

Appunti sull'utilizzo di **ANSYS 12.1**



Slide realizzate sulla base delle lezioni dell'**Ing. Luca Cortese**

(Dipartimento di Meccanica ed Aeronautica - Facoltà di Ingegneria Civile ed Industriale - Università degli studi di Roma "La Sapienza").

Anno Accademico 2011/12.

Introduzione (ANSYS 12.1)

Le presenti slide hanno tratto origine da un insieme di appunti presi durante il corso di *Progettazione agli Elementi Finiti* tenuto dall'Ing. Luca Cortese (del Dipartimento di Meccanica ed Aeronautica della Sapienza) attraverso la versione accademica del software ANSYS 12.1.

Lo scopo principale è stato quello di creare una semplice guida utile all'apprendimento dei principali strumenti che ANSYS mette a disposizione, soprattutto nel caso di un utente che si avvicini per la prima volta ad un software di analisi strutturale.

Gli appunti sono organizzati in esercitazioni successive, ognuna della quali aggiunge nuovi concetti nell'utilizzo del programma. Procedendo nelle esercitazioni molti concetti saranno dati per acquisiti e l'attenzione sarà posta sulle novità introdotte dall'esercitazione corrente.

In nessun modo questa semplice guida vuole sostituirsi ad un manuale o ad un libro di testo, che sicuramente sarà più completo ed esaustivo.

Daniele Cortis

Rev. 2 (Novembre 2013)

Indice degli argomenti (Esercitazioni)

Esercitazione N.1 – Trave piana non rettilinea con carico distribuito

Esercitazione N.2 – Trave nello spazio con carico concentrato

Esercitazione N.3 – Struttura portante di un capannone industriale in acciaio

Esercitazione N.4 – Scripting: trave piana, carico variabile

Esercitazione N.5 – Piastra con foro, fattore di intaglio

Esercitazione N.6 – Trave inflessa in campo plastico, tensioni residue

Esercitazione N.7 – Simulazione elasto-plastica della prova di trazione
su provino cilindrico

Indice degli argomenti (Esercitazioni)

Esercitazione N.8 – Progetto di un dissipatore per CPU in ventilazione forzata

Esercitazione N.9 – Paletta di turbina aeronautica, analisi termo-strutturale

Esercitazione N.10 – Verifica attacco telaio

(Braccetto sospensione per autoveicolo FSAE)

Esercitazione N.11 – Strutture a spessore sottile, elementi SHELL

Esercitazione N.12 – Ottimizzazione di progetto

Esercitazione N.13 – Analisi modale e risposta dinamica di una trave rastremata

APPENDICE – Materiali Ortotropi (Compositi)

Esercitazione N.1

Trave piana non rettilinea con carico distribuito

Determinare le caratteristiche di sollecitazione della struttura isostatica rappresentata in figura soggetta ad un carico distribuito uniforme sul tratto CD pari a w .

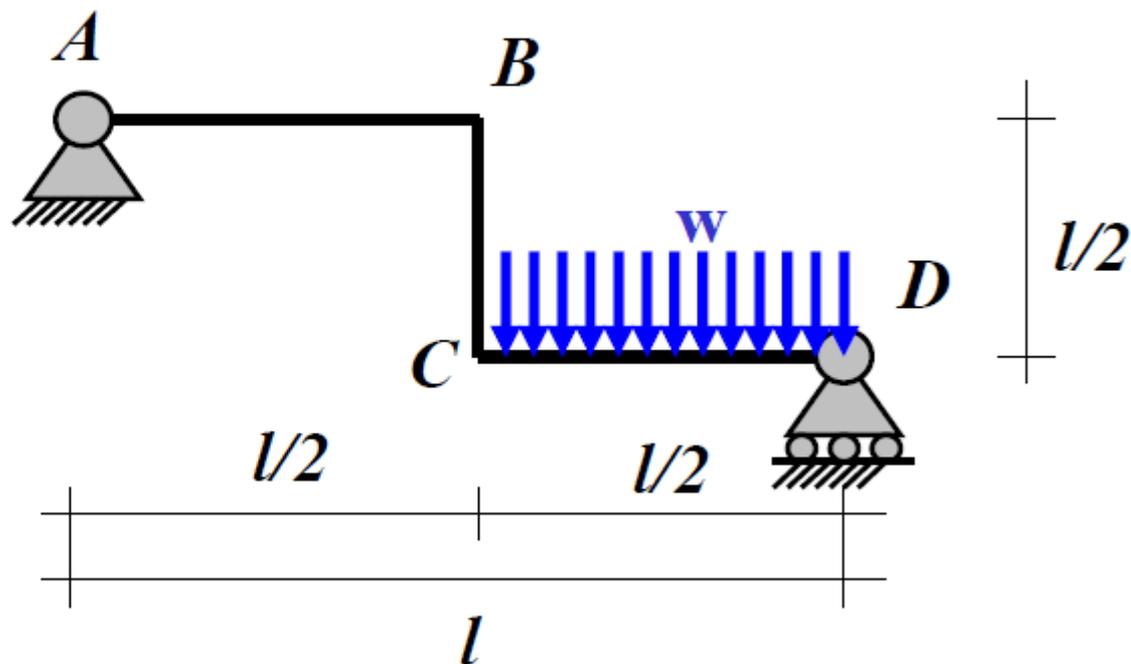
Dati:

$$l = 2 \text{ m}$$

$$w = 10000 \text{ N/m}$$

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$\nu = 0.3$$



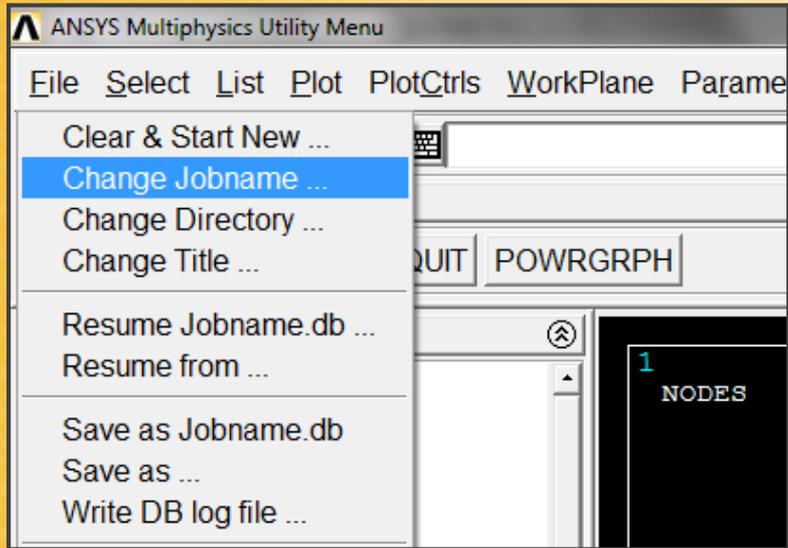
Esercitazione N.1

Trave piana non rettilinea con carico distribuito

New:

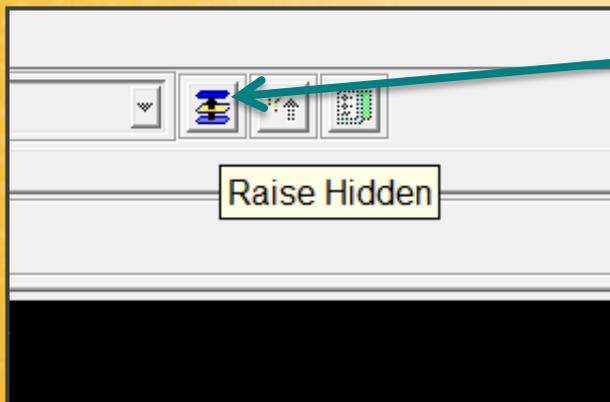
- *Elemento trave 2d.*
- *Definizione real constants per trave 2d.*
- *Definizione materiale lineare elastico.*
- *Modellazione keypoints, linee.*
- *Granularità e impostazioni di discretizzazione.*
- *Applicazione vincoli, soluzione con carichi concentrati e distribuiti.*
- *Opzioni standard di soluzione statica con ipotesi di piccoli spostamenti.*
- *Post-processing, visualizzazioni grandezze di interesse, deformata, campo di spostamenti.*
- *Definizione altre grandezze di interesse mediante element table.*
- *Visualizzazione caratteristiche di sollecitazione.*

Esercitazione N.1 (Passi preliminari)



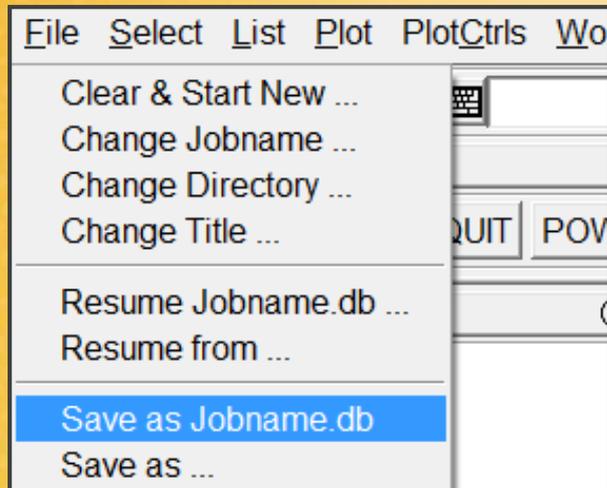
Change Jobname: una volta avviato ANSYS Mechanical APDL è possibile modificare il nome da assegnare al file di lavoro. Se questa operazione non viene effettuata il programma utilizzerà di default il nome **file.db**

Change Directory: Si consiglia di creare sempre una cartella dedicata in cui andranno salvati tutti i file del lavoro.

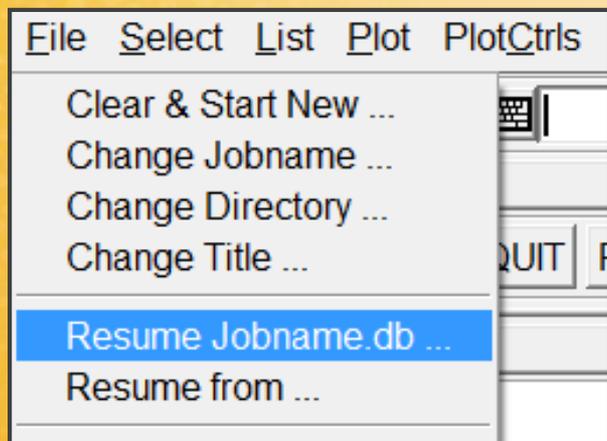


Raise Hidden: questo comando mostra le finestre di ANSYS eventualmente nascoste, che finiscono coperte da altre finestre durante le operazioni.

Esercitazione N.1 (Passi preliminari)

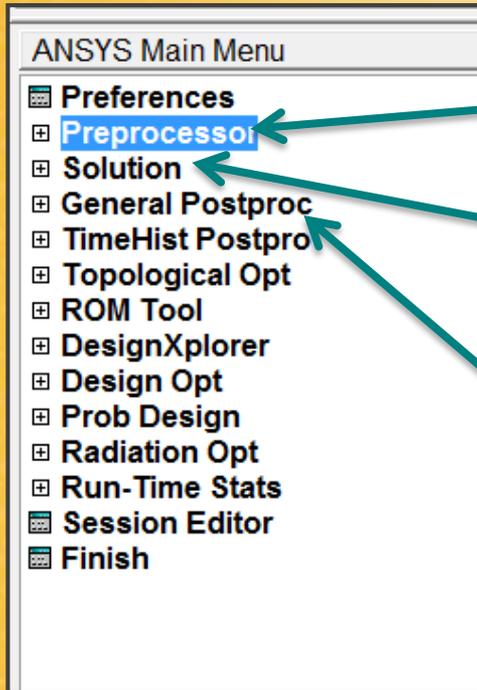


Save as Jobname.db: come salvare un file



Resume Jobname.db: come aprire un file salvato

Esercitazione N.1 (Impostazione ELEMENTO)



Preprocessor:

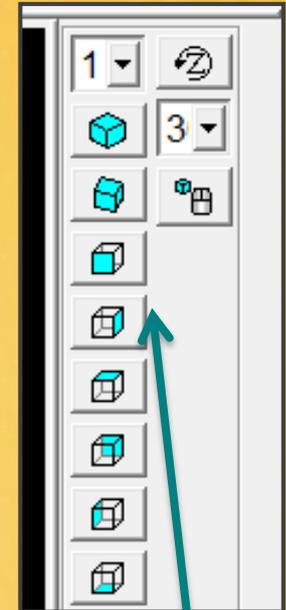
pannello dedicato alla modellazione della geometria

Solution:

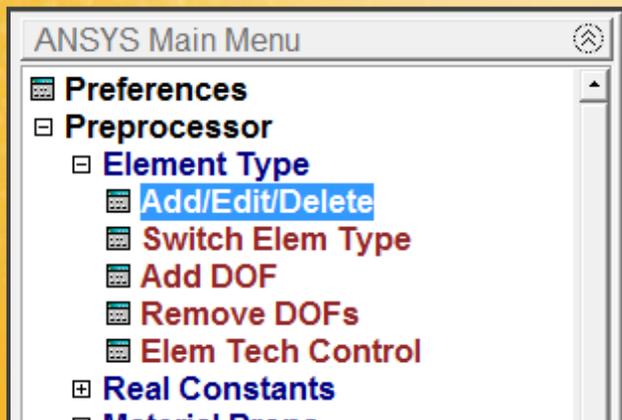
pannello dedicato all'impostazione dei parametri per il calcolo della soluzione FEM

General Postproc:

pannello dedicato alla analisi dei risultati della soluzione FEM



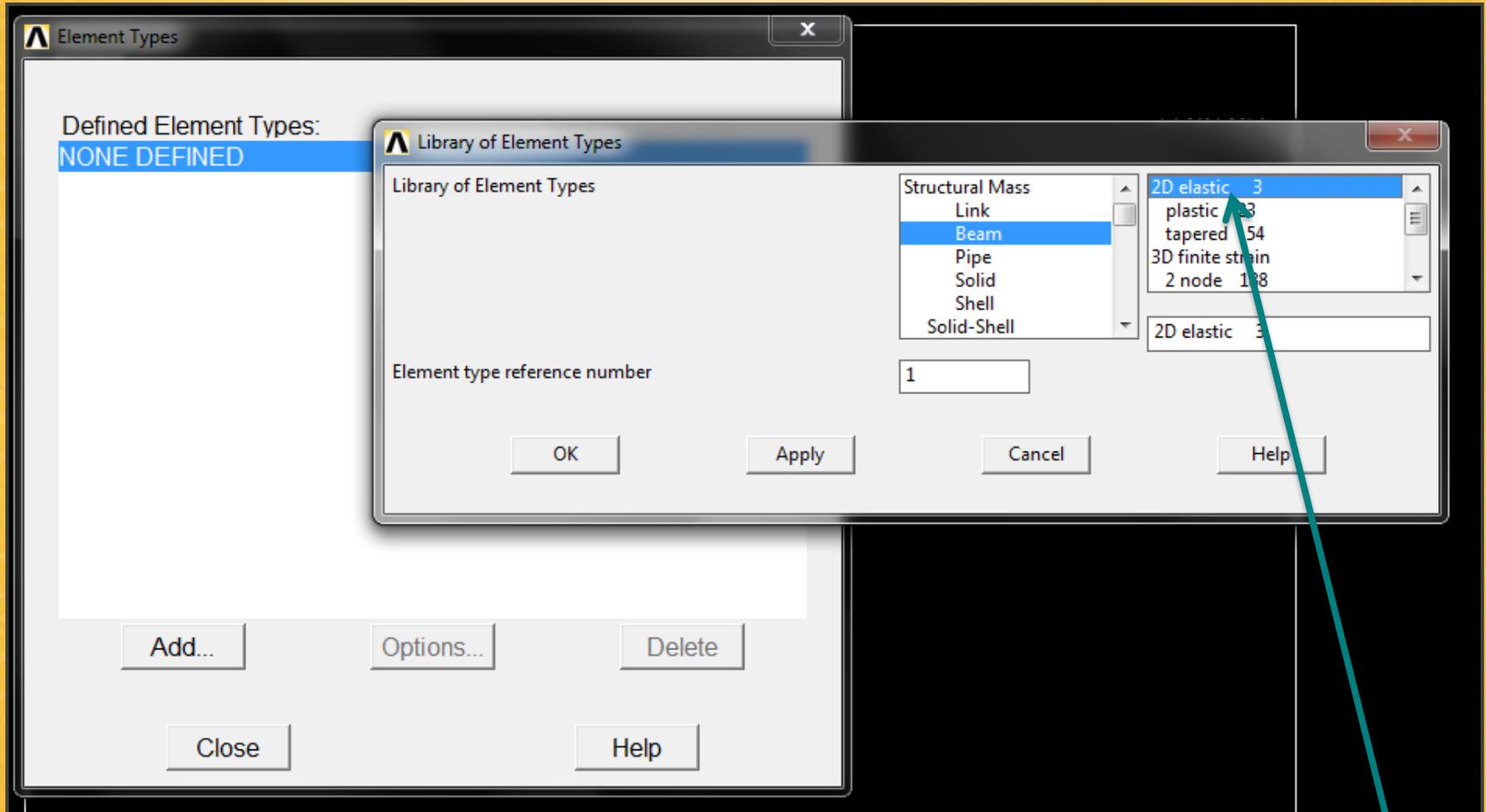
Pannello viste



Preprocessor – Element Type – Add/Edit/Delete:

questo comando serve per impostare attraverso quale elemento verrà condotta l'analisi FEM.

Esercitazione N.1 (Impostazione ELEMENTO)



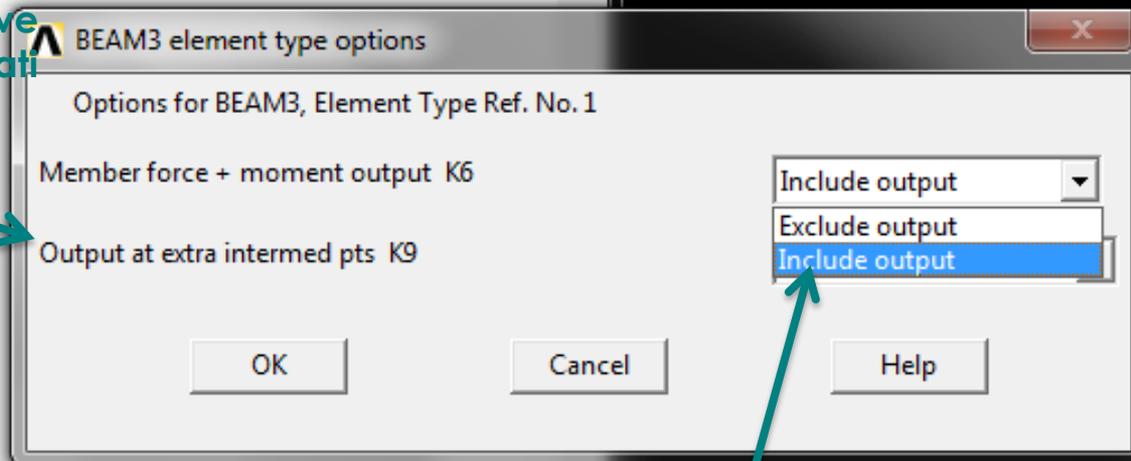
Beam (trave) 2D (piana) elastic: trave piana con comportamento elastico (BEAM3)

Esercitazione N.1 (Impostazione ELEMENTO)

Defined Element Types:

Type 1 BEAM3

Questa opzione serve per includere o meno dei punti intermedi nell'elemento dove vengono calcolati i risultati dell'analisi (oltre ai nodi)



Add...

Options...

Delete

Options: opzioni configurabili per l'elemento BEAM3.

In questo caso viene scelto di includere nell'output della soluzione i momenti e forze «Include output».

Esercitazione N.1 (Impostazione COSTANTI)

The image shows the ANSYS Main Menu on the left, with the 'Preprocessor' section expanded to 'Real Constants' and 'Add/Edit/Delete' highlighted. In the center, the 'Real Constants' dialog box is open, showing 'NONE DEFINED' in the list of sets. To its right, the 'Element Type for Real Constants' dialog box is open, showing 'Type 1 BEAM3' selected. Below these, the 'Real Constants for BEAM3' dialog box is open, showing fields for 'Element Type Reference No. 1', 'Real Constant Set No.' (set to 1), and various material properties: 'Cross-sectional area AREA', 'Area moment of inertia IZZ', 'Total beam height HEIGHT', 'Shear deflection constant SHEARZ', 'Initial strain ISTRN', and 'Added mass/unit length ADDMAS'. Buttons for 'Add...', 'Edit...', 'Delete...', 'Apply', 'Cancel', and 'Help' are visible at the bottom of the dialog boxes.

Preprocessor – Real Constants – Add/Edit/Delete:
questo comando serve per impostare le costanti della geometria dell'elemento trave: area, momento d'inerzia, sezione ecc.

Esercitazione N.1 (Impostazione COSTANTI)

Real Constants for BEAM3

Element Type Reference No. 1

Real Constant Set No.

Cross-sectional area AREA

Area moment of inertia IZZ

Total beam height HEIGHT

Shear deflection constant SHEARZ

Initial strain ISTRN

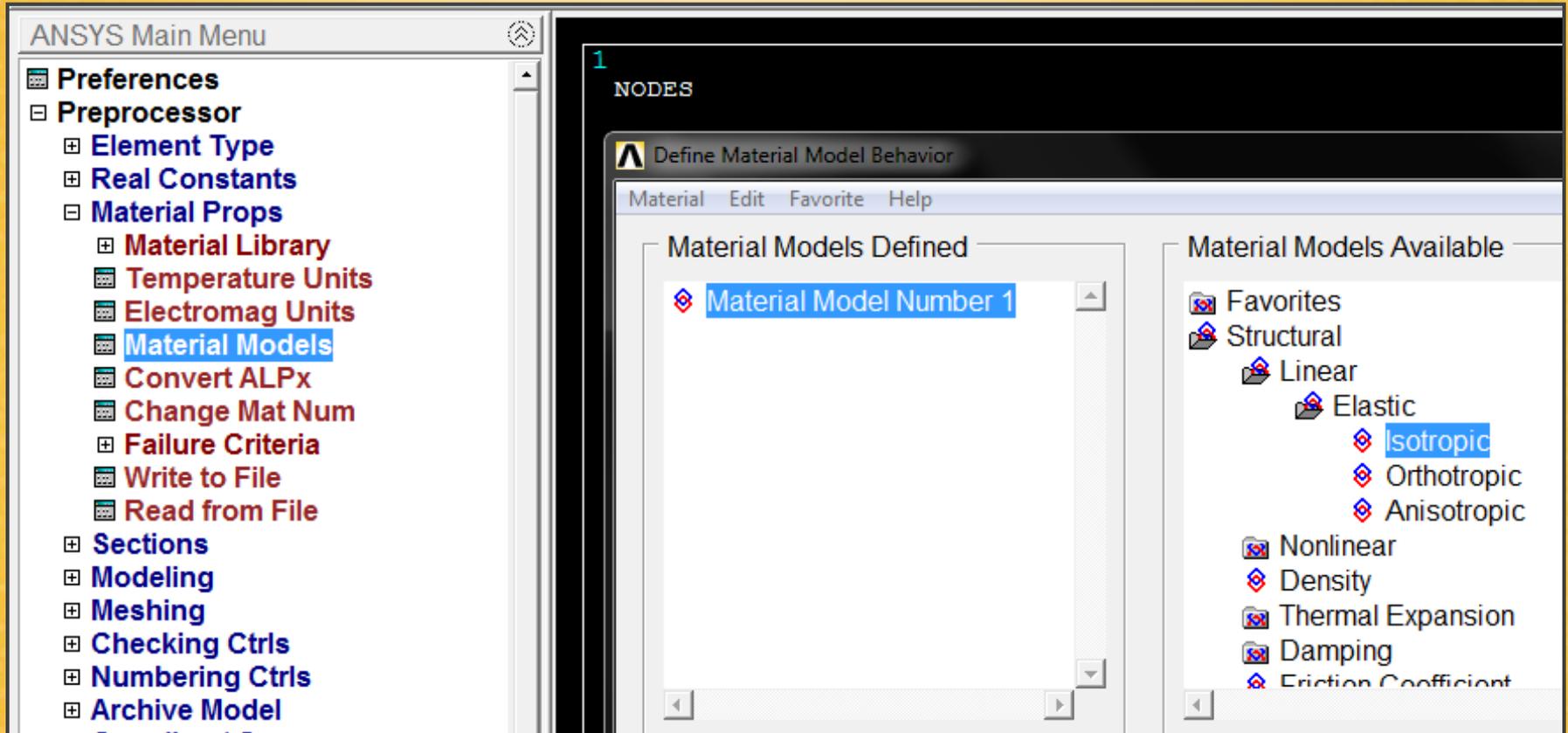
Added mass/unit length ADDMAS

OK Apply Cancel Help

Come inserire i valori:
all'interno dei campi è possibile inserire direttamente i valori delle costanti, altrimenti è possibile scrivere direttamente le formule per il calcolo automatico.

NB: per esempio l'elevamento a potenza si scrive con la seguente notazione:
 $0.05^2 = 0.05^{**2}$

Esercitazione N.1 (Impostazione MATERIALE)



Material Props – Materiale Models: questo comando serve per impostare le proprietà del materiale. Nel nostro caso strutturale, lineare, elastico, isotropo.

Esercitazione N.1 (Impostazione MATERIALE)

The image shows a software interface for defining material properties. On the left, a tree view under 'Material Models Available' shows the following structure:

- Favorites
- Structural
 - Linear
 - Elastic
 - Isotropic**
 - Orthotropic
 - Anisotropic
 - Nonlinear
 - Density
 - Thermal Expansion
 - Damping
 - Friction Coefficient

The 'Isotropic' option is selected. On the right, a dialog box titled 'Linear Isotropic Properties for Material Number 1' is open. It contains a table for defining material properties:

T1	
Temperatures	
EX	200e9
PRXY	0.3

At the bottom of the dialog, there are buttons for 'Add Temperature', 'Delete Temperature', 'Graph', 'OK', 'Cancel', and 'Help'.

EX: modulo di Young (200 GPa)

PRXY: coefficiente di Poisson (0.3)

Esercitazione N.1 (Impostazione GEOMETRIA)

The image shows a software interface with a tree view on the left and a dialog box on the right.

Tree View:

- Sections
- Modeling
 - Create
 - Keypoints**
 - On Working Plane**
 - In Active CS
 - On Line
 - On Line w/Ratio
 - On Node
 - KP between KPs
 - Fill between KPs
 - KP at center
 - Hard PT on line
 - Hard PT on area
 - Lines
 - Areas
 - Volumes
 - Nodes
 - Elements
 - Contact Pair
 - Piping Models
 - Circuit
 - Racetrack Coil
 - Transducers
 - Operate

Dialog Box: Create KPs on WP

Pick Unpick

Count = 0
Maximum = 1000
Minimum = 1
WP X =
Y =
Global X =
Y =
Z =

WP Coordinates
 Global Cartesian

coordinate punti

OK Apply
Reset Cancel
Help

Modelling – Create – Keypoints – On Working Plane

Inserimento progressivo delle coordinate dei punti che la nostra trave. Successivamente «Apply».

Nel nostro caso, le coordinate in un piano 2D dei «nodi» della trave saranno:

A (0,0,0)

B (1,0,0)

C (1,-1,0)

D (2,-1,0)

La coordinata Z è nulla, perché siamo nel piano.

Esercitazione N.1 (Impostazione GEOMETRIA)

- ⊕ Real Constants
- ⊕ Material Props
- ⊕ Sections
- ⊕ Modeling
 - ⊖ Create
 - ⊕ Keypoints
 - ⊖ Lines
 - ⊖ Lines
 - Straight Line
 - In Active Coord
 - Overlaid on Area
 - Tangent to Line
 - Tan to 2 Lines
 - Normal to Line
 - Norm to 2 Lines
 - At angle to line
 - Angle to 2 Lines
 - ⊕ Arcs
 - ⊕ Splines
 - Line Fillet
 - ⊕ Areas
 - ⊕ Volumes
 - ⊕ Nodes
 - ⊕ Elements

Create Straight Line

Pick Unpick

Single Box
 Polygon Circle
 Loop

Count = 0

Maximum = 2

Minimum = 2

KeyP No. =

List of Items

Min, Max, Inc

OK

Apply

Reset

Cancel

Pick All

Help

Modelling – Create – Lines – Straight Line

Creazione progressiva delle linee che uniscono i punti inseriti.

Usando la funziona «pick» è possibile unire i punti con dei semplici click del mouse.

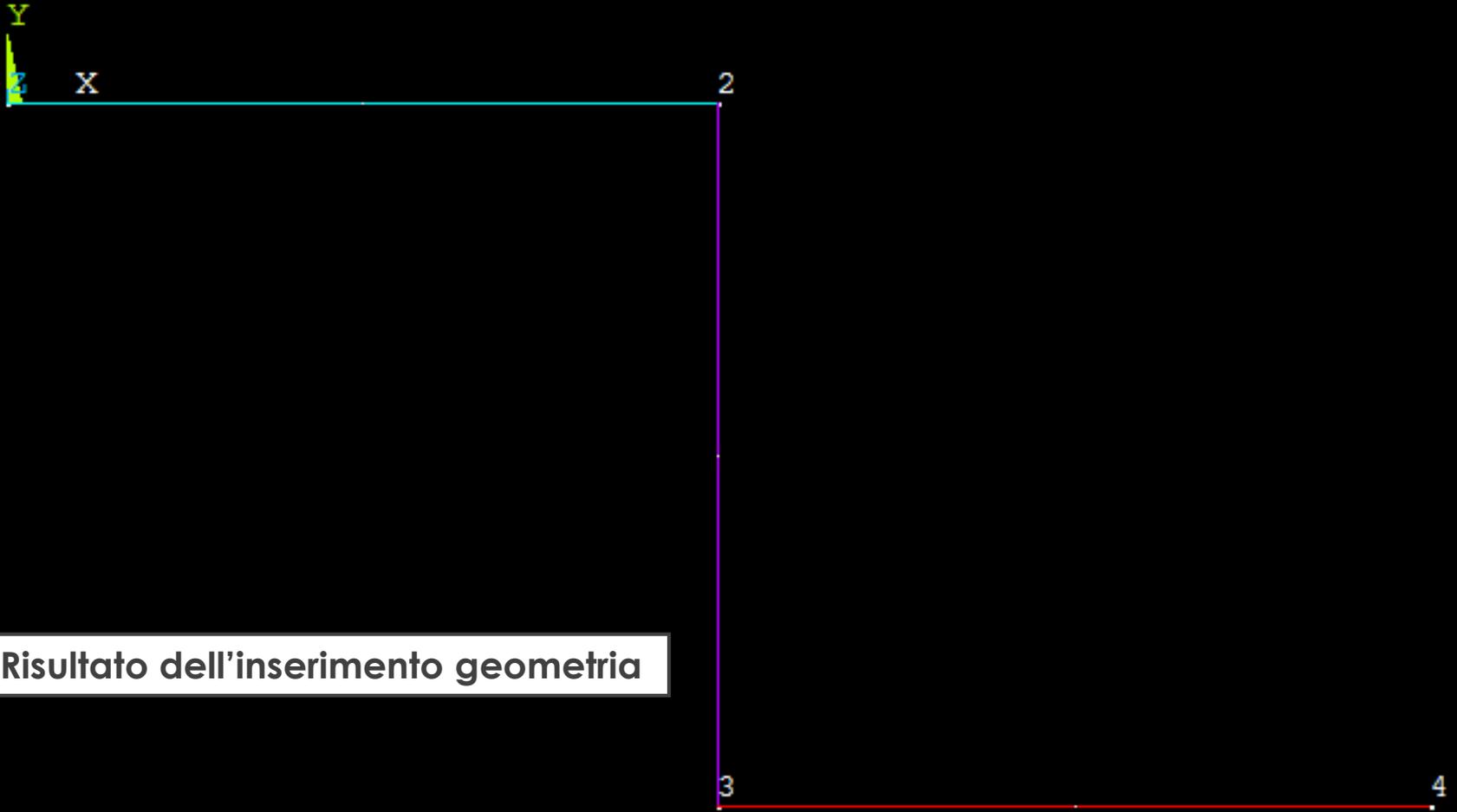
Altrimenti è necessario scrivere i numeri dei punti (1,2, ecc.) e fare «Apply».

Linea A-B (1,2)

Linea B-C (2,3)

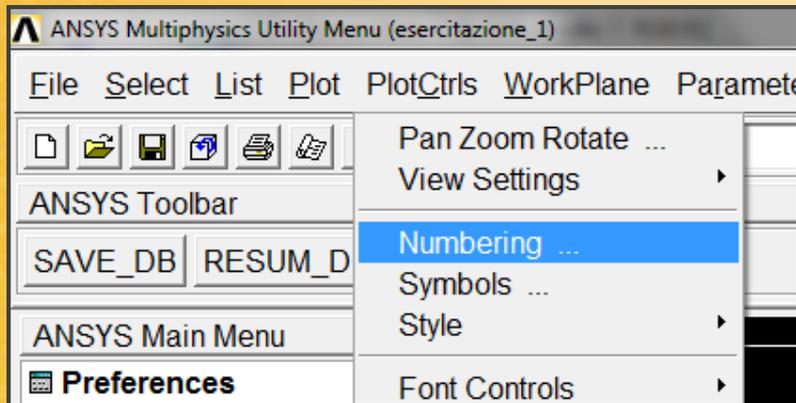
Linea C-D (3,4)

Esercitazione N.1 (Impostazione GEOMETRIA)

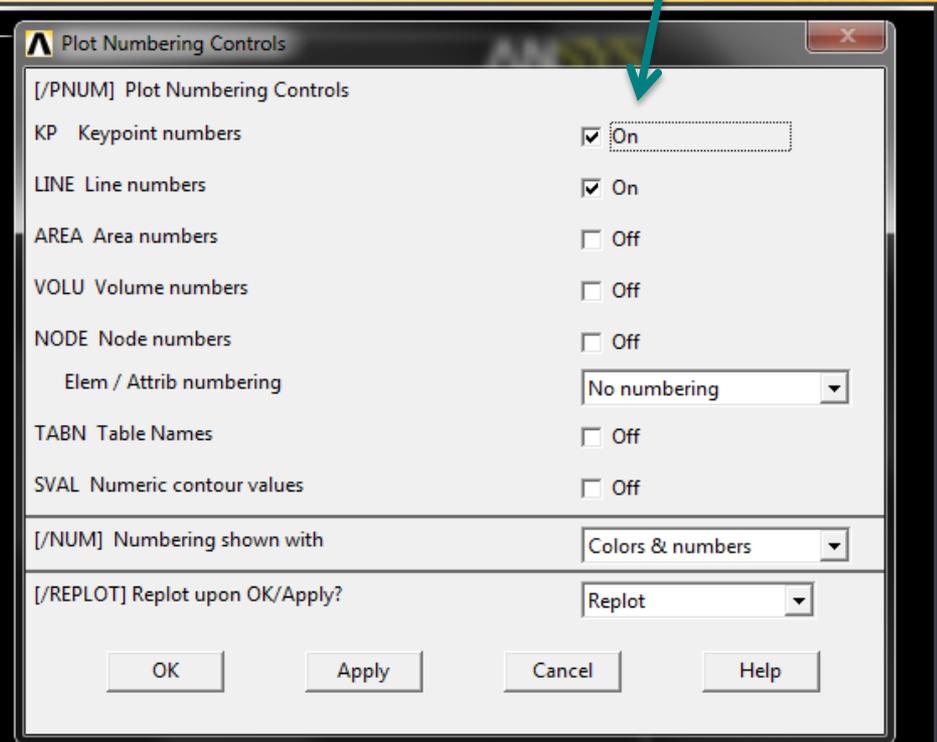


Risultato dell'inserimento geometria

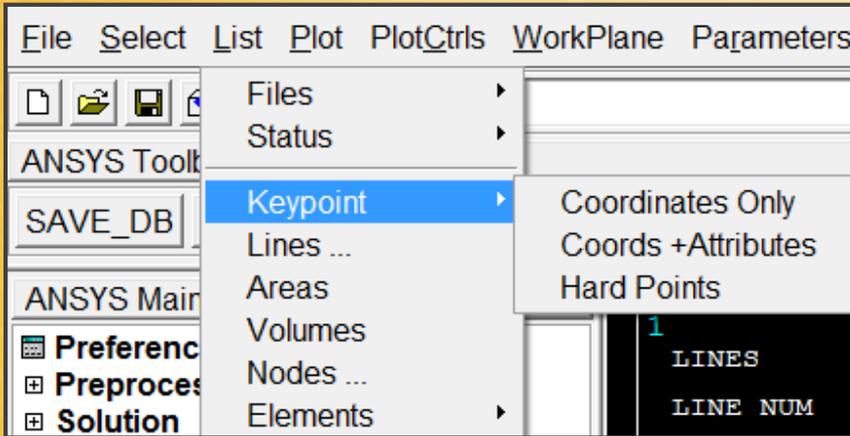
Esercitazione N.1 (Impostazione GEOMETRIA)



Per visualizzare i riferimenti delle linee e dei punti bisogna andare su **PlotCtrls – Numering** e spuntare le prime voci.



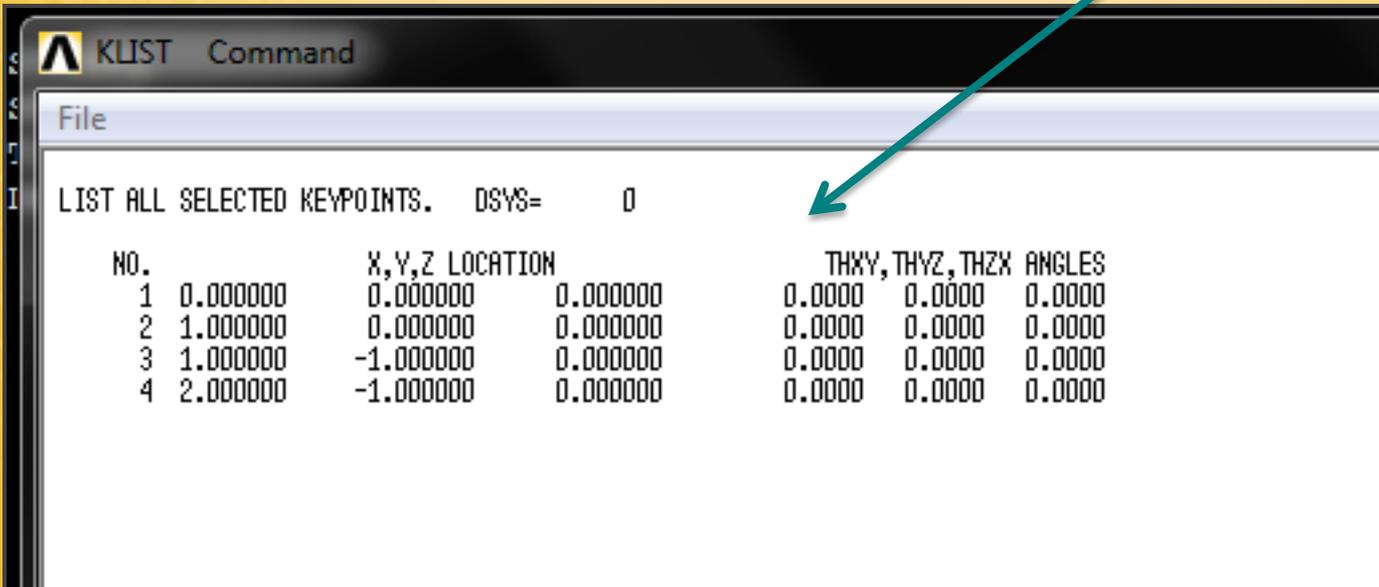
Esercitazione N.1 (Impostazione GEOMETRIA)



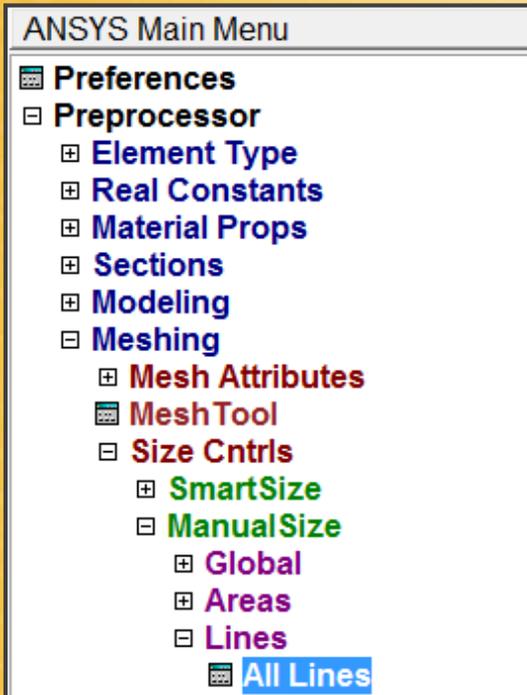
MENU LIST

List - Keypoint - ...

Serve per avere una liste delle varie entità presenti (linee, punti, risultati, ecc.)



Esercitazione N.1 (Impostazione della MESH)



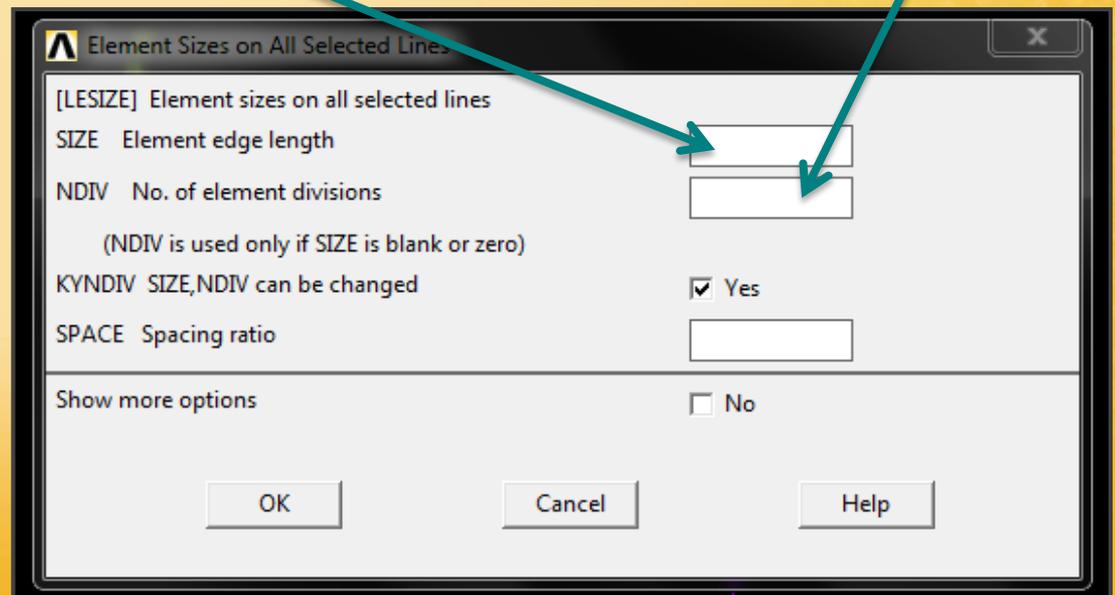
Meshing – Size Cntrl – Manual Size – Line – All Lines

In questo modo si avvia la procedura di discretizzazione della geometria: si impostano gli elementi trave BEAM 3.

