(Q)(\cdot) + \int_H(\cdot) - \int_{-H}(\cdot) = \int_{\Gamma} s(Q)(\cdot) + 2 \int_H(\cdot)$$

Indice

- . -

.anf 55, 109
.arf 109
.dxf 50
.esd 52
.sdb (sap2000) 55
.srg 50

- A -

acciaio 615
action 688, 689, 692
actions 689
 gravity 693
 inquire 688
 linear loads addition 686
 region loads 692
Affidabilità 234
aggiornamento 381
AISC-ASD 558
aiuto 36
Algor 52
alignment 455, 516, 541
alignments 452, 455
allgnment 541
allineamento 453
allocazione memoria soluzione 365
alpha,cr 778
alpha,u 778
ampiezza di banda 211
amplificazione 155
analisi statica equivalente 696
Application look 400, 401, 402
application windows 815
archive 656, 657, 673
archivi 139
area 421
area efficace 615
area reduction 227
ared 227, 675
 attribution 675
 inquire 420, 423
arf 374

Aspetto applicazione 400
assegnare 140
Autocad 50, 250
avi 379
axes 411
azione 682, 693, 694, 700
azioni 129, 133, 432, 696
 aggiunta di 683
 carichi a regione 689
 carichi a regione standard o di proiezione 691
 thermal load addition 686

- B -

barre 29
barre strumenti 396
barre tematiche 396
beam 39, 40, 47, 417, 421, 466, 469, 470, 472, 473, 474, 476, 477, 480, 482, 486
 connectivity inquire 418
 eccentricity inquire 420
 end release inquire 418, 419
 soil inquire 421
beam o truss
 orientation inquire 423
beam or truss
 orientation inquire 420
beams
 splitting of 471, 472
Behavior factor q 803, 805, 806
beta 225
bielle
 aggiunta 468
bitmap 248
bottoni 396
box 33
buckling 169
 analisi 777
 analysis 775, 776, 779, 780
 display critical deformation 776
 information 777
 informazioni 778
buckling analysis settings 362

- C -

calcolo automatico sezioni generiche proprietà 1089
calculator 396

- calculus 396
- cambiare vista 118
- Capacity design 318, 321, 329, 802, 803, 805, 806
- caratteristiche efficaci 615
- carichi 133
- carico critico 169
- casi 129
 - combinazione dei 705
- casi di carico 129
- caso 130, 435
 - definizione di un nuovo 436, 702
 - somma di un 704
- caso di carico 130
- cedimenti 133
 - aggiunta di 687
- checke
 - statistics 756
- checks 231, 758
 - diagram sampling 755
 - envelope of 758
 - execution of the 754
 - inquire 755
 - inquire exploitation 756
 - inquire utilisation ratios 756
 - running CSE 754
 - running RCSTUDIO 754
 - sampling of diagrams during the 755
- class 770
- CLASS4 615
- clipboard 248
- cm 117
- CNR-10011 558
- colonne 558
- color 408, 409, 412
- colore 409
- comandi 29, 32
- combination 723
 - additionaggiunta di una 708
 - definition of a new 438, 720
 - inquire of 438
 - print 717
 - remove all 721
 - zeroing of a 720
- combinazione 437
 - definizione di una nuova 708
 - elimina alcune 721
 - generazione automatica 712
 - modifica 719
- Combinazioni 129, 130, 259, 707, 713, 722
- combiset 130, 707
- comment 347
- component 731, 774, 776
- Composed cross-sections made by 2 angles back to back (|_|) 629
- Composed cross-sections made by 4 angles, cross layout 631
- configuration 345
- constraint 677
- constraint reactions 771, 772
 - inquire 772
- constraints 127
- controllo 218, 990
- copia 522
- copy 524
- copy of selected elements 524
- creazione mesh 37
- criterio 558
- criterio di progetto 553
- critical multiplier 777
- criticità 169
- cross section 675
- Cross section composed by two angles, star disposition 630
- Cross section composed by two channels [] 633
- Cross-section composed by 2 channels [] 633
- Cross-sections composed by angles 629
- curva di stabilità 558
- Customization of report ePUB 801
- Customization report ePUB 802