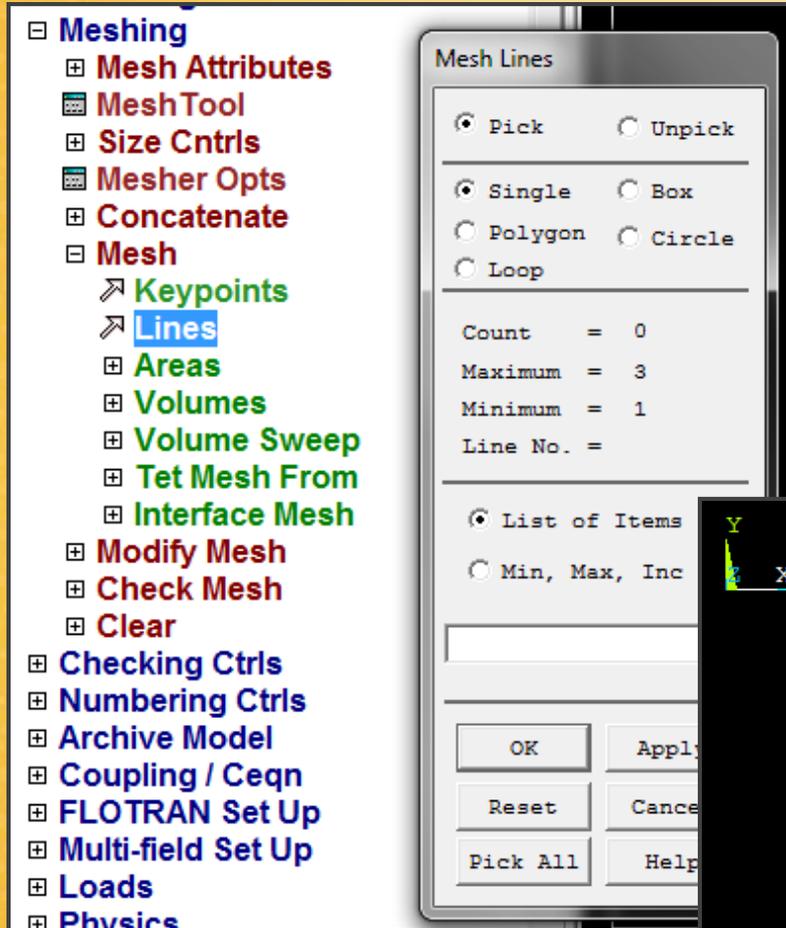
Sono presenti due modalità di discretizzazione:

Impostazione del numeri elementi in cui suddividere la trave (25)

Impostazione della lunghezza degli elementi in cui sarà suddivisa la trave

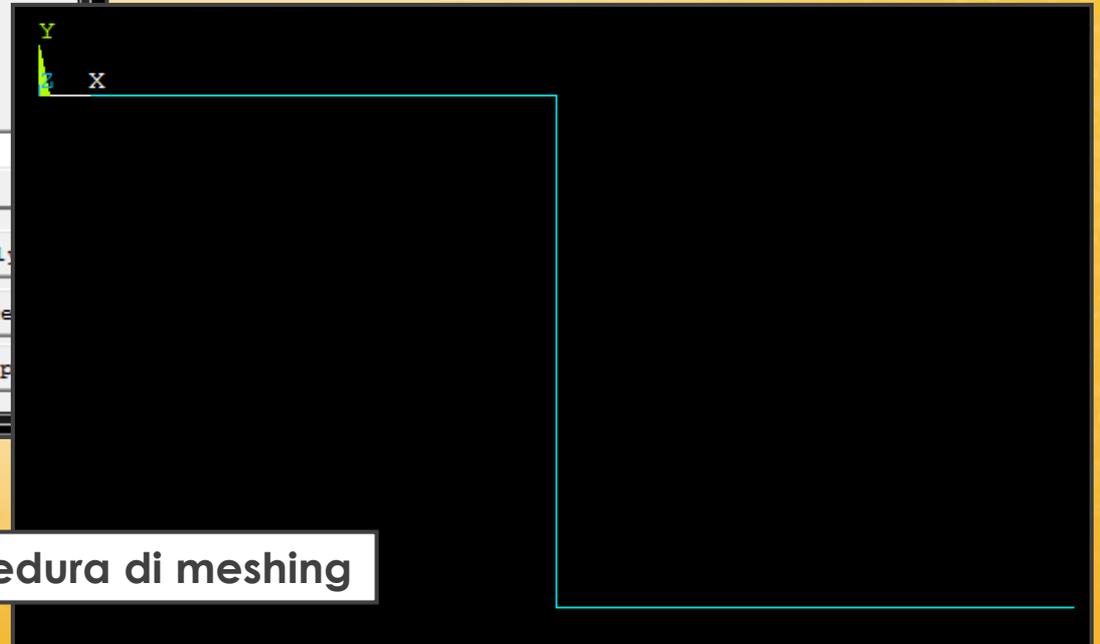


Esercitazione N.1 (Impostazione della MESH)



Meshing – Mesh – Lines – Pick All

Con questo comando si selezionano tutte le linee a cui si applicherà la mesh.

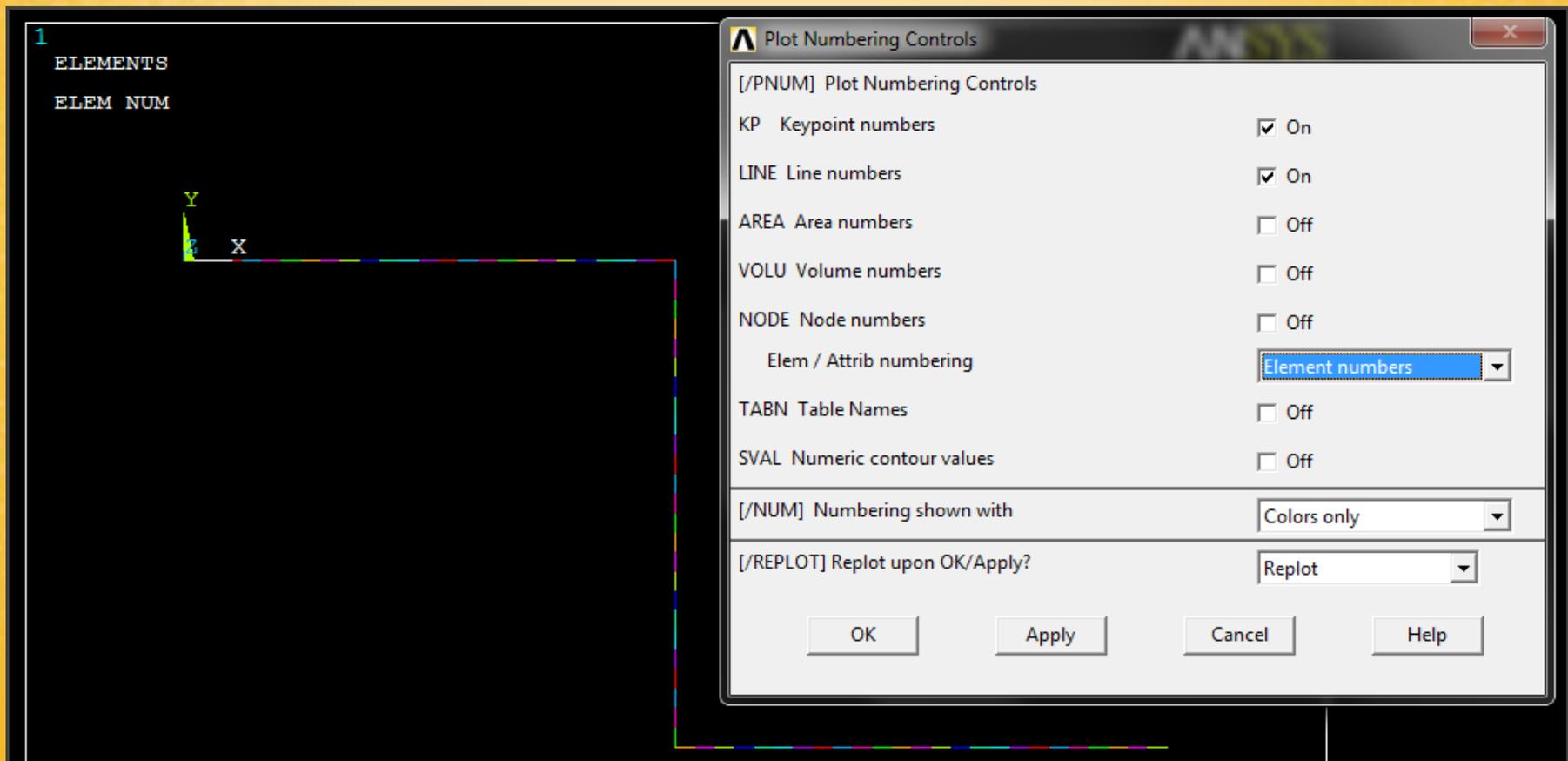


Risultato della procedura di meshing

Esercitazione N.1 (Impostazione della MESH)

Plotctrl – Numering:

Selezionare "element number" e "colors only" per visualizzare gli elementi della mesh con colori differenti sul workplane.



The screenshot displays the ANSYS software interface. On the left, a window titled '1 ELEMENTS' shows a mesh plot with a coordinate system (X and Y axes). The plot area is mostly black, with a small colored mesh visible. On the right, the 'Plot Numbering Controls' dialog box is open. The dialog box contains the following settings:

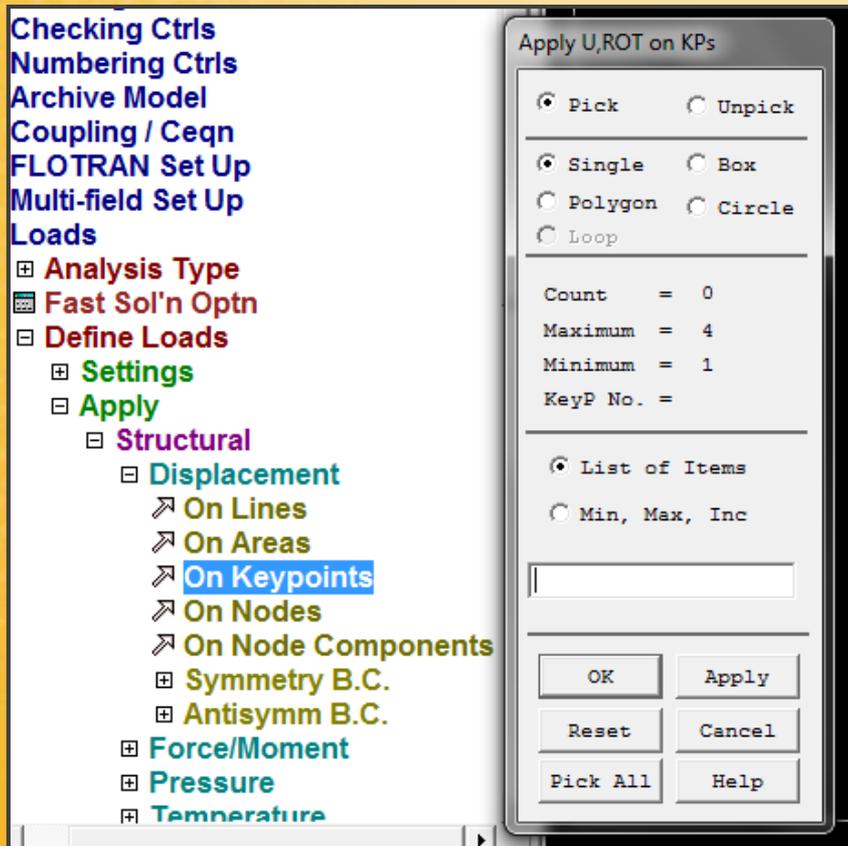
- [/PNUM] Plot Numbering Controls
 - KP Keypoint numbers On
 - LINE Line numbers On
 - AREA Area numbers Off
 - VOLU Volume numbers Off
 - NODE Node numbers Off
 - Elem / Attrib numbering
 - TABN Table Names Off
 - SVAL Numeric contour values Off
- [/NUM] Numbering shown with
- [/REPLOT] Replot upon OK/Apply?

At the bottom of the dialog box, there are four buttons: OK, Apply, Cancel, and Help.

Esercitazione N.1 (CARICHI e VINCOLI)

NB: I vincoli ed i carichi si possono applicare anche sulla geometria e poi il software li applica agli elementi in automatico.

Il vantaggio è che posso cambiare la discretizzazione, e se i carichi ed i vincoli sono sulla geometria non perdo i dati che ho impostato.



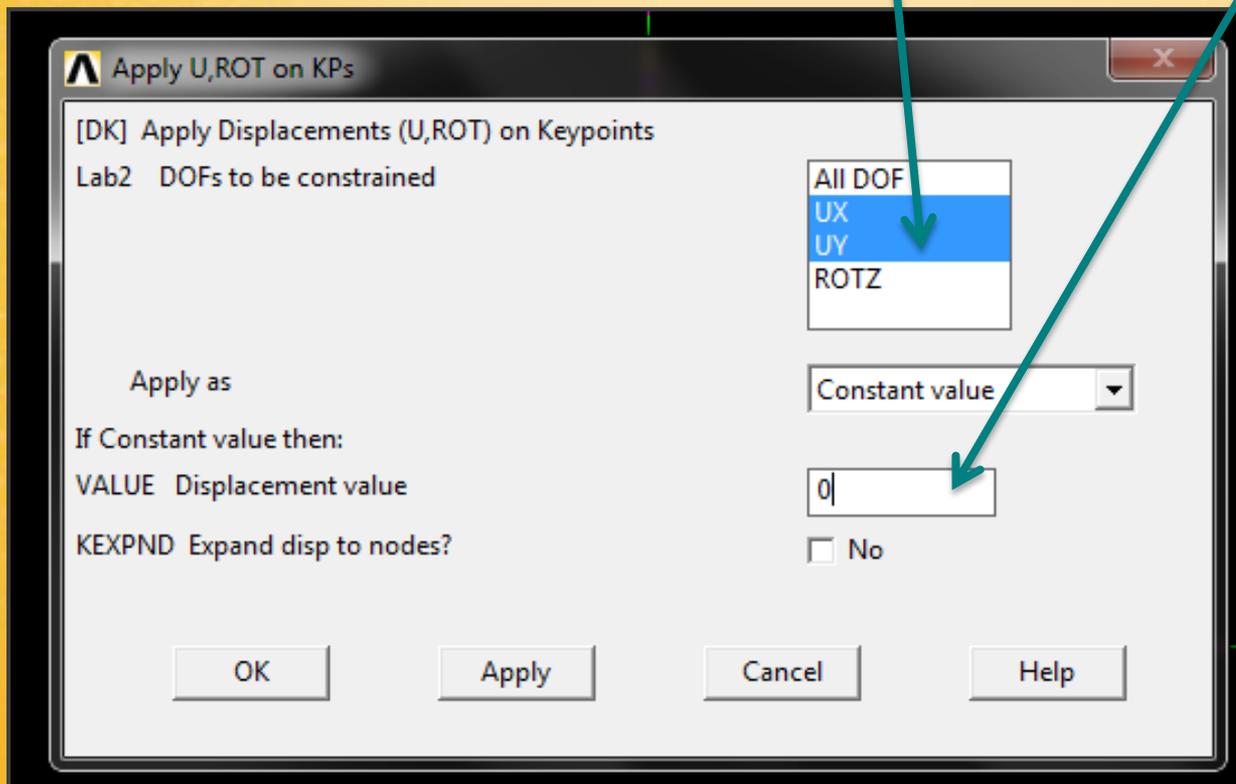
Loads – Define Loads – Apply – Structural
– Displacement – On Keypoints

Esercitazione N.1 (CARICHI e VINCOLI)

Selezionare il nodo

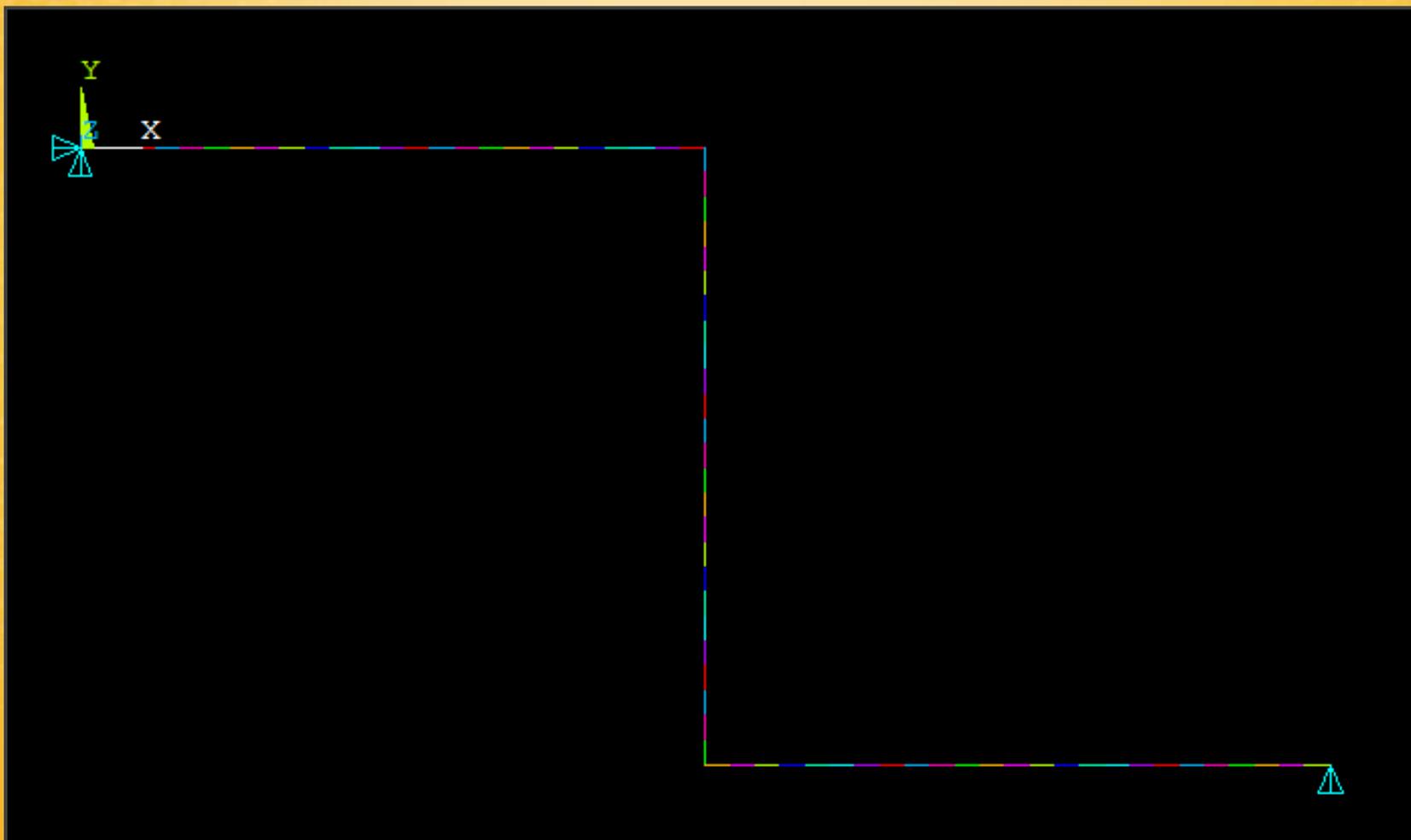
Impostazione del vincolo di cerniera (gradi di vincolo)

Spostamento imposto: value displacement "0" (nessun cedimento vincolare)



Esercitazione N.1 (CARICHI e VINCOLI)

Risultato impostazione dei vincoli



Esercitazione N.1 (CARICHI e VINCOLI)

Loads – Define loads – Apply – Structural – Pressure – On Beams

Selezionare gli elementi su cui applicare il carico (es. comando box).
Valido solo in caso di travi.

The image shows a software interface with a tree view on the left and a dialog box in the center. The tree view is titled 'Analysis Type' and includes the following options:

- Fast Sol'n Optn
- Define Loads
 - Settings
 - Apply
 - Structural
 - Displacement
 - Force/Moment
 - Pressure
 - On Lines
 - On Areas
 - On Nodes
 - On Node Components
 - On Elements
 - On Element Components
 - From Fluid Analy
 - On Beams
 - Temperature
 - Inertia
 - Pretnsn Sectn
 - Gen Plane Strain
 - Other
 - Field Surface Intr
 - Field Volume Intr

The dialog box is titled 'Apply PRES on Beams' and contains the following options:

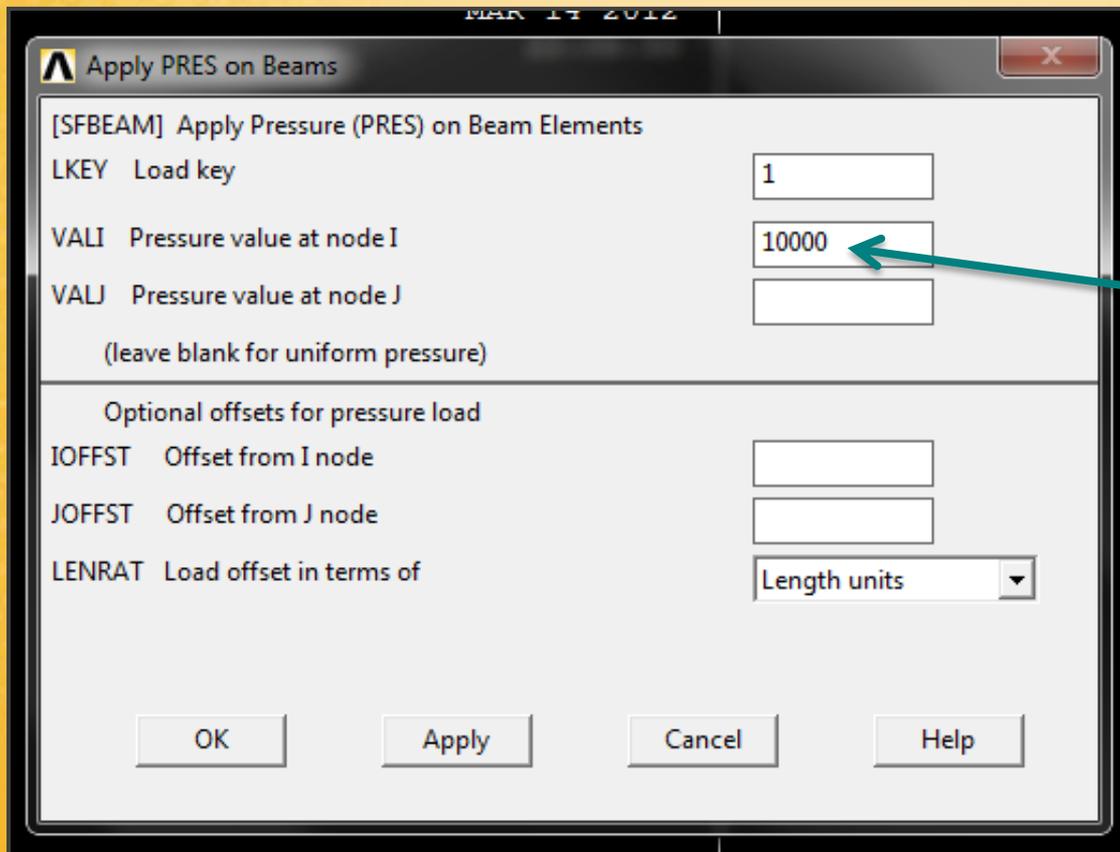
- Pick Unpick
- Single Box
- Polygon Circle
- Loop
- Count = 26
- Maximum = 75
- Minimum = 1
- Elem No. = 9
- List of Items
- Min, Max, Inc
- OK Apply
- Reset Cancel
- Pick All Help

The background shows a 2D grid of elements with a red box highlighting a specific area.

Esercitazione N.1 (CARICHI e VINCOLI)

Impostazione dei carichi:

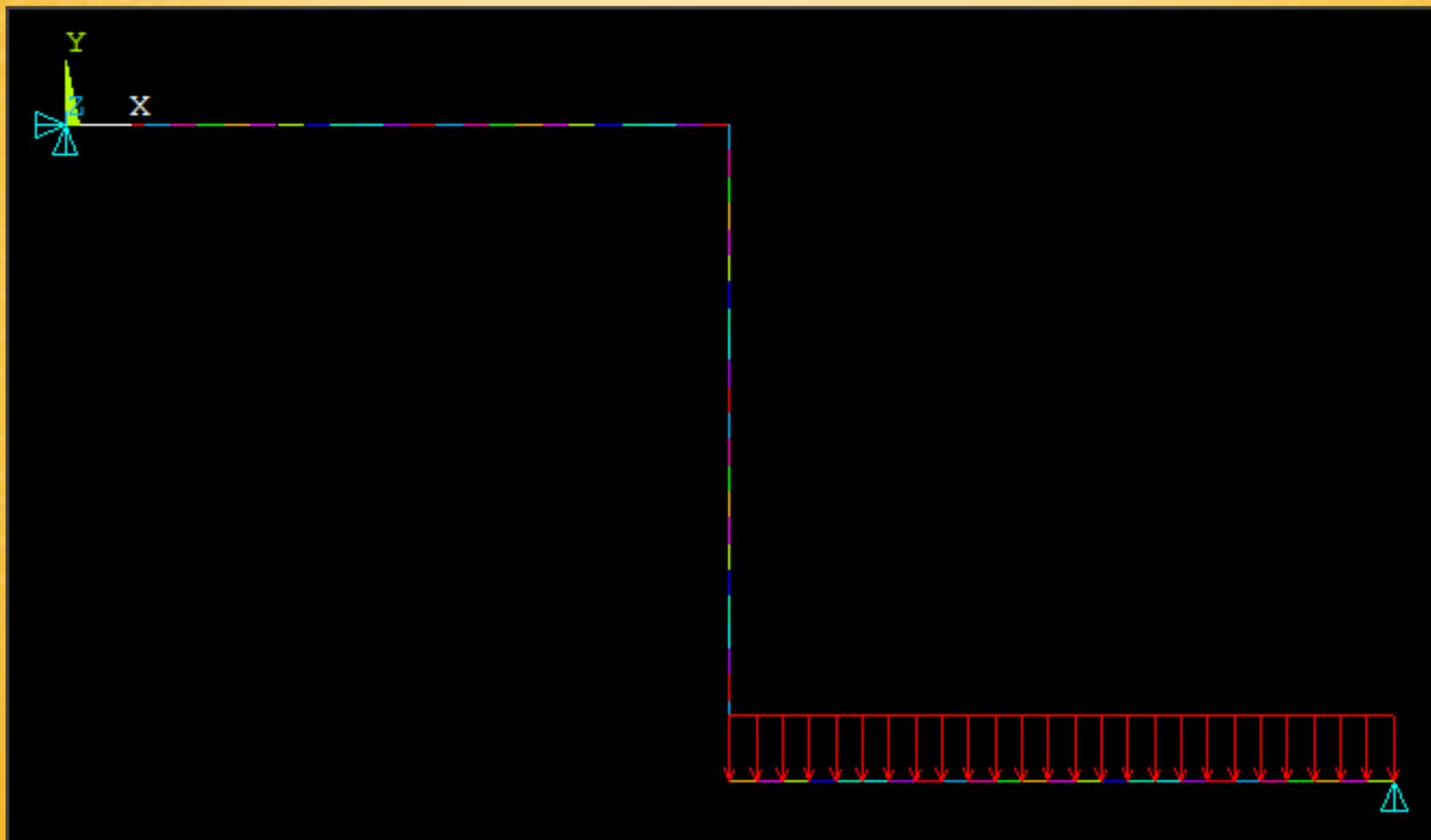
- Se inserisco un valore solo sul nodo **i** imposto un carico uniforme
- Se inserisco un valore sul nodo **i** e sul nodo **j**, si può impostare ad esempio un carico triangolare.



+ 10000
oppure
- 10000
a seconda dei casi,
bisogna provare,
dipende dal
riferimento!

Esercitazione N.1 (CARICHI e VINCOLI)

Risultato impostazione del carico distribuito



Esercitazione N.1 (Calcolo della SOLUZIONE)

Solution: tramite questo menu è possibile impostare i parametri della soluzione (es. analisi elastica lineare, ecc.) I valori di default per nostro caso vanno bene.

Solution – Solve – Current LS: calcolo della soluzione. I Risultati vengono salvati all'interno del file **.rst**

NB: prima di calcolare una nuova soluzione, bisogna SEMPRE uscire dal menu del solutore.

SOLUTION OPTIONS

PROBLEM DIMENSIONALITY2-D
DEGREES OF FREEDOM	UX UV ROTZ
ANALYSIS TYPESTATIC (STEADY-STATE)
GLOBALLY ASSEMBLED MATRIXSYMMETRIC

LOAD STEP OPTIONS

LOAD STEP NUMBER	1
TIME AT END OF THE LOAD STEP	1.0000
NUMBER OF SUBSTEPS	1
STEP CHANGE BOUNDARY CONDITIONS	NO
PRINT OUTPUT CONTROLSNO PRINTOUT
DATABASE OUTPUT CONTROLSALL DATA WRITTEN FOR THE LAST SUBSTEP

Note

i Solution is done!

Close

Esercitazione N.1 (Analisi dei RISULTATI)

General Postproc – Plot Results – Deformed Shape (Visualizzazione della deformata)

The image shows the ANSYS software interface. On the left is a tree view of the software's menu structure. The 'General Postproc' menu is expanded, and 'Deformed Shape' is selected. On the right, a window titled 'DISPLACEMENT' displays the following data:

```
DISPLACEMENT  
STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
DMX =.038005
```

Below the text is a 2D plot of a deformed shape, represented by a multi-colored line. A dialog box titled 'Plot Deformed Shape' is overlaid on the plot. The dialog box contains the following text and options:

[PLDISP] Plot Deformed Shape
KUND Items to be plotted

Def shape only
 Def + undeformed
 Def + undef edge

At the bottom of the dialog box are four buttons: OK, Apply, Cancel, and Help.

Esercitazione N.1 (Analisi dei RISULTATI)

General Postproc – Plot Results – Contour Plot – Nodal Solu

(Visualizzazione dei valori della soluzione ai nodi della struttura)

ANSYS Main Menu

- Preferences
- Preprocessor
- Solution
- General Postproc
 - Data & File Opts
 - Results Summary
 - Read Results
 - Failure Criteria
 - Plot Results
 - Deformed Shape
 - Contour Plot
 - Nodal Solu**
 - Element Solu
 - Elem Table
 - Line Elem Res
 - Vector Plot
 - Plot Path Item
 - Concrete Plot
 - ThinFilm
 - List Results
 - Query Results
 - Options for Outp
 - Results Viewer
 - Write PGR File
 - Nodal Calcs
 - Element Table
 - Path Operations
 - Surface Operations

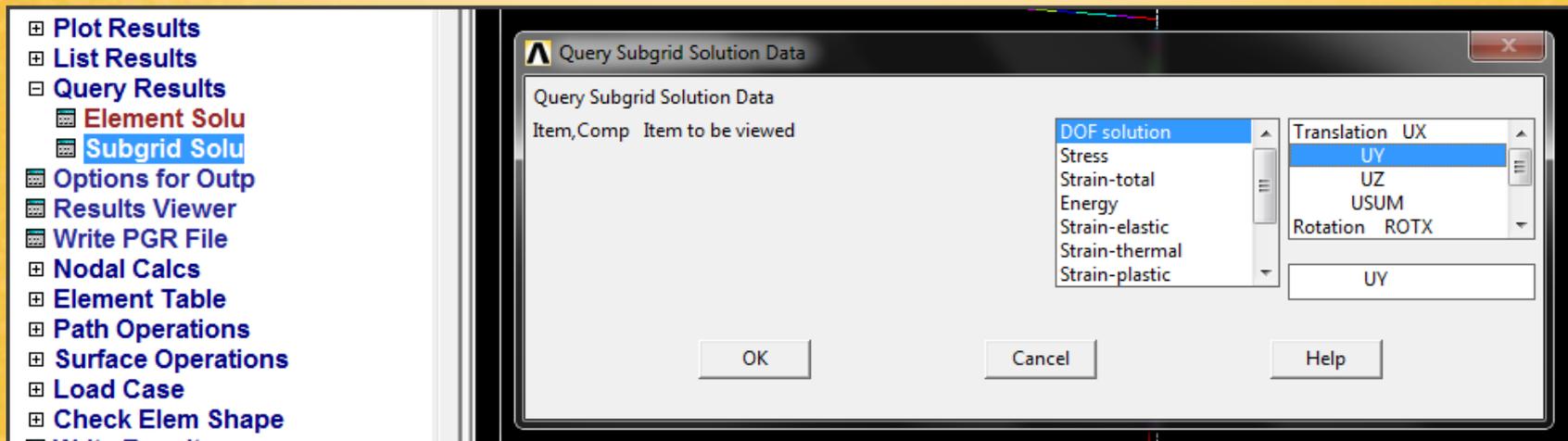
Spostamenti lungo l'asse Y

Utilizza la reale scala dei valori sui grafici

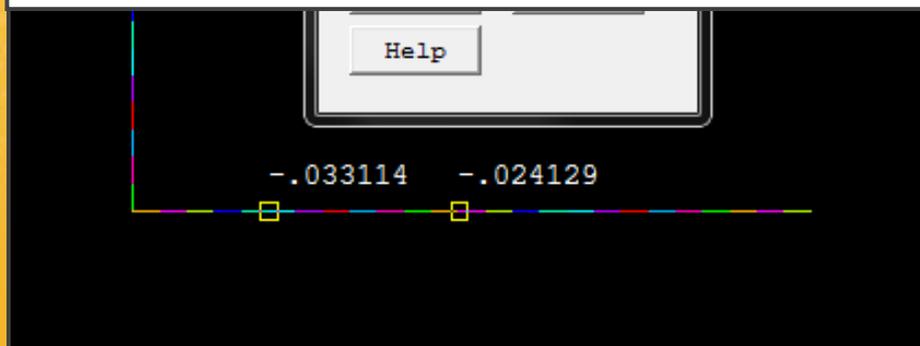
Esercitazione N.1 (Analisi dei RISULTATI)

General Postproc – Query results – Subgrid Solu

(Questo comando serve per visualizzare lo spostamento del singolo elemento con cui ho realizzato la mesh lungo l'asse Y)



Selezione attraverso il comando Pick/UnPick degli elementi di cui mi interessa sapere lo spostamento



Esercitazione N.1 (Analisi dei RISULTATI)

SF. NORMALE, TAGLIO, MOMENTO: per visualizzare l'andamento del momento, del taglio e dello sforzo normale, è necessario mappare i risultati in una tabella. Questa procedura è necessaria solo per gli elementi monodimensionali.

Element Table – Define Table – Add: bisogna inserire i codici che si riferiscono allo sforzo normale, al taglio ed al momento. Per trovare questi codici bisogna cercare nell'HELP di Elemento (BEAM3): ogni elemento avrà la sua serie di codici.

The screenshot displays the ANSYS Main Menu on the left, with the 'Element Table' option selected. The 'Element Table Data' dialog box is open, showing a table with the following content:

Label	Item	Comp
NONE DEFINED		

Below the table are buttons for 'Add...', 'Update', 'Delete', 'Close', and 'Help'. The 'Define Additional Element Table Items' dialog box is also open, showing the following fields and options:

- [AVPRIN] Eff NU for EQV strain
- [ETABLE] Define Additional Element Table Items
- Lab User label for item
- Item,Comp Results data item
- DOF solution (selected)
- Stress
- Strain-total
- Strain-mech+thrm
- Nodal force data
- Energy
- Error estimation
- Translation UX (selected)
- UY
- UZ
- Rotation ROTX
- ROTY
- Translation UX

At the bottom of the 'Define Additional Element Table Items' dialog box, there is a note: "(For 'By sequence num', enter sequence no. in Selection box. See Table 4.xx-3 in Elements Manual for seq. numbers.)". Buttons for 'OK', 'Apply', 'Cancel', and 'Help' are located at the bottom of the dialog.

Esercitazione N.1 (Analisi dei RISULTATI)

Si cerca nell'Help BEAM3

MFORX = SF. Normale

MFORY= Taglio

MFORZ= Momento

The screenshot shows the ANSYS 12.1 Help interface. On the left, a search results table lists various topics, with 'BEAM3' selected. On the right, a table titled 'Table 3.2 BEAM3 Item and Sequence Numbers (KEYOPT(9) = 0)' provides details for various output quantities. The table has columns for 'Output Quantity Name', 'Item', 'I', and 'J'. The 'I' and 'J' columns are labeled 'ETABLE and ESOL Command Input'. The table lists quantities such as SDIR, SBYT, SBYB, EPELDIR, EPELBYT, EPELBYB, EPTHDIR, EPTHBYT, EPTHBYB, EPI MAXL, SMAX, SMIN, MFORX, MFORY, and MMOMZ.

Output Quantity Name	Item	ETABLE and ESOL Command Input		
		I	J	
SDIR	LS	-	1	4
SBYT	LS	-	2	5
SBYB	LS	-	3	6
EPELDIR	LEPEL	-	1	4
EPELBYT	LEPEL	-	2	5
EPELBYB	LEPEL	-	3	6
EPTHDIR	LEPTH	-	1	4
EPTHBYT	LEPTH	-	2	5
EPTHBYB	LEPTH	-	3	6
EPI MAXL	LEPTH	7	-	-
SMAX	NMISC	-	1	3
SMIN	NMISC	-	2	4
MFORX	SMISC	-	1	7
MFORY	SMISC	-	2	8
MMOMZ	SMISC	-	6	12

Esercitazione N.1 (Analisi dei RISULTATI)

Si cerca nell'Help BEAM3

Codice «SMISC,2» e «SMISC,8» per i valori del Taglio nei nodi I e J

The screenshot shows the ANSYS 12.1 Help interface. On the left, the search results for 'Beam3' are displayed, with 'BEAM3' selected. On the right, the 'Table 3.2 BEAM3 Item and Sequence Numbers (KEYOPT(9) = 0)' is shown. The table lists various output quantities and their corresponding item and sequence numbers. A red box highlights the rows for 'MFORX' and 'MFORY', which correspond to the 'SMISC,2' and 'SMISC,8' codes mentioned in the text. A blue arrow points from the text to the 'SMISC,2' row, and another blue arrow points from the text to the 'SMISC,8' row.

Output Quantity Name	ENABLE and ESOL Command Input			
	Item	E	I	J
SDIR	LS	-	1	4
SBYT	LS	-	2	5
SBYB	LS	-	3	6
EPELDIR	LEPEL	-	1	4
EPELBYT	LEPEL	-	2	5
EPELBYB	LEPEL	-	-	-
EPTHDIR	LEPEL	-	-	-
EPTHBYT	LEPEL	-	-	-
EPTHBYB	LEPEL	-	-	-
EPINAXL	LEPTH	7	-	-
SMAX	NMISC	-	1	3
SMIN	NMISC	-	2	4
MFORX	SMISC	-	1	7
MFORY	SMISC	-	2	8
MMOMZ	SMISC	-	6	12

Non sono stati inseriti punti intermedi nell'elemento BEAM3 in cui calcolare la soluzione, quindi scelgo la tabella con Keypoint (KEYOPT) = 0.

Esercitazione N.1 (Analisi dei RISULTATI)

Inserimento dei codici e delle Label

Taglio-i

DOF solution
Stress
Strain-total
Strain-mech+thrm
Nodal force data
Energy
Error estimation

Translation UX
UY
UZ
Rotation ROTX
ROTY

SMISC,2

Momento-i

DOF solution
Stress
Strain-total
Strain-mech+thrm
Nodal force data
Energy
Error estimation

Translation UX
UY
UZ
Rotation ROTX
ROTY

SMISC,6

Taglio-j

DOF solution
Stress
Strain-total
Strain-mech+thrm
Nodal force data
Energy
Error estimation

Translation UX
UY
UZ
Rotation ROTX
ROTY

SMISC,8

Momento-j

DOF solution
Stress
Strain-total
Strain-mech+thrm
Nodal force data
Energy
Error estimation

Translation UX
UY
UZ
Rotation ROTX
ROTY

SMISC,12

Currently Defined Data and Status:

Label	Item	Comp	Time Stamp	Status
TAGLIO-I	SMIS	2	Time= 1.0000	(Current)
TAGLIO-J	SMIS	8	Time= 1.0000	(Current)
MOM-I	SMIS	6	Time= 1.0000	(Current)
MOM-J	SMIS	12	Time= 1.0000	(Current)

Esercitazione N.1 (Analisi dei RISULTATI)

General Postproc – Plot Results – Contour Plot – Line Element Res
(Plottaggio dei diagrammi delle sollecitazioni)

- Read Results
- Failure Criteria
- Plot Results
 - Deformed Shape
 - Contour Plot
 - Nodal Solu
 - Element Solu
 - Elem Table
 - Line Elem Res
 - Vector Plot
 - Plot Path Item

Plot Line-Element Results

[PLLS] Plot Line-Element Result

LabI Elem table item at node I TAGLIO-I

LabJ Elem table item at node J TAGLIO-J

Fact Optional scale factor 1

KUND Items to be plotted on

Undeformed shape
 Deformed shape

- Plot Results
 - Deformed Shape
 - Contour Plot
 - Nodal Solu
 - Element Solu
 - Elem Table
 - Line Elem Res
 - Vector Plot
 - Plot Path Item
 - Concrete Plot
 - ThinFilm
- List Results
- Query Results
- Options for Outp
- Results Viewer
- Write PGR File
- Nodal Calc

Plot Line-Element Results

[PLLS] Plot Line-Element Result

LabI Elem table item at node I MOM-I

LabJ Elem table item at node J MOM-J

Fact Optional scale factor 1

KUND Items to be plotted on

Undeformed shape
 Deformed shape

OK Apply Cancel Help

Esercitazione N.1 (Analisi dei RISULTATI)

LINE STRESS

STEP=1

SUB =1

TIME=1

TAGLIO-ITAGLIO-J

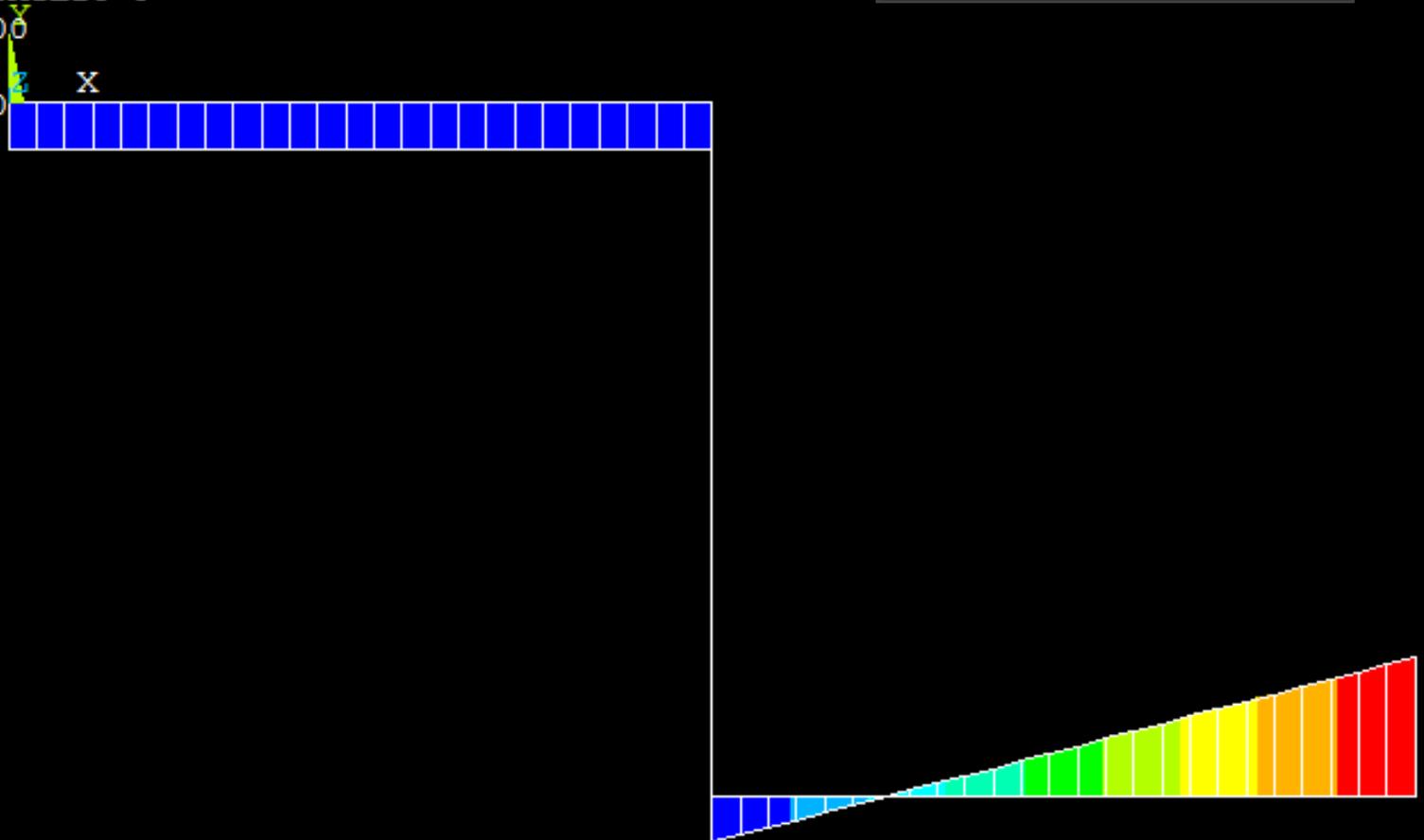
MIN =-2500

ELEM=24

MAX =7500

ELEM=75

Diagramma del Taglio



Esercitazione N.1 (Analisi dei RISULTATI)

LINE STRESS

STEP=1

SUB =1

TIME=1

MOM-I MOM-J

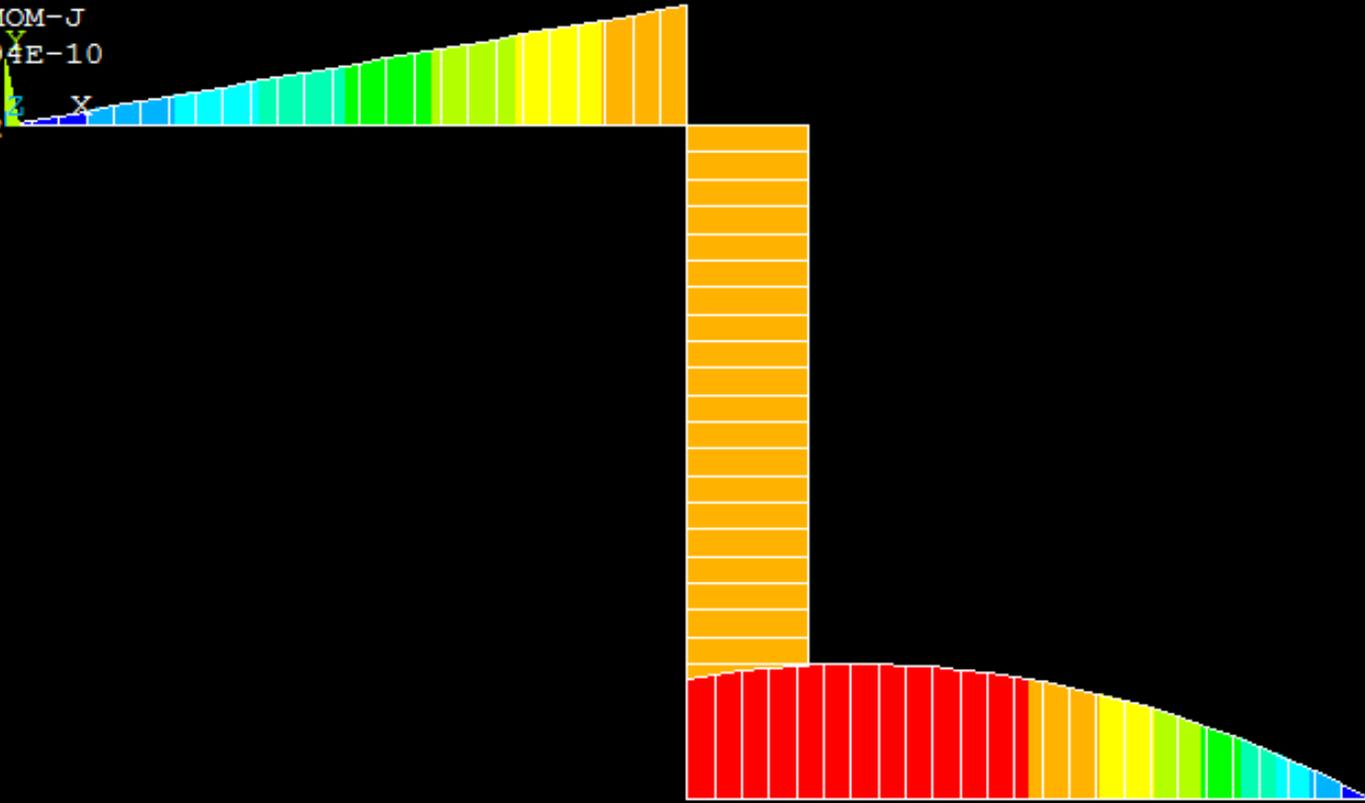
MIN =-.194E-10

ELEM=75

MAX =2812

ELEM=56

Diagramma del Momento



Esercitazione N.1 (Analisi dei RISULTATI)

General Postproc – Plot results – Contour Plot – Element Table

LIST – Results – selezionare quali risultati listare (es. Element Table Data)

The screenshot shows the ANSYS software interface. The 'Results' menu is open, and 'Element Table Data' is selected. The 'List Element Table Data' dialog box is open, showing a list of items to be listed: TAGLIO-I, TAGLIO-J, MOM-I, MOM-J, and Items 1-10 GRP1. The 'PRETAB Command' window is also visible, showing a table of element data.

STAT ELEM	CURRENT TAGLIO-I	CURRENT TAGLIO-J
1	-2500.0	-2500.0
2	-2500.0	-2500.0
3	-2500.0	-2500.0
4	-2500.0	-2500.0
5	-2500.0	-2500.0
6	-2500.0	-2500.0
7	-2500.0	-2500.0
8	-2500.0	-2500.0
9	-2500.0	-2500.0
10	-2500.0	-2500.0
11	-2500.0	-2500.0
12	-2500.0	-2500.0
13	-2500.0	-2500.0
14	-2500.0	-2500.0
15	-2500.0	-2500.0
16	-2500.0	-2500.0
17	-2500.0	-2500.0
18	-2500.0	-2500.0

Esercitazione N.1 (Analisi dei RISULTATI)

VISUALIZZARE LE REAZIONI VINCOLARI

Plotctrl – Symbols: all bc + reaction

oppure

List – Results – Reactions Solution

Esercitazione N.2

(Trave nello spazio con carico concentrato)

Verificare la struttura isostatica rappresentata in figura:

- Determinare le caratteristiche di sollecitazione.
- individuare lo stato tensionale nei punti critici.
- Verificare che nelle condizioni di esercizio la struttura possa resistere elasticamente con un coefficiente di sicurezza $X=1.25$.

Dati:

$$P = 75 \text{ kg}$$

$$l_1 = 300 \text{ mm}$$

$$l_2 = 180 \text{ mm}$$

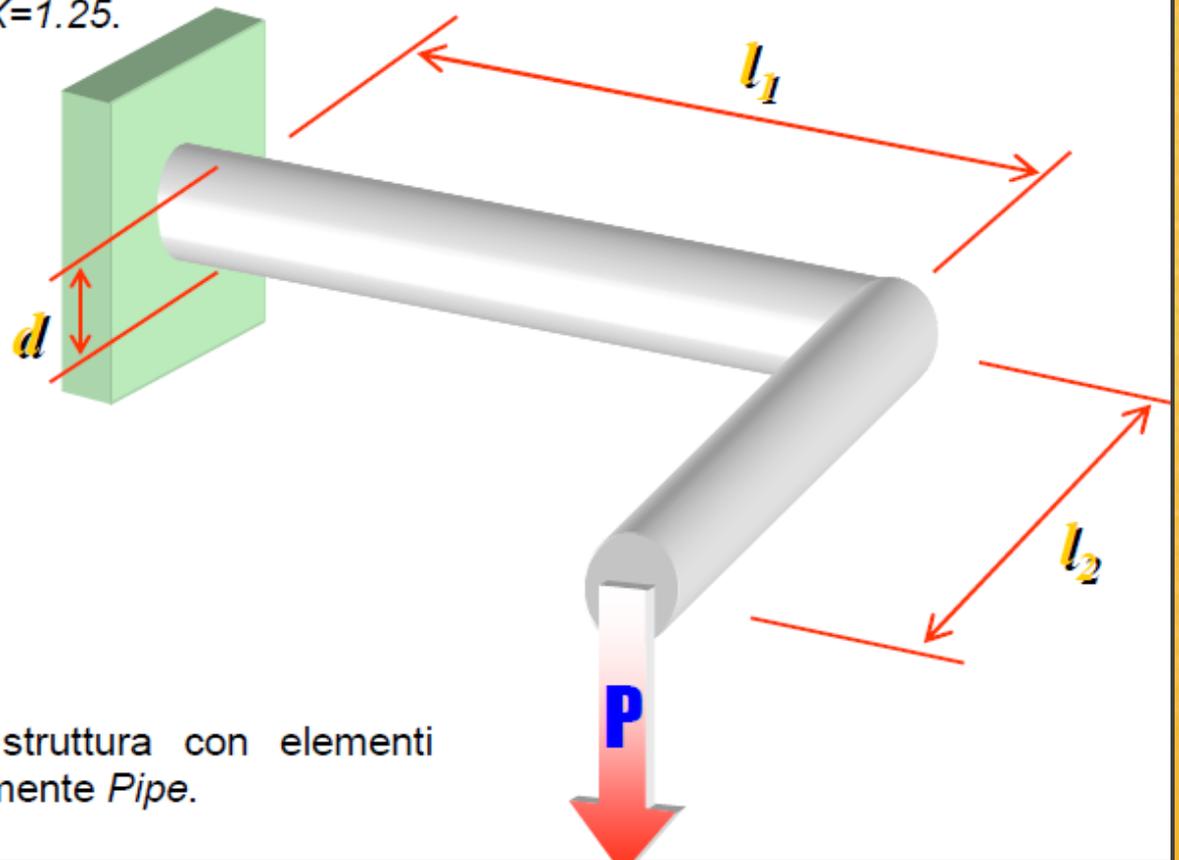
$$d = 16 \text{ mm}$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0.3$$

$$\sigma_y = 800 \text{ MPa}$$

N.B. modellare la struttura con elementi *Beam*, e successivamente *Pipe*.



Esercitazione N.2

(Trave nello spazio con carico concentrato)

New:

- *Elemento trave 3d, elemento pipe.*
- *Definizione sezione trasversale mediante real constants per trave 3d e pipe.*
- *Orientamento sezioni travi 3d.*
- *Definizione sezione trasversale mediante .. section*
- *Definizione grandezze di interesse mediante element table: visualizzazione caratteristiche di sollecitazione, sforzi assiali (flessione) e taglio (torsione), tensione equivalente secondo Von Mises, sia per l'elemento trave che pipe.*
- *Introduzione al linguaggio di scripting. Il salvataggio testuale.*

Esercitazione N.2 (Impostazioni base)

1. **Impostazione dell'elemento:** l'elemento più comune per l'analisi delle travi nello spazio è il BEAM4, ma ha delle limitazioni (pensato per travi che lavorano puramente a flessione, ha problemi nella visualizzazione delle grandezze). Nel nostro caso si userà il BEAM44 (versione più generale del BEAM4), che gestisce anche le torsioni).
2. **Impostazioni costanti:** sono diverse per ogni elemento, il BEAM44 ne ha alcune specifiche
3. **Impostazione materiale:** uguale all'esercitazione N.1
4. **Impostazione geometria:** uguale all'esercitazione N.1
5. **Creazione della mesh:** uguale all'esercitazione N.1
6. **Applicazione di carichi e vincoli:** uguale all'esercitazione N.1

Esercitazione N.2 (Costanti BEAM 44)

Real Constant Set Number 1, for BEAM44

Element Type Reference No. 1

Real Constant Set No.

Constants 1-24 (basic set)

Constants at node I (end 1)

Cross-sectional area AREA1

Z,Y moments of inertia IZ1 IY1

Z,Y bottom thickness TKZB1 TKYB1

Torsional moment of inertia IX1

X,Y,Z offsets DX1 DY1 DZ1

Z,Y top thickness TKZT1 TKYT1

Constants at node J (end 2)

Shear defl const SHEARZ SHEARY

Constants 25-30 (for shear and torsional stresses)

Shear areas end 1 ARESZ1 ARESY1

Shear areas end 2 ARESZ2 ARESY2

Torsional str factor TSF1 TSF2

Constants 31-36 (for shear offset and elastic foundation)

Shear cntr offset 1 DSCZ1 DSCY1

Shear cntr offset 2 DSCZ2 DSCY2

Foundation stiffnesses EFSZ EFSY

inverso modulo di resistenza a flessione

Esercitazione N.2 (Sollecitazioni)

Element Table – Define Table – Add: inserire i codici dei riferimenti per lo sforzo normale, il taglio ed il momento.

Per trovare tali codici bisogna cercarli nell'Help di elemento: nel nostro caso stiamo usando un elemento trave (BEAM44).

SMIN	NMISC	-	2	4
MFORX	SMISC	-	1	7
MFORY	SMISC	-	2	8
MFORZ	SMISC	-	3	9
MMOMX	SMISC	-	4	10
MMOMY	SMISC	-	5	11
MMOMZ	SMISC	-	6	12
SXY	SMISC	-	13	16

Esercitazione N.2 (Sigma Equivalente)

1) Bisogna trovare i codici della σ e della τ nell'Help di elemento: nel nostro caso stiamo usando un elemento trave (BEAM44).
Successivamente sarà necessario impostare la relazione matematica:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$



SMAX	NMISC	-	1	3
SMIN	NMISC	-	2	4
MFORX	SMISC	-	1	7
MFORY	SMISC	-	2	8
MFORZ	SMISC	-	3	9
MMOMX	SMISC	-	4	10
MMOMY	SMISC	-	5	11
MMOMZ	SMISC	-	6	12
SXY	SMISC	-	13	16
SXZ	SMISC	-	14	17
SYZ	SMISC	-	15	18

Esercitazione N.2 (Sigma Equivalente)

2) Elevamento a potenza di σ e della τ :

General Postproc – Element Table – Multiply

ANSYS Multiply Element Table Items

[SMULT] LabR = (FACT1 * Lab1) * (FACT2 * Lab2)

LabR User label for result

FACT1 1st Factor

Lab1 1st Element table item

FACT2 2nd Factor

Lab2 2nd Element table item

OK Apply Cancel

E' sufficiente moltiplicare i valori del nodo i-esimo (senza usare il j-esimo)

Successivamente i valori compariranno anche nella Element Table insieme agli altri inseriti in precedenza.

Label	Item	Comp	Time Stamp	Status
SIGMA-I	NMIS	1	Time= 1.0000	(Current)
SIGMA-J	NMIS	3	Time= 1.0000	(Current)
TAU-I	SMIS	15	Time= 1.0000	(Current)
TAU-J	SMIS	18	Time= 1.0000	(Current)
SQ	CALC	SMUL	Time= 1.0000	(Current)
TQ	CALC	SMUL	Time= 1.0000	(Current)

Esercitazione N.2 (Sigma Equivalente)

3) Somma di σ^2 e della $3\tau^2$:

General Postproc – Element Table – Add Items

[SADD] LabR = (FACT1 * Lab1) + (FACT2 * Lab2) + CONST	
LabR User label for result	<input type="text" value="WQ"/>
FACT1 1st Factor	<input type="text" value="1"/>
Lab1 1st Element table item	<input type="text" value="SQ"/>
FACT2 2nd Factor	<input type="text" value="3"/>
Lab2 2nd Element table item	<input type="text" value="TQ"/>
CONST Constant	<input type="text"/>

E' sufficiente selezionare i valori elevati al quadrato inseriti precedentemente e moltiplicarli per eventuali coefficienti.

Successivamente i valori compariranno anche nella Element Table insieme agli altri inseriti in precedenza.

Esercitazione N.2 (Sigma Equivalente)

4) Radice di $\sigma^2 + 3\tau^2$:

General Postproc – Element Table – Radice esponenziate

Exponentiate Element Table Items

[SEXP] LabR = (|Lab1| ** EXP1) * (|Lab2| ** EXP2)

LabR	User label for result	<input type="text" value="W"/>
Lab1	1st Element table item	<input type="text" value="WQ"/>
EXP1	1st Exponent	<input type="text" value="0,5"/>
Lab2	2nd Element table item	<input type="text" value="- none -"/>
EXP2	2nd Exponent	<input type="text" value="1"/>

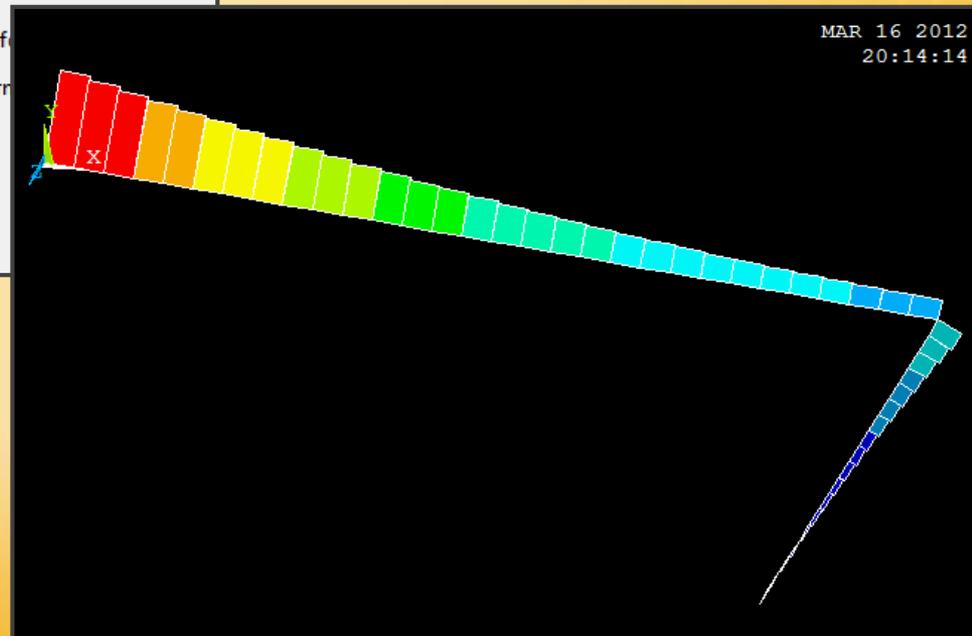
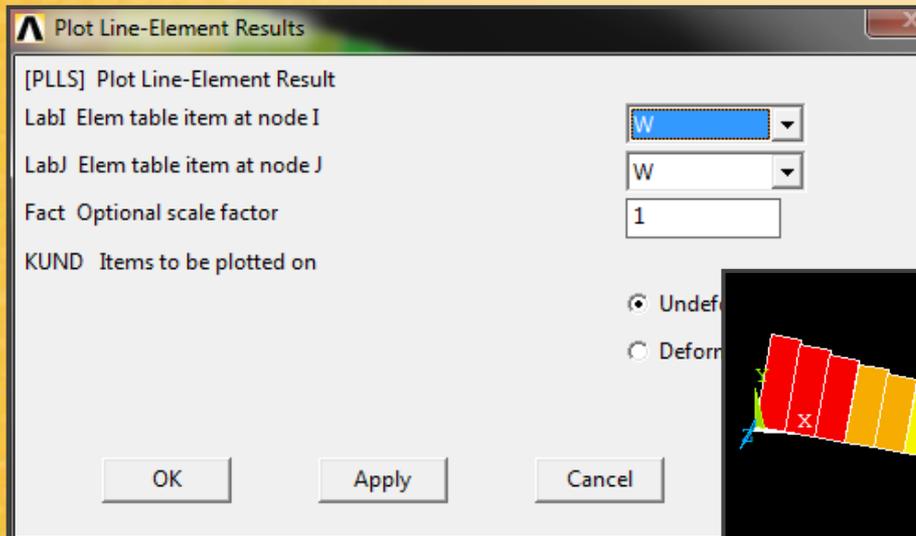
E' sufficiente selezionare la somma dei valori e usare il coefficiente della radice quadrata (0.5) per l'esponente.

Successivamente i valori compariranno anche nella Element Table insieme agli altri inseriti in precedenza.

Esercitazione N.2 (Sigma Equivalente)

5) Sigma equivalente, risultato grafico:

General Postproc - Plot Results - Contour Plot - Line Element Res



Esercitazione N.2

(Soluzione con l'elemento PIPE)

Elemento PIPE16, si usa per travi a sezione circolare piena o cava (tubi). Con questo elemento è più comodo mappare le grandezze, tipo la sigma equivalente.

Per ottenere la soluzione FEM senza reimpostare tutta l'analisi, ma soltanto cambiando l'elemento usato (PIPE) seguire la seguente procedura:

1. Cambiare elemento: **Preprocessing – Meshing – Clear Lines – Pick All** (elimino gli elementi BEAM 44)
2. Aggiungo il nuovo elemento PIPE16: **Preprocessor – Element Type – Add/Edit/Delete** (cancello il vecchio elemento BEAM 44)
3. Nelle **Real Constant**, cancellare il set definito per il BEAM 44 ed impostare quello per il PIPE 16
4. Successiva avviare la discretizzazione: **Meshing – Mesh – Lines – Pick All**
5. Calcolare la nuova **soluzione** con l'elemento PIPE16
6. Ri-mappatura dei dati: bisogna **riconfigurare i codici relativi all'elemento** scelto. Bisogna ricalcolare quindi la sigma equivalente.

Esercitazione N.2

(Soluzione con l'elemento PIPE)

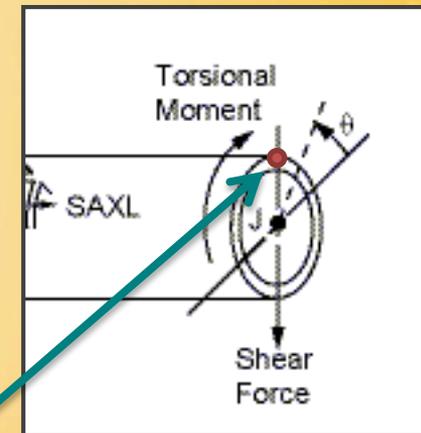
In questo caso, con l'elemento PIPE, la sigma equivalente si trova già tabellata e non va calcolata: **SEQV**

Table 16.3 PIPE16 Item and Sequence Numbers (Node I)

Output Quantity Name	Item	E	ETABLE and ES		
			0°	45°	90°
			SAXL	LS	-
SRAD	LS	-	2	6	10
SH	LS	-	3	7	11
SXH	LS	-	4	8	12
EPELAXL	LEPEL	-	1	5	9

S1	NMISC	-	1	6	11
S3	NMISC	-	3	8	13
SINT	NMISC	-	4	9	14
SEQV	NMISC	-	5	10	15
SEPR	NMISC	-	6	11	16

Il codice NMISC,5 o NMISC,10 dipende dalla coordinata angolare in cui si vuole calcolare la sigma equivalente.

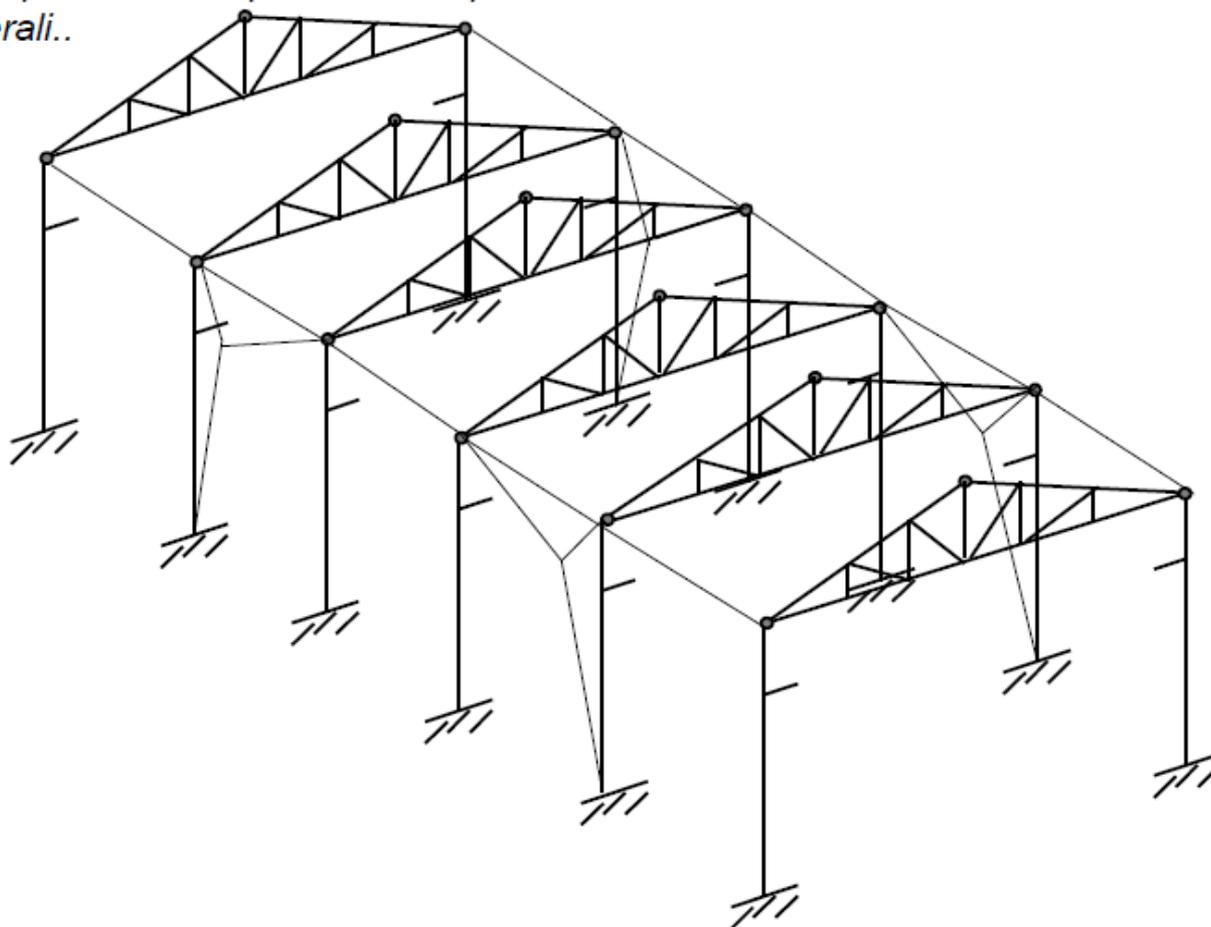


Il codice NMISC,5 corrisponde a 0°, quindi al punto rosso.

Esercitazione N.3

(Struttura portante di un capannone in acciaio)

Calcolare il coefficiente di sicurezza della struttura rappresentata in figura, soggetta a carico neve, peso proprio e peso del complesso carro-ponte. Si trascurino il carico vento e le controventature laterali..



Esercitazione N.3

(Struttura portante di un capannone in acciaio)

Dati:

$$L_1 = 5 \text{ m}$$

$$L_2 = 10 \text{ m}$$

$$L_3 = 1 \text{ m}$$

$$L_4 = 0.4 \text{ m}$$

$$\alpha = 20^\circ \quad \mathbf{15^\circ}$$

$$p_1 = 7200 \text{ N/m}$$

$$p_2 = 100000 \text{ N}$$

Fe430:

$$E = 200 \text{ GPa}, \nu = 0.3$$

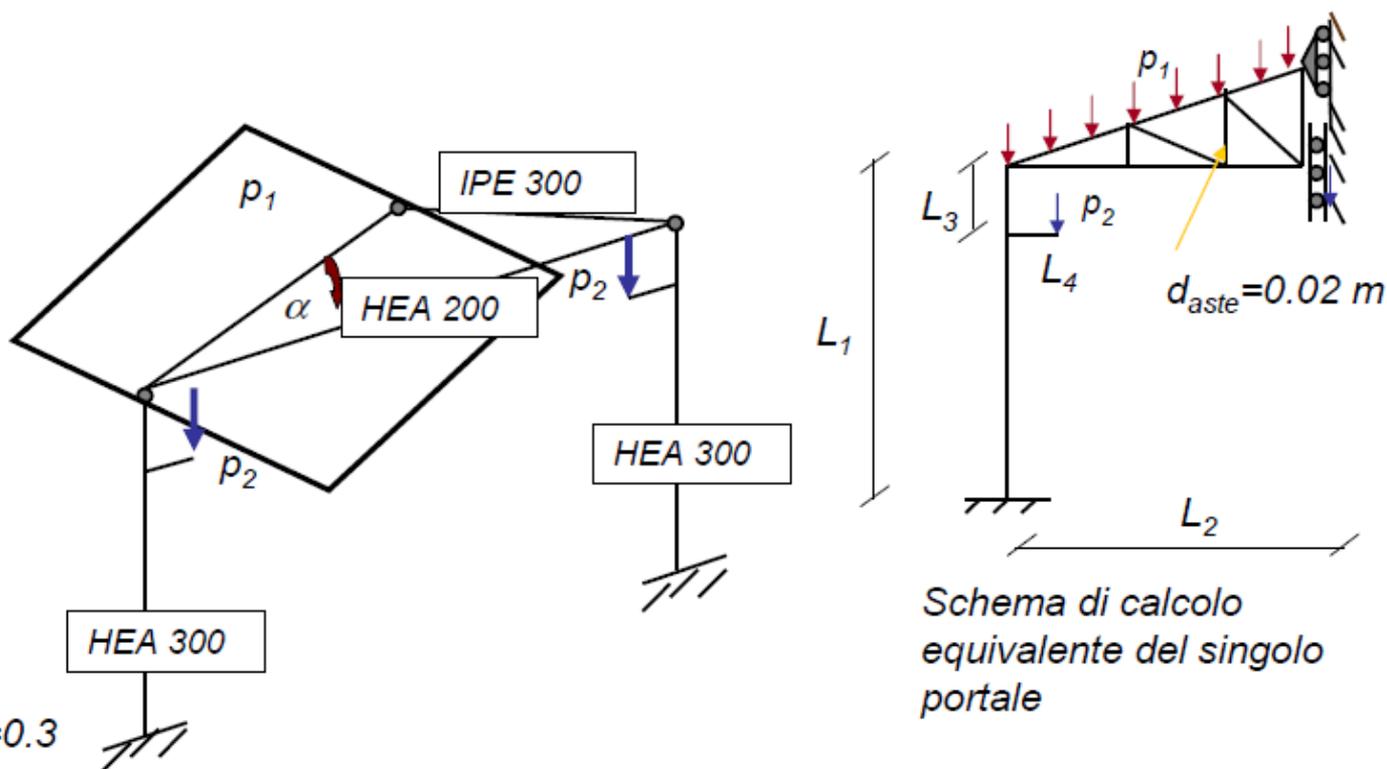
$$\sigma_y = 275 \text{ MPa}$$

$$\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$$

p_1 = quota del carico neve distribuito su singolo portale (verticale, in N/m)

p_2 = carico carro ponte (verticale, in N)

N.B. La geometria della capriata è "di fantasia"



Esercitazione N.3

(Struttura portante di un capannone in acciaio)

Profilo HEA 300:

$h=290 \text{ mm}$

$b=300 \text{ mm}$

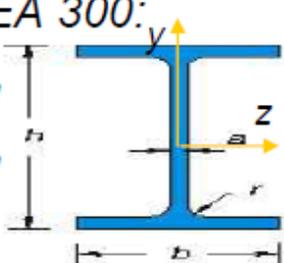
$a=8.5 \text{ mm}$

$e=14 \text{ mm}$

$A= 106.27 \text{ cm}^2$

$J_z= 17300 \text{ cm}^4$

$J_y= 6300 \text{ cm}^4$



Profilo HEA 200:

$h=190 \text{ mm}$

$b=200 \text{ mm}$

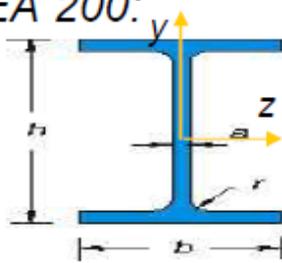
$a=6.5 \text{ mm}$

$e=10 \text{ mm}$

$A= 51.05 \text{ cm}^2$

$J_z= 3510 \text{ cm}^4$

$J_y= 1330 \text{ cm}^4$



Profilo IPE 300:

$h=300 \text{ mm}$

$b=150 \text{ mm}$

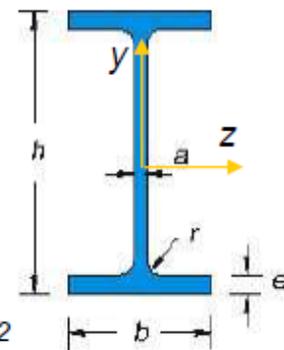
$A=7.1 \text{ mm}$

$e=10.7 \text{ mm}$

$A= 52.88 \text{ cm}^2$

$J_z= 8356 \text{ cm}^4$

$J_y= 603 \text{ cm}^4$



Aste:

$d= 20 \text{ mm}$

$A= 3.14 \text{ cm}^2$

Esercitazione N.3

(Struttura portante di un capannone in acciaio)

New:

- *Definizione caratteristiche della sezione mediante real constants o section.*
- *Orientamento delle sezioni nello spazio.*
- *Visualizzazione riferimenti di elemento e sezioni trasversali.*
- *Modellazione con più di un tipo di elemento.*
- *Modellazione con sezioni delle travi diverse.*
- *Sfruttamento condizioni di simmetria.*
- *Gestione vincoli interni (cerniere, snodi, glifi, etc).*
- *Funzionalità di copia del modellatore solido.*
- *Post-processing: visualizzazione dei valori numerici delle grandezze di interesse.*

Esercitazione N.3 (Impostazioni base)

1) Impostazione elemento: definizione di due elementi, BEAM44 per le travi HEA300, HEA200 ed IPE300, mentre LINK8 per le aste che funzionano da puntoni e tiranti.

2) Impostazioni costanti: sono diverse per ogni elemento, LINK 8 e BEAM44 (non si considera la torsione nelle costanti perché la struttura reagisce solo a flessione)

Ogni set di costanti si riferirà ad una tipologia di trave:

Set 1: asta diametro 0.02 m

Set 2: asta diametro 0.01 m

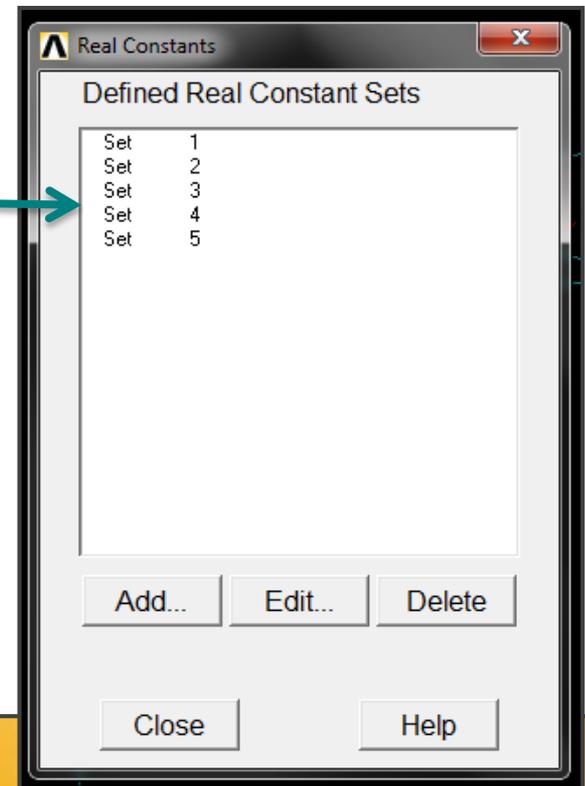
Set 3: HEA300

Set 4: HEA200

Set 5: IPE300

NB: assegnare correttamente i momenti d'inerzia in base agli assi della figura

3) Impostazione materiale: lineare, elastico, isotropo + densità per la forza peso della struttura (per l'impostazione della forza peso vedere le slide successive)



Esercitazione N.3 (Impostazioni base)

4) Impostazione geometria: si fissa un sistema di riferimento arbitrario e si assegnano le coordinate dei vari punti della struttura.

KEYPOINT

P1 (-10,0,0)

P2 (-10,4,0)

P3 (-9.6,4,0)

P4 (-10,5,0)

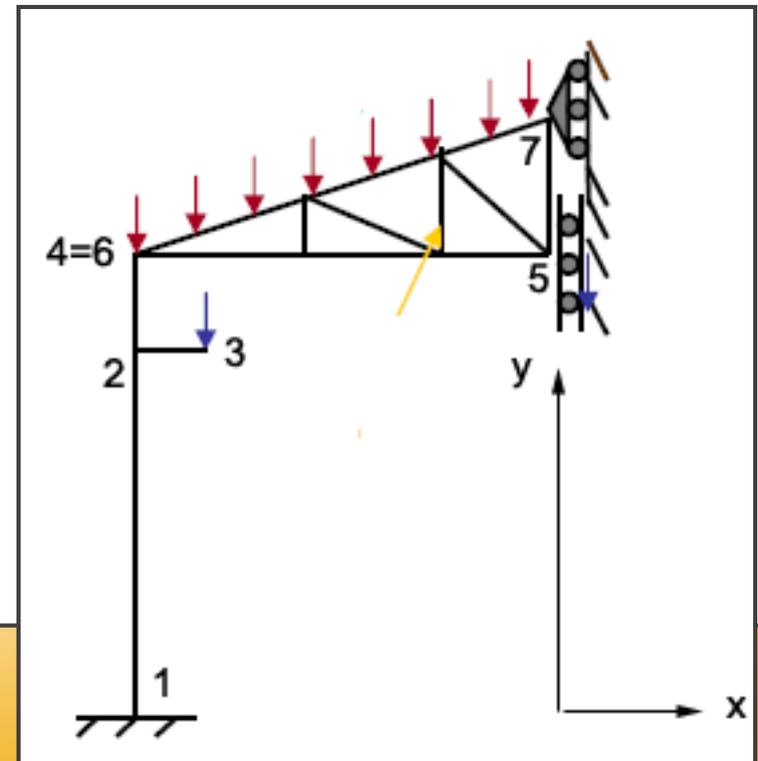
P5 (0,5,0)

P6 (-10,5,0)

P7 (0,7.6,0)

NB: Ci sono due punti coincidenti (4 e 6).
Collego il punto 4 al punto 5 ed al nodo 2,
mentre il nodo 6 lo collego al nodo 7.

Non creo al momento le aste,
che verranno modellate in seguito.

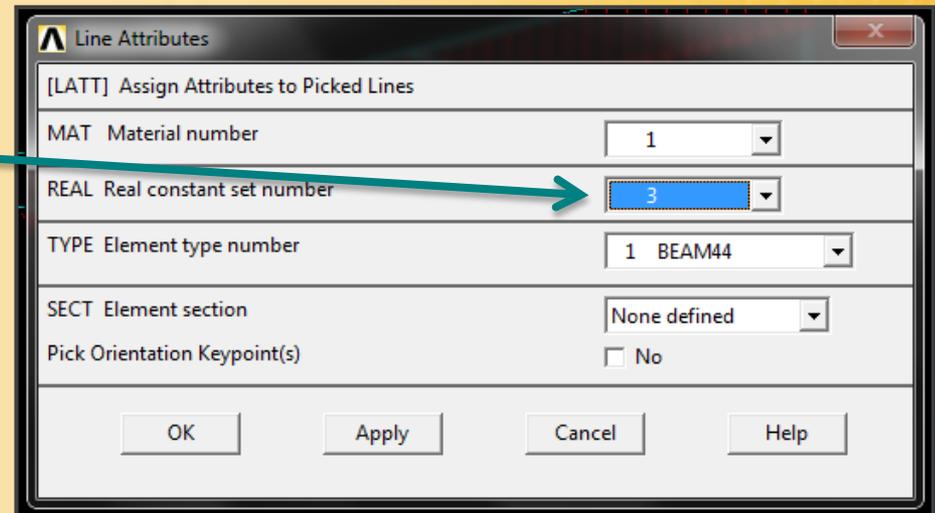


Esercitazione N.3 (Meshing)

Meshing - Mesh Attributes - Picked Lines: selezionare le linee a cui bisogna assegnare le Real Constant per le varie tipologie di trave (HEA300, HEA200, IPE300, ASTE...)

Il **Real Constant Set 3**, si riferisce alla HEA300 che è una BEAM44 (successivamente fare APPLY).

Ripetere la procedura per tutte le travi della struttura, cambiando di volta in volta il Real Constant Set.



Meshing – Size Cntrl – Manual Size – Line – Picked Lines

Discretizzazione degli elementi: 0.2 m di grandezza per gli elementi delle travi HEA300, mentre 50 divisioni per le travi HEA200 ed IPE300.

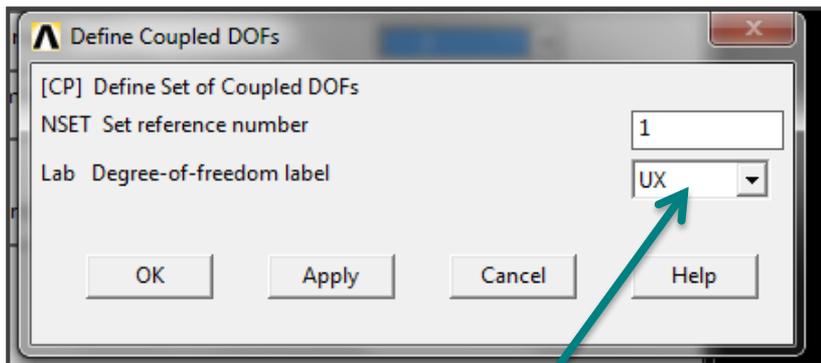
Mesh – Lines – Pick All

Esercitazione N.3 (Accoppiamento GDL)

La cerniera dove sono sovrapposti i punti 4 e 6, nello spazio è uno snodo sferico, quindi bisogna accoppiare i gradi di libertà (stessi spostamenti per i due punti). Impostazione di vincoli interni.

Preprocessor - Coupling/Ceqn - Couple DOFs:

Seleziono i due nodi sovrapposti, prima uno e poi l'altro, poi fare «Apply»



Selezionare i gradi di libertà da accoppiare

Ripetere tre volte lo stesso procedimento per **UX**, **UY**, ed **UZ** (stessi spostamenti)

NB: tale procedura si effettua solo sull'elemento già discretizzato e non sulla geometria, è quindi prima necessario prima fare la mesh!

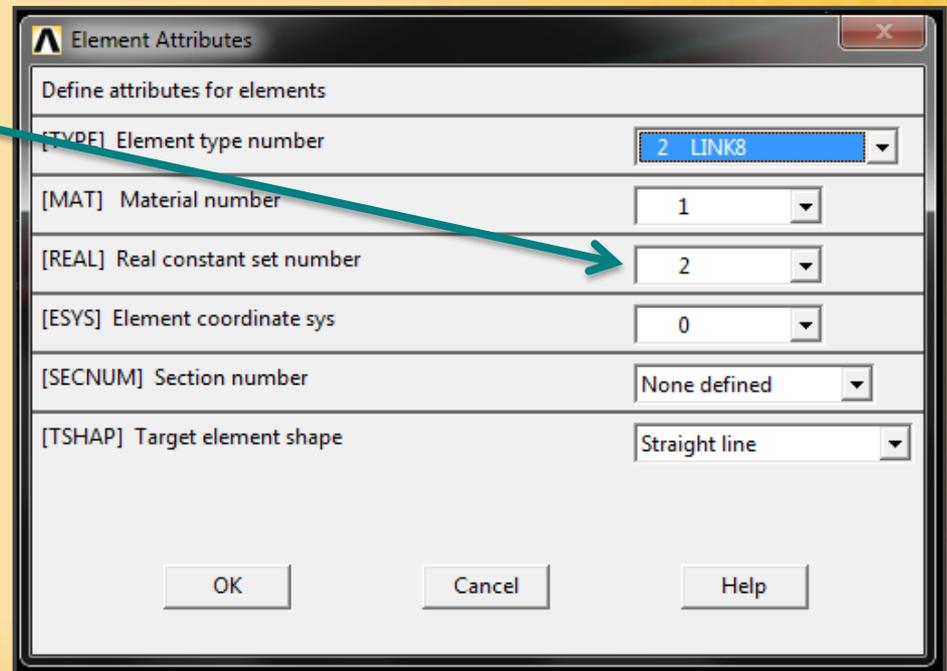
Esercitazione N.3 (Creazione delle ASTE/LINK)

Si crea direttamente l'elemento asta (chiamato **LINK8**) tra due nodi delle travi.