- D -

- dati
 - stampa di 406
- deformata 232
- deformata critica 169
- deformed 731
 - inquire 732, 733
 - scale 734
 - scale of the 734
- Delaunay 492
- diagram
 - sampling 748
 - scale 741
 - scale of 741
- diagrammi 233
 - sistema locale 739
- diagrams 741

diagrams 741
 axial force 734
 envelope 740
 envelope of envelope 747
 envelopes 747
 inquire 740
 M2 737
 M3 738
 Mt 737
 sampling 748
 T2 735
 T3 736
dimensione 406
disegni 261, 455
display 408, 409, 412, 794
 color of 408
 objects size 407
Dissipation 802, 803, 805, 806
Dissipative Zones 802, 803, 805, 806
Dissipazione 318, 321, 329, 803, 805
distance 415
distorsional buckling 615
dof 212
DOS 50
drawings 455
drilling factor 212, 348
DXF 261, 374, 455

- E -

EC3 546, 548, 549
EC3 parte 1.1 558
EC3DATA 759, 761, 763, 764, 766, 767, 769
EC5 549, 919
eccentricità 273, 481, 482, 485, 486
eccentricity 480
effective area 615
effective length
 inquire 419, 422
effective length factor
 setting 675
elastic soil 501, 502
elementi finiti 998
 scelta 214
elementi finiti tipo 364
elements 409, 412
elevations 541
EN 1993-1-1 615
EN1993-1-3 615

EN1993-1-5 615
enclosure 442
end release 680
end releases 128
envelope 750, 751
error 748
errore 234, 750, 752, 1066
esecuzione di macro 383
estrazione 450, 553
etichette 403, 409
Eurocode 3 549
Eurocode 5 549
Eurocodice 8 1066
exit 36, 396
extrusion 491

- F -

fasi costruttive 795
Fattore q 318, 321, 329, 803, 805
fibre 782
filì fissi 453
filo fisso 453
filtri 557
filtro 553, 558, 659
find 441, 442
fixed alignment 455, 541
fixed alignments 452, 541
font 409, 411
formati a freddo 615
forze 133
freccia 558
fusione 380

- G -

Gauss
 punti di 234
general data 414
Generic composed cross-sections 646
geometric loci 455
geometric stiffness 209
geometry 415
Gerarchia delle resistenze 318, 321, 329, 803, 805
gravity 692
group 673, 730
 inquire 417, 427, 428, 430, 432
gruppi 144

gruppo 144, 553
 interrogazione 425
 guida 919

- H -

help 36
 help index 816
 Help use 816
 holes 227, 675
 Hughes 501

- I -

icons 815
 Idrift 225
 inattivi
 dof 348
 infittimento 518, 519
 inflessione
 coefficienti di libera 785
 information 816
 informazioni 141
 initial axial force 209, 478
 inquire 420, 423
 initial point 609
 input 366
 input file
 writing of (solvers) 367
 inquire 421, 438, 439
 Inquirezione 414
 oggetti selezionati 439
 insieme di combinazioni 130, 707
 insiemi 144
 instabilità 169, 280
 instabilità locale 615
 interfacce 376
 interfaccia 29
 Interface customization 401
 interface customization 400, 401, 402
 Interpolazione 234
 interrogazioni 141
 intersezione 516
 interstorey drift 225, 785
 introduzione 615
 Invarianti 234
 irrigidimenti 615
 iterazioni 148

- K -

Kirchhoff 501

- L -

labels
 display or hide 405
 lato
 aggiunta 605
 legend 794, 795
 libera inflessione 225
 coefficienti di 674
 limiti 553
 link 248
 listato 370
 listing 247, 371, 372
 load 688, 689, 697
 load case 706
 addition of a 702
 change of 703
 inquire 436
 reset 703
 sum of a 703, 704
 load casse
 inquire 440
 loads 439, 689
 addition of concentrated loads 685
 addition of general linear loads 686
 by region 692
 inquire 433
 nodal forces addition 684
 uniform loads addition 685
 local buckling 615
 local reference system 411
 local tern 411

- M -

m 117
 macro 383
 mass 434
 addition 724
 addition of 725
 deletion of 725
 removal of 726
 sum of 725

massa 435
 aggiunta di 723
 cancellazione della 726
 eccentricità accidentale 727
massa partecipante 148, 780
masse 148
material 675
 archive 660
materiale 140, 658
materiali 659
measurement 117
members 452
membrana 47, 488, 492, 498
membrane 39, 234, 425, 495, 496, 497, 500, 670, 676
 addition of 490
 attribuzione proprietà 671
 connectivity inquire 424, 426
 property attribution 670
 splitting of 496
 suddivisione di 495
memoria 209, 348
memoria RAM 209
memoria virtuale 209
menu 29
mesh 37, 39, 47, 492, 514, 515, 516, 518, 519, 522, 524, 526, 527, 529
 copy 523
 double elements 515
 node addition 468
meshing 37, 47
Metamorfosi 47
metamorphosis of selected elements 529
metodo generale 280, 778
mirroring of selected elements 528
mm 117
modal 32, 146, 148, 1021
 , display deformed 773
 analysis 773, 774, 775
 information 774
modal analysis settings 355
modeless 32
molla 47, 128, 502, 504
 interrogazione 429
Molle
 aggiunta di 502
molle alla Winkler
 aggiunta di 506
momento plastico 558
monocolor 412

mostra 403, 406
mostra deformazioni fibre 784
mostra sforzi fibre 782
multipiano 728
multistorey 729

- N -

name 540
 inquire 417, 427, 428, 430, 432
names
 print of 347, 405
net area 227, 675
new 344
new window 814
node 39, 47, 415, 457, 458, 463, 464, 465
 addition of a 458
 constraints inquire 416
 inquire geometry 416
 mass inquire 417
 move of 458
 repositioning of a 463
 shift of 458
 tolerance 465
nodes 415
 translation of a row of 459
nodi
 rotazione 462
 traslazione di file di 459
nodi doppi 47
nodi fissi 225, 785
nodi semirigidi 127
nodi sui lati controllo controlli 520
nome 142, 533, 553
 interrogazione 425
nome nomi 535
nomi 142
 attribuzione 533
nonlinear analysis 209
nonlineare 782, 784
norma
 scelta di una 545
normal 500
NRC 155
NTC2008 615
numbering 465
numberings
 addition or removal of 405
numerazioni 403, 409, 410

- O -

offset 273, 480, 481, 482, 485, 486
oggetti 403
OLE 248
options 740
orientation 411
orientazione
 rappresentazione della 412
output 346, 615

- P -

pan 443, 444
parete sottile 615
participating mass 774
percentuale di massa partecipante 780
periodi propri 780
Personalizzazione report ePUB 340, 802
Photograph 248
piastra 43, 44, 46, 47, 488, 492, 498
piastre 234
 attribuzione proprietà 671
 suddivisione di 495
piatti 568
planarità 498
Plasticità 318, 321, 329, 803, 805
Plasticity 802, 803, 805, 806
plate 39, 424, 495, 496, 497, 500, 502, 670, 676
 connectivity inquire 424, 426
plates 569
 addition of 490
 property attribution 670
 splitting of 496
plates, thin or thick 501
poligonale 649
polyline 34
pressure 687
principal stresses 751
print 346, 347
print preview 247
printer 247
printing 247
printing title 347
printout 247
profilario 139
profili 139

profilo 211
progetto 558
properties 409, 428
 inquire 419, 423, 425, 427
proprietà 140
pseudolabilità 212, 348