Modeling - Create - Elements - Elements Attributes

Indicare quale Set di costanti è associato all'asta che si andrà a realizzare tra i due nodi.

Modeling - Create - Elements - Auto numbered - Tru nodes: selezionare i due nodi tra cui si vuole creare l'elemento asta e poi fare «Apply».



NB: prima creare le aste con sezione 0.02m, poi cambiare gli attributi e realizzare l'asta con sezione di 0.01 m (posizione delle aste arbitraria, circa ad 1/3).

Esercitazione N.3 (Vincoli nello spazio)

Impostare i vincoli sempre sulla geometria (On Keypoints).

Carrello: blocco spostamento lungo x (**UX**), lungo z (**UZ**) e rotazione y (**ROTY**)

Pattino: blocco rotazione y (**ROTY**) e z (**ROTZ**) e spostamento lungo x (**UX**)

Incastro: All DOF

NB: In questo modo la trave che unisce i punti 4 e 6 è isostatica (3+3 GDL bloccati).

Se non si fosse bloccata la rotazione ROTY, il programma non sarebbe riuscito a calcolare la soluzione poiché il sistema sarebbe risultato labile, e sarebbe comparso un msg di errore nella finestra DOS.

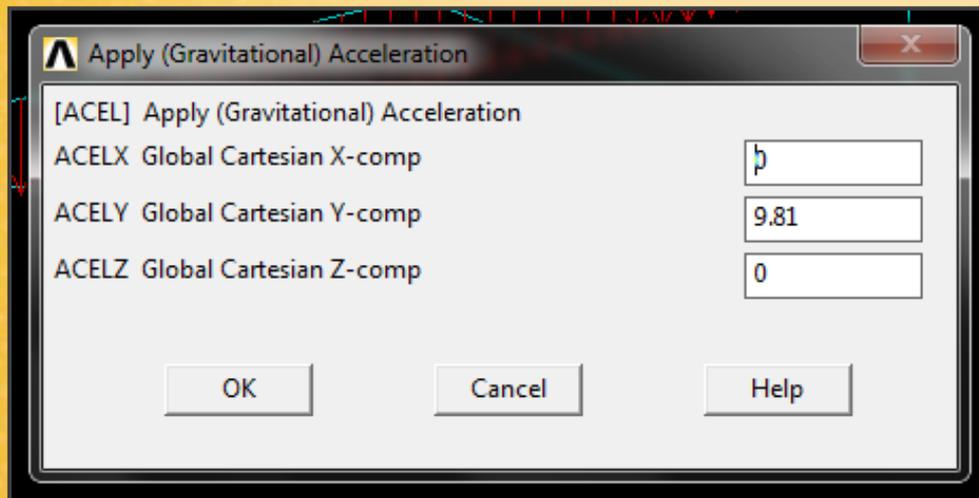
La trave che unisce gli altri punti, essendo incastrata è già isostatica (6GDL).

Esercitazione N.3 (Peso della struttura)

Per impostare il **peso proprio della struttura** si inserisce l'effetto della **gravità**, con un'accelerazione generale verso l'alto.

Load - Define Load - Apply - Structural - Inertia - Gravity - Global:

+ 9.81 lungo y verso l'alto



NB: bisogna aver definito prima la densità del materiale!

Esercitazione N.3 (Carico distribuito)

Per rappresentare il carico distribuito di forma triangolare, si possono inserire tanti carichi concentrati sui nodi che parametrizzo l'asta inclinata IPE300.

Bisogna quindi calcolare il carico concentrato da mettere su ogni nodo:

$$7200 \text{ N/m} * 10,35 \text{ m (lunghezza trave IPE300)} = 74520 \text{ N}$$

$$74520 \text{ N}/51 \text{ (nodi)} = 1461 \text{ N}$$

Posso impostare la formula direttamente all'interno del programma in caso contrario.

NB: bisogna selezionare solamente i nodi della trave IPE300, per fare ciò si può procedere manualmente oppure attuando la procedura nella seguente slide.

Carico concentrato: inserire semplicemente il carico concentrato di 100000 N al nodo numero 3.

Esercitazione N.3 (Carico distribuito)

Bisogna selezionare prima le entità geometriche e successivamente i nodi che si trovano sopra le entità geometriche, in questo caso le linee.

1) Select – Entities: Lines – Pick lines :

seleziono la linea della trave IPE300

2) Plot – Lines: si visualizza solo la linea selezionata

3) Select – Entities: nodes attached to lines

4) Plot – Nodes: visualizzo solo i nodi selezionati

5) Applico il carico ai nodi rimasti selezionati

6) Select – Everything: per riattivare la visualizzazione di tutti gli elementi (**importante!**), altrimenti durante l'analisi FEM non verranno presi in considerazione gli elementi non selezionati.



Esercitazione N.3 (Schema del modello)

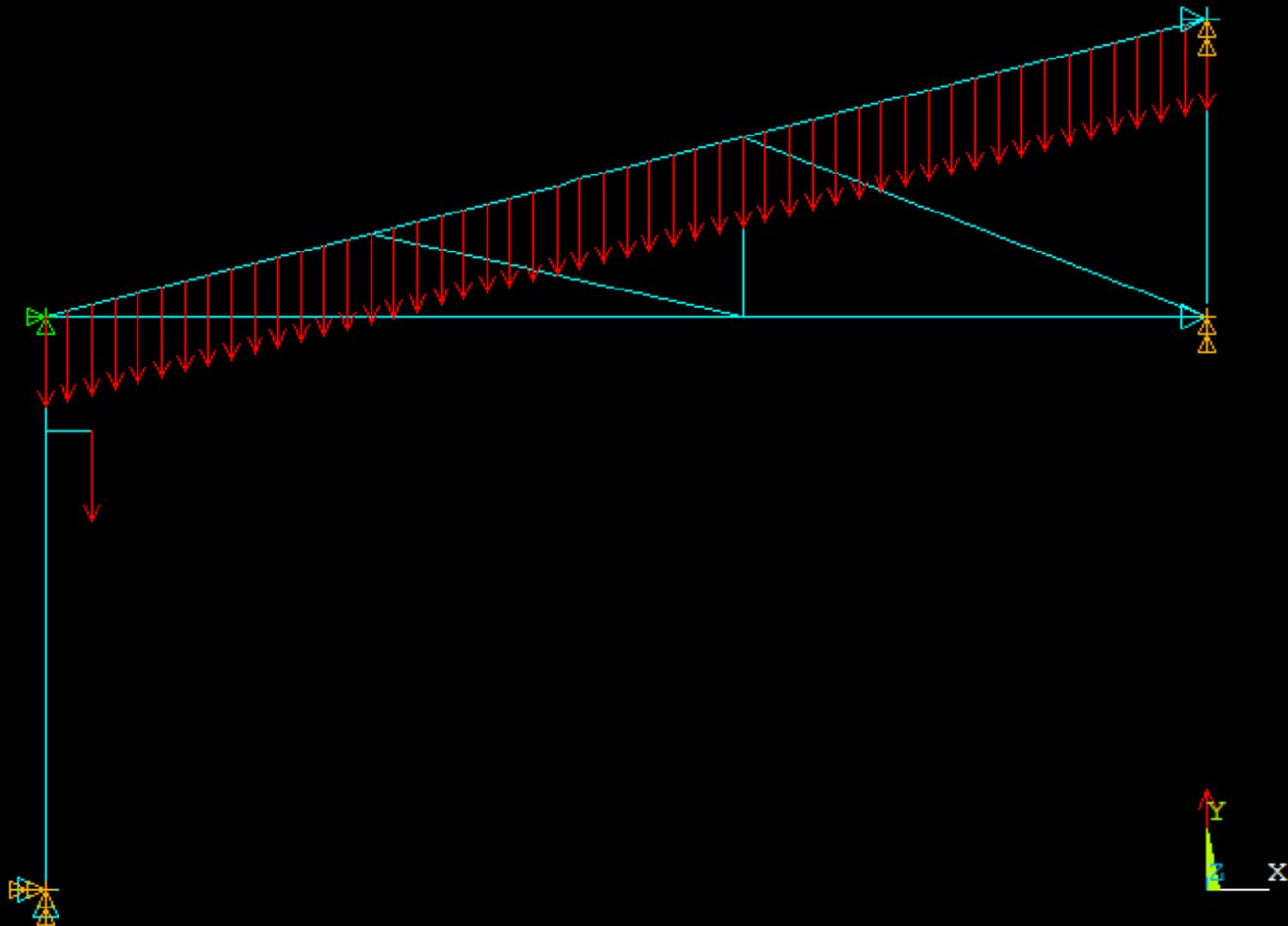
1

ELEMENTS

F

CP

ACEL



Esercitazione N.3 (Calcolo della SOLUZIONE)

Solution - Solve - Current LS

General Postproc - Plot Results - Deformed Shape (Deformata)

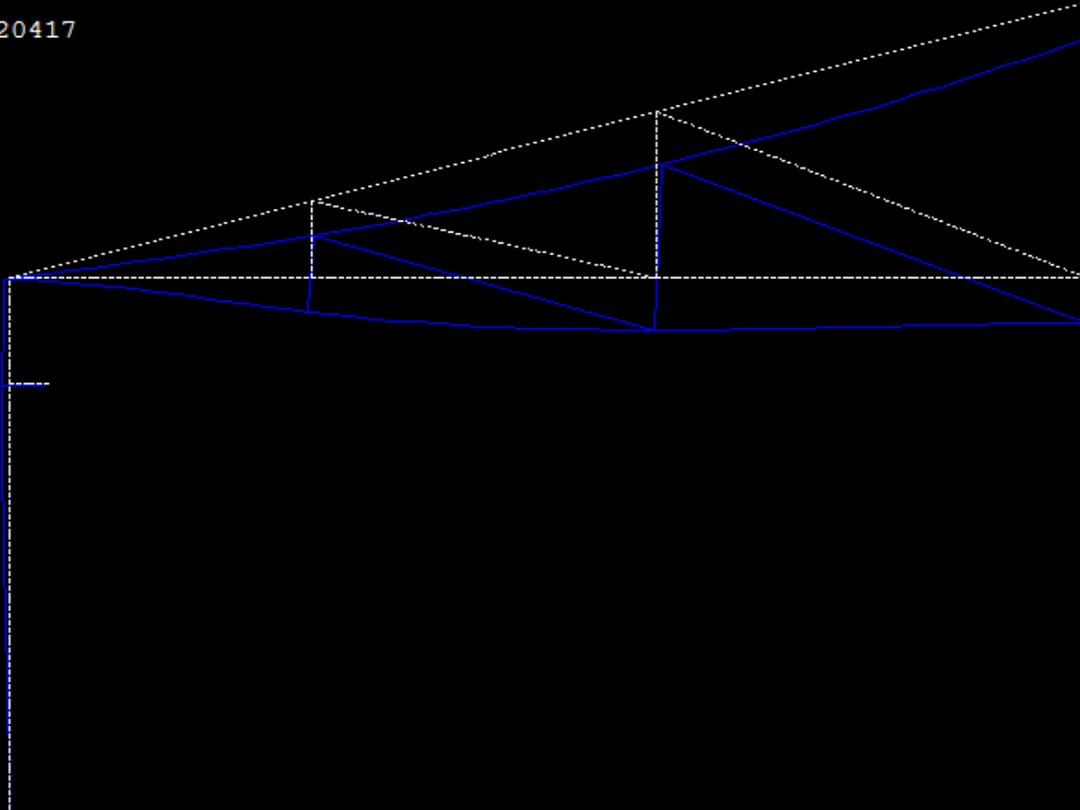
DISPLACEMENT

STEP=1

SUB =1

TIME=1

DMX =.020417



Esercitazione N.3 (Sollecitazioni)

Per le travi i codici della sigma min e max sono i seguenti:

EPINAXL	LEPTH	11	-	-
SMAX	NMISC	-	1	3
SMIN	NMISC	-	2	4
MFORX	SMISC	-	1	7
MFORX	SMISC	-	2	8

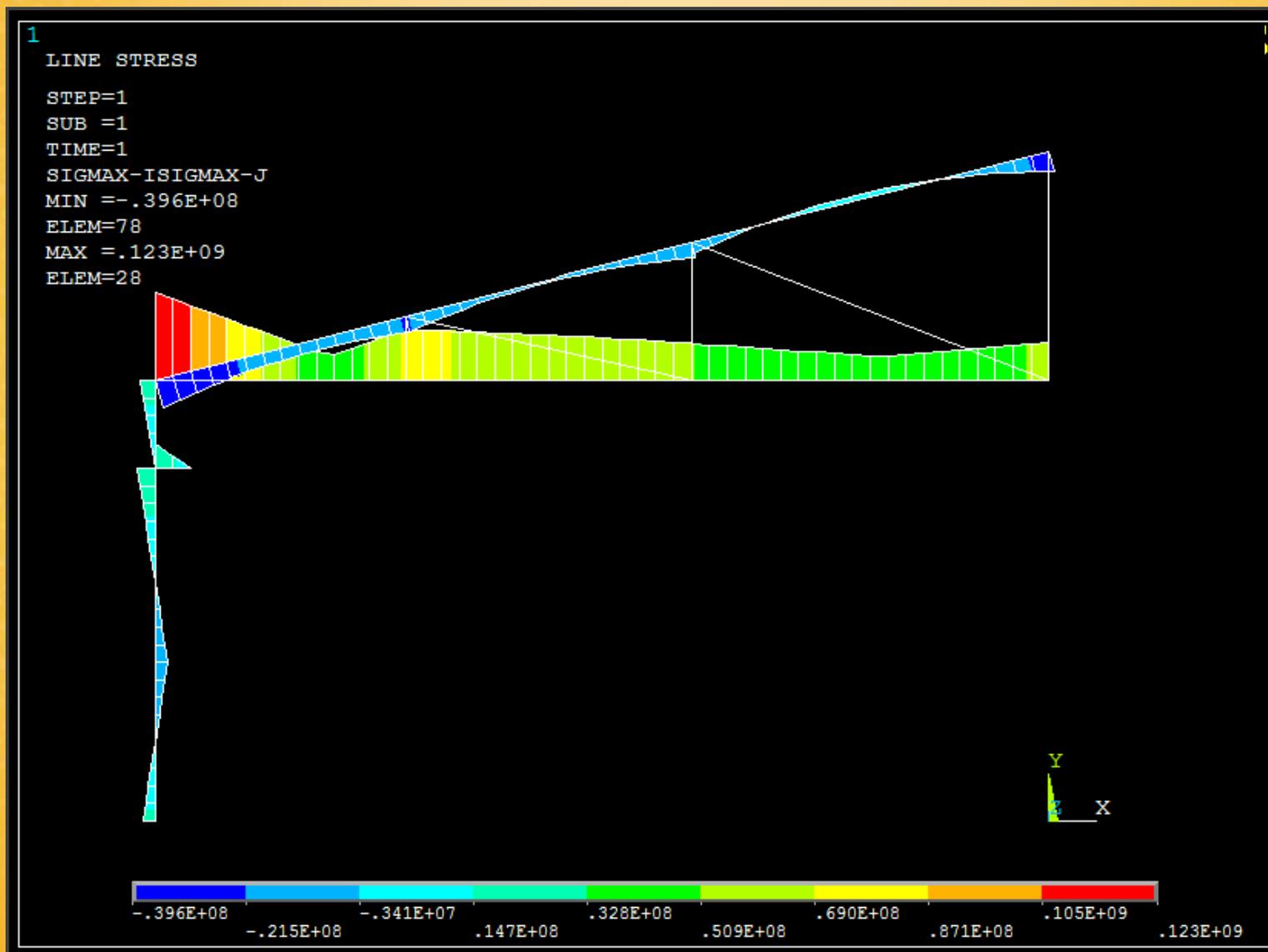
Per le aste i codici della sigma sono i seguenti: le aste reagiscono solo a compressione o trazione.

	Item	E	I	J
SAXL	LS	1	-	-
EBELAYI	LEBEL	1		

Coefficiente sicurezza della struttura:

$$X = \text{sigma snerv.} / \text{sig max} = 275 \text{ MPa} / 263 \text{ MPa} = 1$$

Esercitazione N.3 (Sigma MAX)



Esercitazione N.3 (Sigma MIN)

1

LINE STRESS

STEP=1

SUB =1

TIME=1

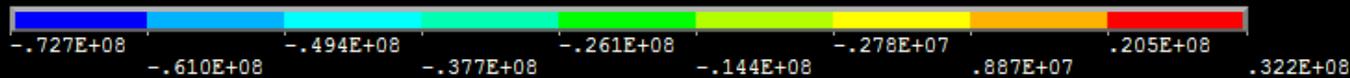
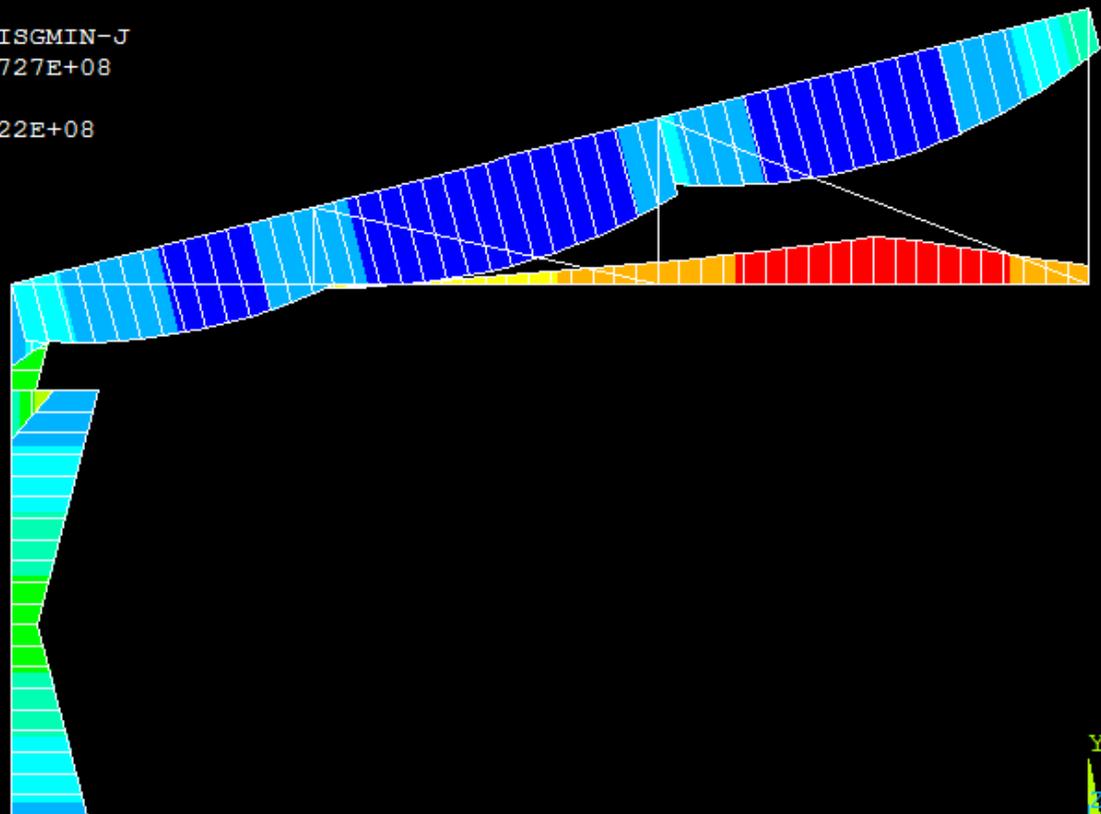
SIGMIN-ISGMIN-J

MIN =-.727E+08

ELEM=99

MAX =.322E+08

ELEM=67



Esercitazione N.3 (Sigma ASTE/LINK)

1

LINE STRESS

STEP=1

SUB =1

TIME=1

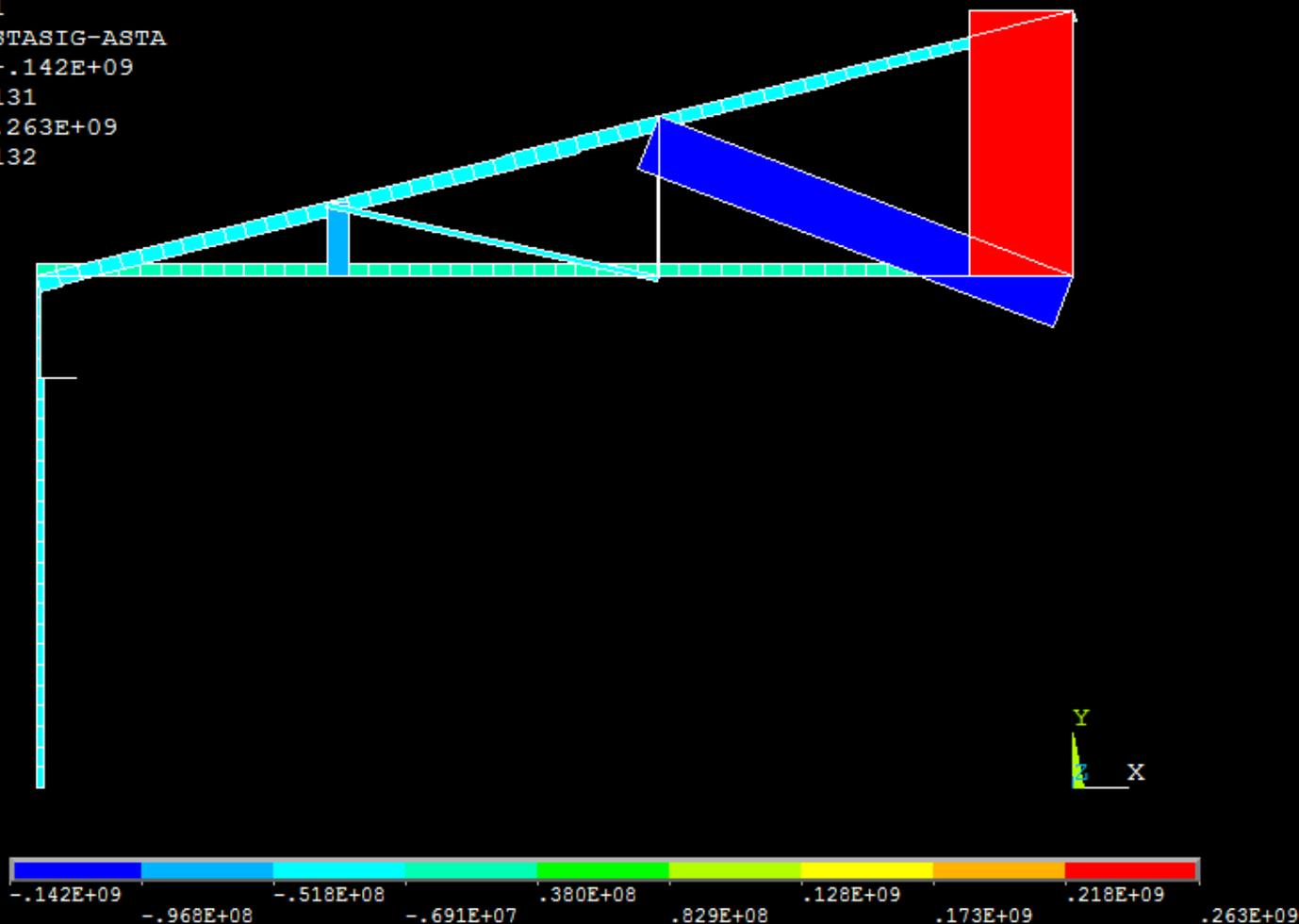
SIG-ASTASIG-ASTA

MIN =-.142E+09

ELEM=131

MAX =.263E+09

ELEM=132



Esercitazione N.4

(Scripting: trave piana, carico variabile)

Individuare la sezione critica della trave piana a sezione rettangolare costante indicata in figura, nelle condizioni di carico e vincolo riportate. Il punto di applicazione del carico si sposta lungo tutta la lunghezza AC della trave.

Modello materiale:

Elastico-lineare

Dati:

$E = 200 \text{ GPa}$

$\nu = 0.3$

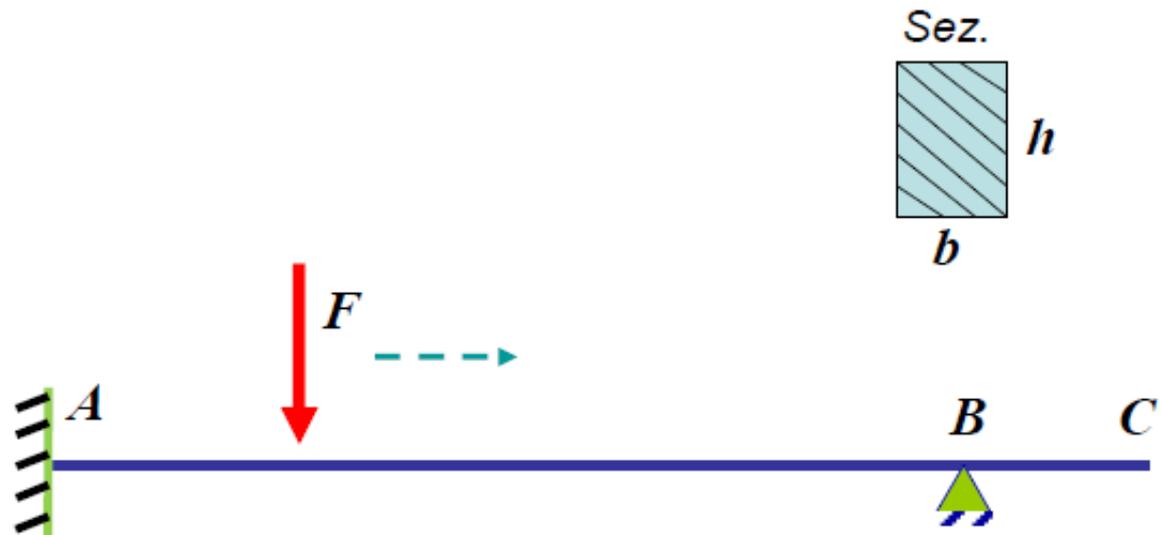
$AC = 16 \text{ m}$

$BC = 2 \text{ m}$

$b = 0.1 \text{ m}$

$h = 0.3 \text{ m}$

$F = 100 \text{ kN}$



Esercitazione N.4

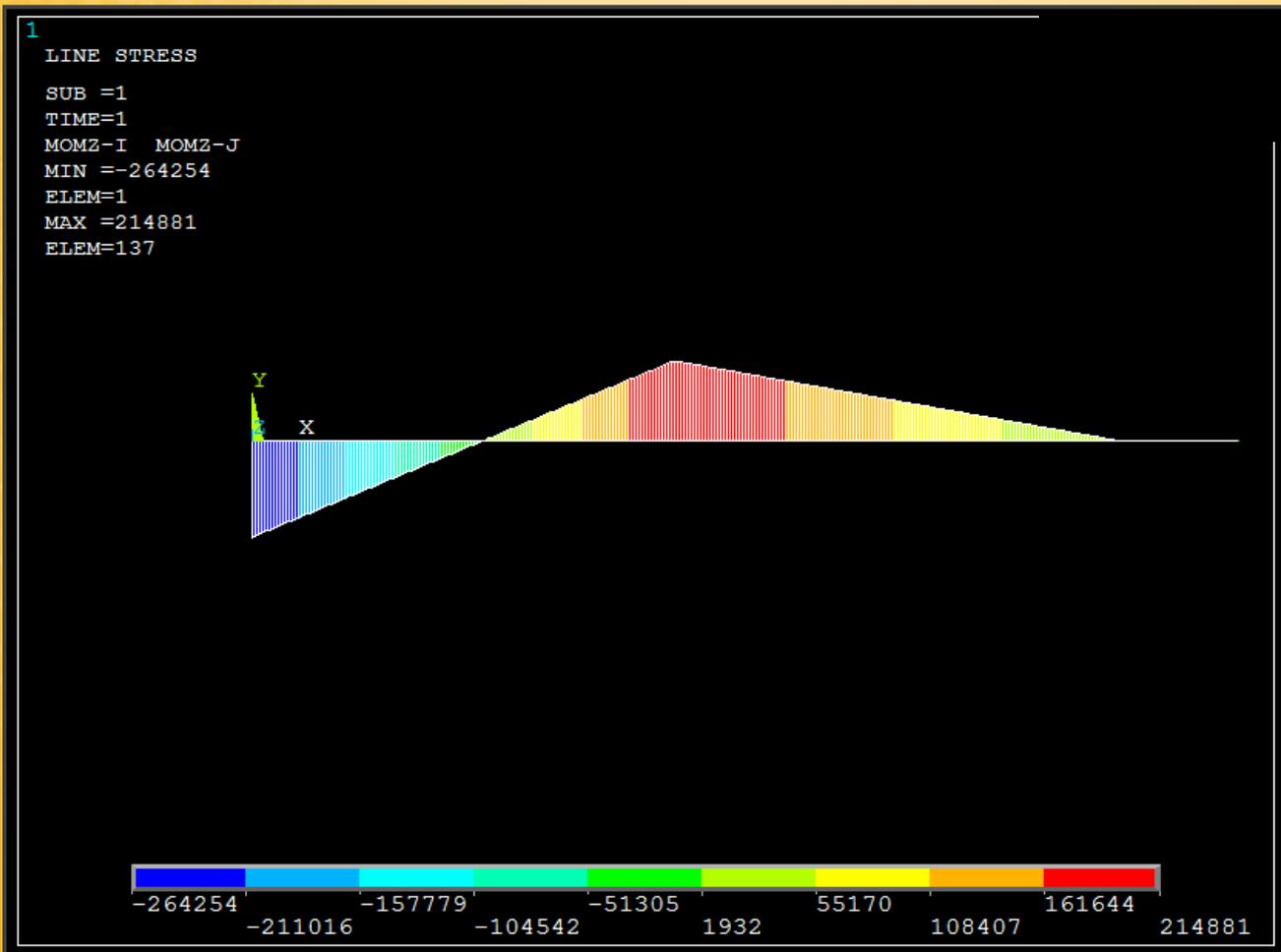
(Scripting: trave piana, carico variabile)

New:

- *Introduzione al linguaggio di scripting: elementi finiti e programmazione.*
- *Salvataggio testuale.*
- *Analisi parametriche: definizione variabili per via testuale e tramite interfaccia grafica.*

Esercitazione N.4 (Modellazione ed Analisi)

Si modella e si effettua l'analisi della struttura nella classica maniera. Successivamente si determina l'andamento del momento flettente, che interessa per determinare la sezione critica.

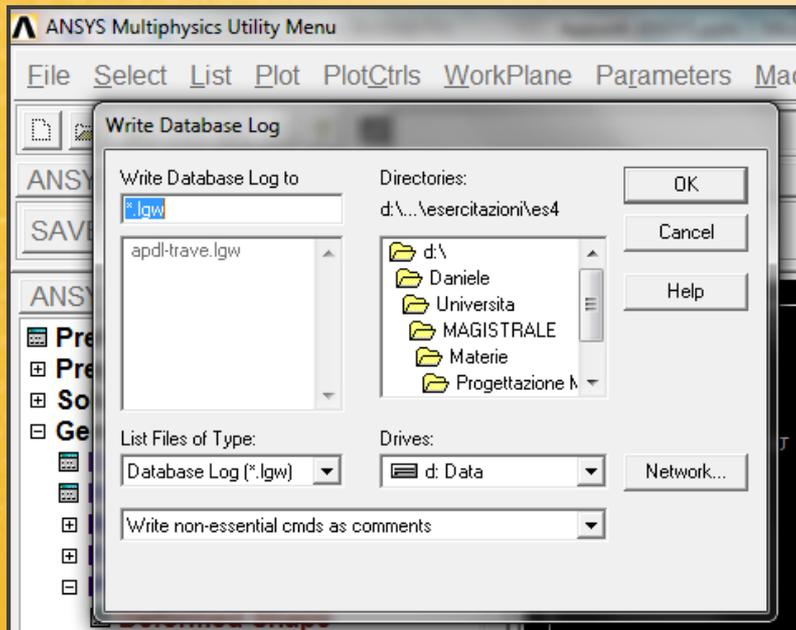


Esercitazione N.4 (Salvataggio testuale)

File - Write DB log file: questo comando serve per salvare su un file di testo (formato **.lgw**) l'equivalente testuale del lavoro realizzato (es. modellazione). Rappresenta la sequenza esatta delle operazioni che sono state effettuate. Questo file può essere ricaricato successivamente in ANSYS.

NB: cambiando l'estensione del file in **.txt** non cambia nulla.

File - Read Input From: ricarica il file **.lgw**, ed il programma esegue in automatico le operazioni, ripristinando la situazione antecedente al salvataggio del file.



Esercitazione N.4 (Il file .lgw)

Analisi del file .lgw attraverso un editor di testo (notepad++)

/PREP7 (click sul menu Preprocessor)

ET,1,BEAM3 (definizione dell'elemento BEAM3)

(in alcune finestra di Ansys c'è scritto l'equivalente del comando testuale)

KEYOPT,1,6,1 (keyoption)

KEYOPT,1,9,0

*R,1,0.1*0.3,1/12*0.1*0.3**3,0.3, , , (definizione real constant)*

MPDATA,EX,1,,200e9 (definizione del materiale)

MPDATA,PRXY,1,,0.3

LSTR, 1, 2 (creazione delle linee tra punti)

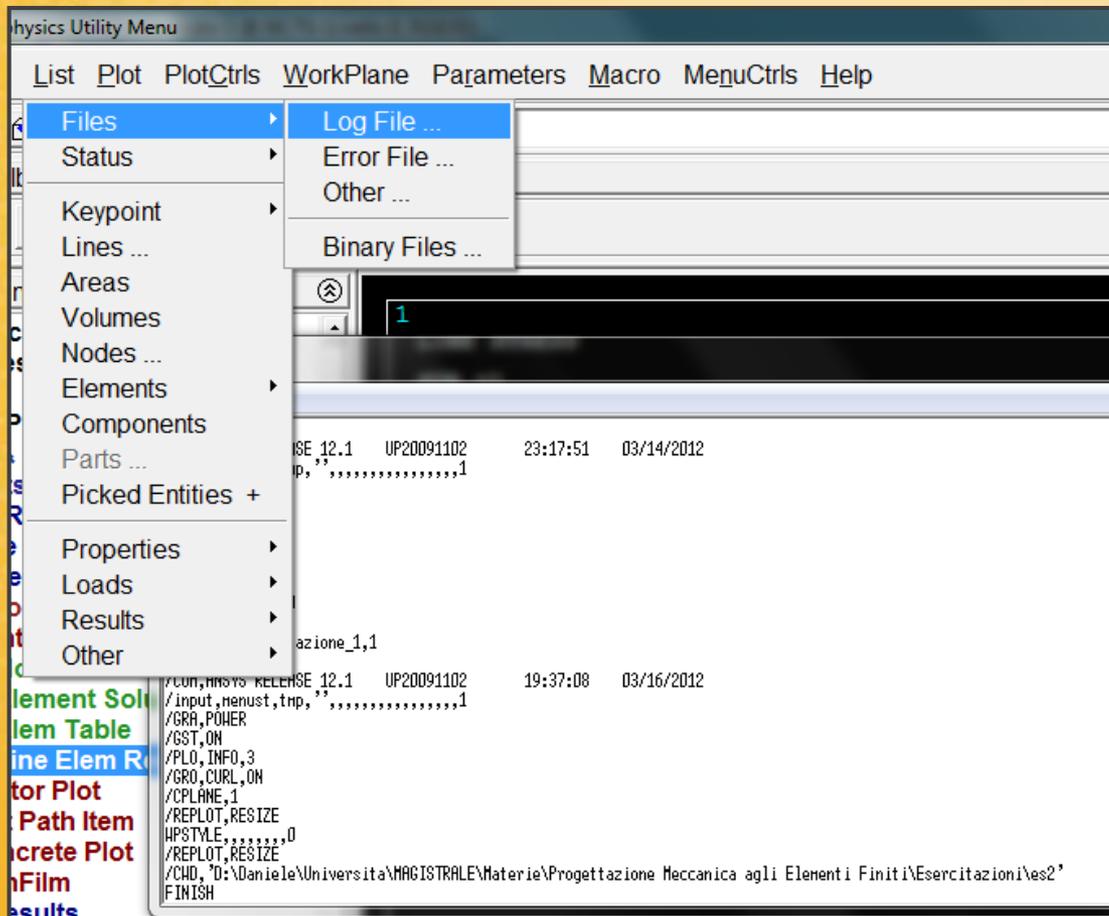
LSTR, 2, 3

ecc...

Esercitazione N.4 (Lista operazione / Backup)

List - File - Log File: elenca la sequenza di operazioni che sono state effettuate dentro ANSYS da una determinata data in poi.

Serve anche per vedere l'equivalente testuale di un comando grafico.



Esercitazione N.4 (Analisi parametrica)

All'interno del file .lgw c'è la possibilità di **definire delle specifiche variabili**: ad esempio è possibile modificare in automatico il valore di una forza senza cambiare ogni volta il suo valore manualmente.

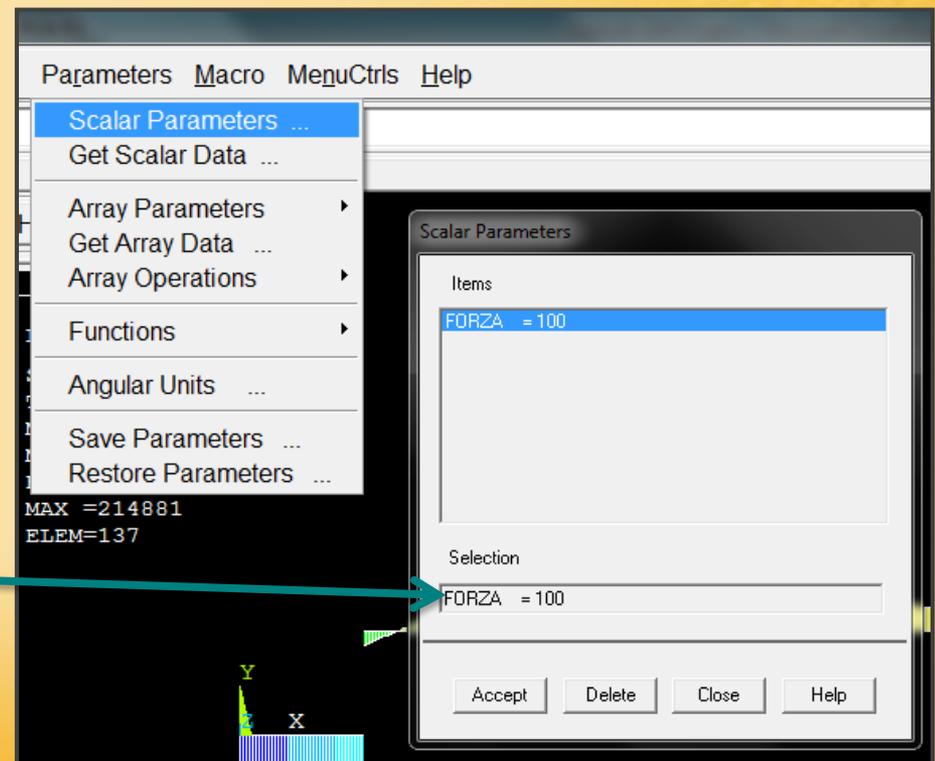
Esempio: forza, **variabile XUP** = 100000

nel file sostituisco la variabile **XUP** in tutti i punti in cui è presente la forza

Come inserire delle variabili dall'interfaccia grafica:

Parametres - Scalar parametres

si definiscono delle variabili che posso riutilizzare nei campi dell'interfaccia grafica, ad esempio: Invece del valore dei carichi, scrivo direttamente il nome della variabile **«forza»**



Esercitazione N.4 (Programmazione testuale)

```
apdl-trave.lgw
1 !pulisco e ricomincio da capo
2 FINISH
3 /CLEAR
4
5 !definizioni costanti
6 FORZA=-100000
7 XUP=14
8 LUNG=16
9 BASE=0.1
10 ALT=0.3
11 NPASSI=50
12
13 !entro nel preprocessore
14 /PREP7
15
16 !definizione elemento
17 ET,1,BEAM3
18
19 !definizione keypoint
20 KEYOPT,1,6,1
21 KEYOPT,1,9,0
22
23 !definizione real constant
24 R,1,BASE*ALT,1/12*BASE*ALT**3,ALT, , , ,
25
26 !definizione materiale
27 MPTEMP,,,,,,,,
28 MPTEMP,1,0
29 MPDATA,EX,1,,200e9
30 MPDATA,PRXY,1,,0.3
31
```

Programmazione tramite interfaccia testuale, del carico mobile lungo la trave:

1. Pulizia del file originale .lgw
2. Inserimento delle variabili
3. Divisione ed inserimento dei commenti nelle varie sezioni del file
4. Impostazione del ciclo per il carico mobile lungo la trave
5. Salvataggio dei dati in una nuova variabile
6. Plottaggio del valore massimo del momento nelle singole sezioni della trave, per ogni posizione del carico

Esercitazione N.4 (Programmazione testuale)

```
apdl-trave.lgw
32 !definizione keypoint
33 K,1,0,0,0
34 K,2,XUP,0,0
35 K,3,LUNG,0,0
36
37 !creazione delle linee
38 LSTR, 1, 2
39 LSTR, 2, 3
40
41 !finezza mesh
42 LESIZE,ALL,0.05, , , ,1, , ,1,
43
44 !crea la mesh su tutte le linee
45 LMESH,ALL
46
47 !il comando /EOF termina il caricamento del file, fino al punto in cui ho scritto il comando
48
49 !definizione dei vincoli
50 DK,1,ALL,0
51 DK,2,UY,0
52
53 !entro nel postprocessore
54 FINISH
55 /POST1
56
57 !definizione di una variabile momento massimo
58 ETABLE,MMAX,
59
60 !prendo i valori in modulo, mi interessa il valore assoluto del momento
61 SABS,1
```

Esercitazione N.4 (Programmazione testuale)

apdl-trave.lgw

```
64 !apertura del ciclo
65 !come scrivere un ciclo dentro ansys *DO,I,1,N e chiudo *ENDDO
66 *DO,I,1,NPASSI
67
68     !rientro nel preprocessore
69     FINISH
70     /PREP7
71
72     !cancello una forza persistente
73     FDELETE,ALL,ALL
74
75     !definizione della forza, il comando NODE(x,y,z) mi definisce la coordinata di applicazione della forza
76     !definizione come sposta il carico in maniere iterativa
77     F,NODE((I-1)/(NPASSI-1)*LUNG,0,0),FY,FORZA
78
79     !fine preprocessore
80     FINISH
81
82     !entro nella soluzione
83     /SOL
84     SOLVE
85     FINISH
86
87     !entro nel postprocessore
88     /POST1
89     AVPRIN,0, ,
90
91     !definisco l'element table
92     ETABLE,MOMZ-I,SMISC,6
93     ETABLE,MOMZ-J,SMISC,12
```

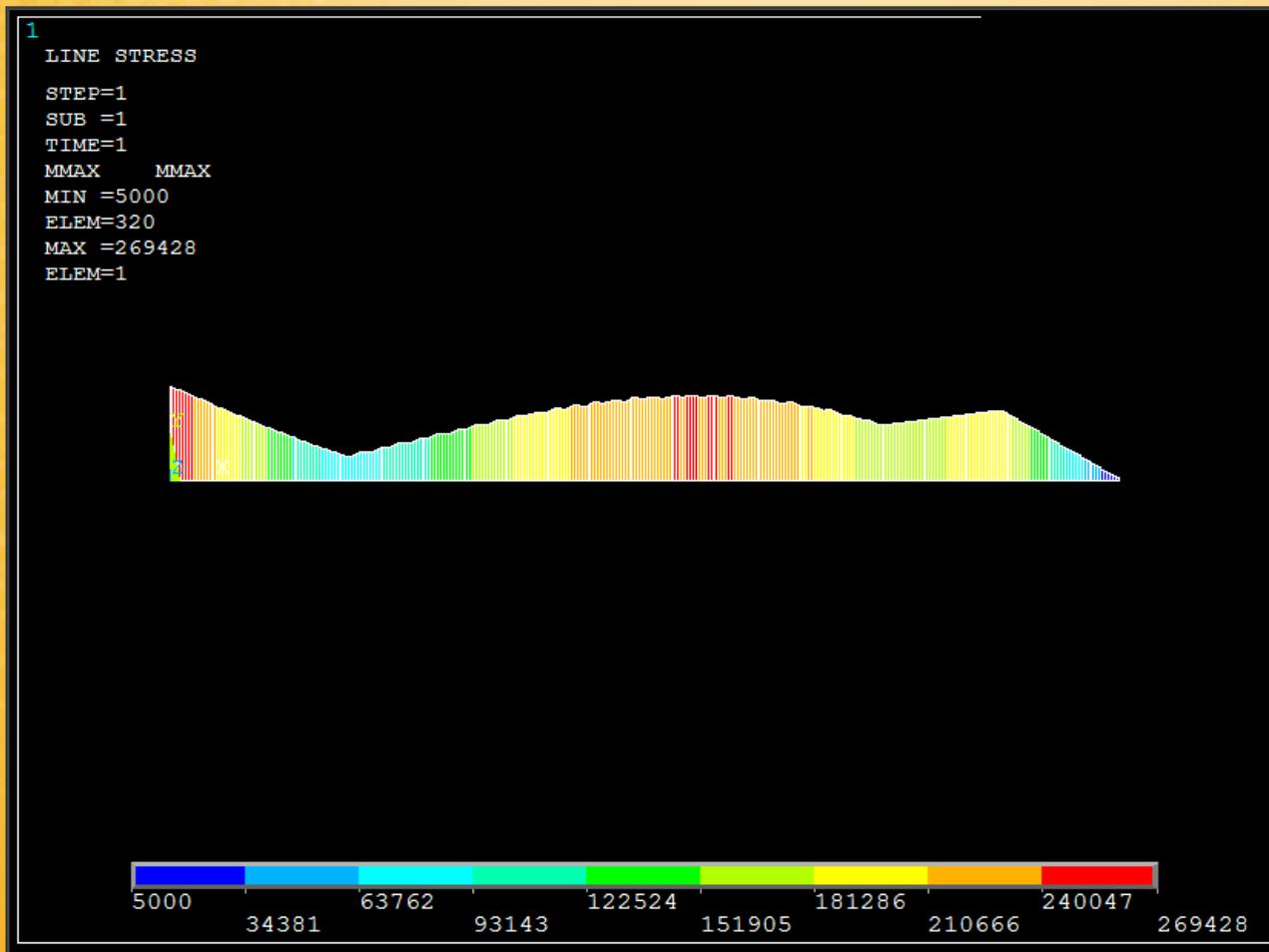
Esercitazione N.4 (Programmazione testuale)

```
94
95     !plotta i diagrammi
96     PLLS,MOMZ-I,MOMZ-J,1,0
97
98     !calcola il massimo tra i momenti
99     SMAX,MMAX,MMAX,MOMZ-I
100    SMAX,MMAX,MMAX,MOMZ-J
101
102    !mi mostra il risultato per 3 secondi
103    /WAIT 3
104
105    !chiusura del ciclo
106    *ENDDO
107
108    !plotta il massimo tra i valori del momento
109    PLLS,MMAX,MMAX
110
111
```

Esercitazione N.4 (Programmazione testuale)

Risultato della programmazione

File - Read Input From: ricarica il file ed il programma esegue le operazioni.