- Q -

q factor 802

- R -

rappresentazione 403, 406
 criterio di 409
 oggetti inclusi nella 404
rastremazione 470
reactions 234
reazione 700
Rectangular cross-sections 569
redo 537
reduction 421
reference axes 402
 position of the 402
refreshing 442
regolarità 498
relazione di calcolo 248
Remeshing 234
report 248
Report ePUB 340, 801, 802
representation 408
residuals 751
resultant 439
 inquire of 440
results 248, 346
ricerca 227
rinumerazione 211, 348
rinumerazione nodi 364
risultati 232, 373, 615
rotation of selected elements 463, 526
rounded corner
 adding 610
Rugarli 615

- S -

samba 139
Sap2000 55

- Sargon 50, 990
 Sargon, steel checks, fem, structural analysis, EN1993, checkers, finite element, beam, truss, steelwork, constructional steel, connections, non linear analysis, Eurocodes 26, 27, 28, 29, 32, 33, 34, 36, 37, 117, 118, 120, 126, 127, 129, 130, 133, 139, 140, 141, 142, 144, 146, 224, 232, 250, 259, 261, 267, 273, 280, 344, 345, 346, 347, 348, 366, 367, 370, 373, 376, 380, 381, 383, 396, 399, 400, 401, 402, 403, 406, 408, 409, 411, 412, 413, 414, 415, 417, 421, 424, 425, 427, 428, 430, 432, 434, 435, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 455, 457, 458, 459, 462, 463, 464, 465, 466, 469, 470, 472, 473, 474, 476, 477, 480, 482, 486, 488, 492, 495, 496, 497, 498, 500, 501, 502, 504, 508, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 518, 520, 522, 524, 526, 527, 529, 533, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 544, 549, 551, 656, 658, 670, 673, 674, 675, 676, 677, 679, 680, 682, 688, 689, 692, 693, 694, 697, 700, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 712, 717, 718, 719, 720, 721, 723, 725, 726, 727, 728, 729, 731, 732, 733, 734, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 750, 752, 753, 754, 755, 756, 758, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 779, 780, 785, 794, 795, 797, 798, 814, 815, 816, 818, 867, 882, 919, 976, 990, 997, 998, 1021, 1038, 1066, 1089
 save 344
 saving of file 344
 scarti 234, 749
 scarto 750, 752
 scorrimento 553
 second area moment 421
 Section composed by Channels 633
 select 541
 selected elements rotation 463
 selection 123, 125, 538, 539, 540, 541, 542
 filter of 544
 filters of 543
 modes of 544
 operations of 544
 selezionare 120
 selezione 120, 122, 123, 124, 542
 serbatoi di 542
 semirigid
 nodes inquire 419
 semirigid release
 assignment of 682
 settle 129
 sezione 140, 551, 656
 Sezioni a C (formate a freddo) 591
 Sezioni a cassone 570, 571
 Sezioni a L 567
 Sezioni a L (formate a freddo) 594
 Sezioni a T 564, 565
 Sezioni a U 563
 Sezioni a W (formate a freddo) 599, 601
 Sezioni a Z (formate a freddo) 598
 sezioni a Z formate a freddo 596
 Sezioni ad H 561, 562
 sezioni ad L 566
 sezioni ad L formate a freddo 592
 sezioni ad U 563
 sezioni circolari piene o cave 574
 sezioni composte da angolari 628
 sezioni composte da cantonali 631
 sezioni composte da poligonali generiche 647
 sezioni composte generiche 634
 sezioni formate a freddo 603
 sezioni formate a freddo generiche 589
 Sezioni generiche 655
 Sezioni laminate a T 584
 Sezioni laminate a T ottenute per taglio di sezioni ad H 580
 Sezioni laminate ad H 576, 577
 Sezioni laminate ad I(IPN) 582
 Sezioni laminate ad L 585, 586
 sezioni laminate ad T 583
 Sezioni laminate ad U 587, 588
 sezioni laminate IPN 581
 Sezioni laminate rettangolari cave (RHS) 573
 sezioni laminate T tagliate H 578
 Sezioni ottenute per riunione di poligonal generiche 652
 sezioni rettangolari 568
 sezioni rettangolari cave laminate (RHS) 572
 sezioni totalmente generiche 654
 sforzi 234, 248, 749, 750, 752
 campionatura 743
 sforzi principali 234, 749
 shear 421
 shear areas 208
 side
 addition 606, 607, 608, 609
 simboli 126, 403, 406, 409
 sisma 696
 analisi statica equivalente 694
 slenderness 440, 441
 inquire 419, 422, 423
 slenderness coefficients
 inquire 422
 slenderness factor