Esercitazione N.5

(Piastra con foro, fattore di intaglio)

Calcolare il fattore di intaglio della piastra con foro circolare indicata in figura, soggetta ad un carico monoassiale.

Valutare successivamente l'effetto di fori aggiuntivi, di diametro minore, praticati sull'asse maggiore della piastra, in vicinanza del foro principale

Modello materiale:

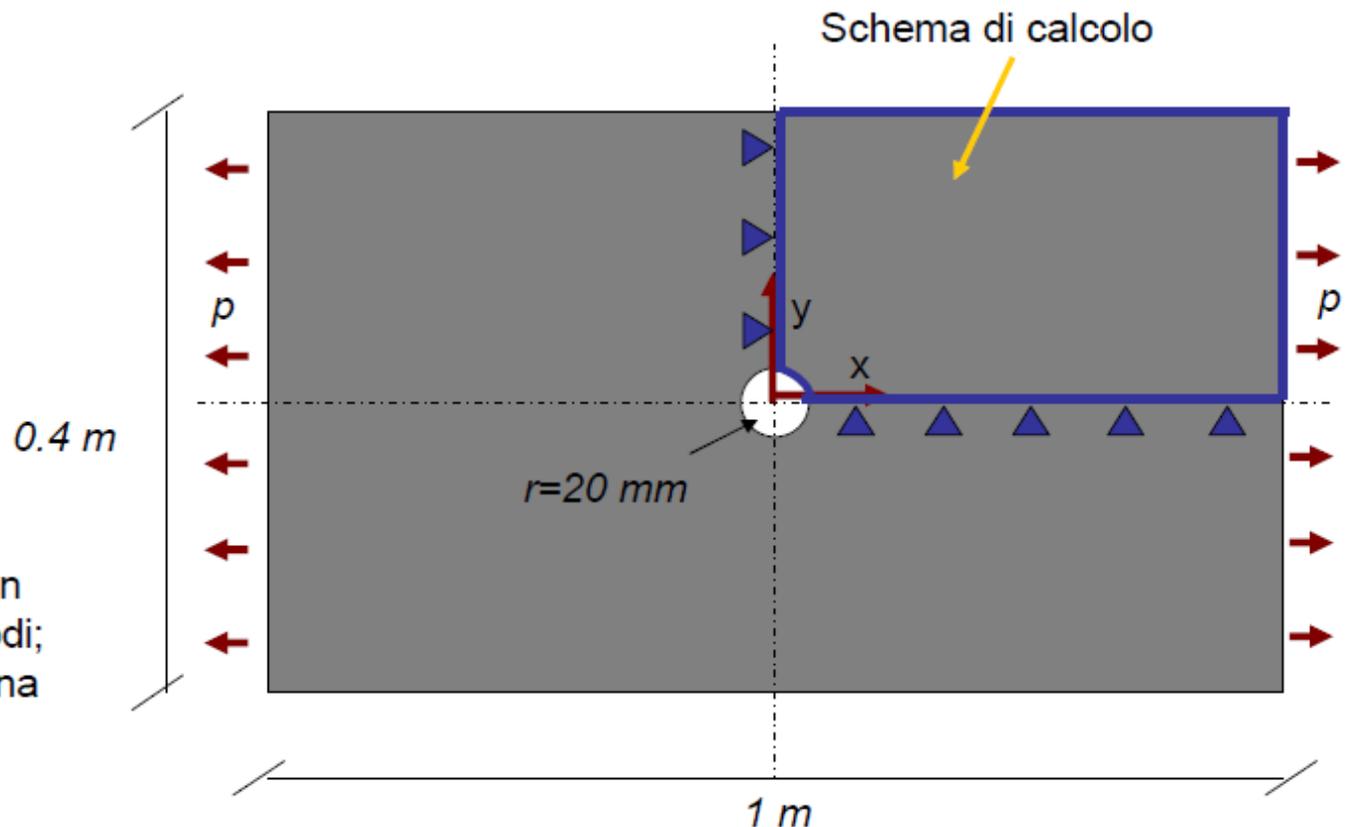
Elastico-lineare

Dati:

$E = 200 \text{ GPa}$

$\nu = 0.3$

Modello discreto con
elementi piani a 4 nodi;
stato di tensione piana



Esercitazione N.5

(Piastra con foro, fattore di intaglio)

New:

- *Utilizzo di elementi piani a 4 nodi per un problema in stato di tensione piana.*
- *Introduzione alla modellazione di geometrie 2D.*
- *Importanza della discretizzazione ai fini dell'accuratezza della soluzione.*
- *Tecniche per la gestione della finezza della discretizzazione: sizing linee, aree e spacing ratio.*
- *Visualizzazione risultati per problemi a dimensionalità 2D e 3D*

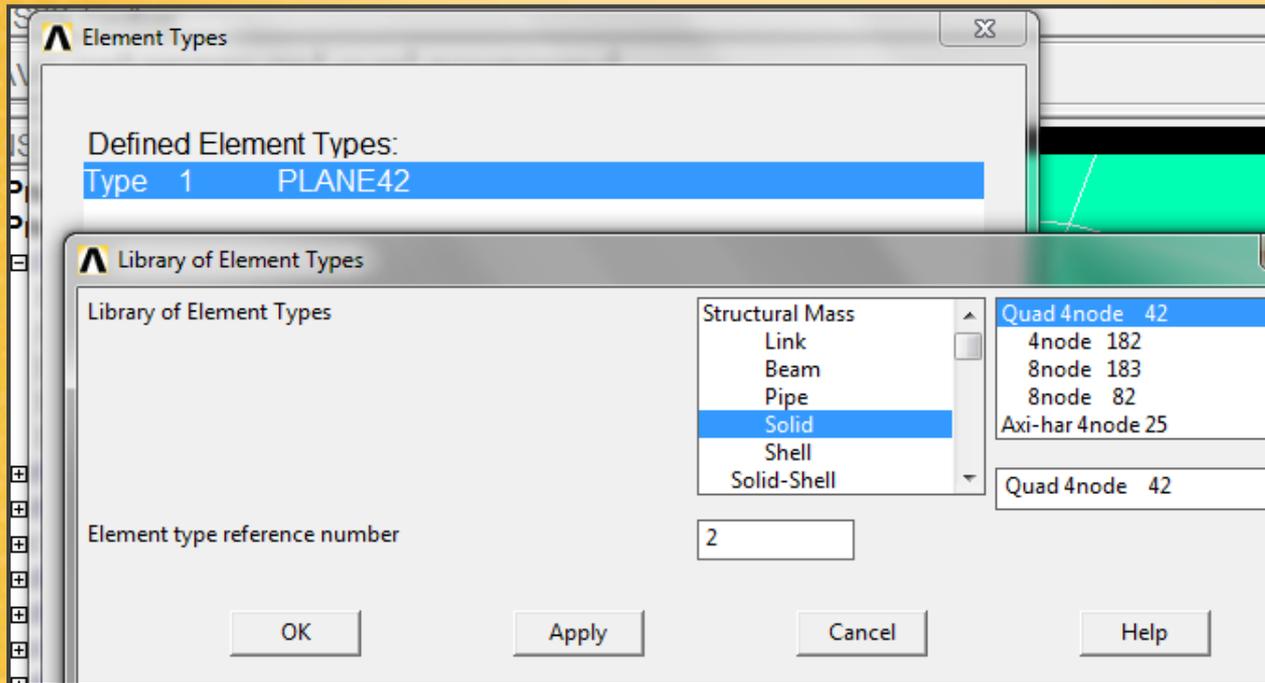
Esercitazione N.5 (Informazioni preliminari)

- Nella modellazione della piastra non interessa il suo spessore, perché il carico viene applicato in termini di tensione p (es. $p=100$ MPa).

NB: Non è importante il valore del carico per determinare il fattore di intaglio!

- Viene sfruttata la doppia simmetria e si studia quindi solo 1/4 della piastra. In questo modo si riducono i temi di calcolo.
- Come vincoli vengono impostati dei carrelli che impediscono le traslazioni e le rotazioni verticali. I carrelli si considerano applicati ad ogni nodo della mesh.
- Per la realizzazione della mesh vengono utilizzati elementi piani a 4 nodi.
- All'interno di ANSYS non esistono elementi triangolari a 3 nodi, oppure tetraedri a 4 nodi, perché descriverebbero la realtà fisica troppo rigidamente. In alcuni casi quando non si riesce a descrivere correttamente una geometria con una mesh quadrangolare, uno dei nodi collassa automaticamente su di un altro e forma un elemento a mesh triangolare (eccezione!)

Esercitazione N.5 (Definizione Elemento)

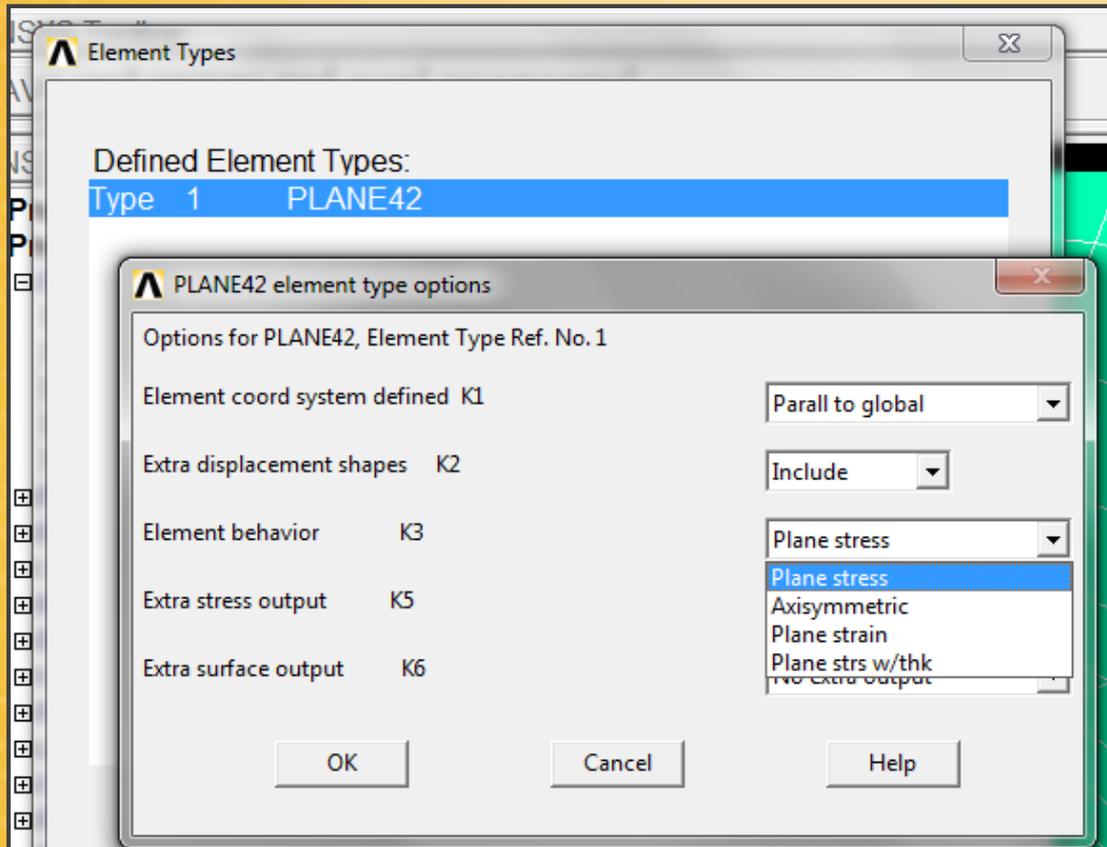


Element Type: quad 4node 42

(Si utilizza l'elemento PLANE42 quando si considera uno stato di tensione piana).

Questo elemento quando non riesce a discretizzare un'area con elementi quadrangolari, fa degenerare uno dei quattro nodi e realizza, come detto, un elemento triangolare.

Esercitazione N.5 (Definizione Elemento)



Opzioni dell'elemento PLANE 42: impostazione del campo K3

- **plane stress:** stato tensione piana (spessore unitario)
- **plane strain:** stato di deformazione piana (spessore unitario)
- **axisymmetric:** problemi assialsimmetrici
- **plane stress with thickness:** stato tensione piana + spessore

Esercitazione N.5 (Realizzazione geometria)

Real Costant: non è necessario inserirle se viene considerato nel campo K3 se non considero lo spessore della piastra. E' necessario inserirle solo quando si considera lo spessore.

Material Properties: solita impostazione per l'acciaio.

Realizzazione della geometria (esistono due approcci)

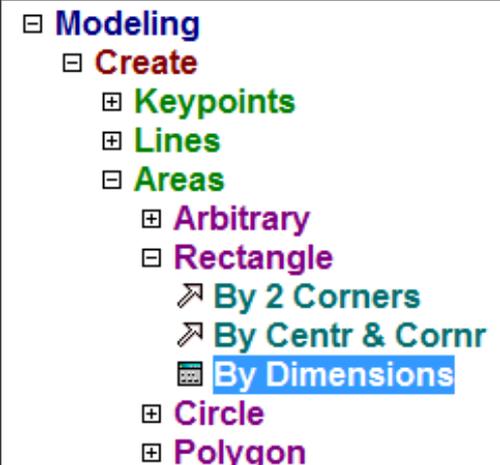
- Dall'alto al basso: operazioni booleane tra superfici
- Dal basso all'alto: si creano i punti, poi le linee ed infine l'area racchiusa tra le linee. Tale metodo si usa quando ci sono poche linee (tre/quattro) altrimenti si ottengono risultati non ottimali.

Modelling - Create - Areas - Rectangle - By Dimensions

Se si fosse scelto scelto «Arbitrary» si sarebbe usato l'approccio dal basso all'alto.

Verranno create due superfici: prima la superficie rettangolare, successivamente il cerchio, ed infine le due aree vengono sottratte.

Il centro degli assi coordinati è posto nel centro del cerchio.



Esercitazione N.5 (Realizzazione geometria)

Modelling - Create - Areas - Rectangle - By Dimensions:

si inseriscono le coordinate dei due punti opposti rispetto agli assi di riferimento e si crea il rettangolo.

P1 (0, 0) e P2 (0.5 , 0.2)

Modelling - Create - Areas - Circle - Solid circle:

si impostano le coordinate del centro ed il raggio del foro.

O (0, 0) e R = 0.02

Modelling - Operate - Booleans – Subtract:

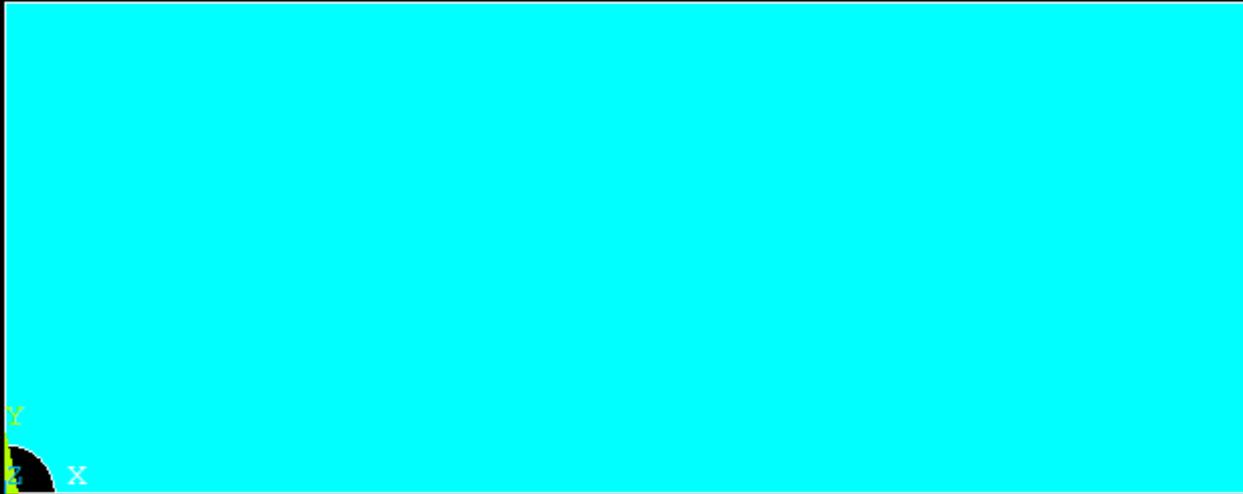
selezionare l'area esterna rettangolare (click ok), selezionare l'area da sottrarre (click ok), viene creata una terza area e le prime due vengono cancellate. (controllare che ci sia solo la terza area attraverso **LIST - AREAS**)

NB: per eliminare l'area creata fare:

Delete - Areas and Below

(cancella tutte le entità create: punti, linee ecc., che potrebbero dare dei problemi)

Esercitazione N.5 (Realizzazione geometria)



Modelling - Operate - Booleans - Add, Subtract, Glue

Glue: unisce le due aree ma le considera come saldate attraverso il bordo, differente da **Add** che le unisce creando una sola area.

Esercitazione N.5 (Meshing)

Meshing - Size Cntrls - Manual Size

Si cerca di posizionare gli elementi più piccoli vicino al foro, dove bisogno di una maggiore precisione della soluzione e dove bisogna cogliere meglio i gradienti di tensione e deformazione.

Si utilizza un **sizing variabile** delle linee, in questo modo si avranno elementi più grandi lontani dal foro ed elementi più piccoli vicino, mentre saranno di dimensione costante sul contorno circolare.

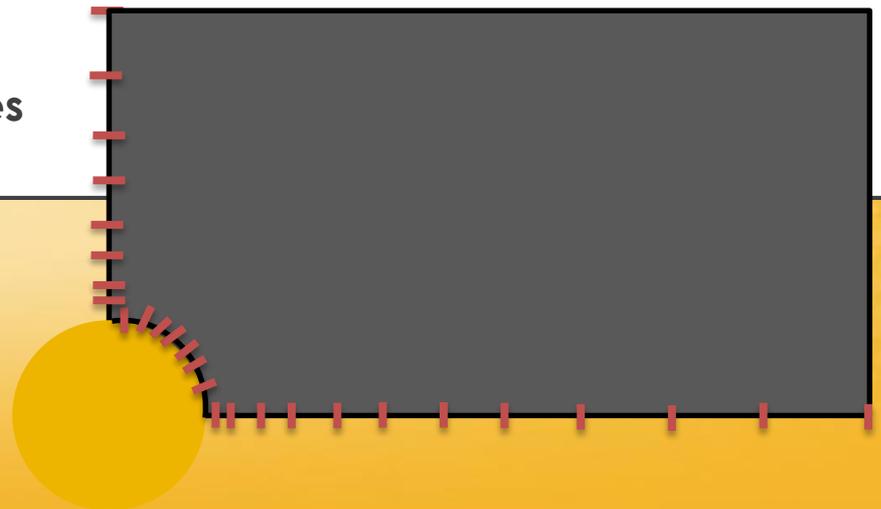
Conviene visualizzare le linee andando in:

PLOT – Lines

Successivamente:

Meshing - Size Cntrls - Manual Size - Lines

Picked Lines



Esercitazione N.5 (Meshing)

Meshing - Size Cntrls - Manual Size - Lines - Picked Lines

- Imposto 10 elementi sul contorno circolare del foro
- Imposto 20 elementi sulla linea verticale + spacing ratio 0.1
- Imposto 0.04 m per le altre linee (cerco di far sì che gli elementi siano uguali a quelli più grandi delle altre linee)

Spacing ratio: è il rapporto tra l'elemento più grande ed il più piccolo all'inizio e alla fine della linea.

Per impostare correttamente lo spacing ratio bisogna sapere come è orientata la linea, per capire quale è l'inizio e la fine... si va a tentativi!

Nel caso in cui la suddivisione della linea in elementi non avvenisse secondo il rapporto che si voleva, si inverte il valore dello spacing ratio.

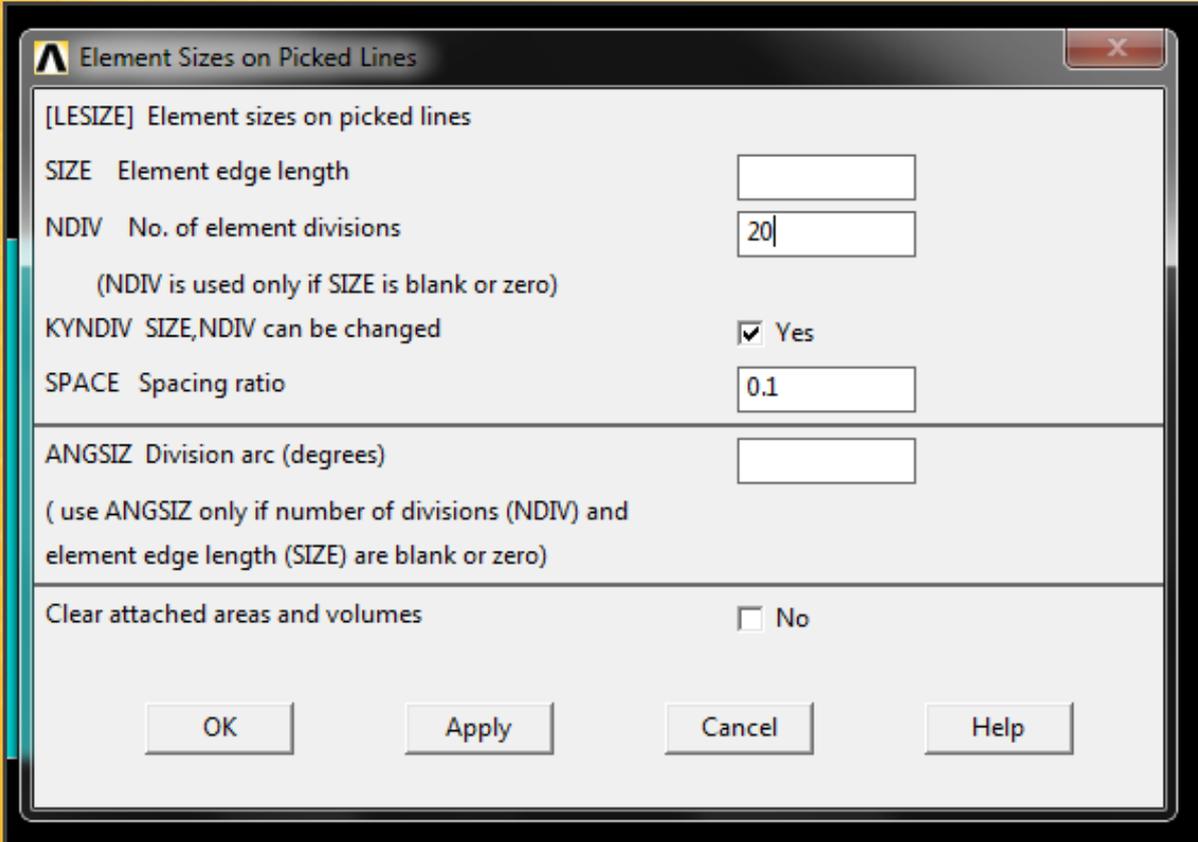
Volendo lo spacing ratio potrebbe essere anche negativo, in questo caso ci sarà l'elemento grande al centro, ed un progressivo infittimento verso gli estremi.



Esercitazione N.5 (Meshing)

Meshing - Size Cntrls - Manual Size - Lines - Picked Lines

Imposto 20 elementi linea verticale + spacing ratio 0.1



Element Sizes on Picked Lines

[LESIZE] Element sizes on picked lines

SIZE Element edge length

NDIV No. of element divisions

(NDIV is used only if SIZE is blank or zero)

KYNDIV SIZE,NDIV can be changed Yes

SPACE Spacing ratio

ANGSIZ Division arc (degrees)

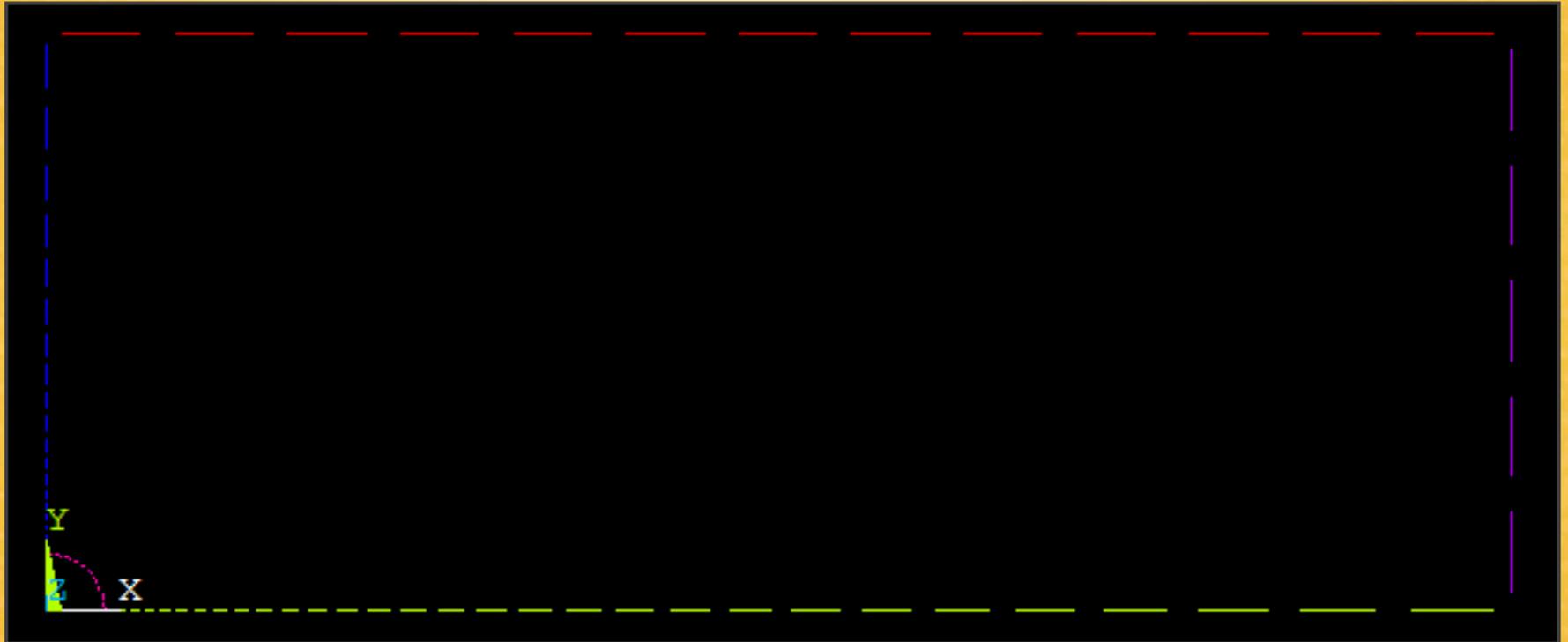
(use ANGSIZ only if number of divisions (NDIV) and element edge length (SIZE) are blank or zero)

Clear attached areas and volumes No

OK Apply Cancel Help

Esercitazione N.5 (Meshing)

Risultato dello spacing ratio

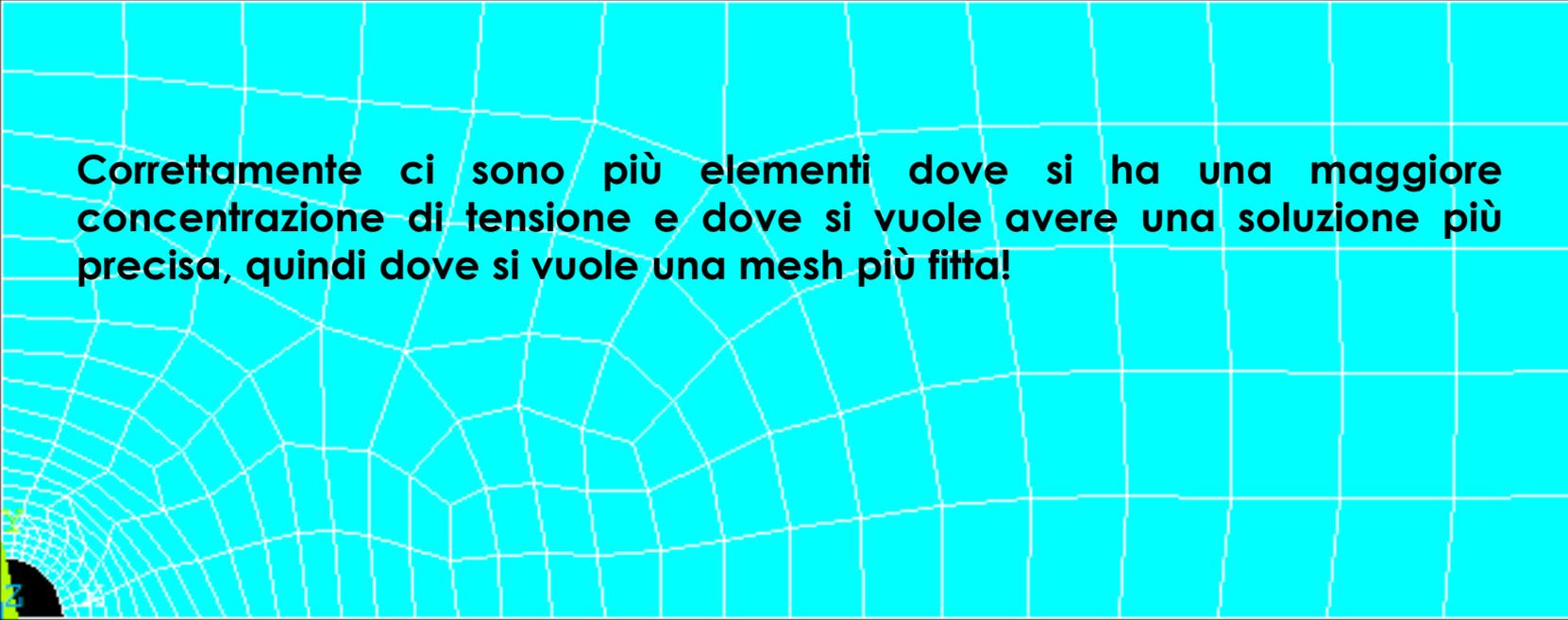


Esercitazione N.5 (Meshing)

Mesh - Areas - Free: selezionare l'area, poi (ok)

Con il comando **Free** la mesh viene più irregolare rispetto al comando **Mapped**.

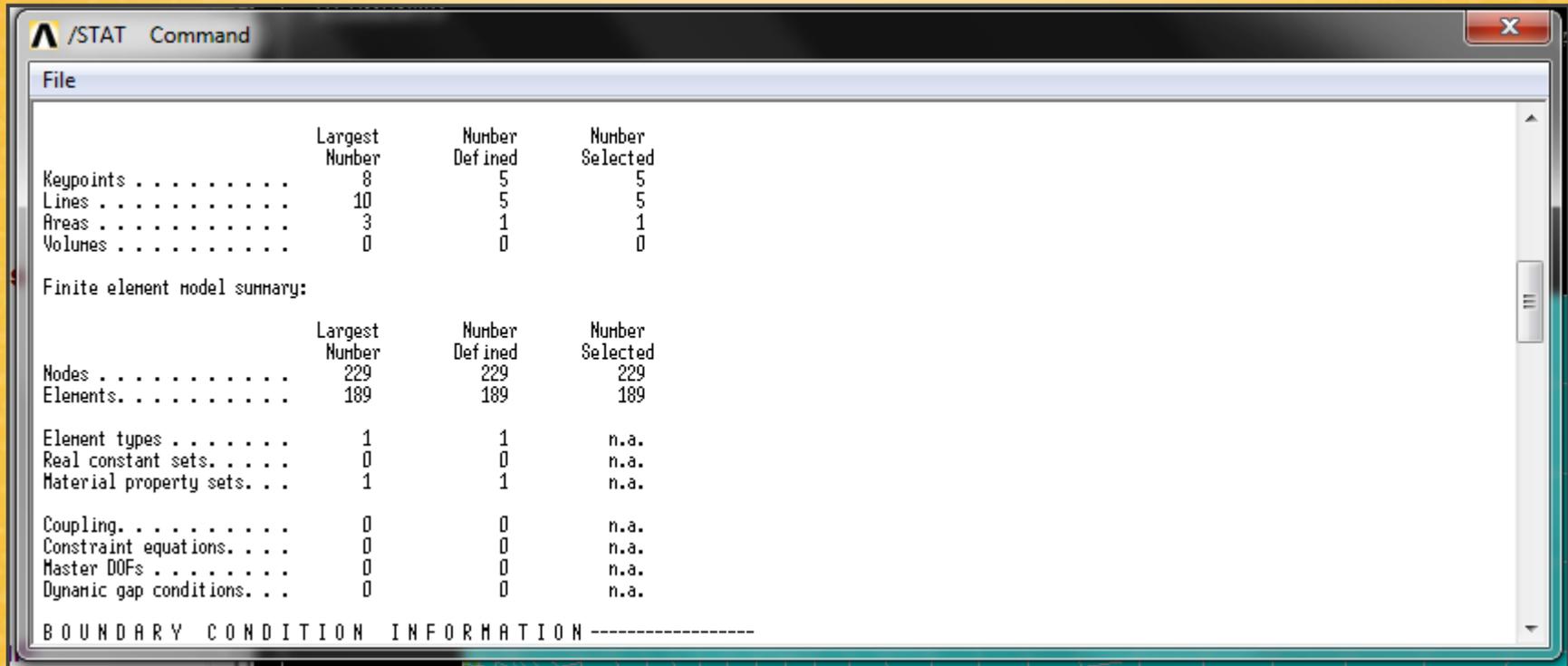
In questo caso quello che conta non è la regolarità della mesh (anche una mesh irregolare dà ottimi risultati), ma l'importante è che gli elementi generati non siano distorti e troppo lontani dalla forma originale.



Correttamente ci sono più elementi dove si ha una maggiore concentrazione di tensione e dove si vuole avere una soluzione più precisa, quindi dove si vuole una mesh più fitta!

Esercitazione N.5 (Meshing)

List - Status - Global Status: Elenco del numero elementi e nodi



```
ANSYS /STAT Command
File
      Largest      Number      Number
      Number      Defined     Selected
Keypoints . . . . .      8           5           5
Lines . . . . .         10          5           5
Areas . . . . .          3           1           1
Volumes . . . . .         0           0           0

Finite element model summary:
      Largest      Number      Number
      Number      Defined     Selected
Nodes . . . . .         229         229         229
Elements. . . . .        189         189         189

Element types . . . . .      1           1           n.a.
Real constant sets. . . . .  0           0           n.a.
Material property sets. . .  1           1           n.a.

Coupling. . . . .         0           0           n.a.
Constraint equations. . . .  0           0           n.a.
Master DOFs . . . . .      0           0           n.a.
Dynamic gap conditions. . .  0           0           n.a.

BOUNDARY CONDITION INFORMATION -----
```

Con i computer attuali dotati di molta RAM si può arrivare ad elaborare anche 50 o 100 mila elementi. Oltre tali valori servono dei server particolari ecc.

Esercitazione N.5 (Carichi e Vincoli)

Load ... - Displacement - On Lines:

Si seleziona la linea verticale e si blocca UX, mentre per la linea orizzontale si blocca UY.

Applicando i vincoli sulle linee è come se lo applicassi su tutti i nodi.

(La struttura deve essere isostatica!)

Load ... - Pressure - On Lines: -100e6 (100 MPa)

Pressioni positive: entranti verso il corpo

Pressioni negative: uscenti dal corpo

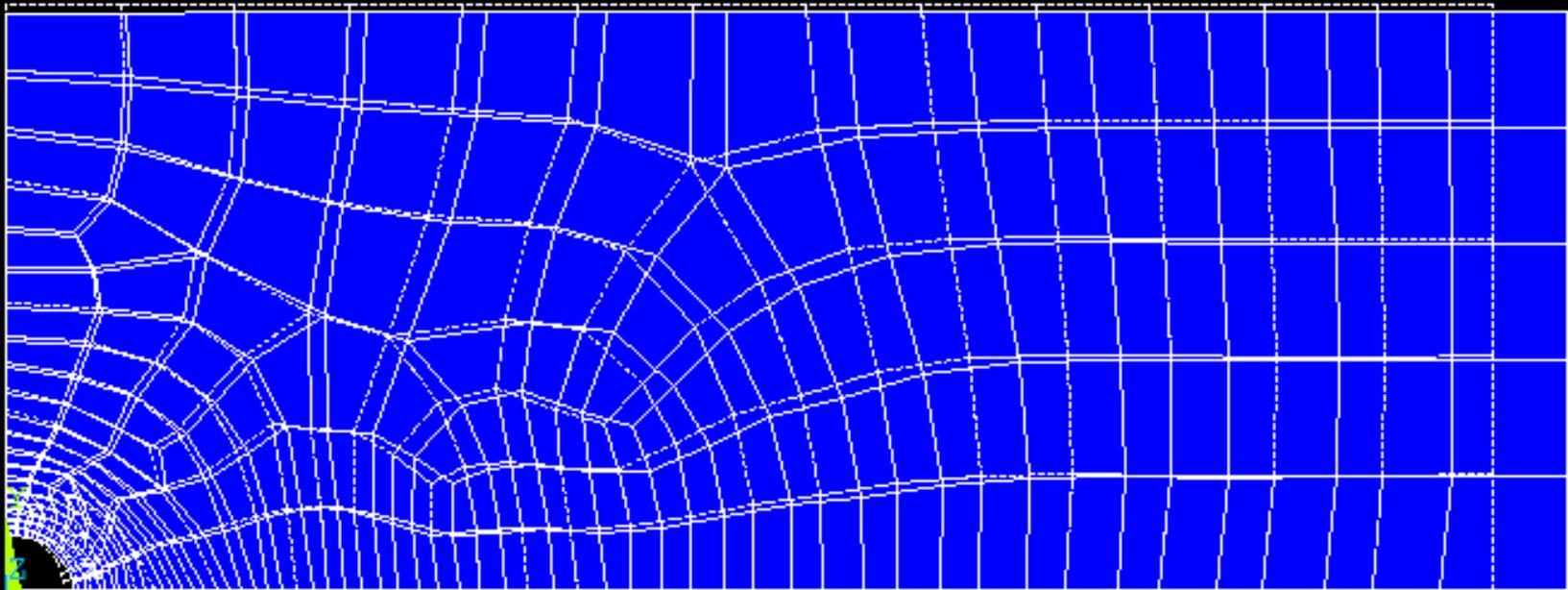
NB: la convenzione è valida solo per le pressioni!

Applicando il carico sulla linea è come se l'applicassi a tutti elementi.

Esercitazione N.5 (Deformazione)

Solution - Solve - Current LS

General Postproc - Plot Results - Deformed Shape



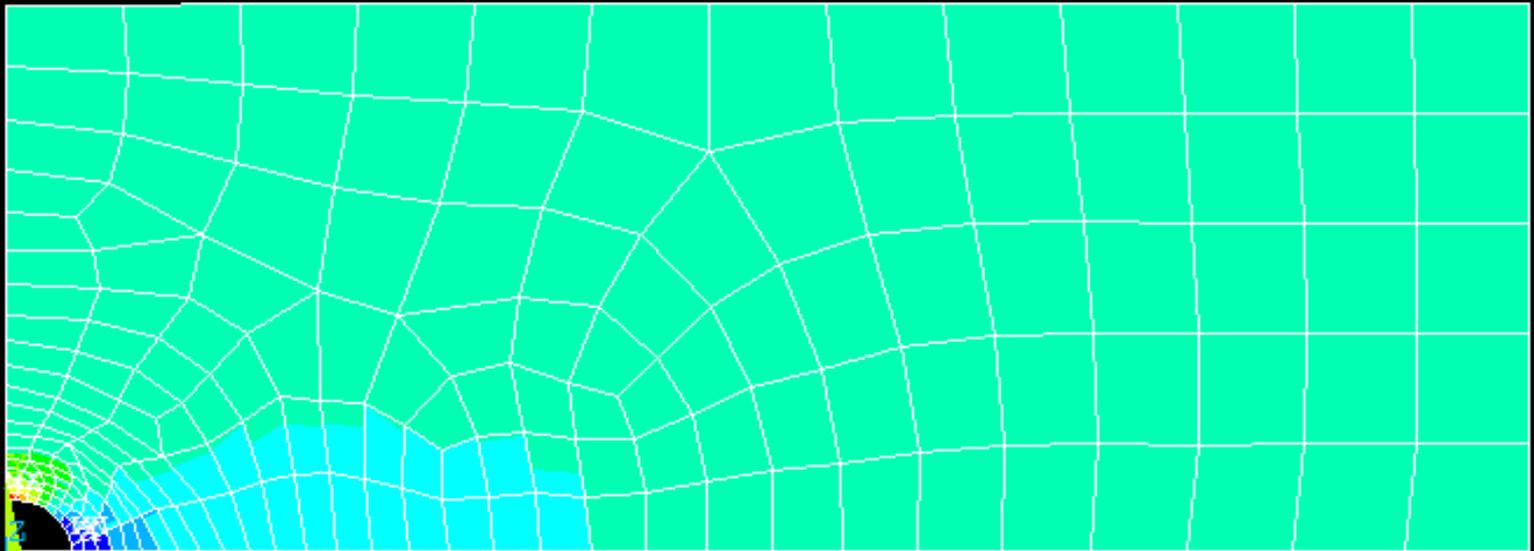
Esercitazione N.5 (Tensione MAX)

General Postproc - Plot Results - Contourn Plot:

Nodal solution oppure Element solution: x-component of stress

NB: le tensioni e le deformazioni sono grandezze di elemento, mentre gli spostamenti sono grandezze nodali!

SMX = .298E+09



NB: Quando la risposta/soluzione diventa asintotica all'aumentare della «finezza» della mesh, vuol dire che ho discretizzato correttamente il mio modello.

Esercitazione N.5 (Fattore di Intaglio)

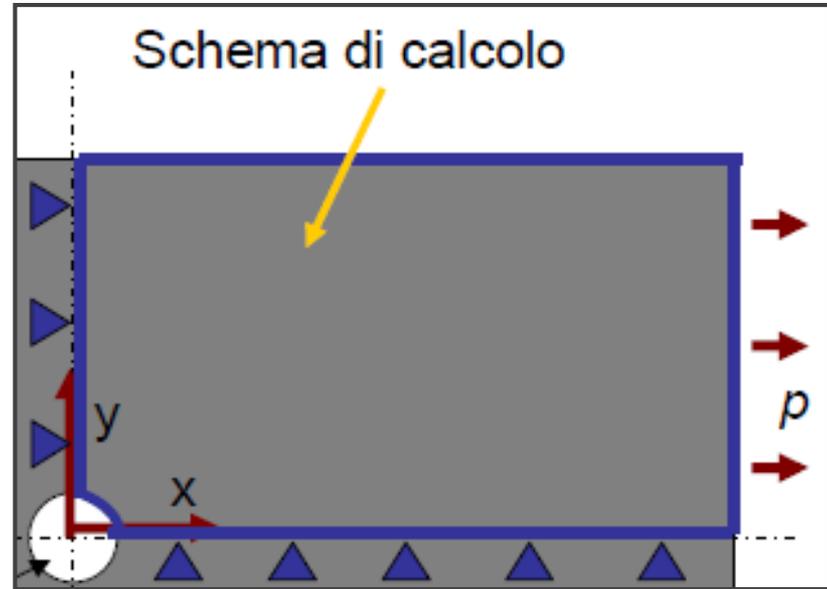
Fattore di intaglio k_t . Teoricamente il risultato dovrebbe essere = 3

$$k_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{nominale}}$$

$$\sigma_{nom} = \frac{F}{A_{centrale}} = \frac{p \cdot A_{esterna}}{A_{centrale}} =$$

$$= \frac{10 \cdot 10^6 \cdot 0,2}{0,18} = 111 \text{ MPa}$$

$$k_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{nom}} = \frac{300 \text{ MPa}}{111 \text{ MPa}} = 2,7$$



Dove con $A_{esterna}$ si è indicata l'area dove è applicata la forza, mentre con $A_{centrale}$ l'area dove è presente l'intaglio. Essendo lo spessore trascurato e considerato unitario i valori sono $0,2 \text{ m}^2$ e $0,18 \text{ m}^2$.

Esercitazione N.5 (Re-Meshing)

Per migliorare la mesh si possono seguire due strade:

1) Rifare la mesh da capo ed infittirla dove si ha bisogno

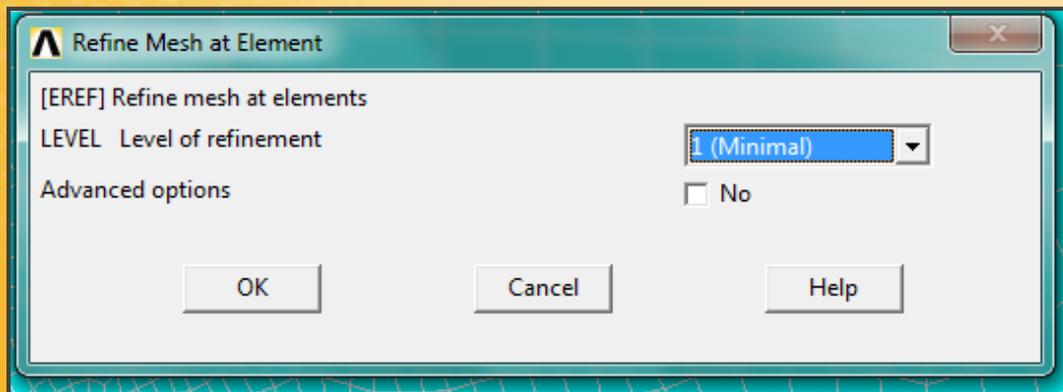
bisogna cancellare la mesh e ricrearla

2) Bisogna infittire la mesh direttamente dove si ha bisogno

Meshing - Modify Mesh - Refine at

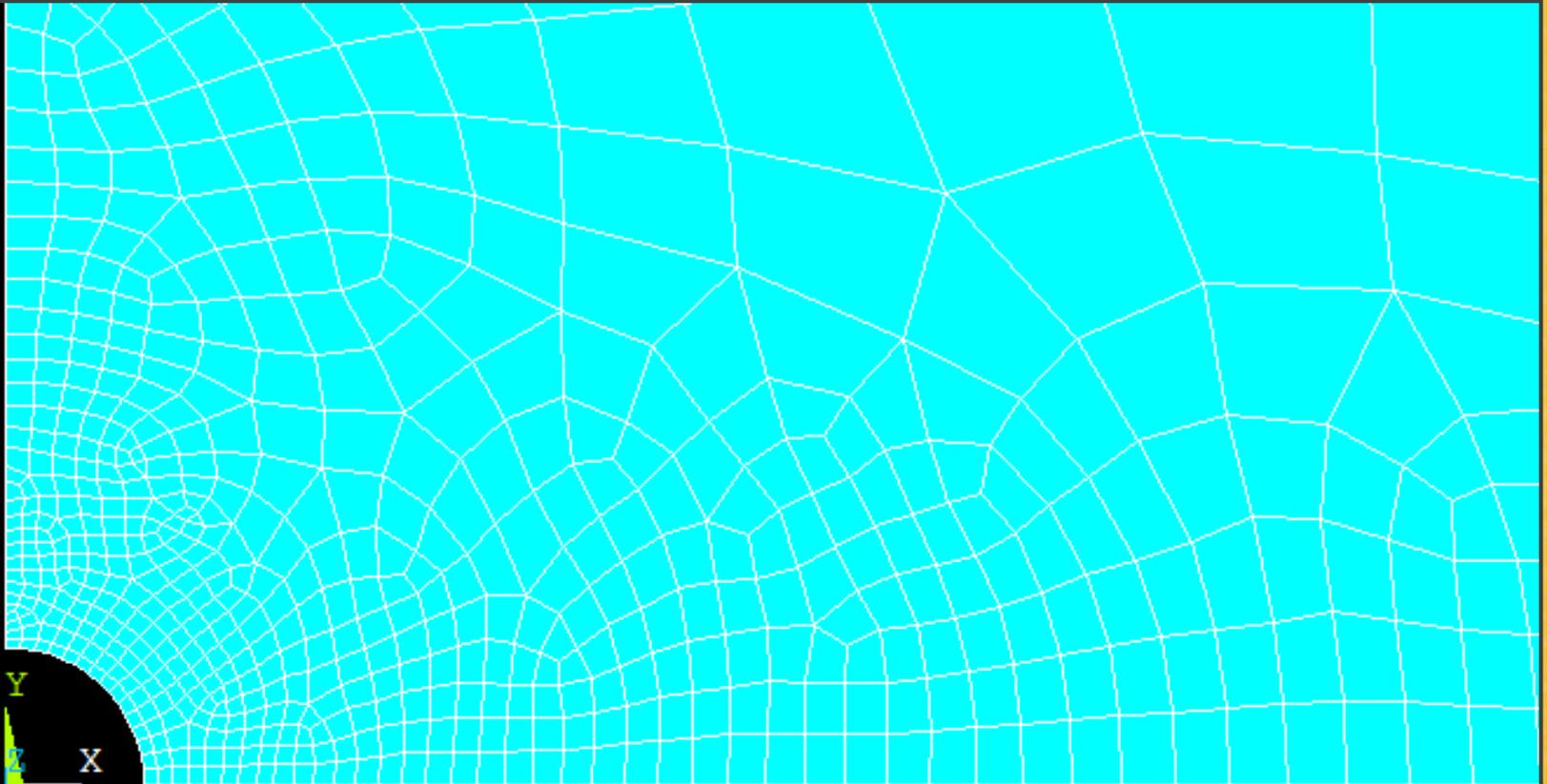
Ad esempio si scelga **Element**: si infittiscono gli elementi vicini al foro, selezionandoli ad esempio con il comando **Circle**.

Successivamente inserire il livello di **Refine**: il valore minimo conduce già ad un ottimo risultato.



Esercitazione N.5 (Re-Meshing)

Risultato Re-Meshing nelle prossimità del foro

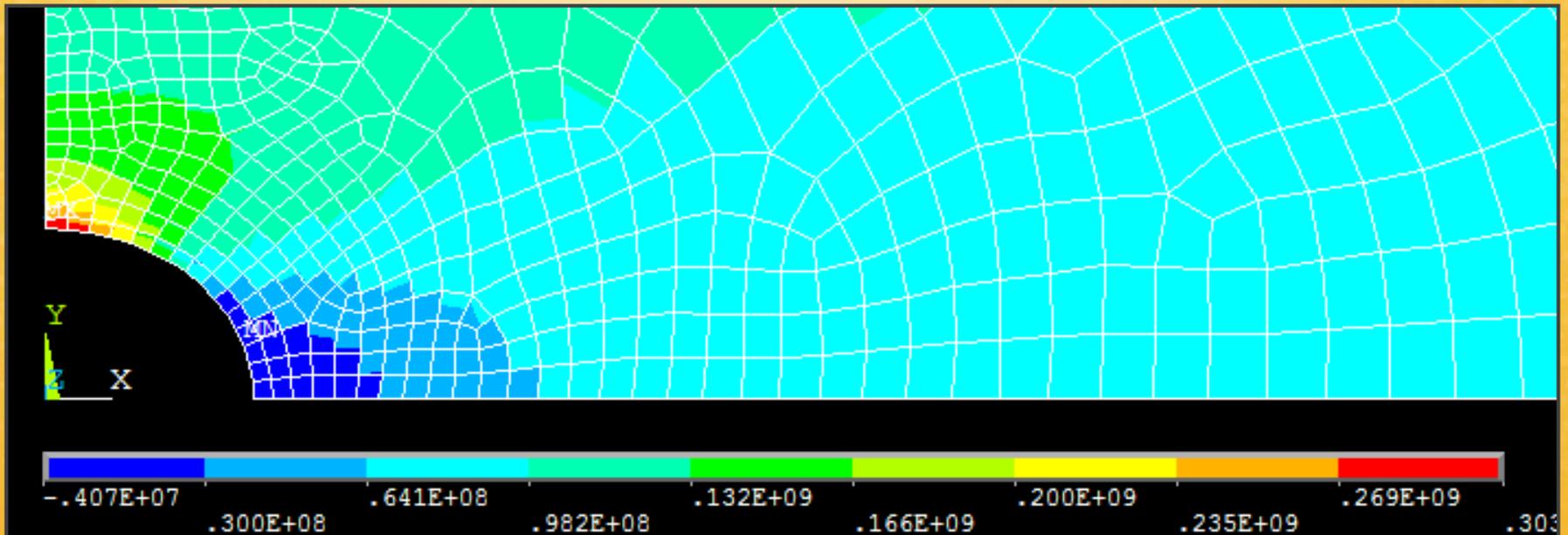


Esercitazione N.5 (Tensione MAX)

Si ricalcola la soluzione con il nuovo livello di mesh e si controlla il valore della tensione massima.

Si nota come il valore sia aumentato passando a 304 MPa.

Iterando il procedimento si vede come infittendo la mesh la soluzione si asintotizza sempre di più al corretto valore. Se si aumenta ancora di più la finezza della mesh, probabilmente il valore della tensione non cambierà di molto.



Esercitazione N.6

(Trave inflessa in campo plastico, tensioni residue)

Calcolare lo stato di tensione e di deformazione in una barra in acciaio su 2 appoggi sottoposta ad un momento flettente di intensità tale da indurne la plasticizzazione. Individuare successivamente le tensioni residue nella barra alla rimozione del carico precedentemente applicato.

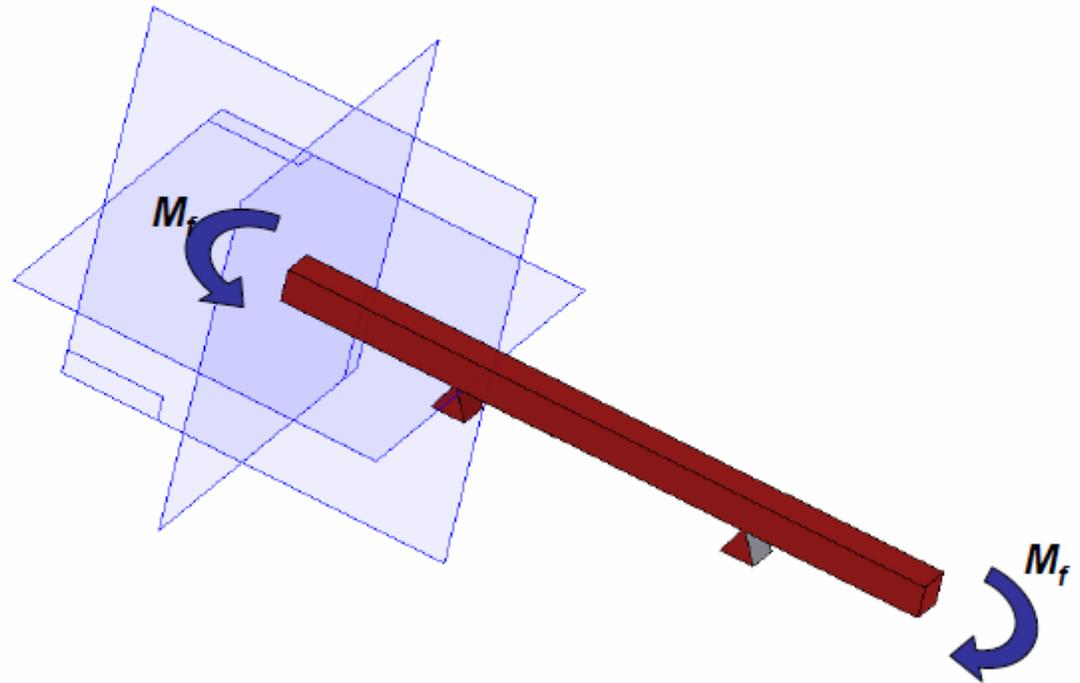
Modello materiale:
elasto-plastico bilineare

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$\nu = 0.3$$

$$\sigma_s = 400 \text{ MPa}$$

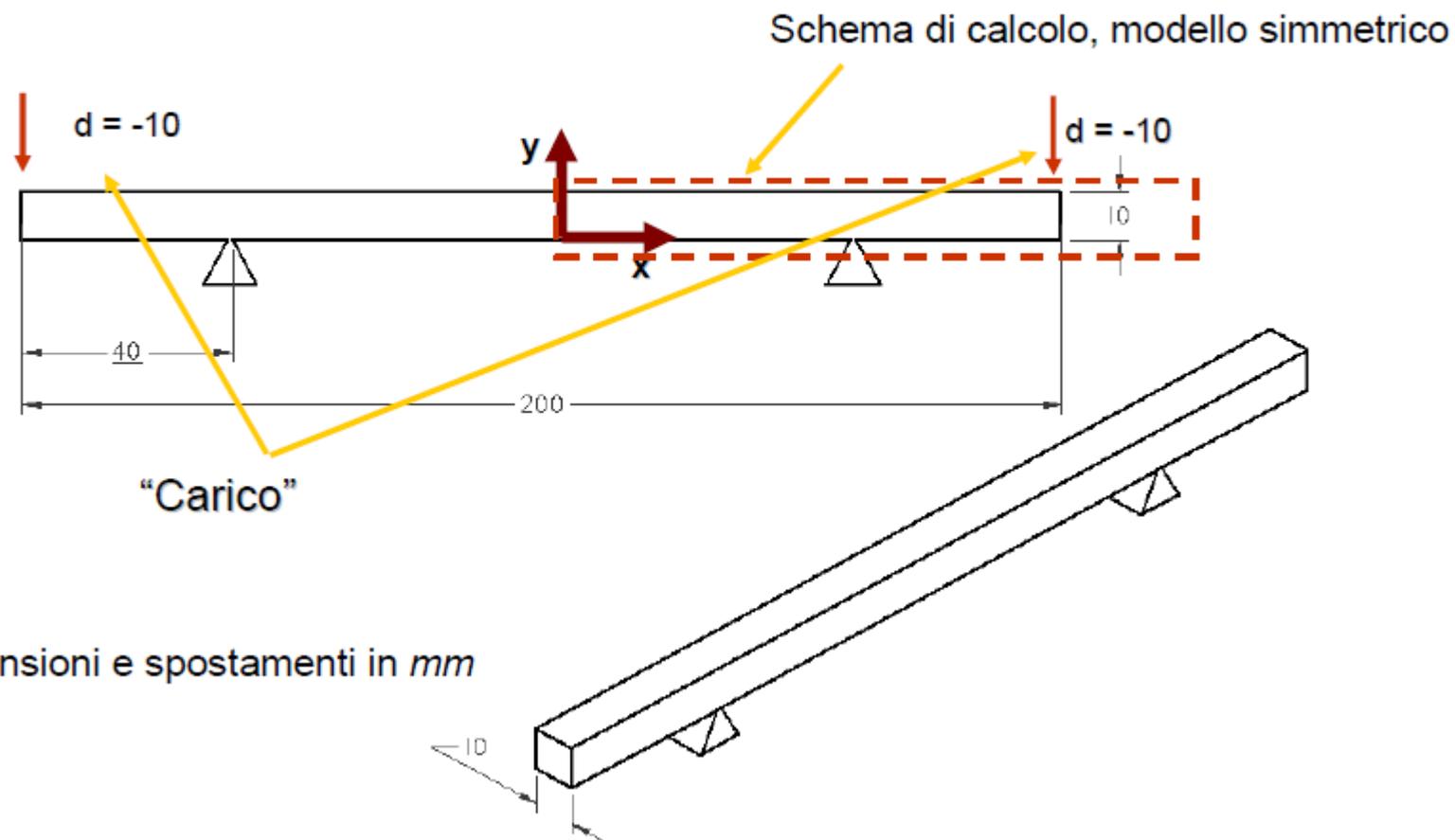
$$M_{tang} = 2 \text{ GPa}$$



Esercitazione N.6

(Trave inflessa in campo plastico, tensioni residue)

Dettagli geometrici e condizioni di carico della struttura



Esercitazione N.6

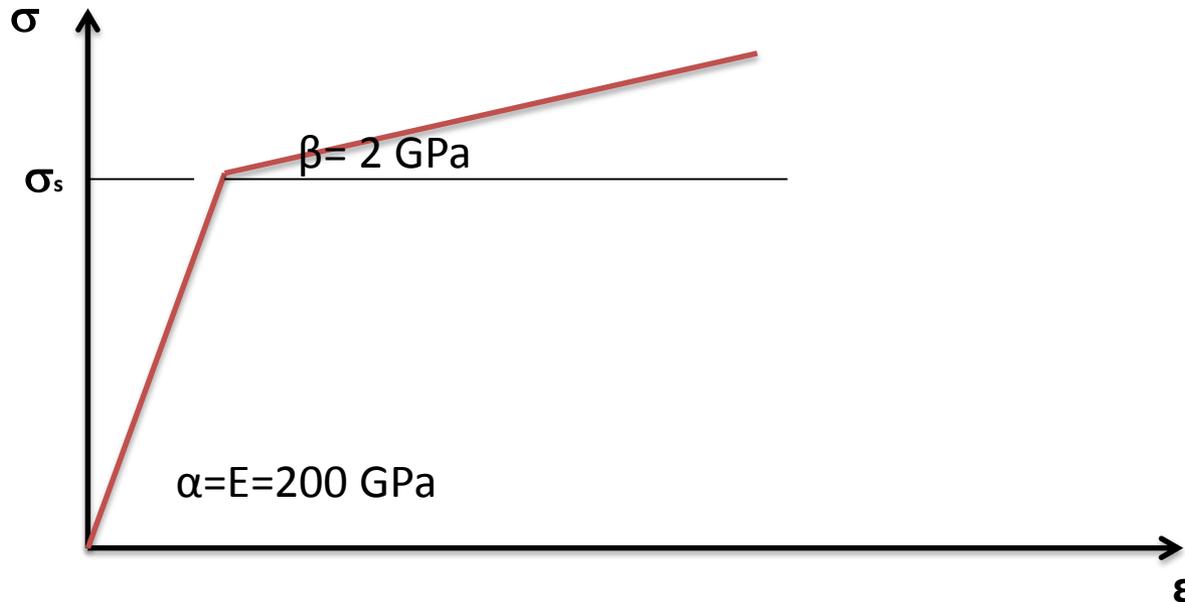
(Trave inflessa in campo plastico, tensioni residue)

New:

- *Applicazione del momento flettente tramite spostamenti imposti o pressione variabile sulle sezioni di estremità.*
- *Introduzione alla modellazione del comportamento plastico: modello elasto-plastico isotropico bilineare.*
- *Analisi non lineare in ipotesi di piccoli spostamenti.*
- *Analisi consecutive con condizioni di carico diverse: analysis restart.*
- *Visualizzazione grandezze di interesse lungo un percorso: path plot.*

Esercitazione N.6 (Informazioni preliminari)

Si utilizza un modello elasto-plastico isotropico bilineare.

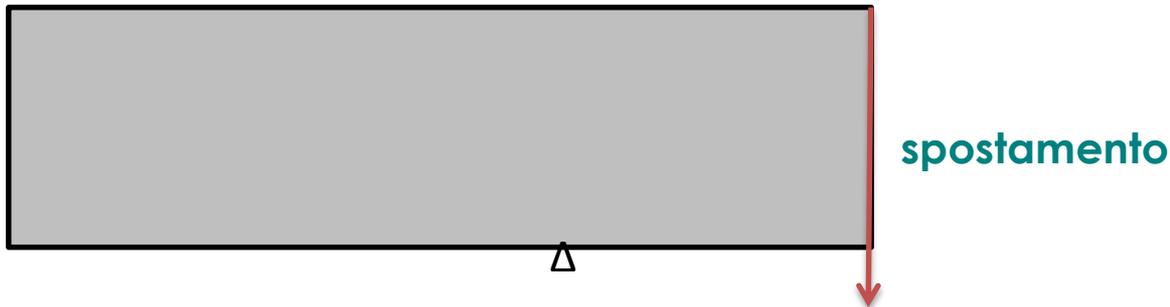


Si approssima uno stato di tensione piana

Element Type - quad 4node 42 (PLANE42)

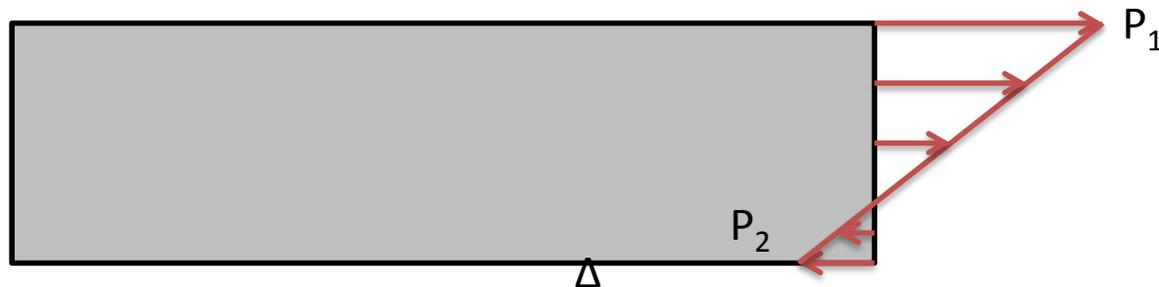
Esercitazione N.6 (Informazioni preliminari)

Il momento flettente si applica imponendo uno spostamento noto di 10 mm all'estremità della barra, sufficiente alla plasticizzazione del materiale.



Alternativamente si potrebbe simulare l'effetto di un momento concentrato applicando delle pressioni costanti con segno opposto lungo il bordo della barra.

Questo modo è equivalente all'applicazione del momento flettente.



Esercitazione N.6 (Non linearità del materiale)

La soluzione del problema non è lineare. La causa di ciò è la non linearità del materiale.

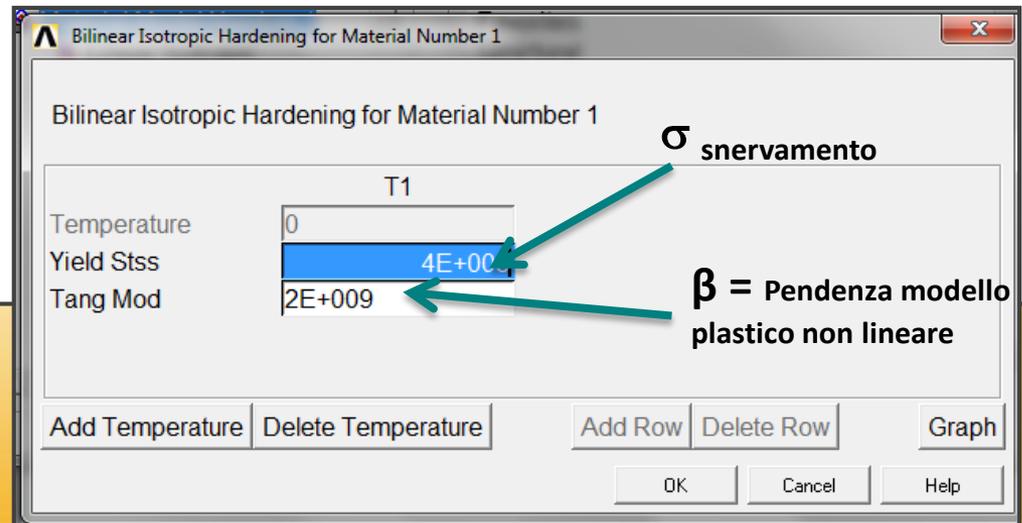
Il solutore non risolve il problema direttamente ma lo fa in maniera iterativa, **step by step**, applicando il carico progressivamente e facendo delle iterazioni successive per arrivare alla soluzione corretta.

Impostazione della non linearità del materiale: **parte lineare + parte non lineare**

Parte lineare: Structural – Linear – Elastic – Isotropic

Parte non lineare:

Structural - nonlinear – inelastic -
Rate Independent -
Isotropic - Hardening Plasticity -
Mises Plasticity - Bilinear



Esercitazione N.6 (Modellazione)

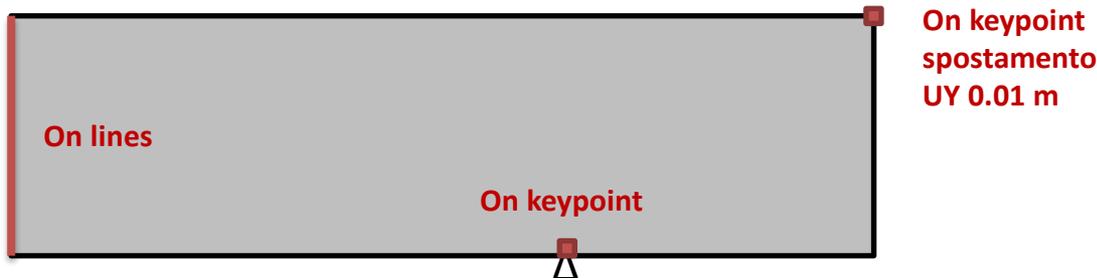
Si imposta la modellazione come nell'Esercitazione N.5 (**Element Type: plain strain**)

Geometria: si creano due superfici che poi vengono unite con il comando GLUE. Questo serve per avere dei keypoint posizionati correttamente, dove verranno applicati i vincoli.

Vincoli: si sfrutta la simmetria. Dove viene interrotta la continuità della trave si impone il vincolo di carrello che blocca le traslazioni lungo x (UX). Tale vincolo si applica anche alla linea delle superficie (On Lines).

Il vincolo di appoggio, dove poggia la barra, blocca le traslazioni lungo y (UY). Questo vincolo viene applicato sul Keypoint corrispondente.

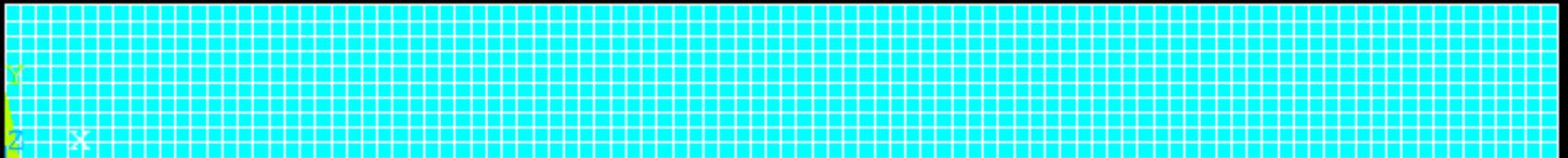
Spostamento/Momento: lo spostamento viene applicato imponendo un vincolo al Keypoint in alto a sinistra della barra: si impone uno spostamento di 0.01 m alla UY.



Esercitazione N.6 (Modellazione)

Mesh: in questo caso la mesh viene applicata usando il comando AREAS e selezionando le due aree unite con il comando GLUE. Successivamente attraverso il comando MAPPED si crea la mesh.

Alternativamente si poteva procedere come nell'Esercitazione N.5.



Esercitazione N.6 (Analisi NON-LINEARE)

Solution - Analysis type - Sol'n Controls

Analysis Options

Large Displacement Static

Calculate prestress effects

Time Control

Time at end of loadstep: 1

Automatic time stepping: On

Number of substeps

Time increment

Number of substeps: 1

Max no. of substeps: 0

Min no. of substeps: 0

Write Items to Results File

All solution items

Basic quantities

User selected

Nodal DOF Solution

Nodal Reaction Loads

Element Solution

Element Nodal Loads

Element Nodal Stresses

Frequency:

Write last substep only

where N = 1

Risultati inclusi nell'analisi

Quale risultato viene salvato: l'ultimo substep

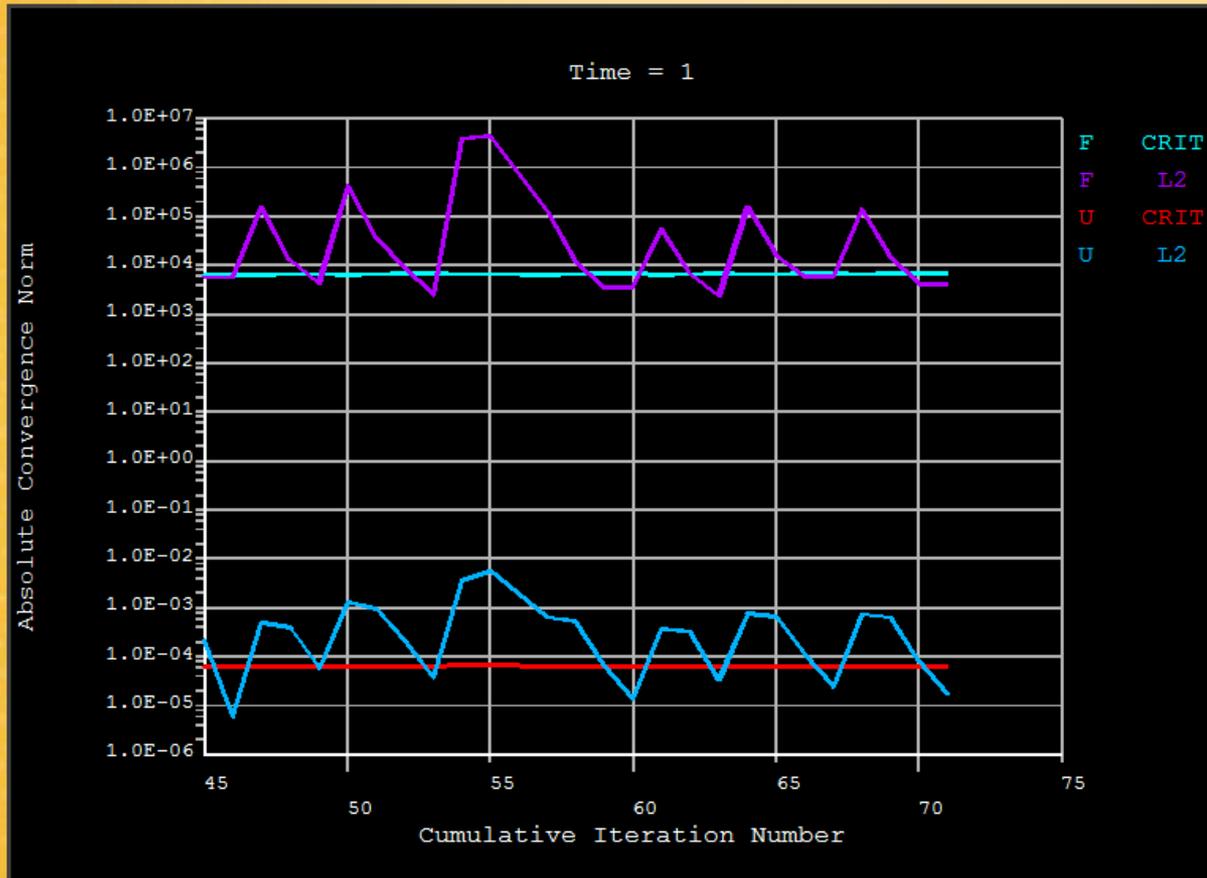
Impostazione grandi spostamenti

Tempo fittizio totale in cui vengono fatti gli step

Impostazione automatica degli substep necessari per la soluzione del problema non lineare

Esercitazione N.6 (Calcolo SOLUZIONE)

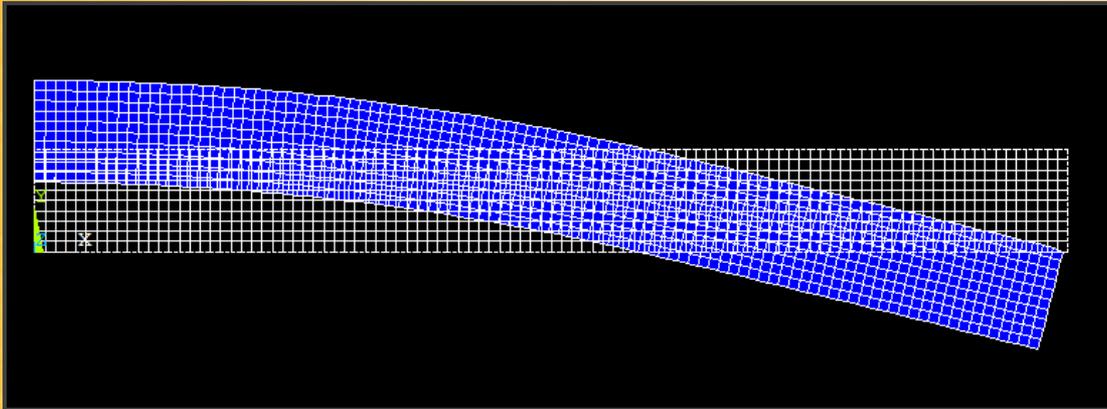
Solution - Solve - Current LS



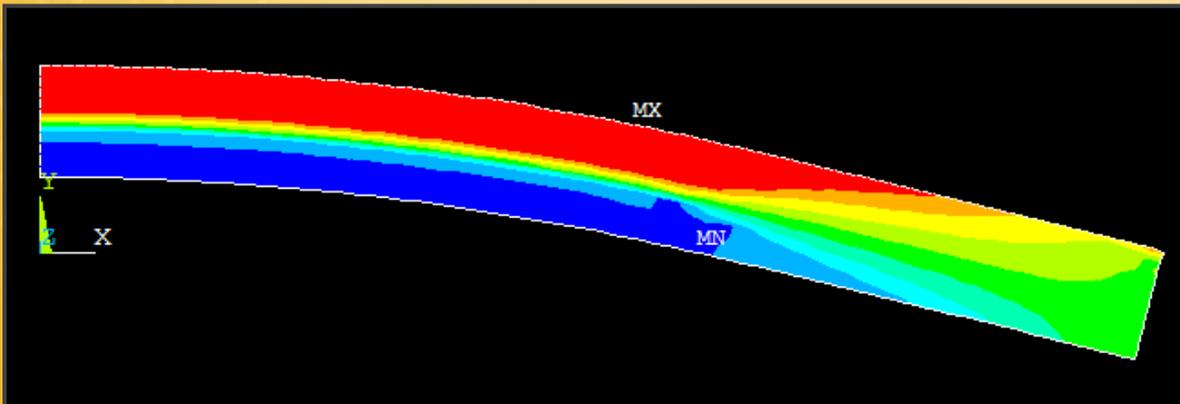
Soluzione iterativa passo-passo del problema non lineare.

Esercitazione N.6 (Risultati)

General Postproc - Plot Results - Deformed Shape

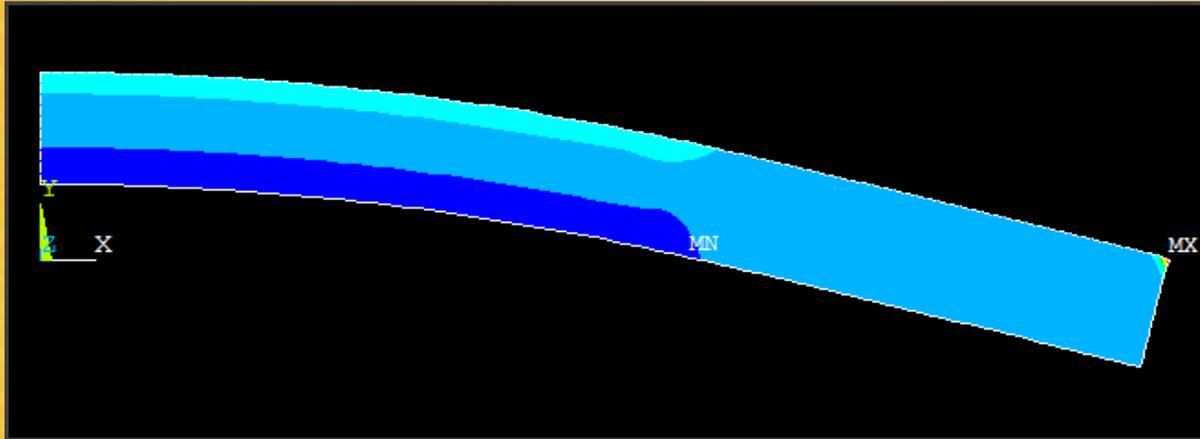


General Postproc - Plot Results - Nodal solution - Stress: X-component of stress



Esercitazione N.6 (Risultati)

General Postproc - Plot Results – Nodal solution – Plastic Strain:
x-component of Plastic strain



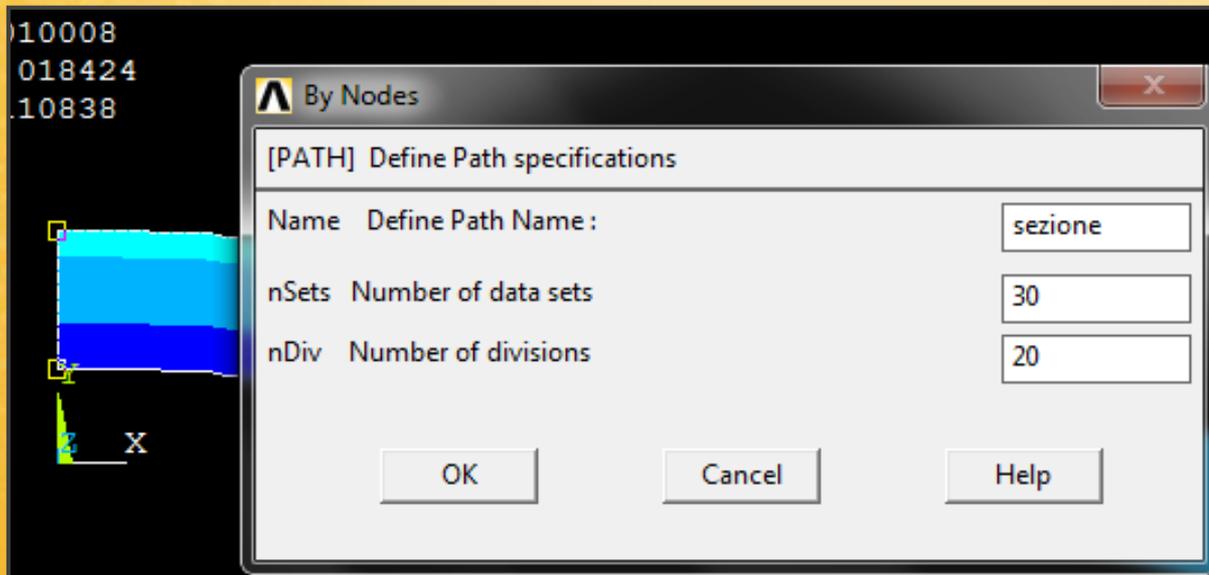
Esercitazione N.6 (Risultati - Define Path)

General Postproc - Path Operation - Define Path - By Nodes

Definizione del percorso sul quale si vuole vedere l'andamento di una grandezza. Rappresenta l'ascissa curvilinea sulla quale andiamo a visualizzare la soluzione ottenuta.

Selezionare i punti estremi del percorso: in questo caso gli estremi della sezione, quindi il bordo delle sezione (ok).