slenderness factor
 inquire 431
 setting 675
 Smoothing 234
 snapping 485
 snellezza 558
 software 990
 solaio 693
 solid 39, 427, 508, 510, 511
 solidi vista solida 413
 solido 510, 512
 solution 146, 348
 loading of external solvers results 370
 solution of nonlinear static analysis 351
 soluzione 146, 147, 148, 155, 169, 204, 348, 367
 soluzione analisi spettro di risposta 357
 soluzione frequency response 363
 solving 146, 147, 148, 155, 169, 204, 348, 367
 sort 465
 sorting 465
 sottospazio 148
 special polygons 652
 spettrale 146, 155
 spettri 780
 spettro 155
 Spettro di risposta 780, 1066
 Splitting 473, 508
 spostata 232
 spring 39, 45, 428
 inquire 429
 standard 544
 stati limite 1038
 status bar 399
 stiffener 615
 storia 997
 stress
 sampling 744, 746
 stresses 747, 748, 750, 751, 752, 753
 sampling 741, 742, 743, 745, 746
 Strucad 55, 109
 Suddivisione di elementi 511
 suolo elastico 267, 476
 SuperdrawIII 52
 superelement 39, 46, 430, 513, 514
 superelemento 227
 svincoli 127
 attribuzione degli 680
 symbols 402, 408

- T -

tabulato 615
 Taglio 234
 taper 470
 tapered elements 470
 tavole 455
 temperatura 133
 tensione normale 558
 tensor 748, 750
 tensore 234, 749, 750, 752
 terna locale 475
 terzo node 475
 thicknesses 413
 thin or thick plate 501
 third node
 change of the 474
 changing of the 474
 tipo 553
 title 347
 tolleranza 47, 148
 Tondi pieni 575
 translation 443
 traslazione 443
 travi 558
 aggiunta 468
 truss 39, 42, 47, 421, 466, 469, 470, 472, 473, 474, 477
 connectivity inquire 431
 trusses
 connectivity inquire 422
 splitting of 471, 472
 Tubi 575
 type 409
 typical structures 797, 798

- U -

undo 536
 unità di misura 549
 units 117
 choice of the 550, 551
 units of measurement 117
 User's checks 769

- V -

validation 808, 809, 811, 812, 813
validazione 291, 806, 809, 813
verifica 259, 615
verifiche 224, 227, 245
 interroga sfruttamenti 756
 statistiche 757
Verifiche utente 759, 761, 763, 764, 766, 767
view 402, 446, 448, 449, 450, 451
 change of the 447
 changing of the 448
 definition 451
 recall of a 451
views 446
vincoli 127
 attribuzione dei 678
vincolo 679
vista 118, 126, 447
visualizza fibre 782, 784
Von Mises
 sforzo di 234, 749
 stress 751

- W -

wind 697
wind against elements 697
wind on shapes 697
window cascade 815
Window tile 815
windows 815
Windows management 815
Winkler 47, 267, 476, 501, 502, 504

- Z -

Zone dissipative 318, 321, 329, 803, 805
zoom 444, 445, 446
zoom content 442



<http://www.castaliaweb.com>
Via Pinturicchio, 24
20133 Milano
staff@castaliaweb.com
Copyright 2000-2014 - Castalia srl