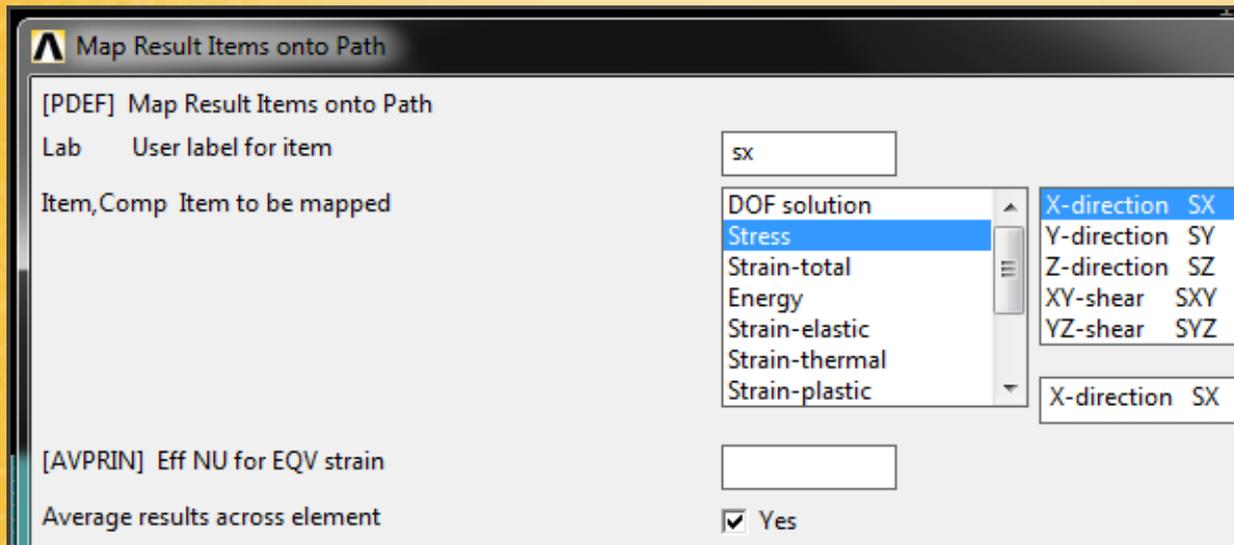
Successivamente definire il nome del Path (ok). Non cambiare gli altri parametri.



Esercitazione N.6 (Risultati - Define Path)

General Postproc - Path Operation - Map Onto Path

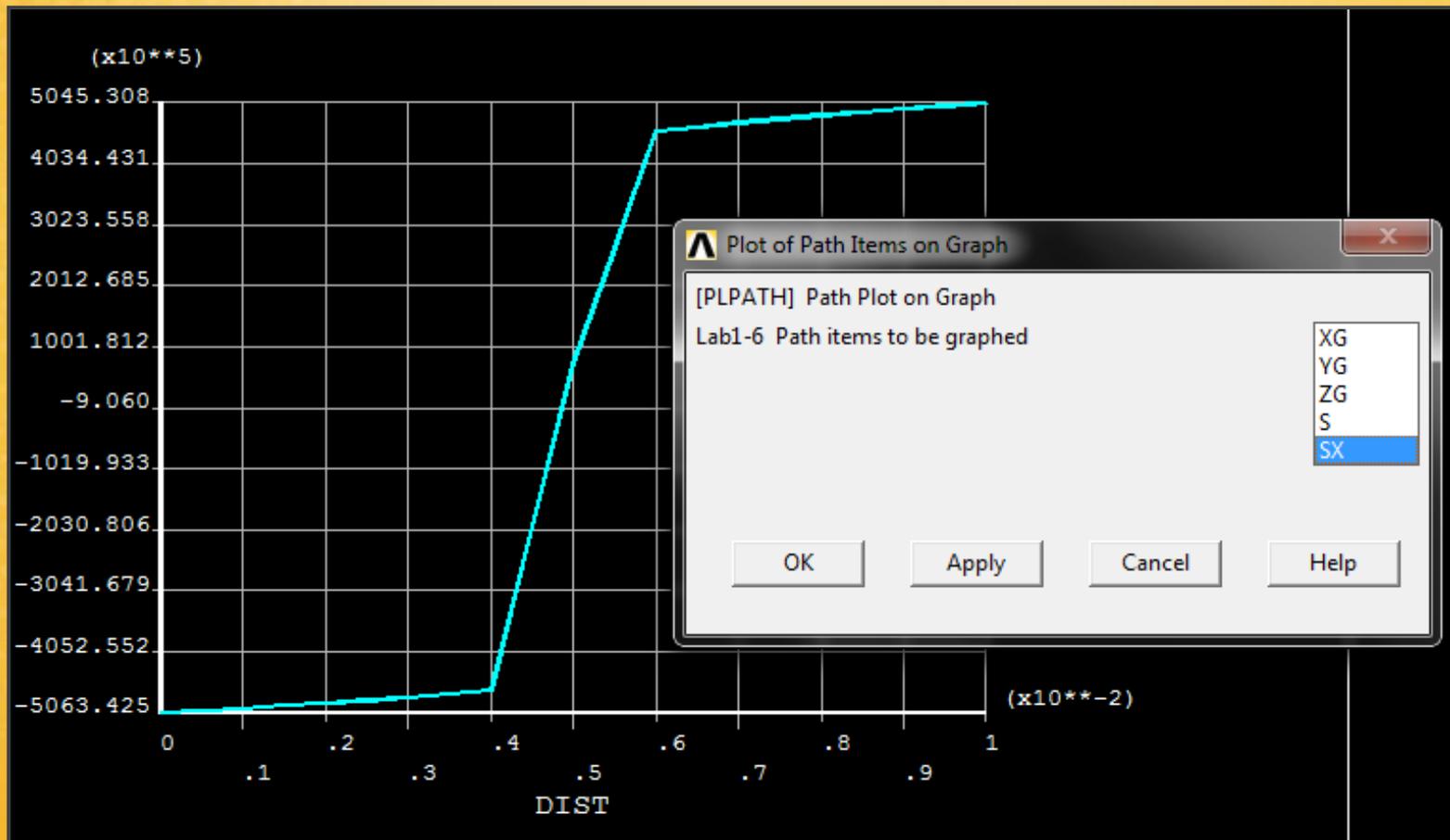
Si definiscono le grandezze da mappare (equivalente all'Element Table)



Esercitazione N.6 (Risultati - Define Path)

General Postproc - Path Operation - Plot Path Item - On the Graph

Si realizza il grafico con i dati mappati



Esercitazione N.6 (Tensioni residue)

Per calcolare le tensioni residue, dopo aver eliminato il carico dalla barra, si procede come segue:

1) Si entra nel solutore, si imposta che la soluzione del problema non debba ripartire da zero, ma che deve considerare i risultati della deformazione plastica:

Solution – Analysis Type – Restart

2) Si cambiano le condizioni di carico, rimuovendo il carico applicato.

Tale operazione viene fatta rimanendo all'interno del solutore:

Solution - Define Loads - Delete - ... - Displacement - On Nodes

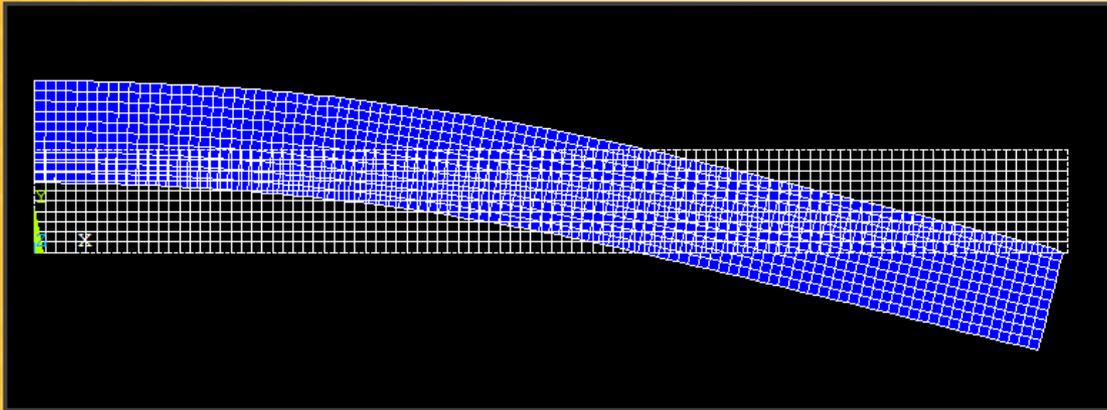
NB: si sceglie On Nodes perchè il programma trasferisce al momento dell'analisi i carichi dalla geometria (keypoint) al nodo. In particolare quando si effettua il Restart, tutto quello che è sulla geometria, viene spostato sui nodi.

3) Cancellare UY

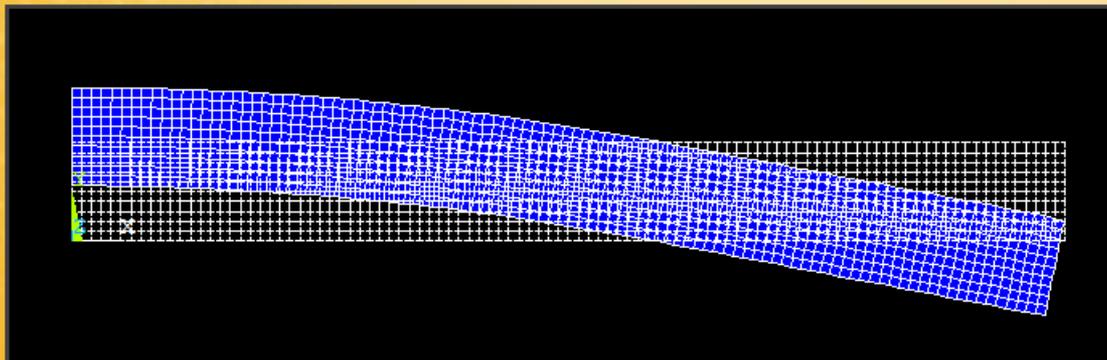
4) Ripetere l'analisi: **Solution - Solve - Current LS**

Esercitazione N.6 (Risultati)

General Postproc - Plot Results - Deformed Shape

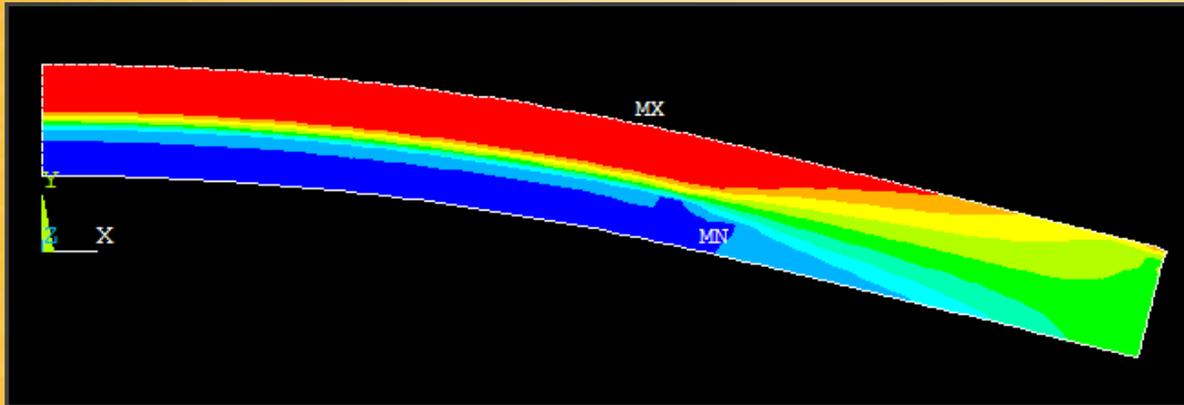


La deformata dopo la rimozione del carico ha riacquisito qualche mm a causa del ritorno elastico della barra

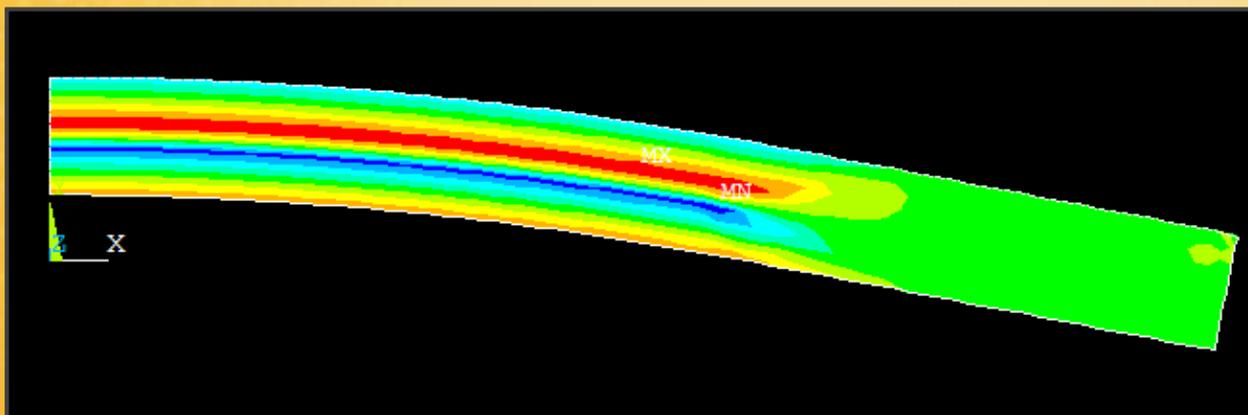


Esercitazione N.6 (Risultati)

General Postproc – Plot Results – Nodal solution – Stress: x-component of stress



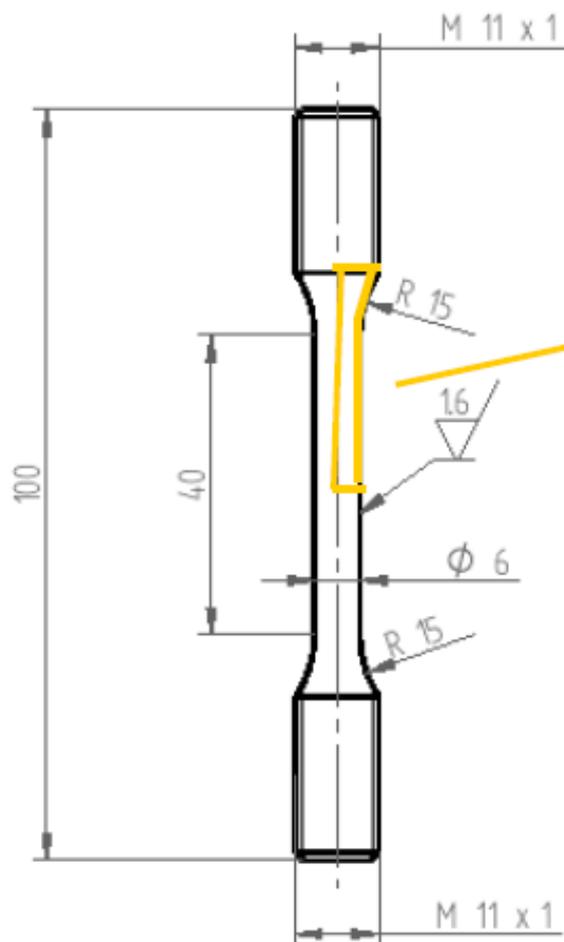
Tensioni residue, zona rimasta plasticizzata.



Esercitazione N.7

(Simulazione elasto-plastica della prova di trazione su provino cilindrico)

Prova di trazione: schema di calcolo con elemento assialsimmetrico
(si impone al provino un allungamento coincidente con quello corrispondente alla rottura sperimentale)



Dati del problema:

$$d = 7.5 \text{ mm}$$

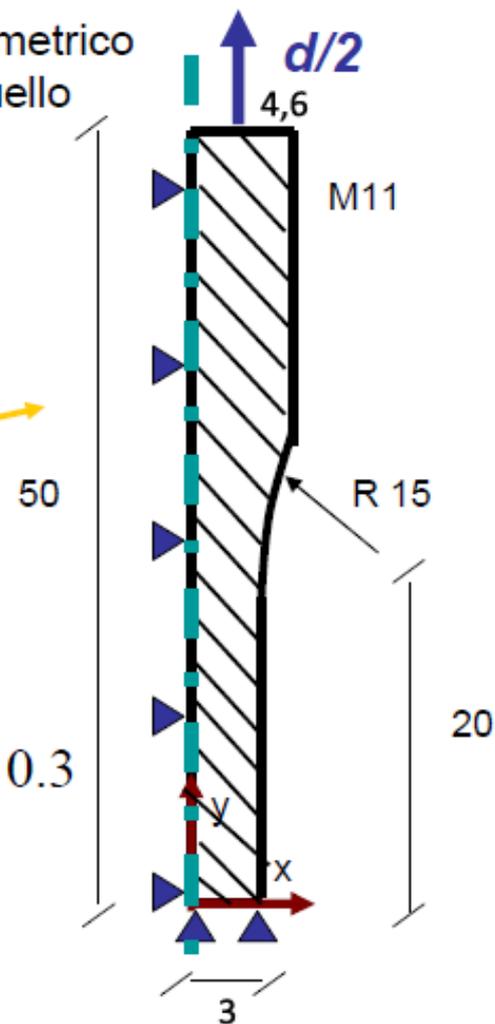
$$E = 207 \text{ GPa} \quad \nu = 0.3$$

$$\sigma_y = 505 \text{ MPa}$$

$$R_0 = 315 \text{ MPa}$$

$$R_{\text{inf}} = 260 \text{ MPa}$$

$$b = 24$$



Esercitazione N.7

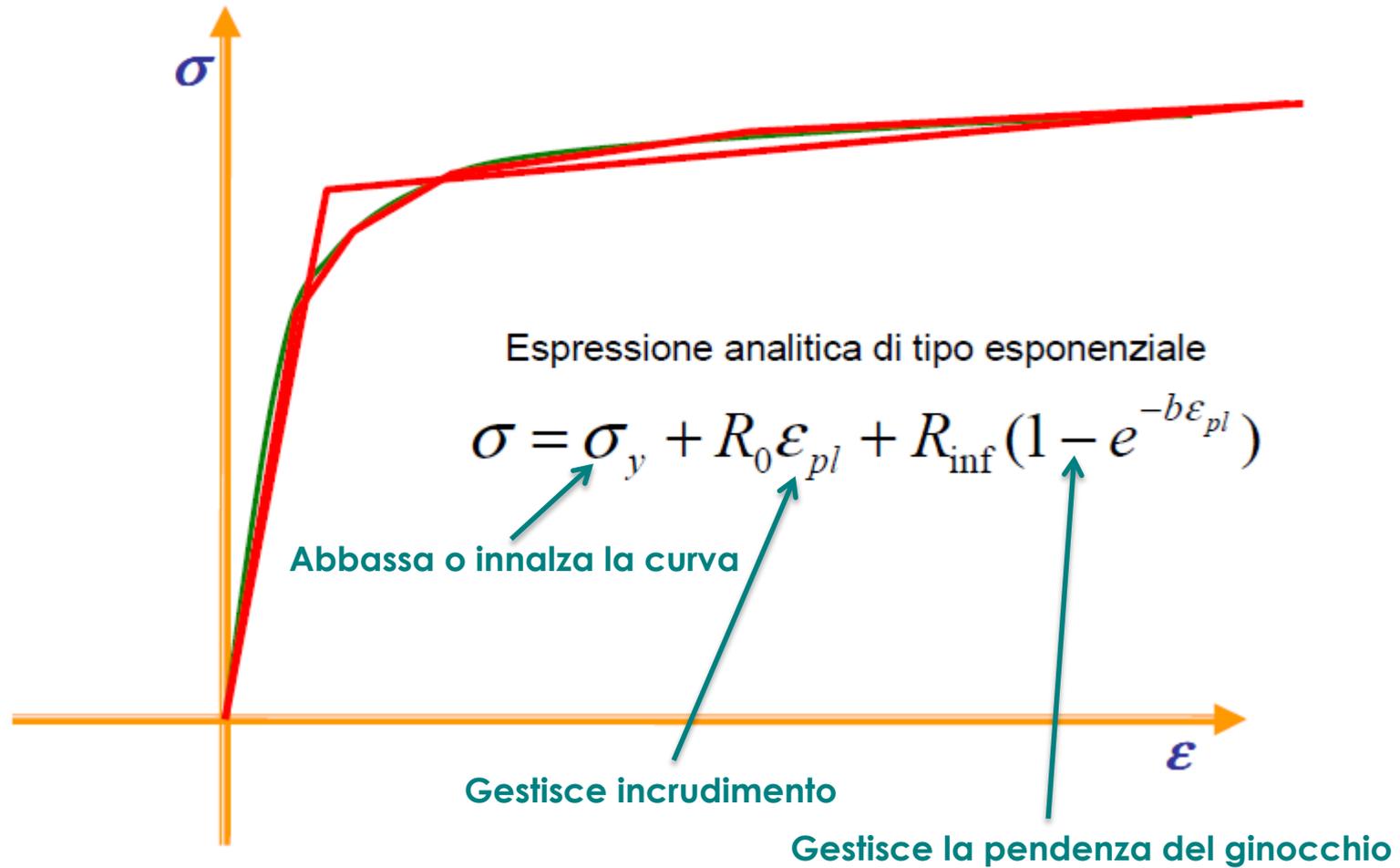
(Simulazione elasto-plastica della prova di trazione su provino cilindrico)

New:

- *Introduzione alla modellazione del comportamento plastico: modello elasto-plastico isotropico non-lineare.*
- *Analisi non lineare in ipotesi di grandi spostamenti e grandi deformazioni.*
- *Elemento piano assial-simmetrico a 4 nodi.*
- *Uso del solutore per analisi non-lineari: tempo analisi, step e sottostep, impostazione opzioni di calcolo*
- *Visualizzazione risultati: campo di tensione e deformazione, time-history e animazione grandezze di interesse*

Esercitazione N.7 (Informazioni preliminari)

Modelli costitutivi elasto-plastici: espressione analitica non lineare di tipo esponenziale



Esercitazione N.7 (Informazioni preliminari)

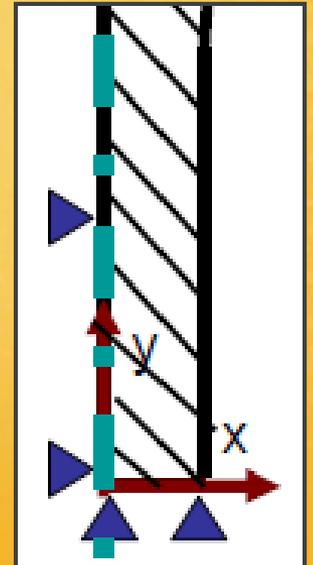
Problema assialsimmetrico

Ogni elemento rappresenta un anello circolare intorno alla sezione.

Il codice di calcolo per la soluzione di questo tipo di problemi usa un'approssimazione, quindi bisogna utilizzare una mesh di elementi più fitta rispetto al caso piano.

In questo tipo di analisi (prova di trazione), non c'è un modello per determinare il punto di rottura del materiale, si può valutare solo l'andamento plastico della deformazione.

NB: utilizzando l'elemento assialsimmetrico bisogna far coincidere l'asse di simmetria dell'elemento con quello del provino.

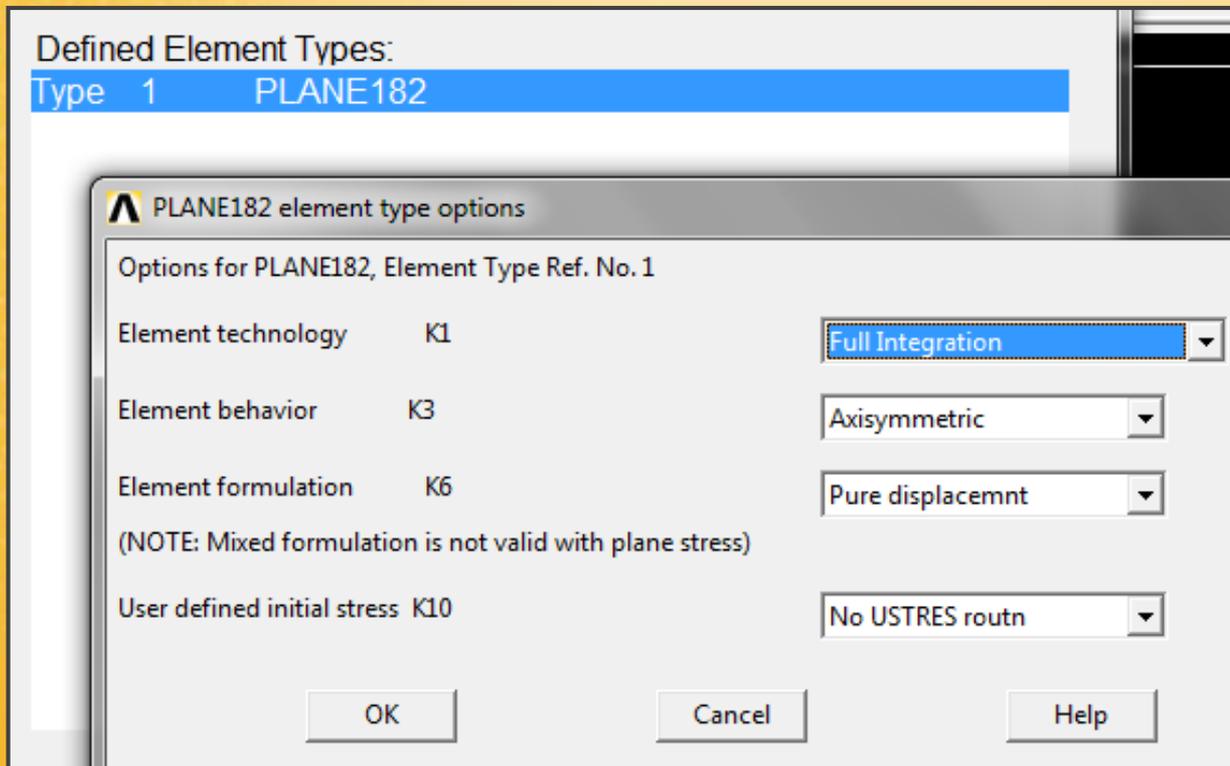


Esercitazione N.7 (Element Type)

Element Type: quad 4node 182 (PLANE182)

L'elemento PLANE42 non va bene per questo tipo di analisi perché non ha la possibilità di considerare il modello non lineare per il materiale.

4note 182 - opzione axisymmetric



Esercitazione N.7 (Materiale)

Impostazione di un modello non lineare di tipo esponenziale.

Structural - Nonlinear - Inelastic - ... - Mises plasticity – Non linear

Nonlinear Isotropic Hardening for Material Number 1

	T1
Temperature	0
Sigy0	5.05E+008
R0	3.15E+008
Rinf	2.06E+008
b	24

Parametri caratteristici della curva σ - ε

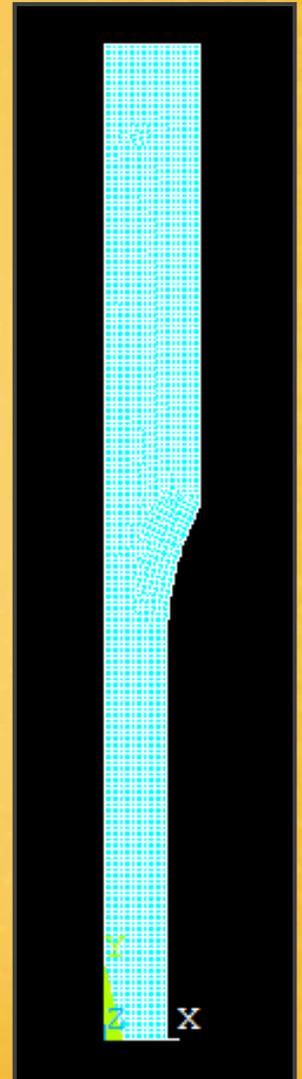
Esercitazione N.7 (Modellazione)

Geometria: si creano due superfici rettangolari unite con il comando GLUE. Successivamente si sottrae una circonferenza per creare il raccordo.

Vincoli: sfruttando la simmetria e la continuità del materiale, sulla linea lungo l'asse y, vengono bloccate le traslazioni UX con un carrello, lo stesso lungo la linea sull'asse x, bloccando le traslazioni UY con un altro carrello.

Spostamento/Momento: lo spostamento viene applicato imponendo un vincolo alla linea superiore in alto, impostando uno spostamento di 0.00375 m.

Mesh: si imposta una mesh costante di circa 10 elementi lungo lo spessore minimo.



Esercitazione N.7 (Analisi NON-LINEARE)

Solution - Analysis type - Sol'n Controls

Basic | Transient | Sol'n Options | Nonlinear | Advanced NL

Analysis Options

Large Displacement Static

Calculate prestress effects

Time Control

Time at end of loadstep: 1

Automatic time stepping: Off

Number of substeps

Time increment

Number of substeps: 200

Max no. of substeps: 0

Min no. of substeps: 0

Write Items to Results File

All solution items

Basic quantities

User selected

Nodal DOF Solution

Nodal Reaction Loads

Element Solution

Element Nodal Loads

Element Nodal Stresses

Frequency:

Write N number of substeps

where N = 10

Si impone di visualizzare risultati degli ultimi 10 substeps

Impostazione grandi spostamenti

Numero di substeps

Autostepping OFF, serve per visualizzare i passi intermedi, substeps

Esercitazione N.7 (Analisi NON-LINEARE)

Per vedere i passi intermedi (substeps) della soluzione non si usa l'automatic stepping: si imposta l'opzione su **OFF**.

Il numero substeps deve essere superiore al numero di substeps di cui voglio conoscere la soluzione (es. imposto 200 passi e di 10 ne voglio conoscere la soluzione).

Note:

- con passi troppo grandi, non si ha la convergenza della soluzione
- con un numero eccessivo di passi, si impiega troppo tempo per calcolare la soluzione.

Si procede quindi per tentativi: se il programma si blocca, si cambia il numero di substeps.

Frequency: serve per impostare quanti substeps salvare

Esercitazione N.7 (Risultati)

Una volta terminato il calcolo della soluzione, dentro **General Post Proc** si trova sempre l'ultimo passo della soluzione è stato calcolato.

Per vedere i passi precedenti della soluzione:

General Post Proc - Read Results - Previous Step

In questo modo è possibile spostarsi all'interno dei vari substep (sono tutti passi che ANSYS ha utilizzato per calcolare il risultato finale).

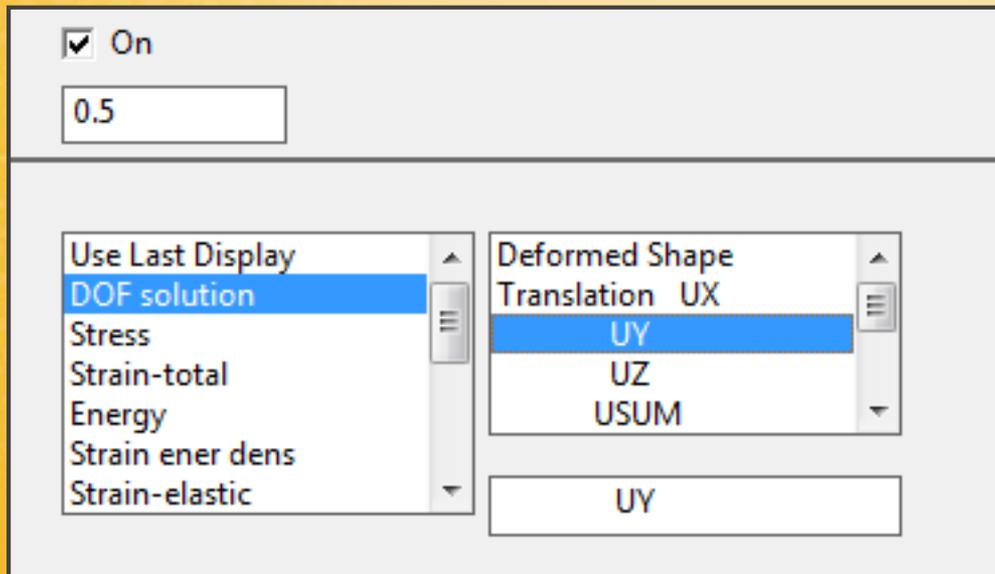
- ☐ **General Postproc**
 -  **Data & File Opts**
 -  **Results Summary**
 - ☐ **Read Results**
 -  **First Set**
 -  **Next Set**
 -  **Previous Set**
 -  **Last Set**
 -  **By Pick**

Esercitazione N.7 (Risultati + Animazione)

Soluzioni ai nodi (Nodal Solution)

- Equivalent plastic strain: deformazione plastica
- Y component displacement: deformazione lungo l'asse y, in base alla deformazione nei singoli step, posso dedurre il corrispondente carico applicato.

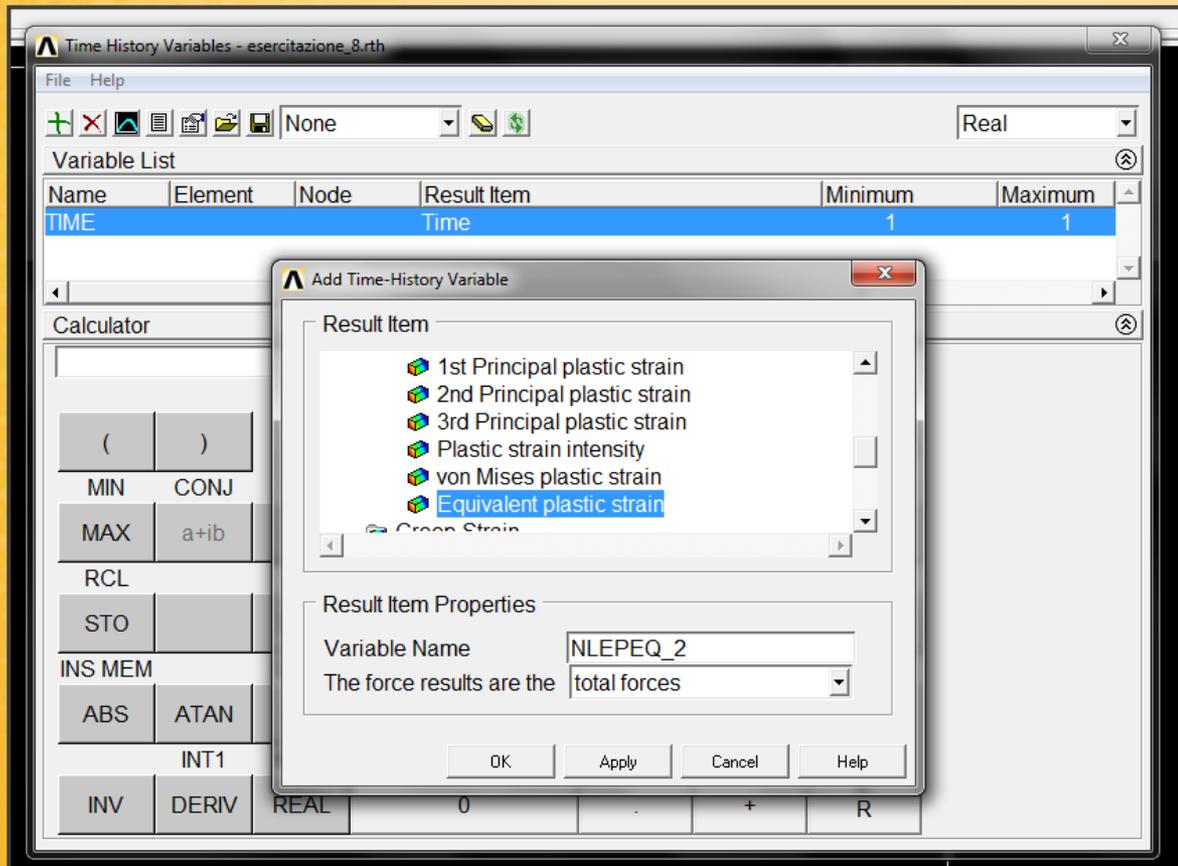
Animazione delle grandezze di interesse (ad esempio deformazione lungo Y):
Plotctrl - Animate – Over Results



Esercitazione N.7 (Risultati)

Esiste un'altra possibilità di visualizzare i risultati:

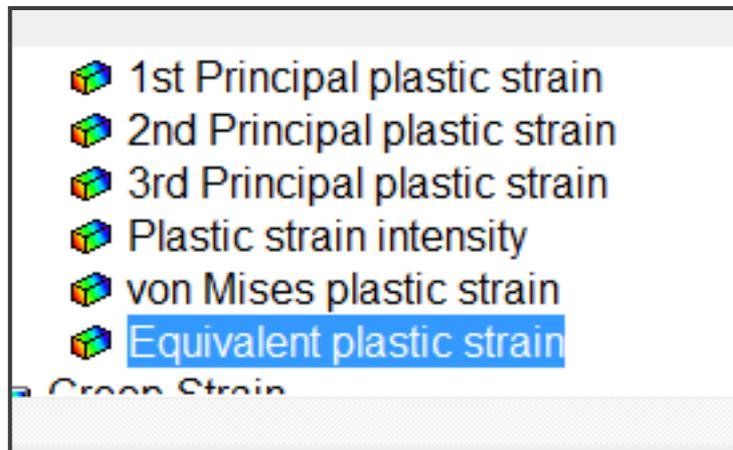
TimeHist Postproc: è un menu pensato per fare l'andamento nel tempo. In questo caso attraverso gli incrementi del carico nell'analisi non lineare.



Esercitazione N.7 (Risultati)

E' possibile graficare e plottare una serie di variabili:

+add data: grandezze che posso aggiungere e plottare.



Successivamente bisogna scegliere su quale nodo vedere la grandezza scelta.

Si aggiunge un'altra grandezza da plottare e poi si fissa l'ascissa e si seleziona l'ordinata.

Cliccando poi sul pulsante **GraphData** si plotta il grafico

Esercitazione N.8

(Progetto di un dissipatore per CPU)

Progettare un dissipatore per cpu avente la geometria (di massima) illustrata in figura. La base del dissipatore, a contatto con la cpu è in rame, mentre il corpo è in alluminio. Sul dissipatore è montata una ventola di raffreddamento. Il dissipatore assorbe calore dalla cpu per conduzione  e lo cede per convezione forzata con l'aria .

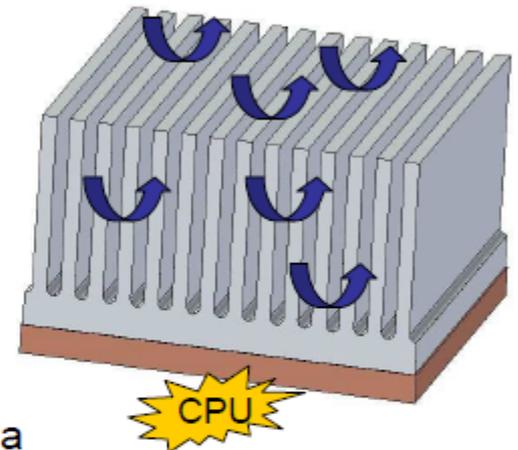
E' richiesto, lavorando con la geometria di massima:

- il calcolo del campo di temperatura in condizioni di esercizio stazionarie.
- il calcolo delle sollecitazioni meccaniche sul componente dovute agli stress termici.

In seguito si ottimizzi la geometria in modo da garantire:

- che la cpu lavori entro la temperatura massima limite di utilizzo a pieno carico (80°C)
- che in queste condizioni il componente possa resistere elasticamente agli stress termici cui è sottoposto

Infine si simulino gli effetti sul componente causati dalla rottura improvvisa della ventola di raffreddamento



Esercitazione N.8

(Progetto di un dissipatore per CPU)

Dati materiali	Alluminio	Rame
Conducibilità termica:	$K = 180 \frac{W}{m K}$	$K = 365 \frac{W}{m K}$
Modulo di Young:	$E = 68.9 \text{ GPa}$	$E = 110 \text{ GPa}$
Coeff. di Poisson:	$\nu = 0.33$	$\nu = 0.35$
Tensione di Snervamento:	$\sigma_s = 60 \text{ MPa}$	$\sigma_s = 80 \text{ MPa}$
Modulo tangente:	$M_t = 1380 \text{ MPa}$	$M_t = 2200 \text{ MPa}$
Coeff. di espansione termica:	$\alpha = 24.2 \cdot 10^{-6} \frac{m}{m K}$	$\alpha = 12.5 \cdot 10^{-6} \frac{m}{m K}$

Esercitazione N.8

(Progetto di un dissipatore per CPU)

Carichi e "vincoli" termici

Potenza termica prodotta dalla CPU a pieno carico che deve essere dissipata, da trattare come flusso di calore entrante nella base in rame:

$$P = 60 \text{ W} \quad \dot{Q} = \frac{P}{A_{\text{basedissipatore}}} \times 2$$


Fattore correttivo!

Condizioni di scambio termico per convezione forzata tra le alette del dissipatore e l'aria spinta dalla ventola

Coefficiente di adduzione e temperatura del fluido di scambio

$$h = 45 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \quad T_{\text{bulk}} = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$


Condizioni di scambio termico per convezione naturale in caso di guasto alla ventola

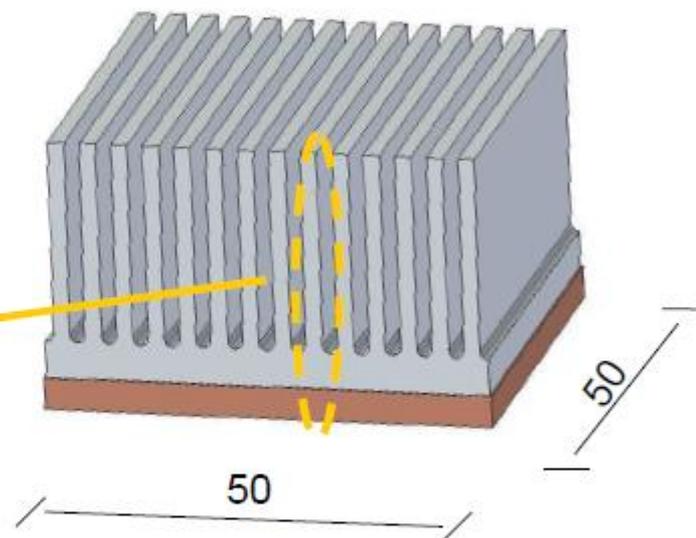
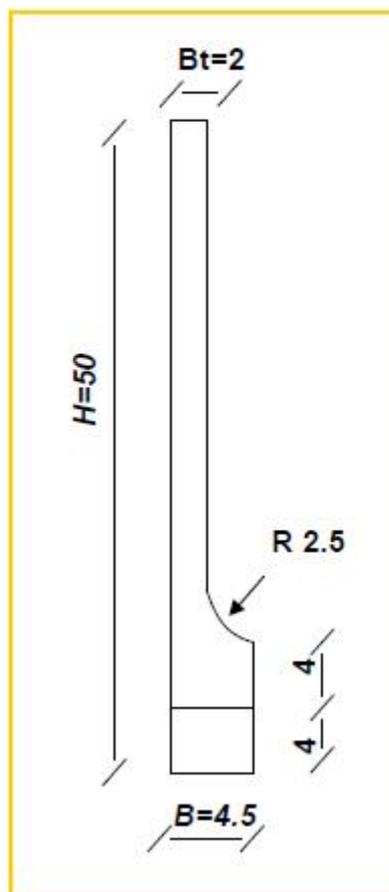
Coefficiente di adduzione e temperatura del fluido di scambio

$$h = 8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \quad T_{\text{bulk}} = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$$


Esercitazione N.8

(Progetto di un dissipatore per CPU)

Dettagli geometrici del dissipatore e schema di calcolo



Variabili di progetto: H , B , Bt

Esercitazione N.8

(Progetto di un dissipatore per CPU)

New:

- *Analisi termica stazionaria*
- *Elementi di tipo termico*
- *Applicazione carichi e vincoli termici*
- *Visualizzazione risultati di tipo termico*
- *Passaggio da analisi termica ad analisi strutturale meccanica (problema disaccoppiato)*
- *Campo di temperatura da analisi termica come "carico" meccanico*
- *Campo di tensione dovuto a gradienti termici, coefficiente di dilatazione termica*

Esercitazione N.8 (Informazioni preliminari)

Quando si effettua un'analisi termina, bisogna scindere il problema meccanico da quello termico. Il programma può usare per l'analisi solo elementi termici o solo elementi meccanici: il problema viene disaccoppiato.

Analisi termica: si calcolano le condizioni stazionarie durante l'esercizio della CPU (coefficiente di scambio termico). Se si era interessati anche all'andamento nel tempo bisognava usare il calore specifico.

NB: il coefficiente di dilatazione termica serve per tenere conto delle dilatazioni sul componente per ricavare gli stress meccanici.

Modello del materiale: bilineare

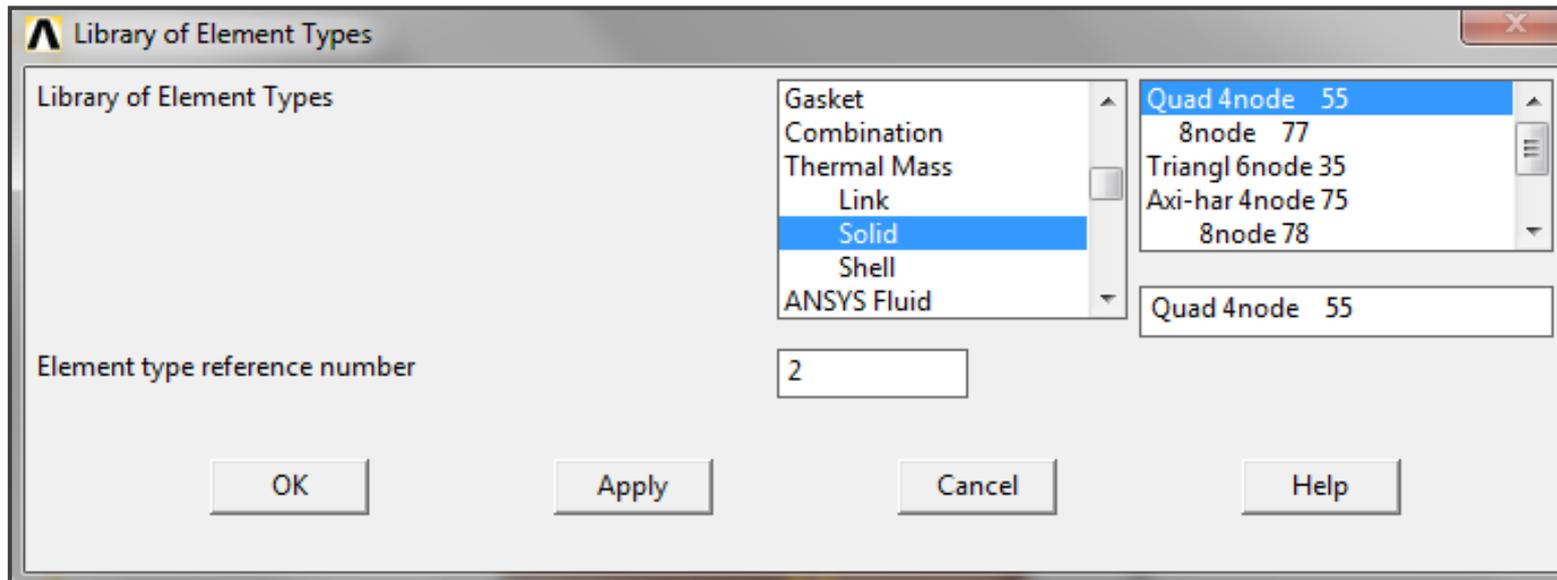
Carichi e vincoli: termici

Esercitazione N.8 (Impostazione ELEMENTO)

Elementi piani a 4 nodi: 1GDL per ogni nodo.

NB: le incognite sono le temperature nodali.

Definizione dell'elemento termico: **Thermal mass - Solid - quad4node 55**



Option: K3 stesse opzioni in campo meccanico (plane)

Esercitazione N.8 (Impostazione MATERIALE)

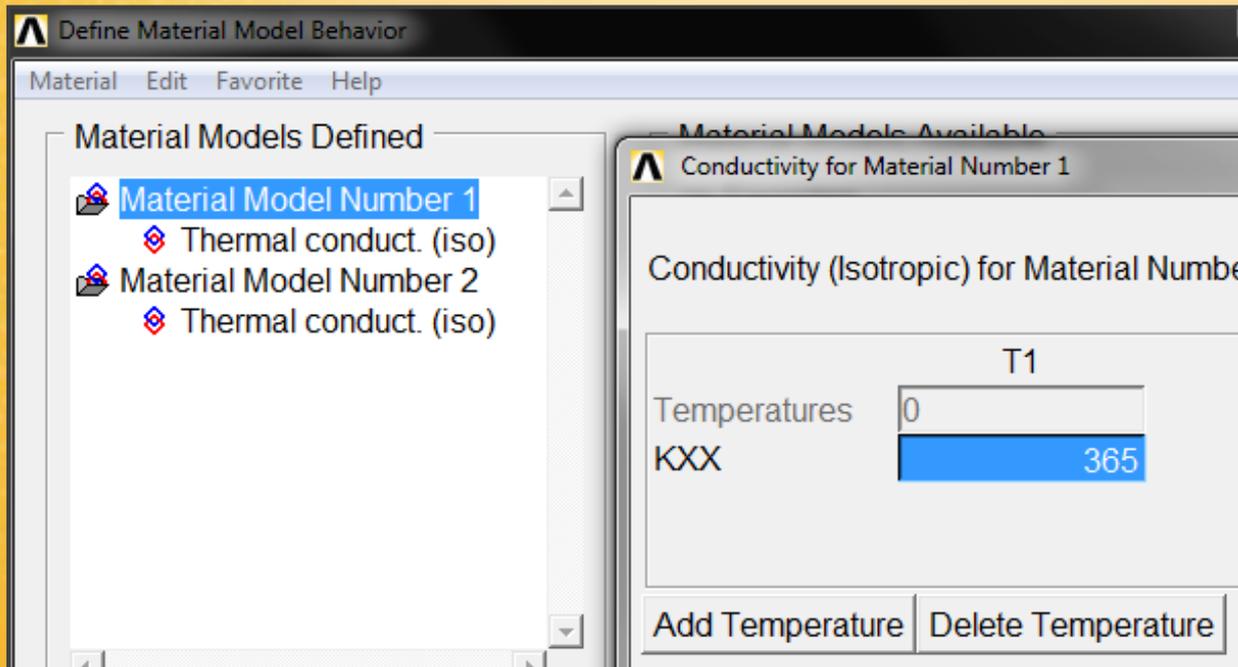
Proprietà materiale: proprietà meccaniche + termiche

NB: si impostano due proprietà termiche, una per ogni materiale dell'analisi

1) RAME

Conduffivity – Isotropic: KXX (coeff. di conducibilità)

Il valore si potrebbe impostare anche in funzione della temperatura.

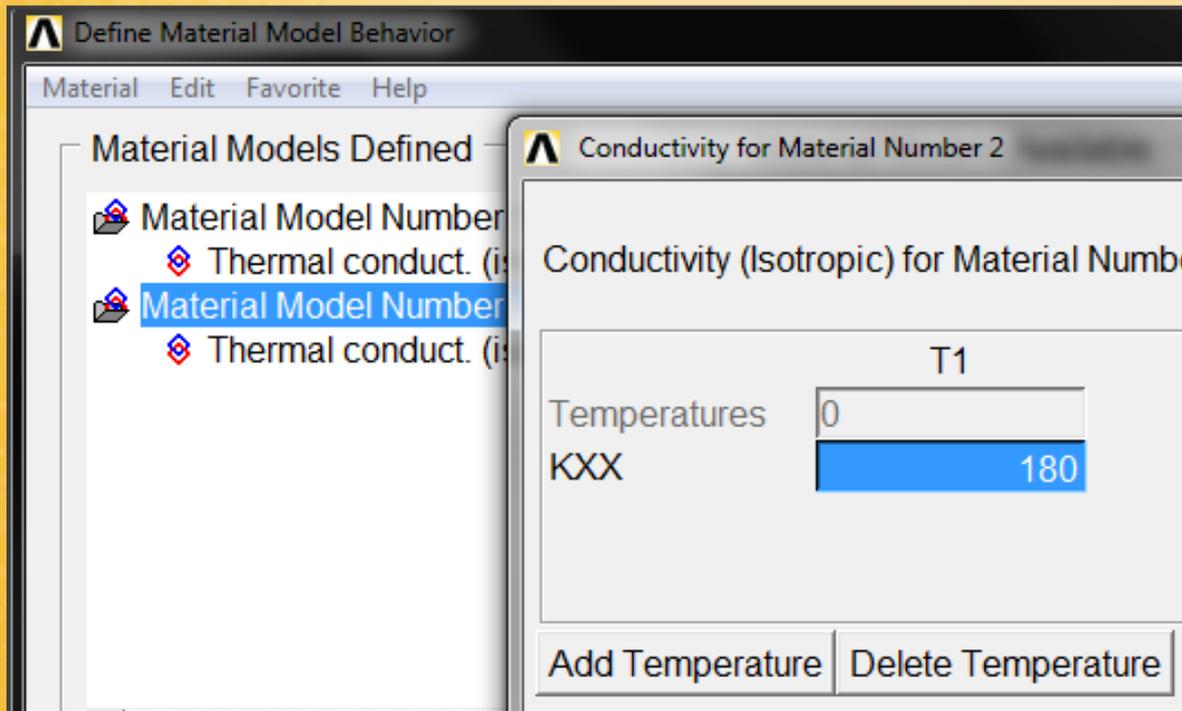


Esercitazione N.8 (Impostazione MATERIALE)

Material - New Model

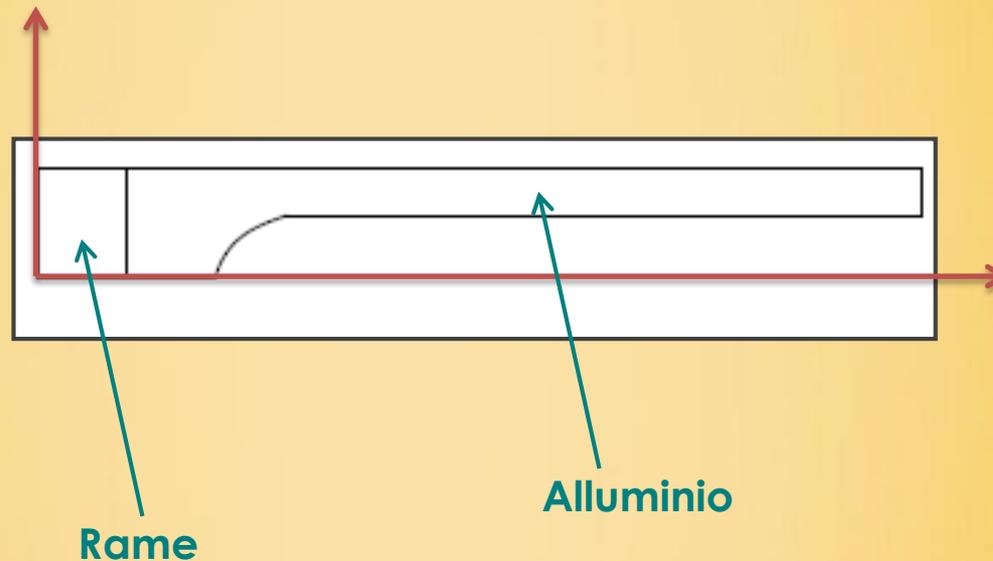
2) ALLUMINIO

Conduittivity – Isotropic: KXX (coeff. di conducibilità)



Esercitazione N.8 (Modellazione geometrica)

Geometria: modello piano di una semialetta della CPU

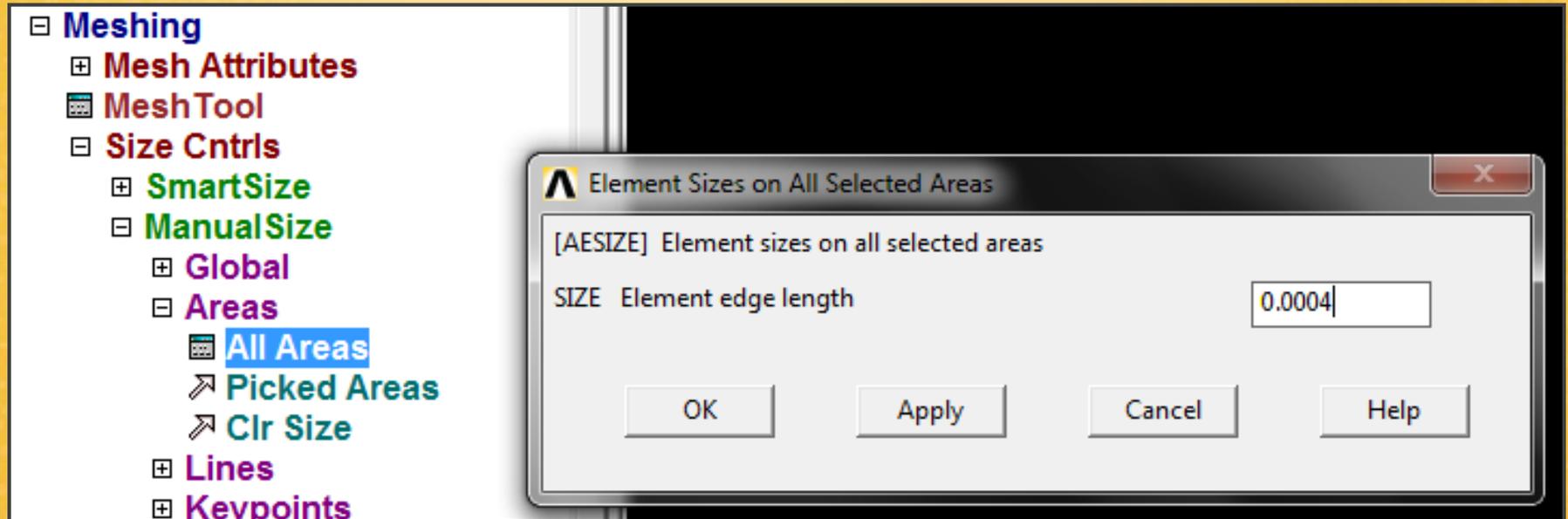


Si realizzano le due aree relative ai due materiali, rame ed alluminio, e poi si uniscono tramite il comando **GLUE**.

Esercitazione N.8 (Meshing)

Meshing – Size Cntrls – Manual Size – All Areas

Impostazione finezza mesh: meshing costante, elementi di lunghezza 0,0004 m



The screenshot displays the software's meshing control panel on the left and a dialog box on the right. The control panel is a tree view with the following items:

- Meshing
 - Mesh Attributes
 - MeshTool
 - Size Cntrls
 - SmartSize
 - ManualSize
 - Global
 - Areas
 - All Areas (highlighted)
 - Picked Areas
 - Clr Size
 - Lines
 - Keypoints

The dialog box, titled "Element Sizes on All Selected Areas", contains the following text and controls:

[AESIZE] Element sizes on all selected areas

SIZE Element edge length

Buttons: OK, Apply, Cancel, Help

Esercitazione N.8 (Meshing)

Prima di effettuare la mesh, bisogna attribuire alle diverse aree il relativo materiale:

Mesh Attributes - Picked Areas: selezionare l'area e impostazione del set materiale

The screenshot displays the ANSYS software interface. On the left, a tree view shows the following structure:

- Modeling
 - Meshing
 - Mesh Attributes
 - Default Attribs
 - All Keypoints
 - Picked KPs
 - All Lines
 - Picked Lines
 - All Areas
 - Picked Areas
 - All Volumes
 - Picked Volumes
 - Volume Brick Orient

The main window shows the "Area Attributes" dialog box with the following settings:

- [AATT] Assign Attributes to Picked Areas
- MAT Material number: 1
- REAL Real constant set number: None defined
- TYPE Element type number: 1 PLANE55
- ESYS Element coordinate sys
- SECT Element section

On the right, a smaller tree view shows the "Meshing" structure:

- Meshing
 - Mesh Attributes
 - MeshTool
 - Size Cntrl
 - Mesher Opts
 - Concatenate
 - Mesh
 - Keypoints
 - Lines
 - Areas
 - Mapped
 - Free

Mesh – Areas – Free: applicazione della mesh

Esercitazione N.8 (Carichi e Vincoli)

Loads – Define - Apply - Thermal

Temperature: impostazione temperatura

Heat Flow: flusso di energia per unità di tempo

Convection: convezione (parete aletta)

Heat Flux: conduzione, flusso di energia per unità di tempo ed area (base rame)

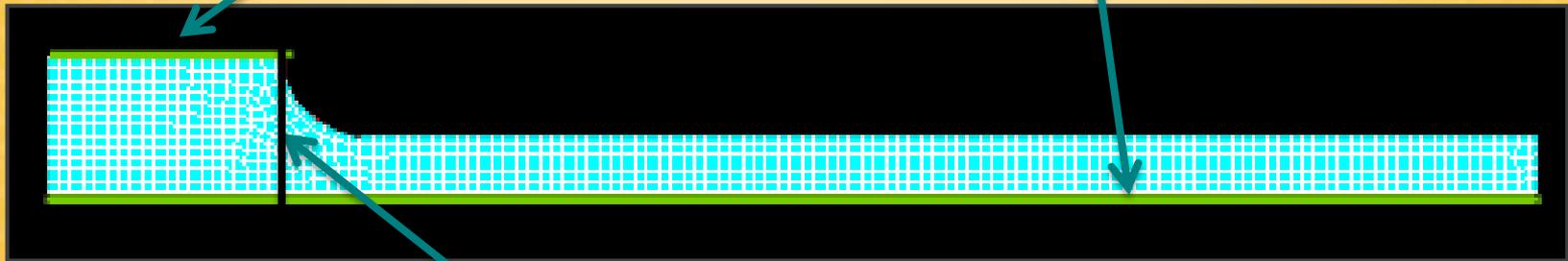
Radiation: irraggiamento

- [-] **Loads**
 - [+] **Analysis Type**
 - [+] **Fast Sol'n Optn**
 - [-] **Define Loads**
 - [+] **Settings**
 - [-] **Apply**
 - [-] **Thermal**
 - [+] **Temperature**
 - [+] **Heat Flow**
 - [+] **Convection**
 - [+] **Heat Flux**
 - [+] **Heat Generat**
 - [+] **Radiation**

Esercitazione N.8 (Adiabaticità)

Condizioni di adiabaticità

Se la parete è esterna al modello, la parete viene considerata automaticamente adiabatica, lo stesso se è interna al modello, ed interrompe una simmetria del materiale.



Lo stesso se la parete è interna al modello (esempio GLUE tra le due aree), la parete tra il GLUE viene considerata sempre adiabatica.

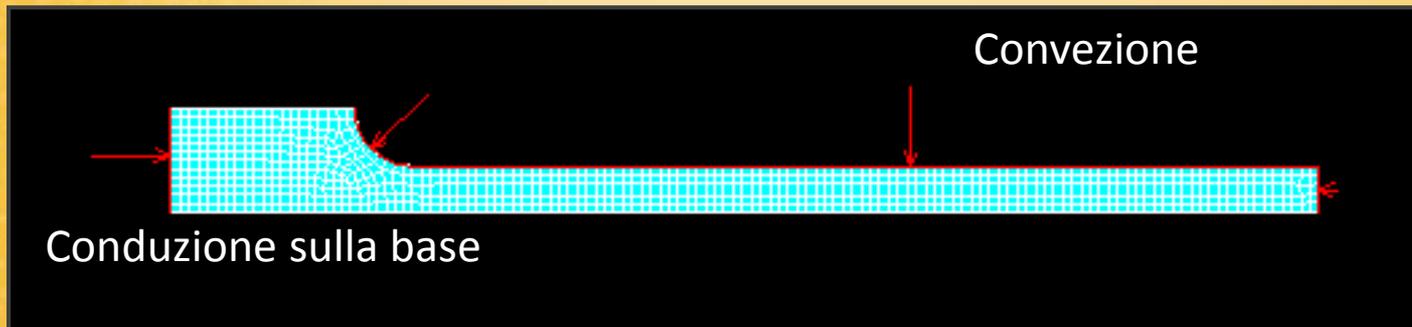
Nelle pareti adiabatiche quindi non vanno imposti vincoli termici.

Esercitazione N.8 (Carichi e Vincoli: Termici)

Impostazione carichi e vincoli termici:

Heat Flux – On Lines: potenza entrante sull'area di superficie A, seleziono la linea di base

Convention – On Lines: coeff. di adduzione + bulk temperature (temp. ambiente)
seleziono le linee su cui c'è lo scambio per convezione



Esercitazione N.8 (Soluzione e risultati ai nodi)

Solution - Solve - Current LS: classica soluzione lineare termica

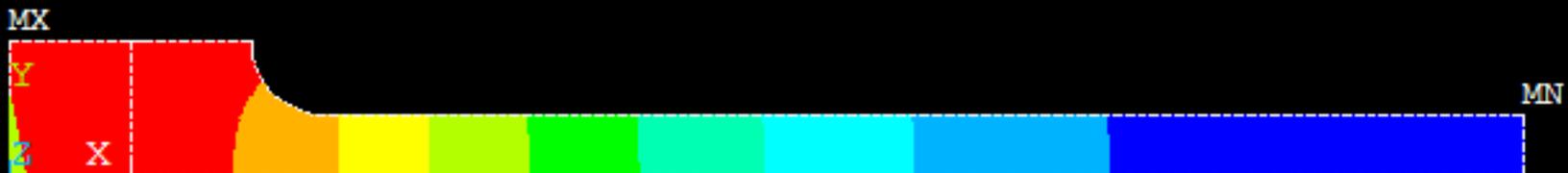
Risultati: Nodal Solution

General Postproc

- Data & File Opts
- Results Summary
- Read Results
- Plot Results
 - Deformed Shape
 - Contour Plot
 - Nodal Solu
 - Element Solu
 - Elem Table

Item to be contoured

- Favorites
- Nodal Solution
 - DOF Solution
 - Nodal Temperature
- Thermal Gradient
- Thermal Flux



Esercitazione N.8 (Analisi MECCANICA)

Il file che contiene i risultati di **un'analisi strutturale** ha un'estensione **.rst**, mentre per un **analisi termica** i risultati sono contenuti in file con estensione **.rth**

Passando da un'analisi termica ad un'analisi meccanica viene mantenuta la stessa discretizzazione, i valori delle temperature nodali vengono trasportati nell'analisi meccanica.

Per passare all'analisi meccanica la procedura è la seguente:

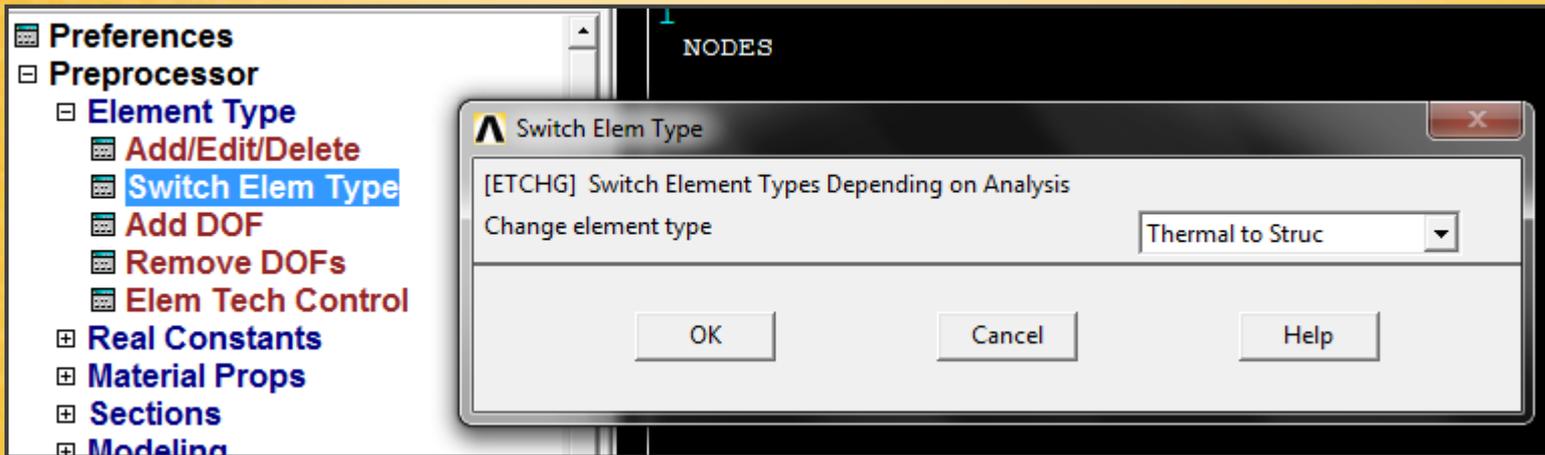
1) si torna nel preprocessore: è buona cosa cancellare i carichi termici (anche se non è obbligatorio).

Loads - Define Loads - Delete - Thermal - Heat Flux - Onlines

oppure: **Delete - All Load Data - All Loads & Opts**

Esercitazione N.8 (Analisi MECCANICA)

2) Preprocessor - Element Type - Switch Elem Type: si indica che si vuole passare dall'analisi termica a quella meccanica: **Thermal to Struc**



ANSYS ha mantenuto la mesh ma ha cambiato il tipo di elemento (si è passati al PLANE182, che è la versione più evoluta del PLANE42)

NB: passando da un'analisi termica ad una meccanica e mantenendo la stessa mesh, bisogna creare correttamente la mesh fin dall'inizio in modo tale che vada bene sia per l'analisi termica e l'analisi meccanica.

Esercitazione N.8 (Opzioni di ELEMENTO)

Che tipo di comportamento bisogna scegliere per il PLANE182?

Plain strain o Plain stress?

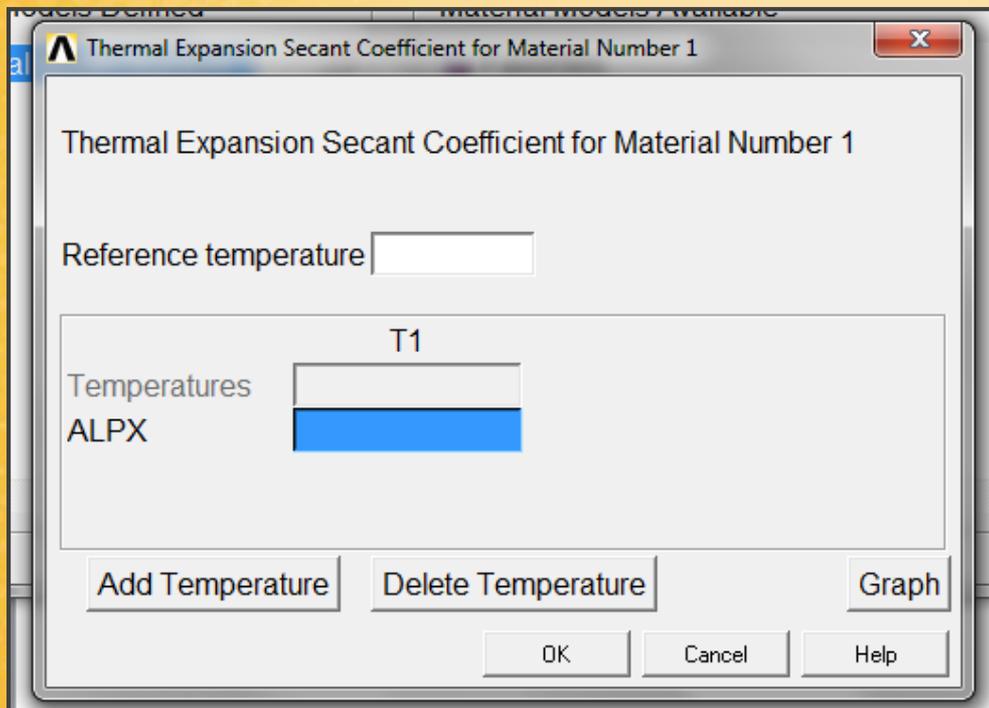
Sarebbe **Plain strain**, ma in realtà non è corretto perchè... stiamo andando a studiare la sollecitazione meccanica dovuta a dei campi termici di temperatura. Se usassimo Plain strain è come se avessimo vincolato le due pareti del dissipatore avanti e dietro: è come se non si potesse espandere e si creerebbero delle tensioni.

Quindi con lo stato di tensione piana si introducono delle tensioni che in realtà non sarebbero presenti. Si usa quindi il **Plain stress** anche se lo spessore non è piccolo rispetto alle altre dimensioni (eventualmente si potrebbe impostare analisi 3D per ovviare a questa approssimazione).

Esercitazione N.8 (Proprietà MATERIALE)

Coefficiente di espansione termica

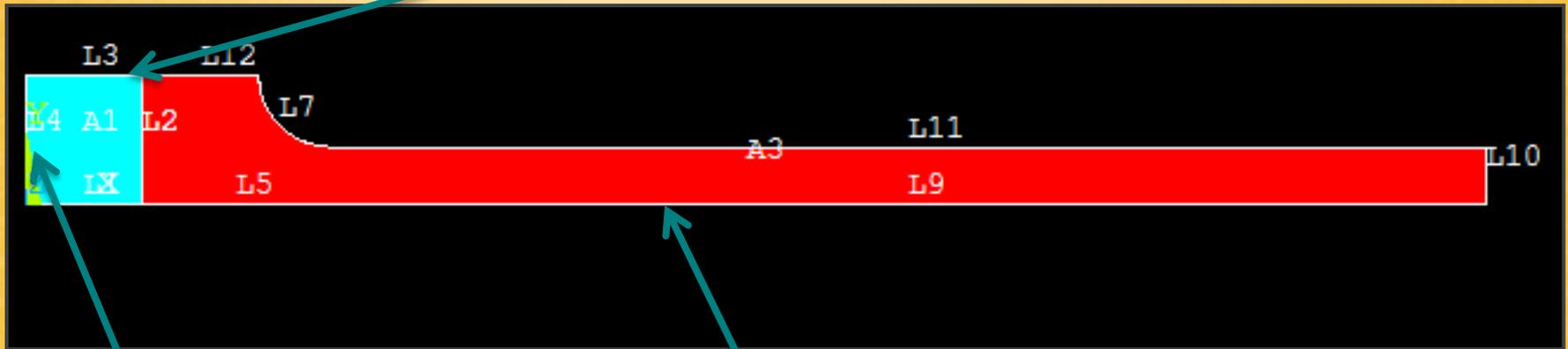
Material Models – Structural - Thermal Expansion - Secant coefficient – Isotropic



Servono due informazioni: **coeff. di espansione** (range $12.5e-6$), + **reference temperature** (temperatura a cui non si hanno deformazioni, dissipatore a temperatura ambiente 20°C)

Esercitazione N.8 (Vincoli Meccanici)

Coupling/ceqn: GDL UY



Carrello lungo UX

Carrello lungo UY

Esercitazione N.8 (Vincoli Meccanici)

Carico termico: bisogna ricaricare i risultati dell'analisi termica ed applicare il campo di temperatura agli elementi.

Define Loads - Apply - Structural - Temperature - From Therm Analy

Successivamente indicare dove è situato il file che contiene i risultati dell'analisi termica (file .rth).

Non avendo cambiato la mesh, non è cambiata la corrispondenza con i nodi tra l'analisi termica e meccanica!

SMX = .502E-03

Apply TEMP from Thermal Analysis

[LDREAD],TEMP Apply Temperature from Thermal Analysis

Identify the data set to be read from the results file

LSTEP,SBSTEP,TIME

Load step and substep no.

or

Time-point

Fname Name of results file

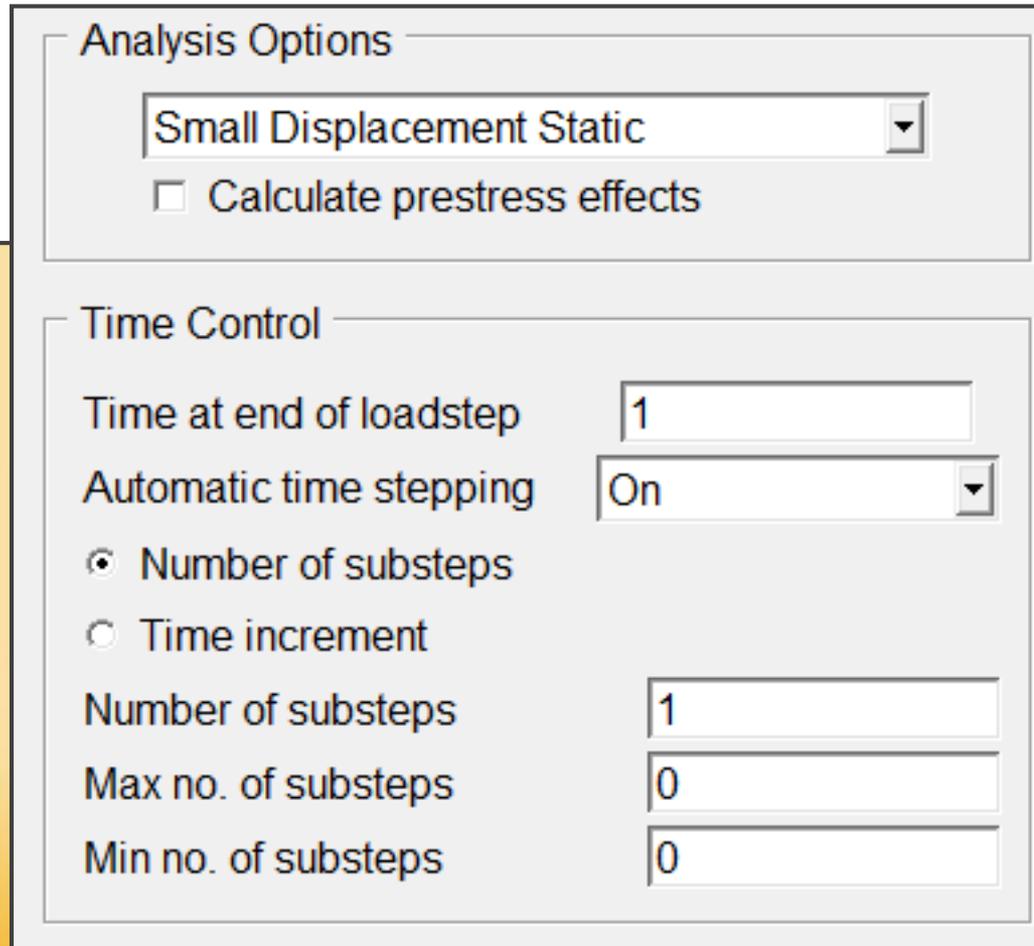
- Apply
 - Structural
 - Displacement
 - Force/Moment
 - Pressure
 - Temperature
 - On Lines
 - On Areas
 - On Volumes
 - On Keypoints
 - On Nodes
 - On Node Components
 - From Therm Analy**
 - Uniform Temp
 - On Elements
 - On Element Component
 - Inertia
 - Pretnsn Sectn

Esercitazione N.8 (Soluzione)

Bisogna cambiare le opzioni del solutore: soluzione elastoplastica.

Sol'n Contrls:

small displacement
time stemp 1
auto stepping on



The image shows a software dialog box for analysis options, divided into two sections: 'Analysis Options' and 'Time Control'.

Analysis Options

- Small Displacement Static (dropdown menu)
- Calculate prestress effects

Time Control

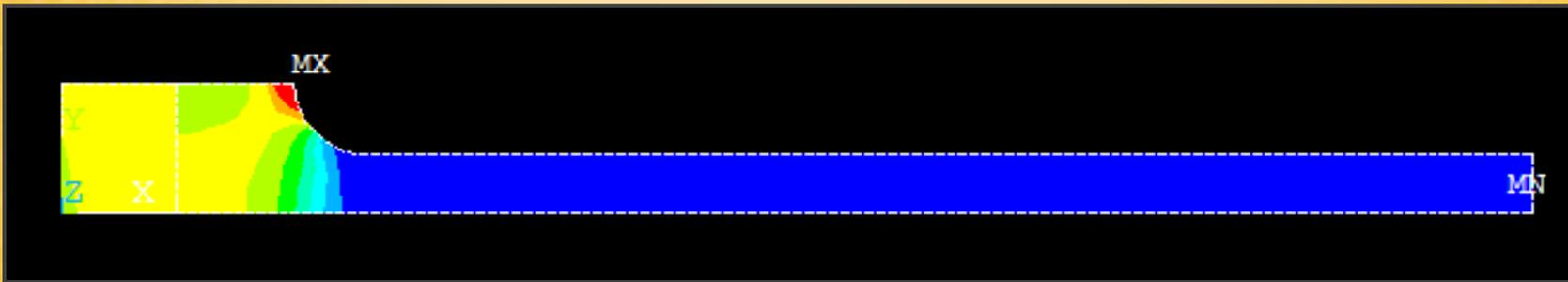
- Time at end of loadstep: 1 (text input)
- Automatic time stepping: On (dropdown menu)
- Number of substeps
- Time increment
- Number of substeps: 1 (text input)
- Max no. of substeps: 0 (text input)
- Min no. of substeps: 0 (text input)

Esercitazione N.8 (Soluzione)

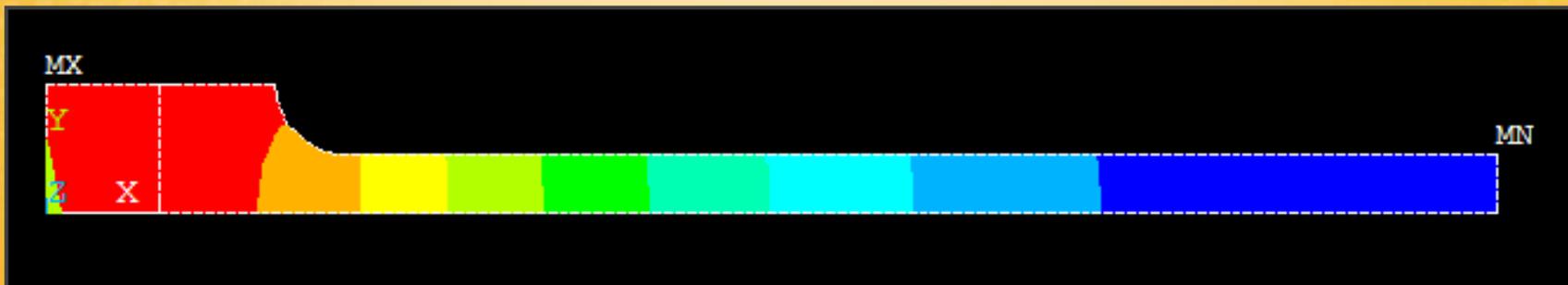
Solution - Solve - Current LS

Soluzione analisi meccanica con campo di temperatura derivante dall'analisi termica

Risultati: von mises stress



E' ancora possibile visualizzare il campo di temperatura anche all'interno di un analisi meccanica: **Plot results - Nodal solution - Body temperature**



Esercitazione N.8

(File testuale - Parametrizzazione)

```
1 !pulisco e ricomincio da capo
2 FINISH
3 /CLEAR
4
5 !definizione cartella di lavoro, facoltativa, non è necessaria se la imposto all
6 !/CWD,'D:\Daniele\Universita\MAGISTRALE\Materie\Progettazione Meccanica agli Ele
7
8 !definizione nome del lavoro, se non lo imposto non viene sovrascritta l'analisi
9 /FILENAME,esercitazione_8,0
10
11 !definzioni variabili di progetto originali
12 !H=0.050
13 !B=0.0045
14 !BT=0.002
15
16 !convenzione con ventola funzionante
17 !ADDUZIONE=45
18 !TEMPFLUIDO=40
19
20 !convenzione con ventola fuori uso
21 !ADDUZIONE=8
22 !TEMPFLUIDO=50
23
24 !definzioni variabili di progetto ottimizzate
25 H=0.070
26 B=0.001
27 BT=0.0005
28 ADDUZIONE=45
29 TEMPFLUIDO=40
```

Esercitazione N.8

(File testuale - Parametrizzazione)

```
30
31 !entro nel preprocessore
32 /PREP7
33
34 !definizione elemento termico
35 ET,1,PLANE55
36
37 !definizione materiale rame ed alluminio
38 MPTEMP,,,,,,,,
39 MPTEMP,1,0
40 MPDATA,KXX,1,,365
41 MPTEMP,,,,,,,,
42 MPTEMP,1,0
43 MPDATA,KXX,2,,180
44
45 !definizione geometria
46 RECTNG,0,0.004,0,B,
47 RECTNG,0.004,0.008+B-BT,0,B,
48 RECTNG,0.008+B-BT,H,0,BT,
49 CYL4,0.008+B-BT,B,B-BT
50
51 !stampa a schermo numero linee ed aree
52 /PNUM,LINE,1
53 /PNUM,AREA,1
54
55 !sottrazione area1 ed area4
56 ASBA,2,4
57
58 !somma area5 ed area3
59 AADD,5,3
60
61 !operazione glue area1 ed area2
62 AGLUE,1,2
```

Esercitazione N.8

(File testuale - Parametrizzazione)

```
63
64 !EOF end of file, ad intervalli regolari stoppo e provo il file
65 !/EOF
66
67 !selezione area1
68 ASEL,S,AREA, ,1
69 !assegnazione materiale 1
70 AATT,1, ,1,0,
71
72 !selezione tutto
73 ALLSEL,ALL
74
75 !selezione area3
76 ASEL,S,AREA, ,3
77 !assegnazione materiale 2
78 AATT,2, ,1, 0,
79
80 !selezione tutto
81 ALLSEL,ALL
82
83 !finezza mesh delle aree
84 AESIZE,ALL,BT/5,
85
86 !meshing delle aree
87 AMESH,ALL
88
89 !EOF end of file, ad intervalli regolari stoppo e provo il file
90 !/EOF
91
92 !applicazione del flusso sulla linea4
93 SFL,4,HFLUX,60/(0.05*0.05)*2,
```

Esercitazione N.8

(File testuale - Parametrizzazione)

```
94
95 !applicazione della convezione sulle linee 7, 10 e 11
96 SFL,7,CONV,ADDUZIONE, ,TEMPFLUIDO,
97 SFL,10,CONV,ADDUZIONE, ,TEMPFLUIDO,
98 SFL,11,CONV,ADDUZIONE, ,TEMPFLUIDO,
99
100 !fine preprocessore
101 FINISH
102
103 !entro nel solutore
104 /SOL
105
106 !avvio soluzione
107 SOLVE
108 FINISH
109
110 !entro nel postprocessore
111 /POST1
112
113 !plotto il campo di temperatura ai nodi
114 PLNSOL, TEMP,, 0
115
116 !FINE PARTE TERMICA
117
118 !EOF end of file, se voglio stoppare qui e vedere solo l'analisi termica
119 !/EOF
120
121 !INIZIO PARTE MECCANICA
122
123 !entro nel preprocessore
124 FINISH
125 /PREP7
```

Esercitazione N.8

(File testuale - Parametrizzazione)

```
126
127 !cancellazione carichi termici
128 LSCLEAR,ALL
129
130 ! element thermal change to structural, cambio tipo di elemento
131 ETCHG,TTS
132
133 !definizione proprietà del materiale
134 MPTEMP,,,,,,,,
135 MPTEMP,1,0
136 UIMP,1,REFT,,,20
137 MPDATA,ALPX,1,,12.5e-6
138 MPTEMP,,,,,,,,
139 MPTEMP,1,0
140 UIMP,2,REFT,,,20
141 MPDATA,ALPX,2,,24.2e-6
142 MPTEMP,,,,,,,,
143 MPTEMP,1,0
144 MPDATA,EX,1,,110e9
145 MPDATA,PRXY,1,,0.35
146 MPTEMP,,,,,,,,
147 MPTEMP,1,0
148 MPDATA,EX,2,,68.9e9
149 MPDATA,PRXY,2,,0.33
150 TB,BISO,2,1,2,
151 TBTEMP,0
152 TBDATA,,80e6,2200e6,,,,
153 TB,BISO,1,1,2,
154 TBTEMP,0
155 TBDATA,,60e6,1380e6,,,,
156
157 !impostazione vincolo UX linea4
158 DL,4, ,UX,0
```

Esercitazione N.8

(File testuale - Parametrizzazione)

```
159
160 !impostazione vincolo UY lineal, 5 e 9
161 DL,1, ,UY,0
162 DL,5, ,UY,0
163 DL,9, ,UY,0
164
165 !EOF end of file, ad intervalli regolari stoppo e provo il file
166 !/EOF
167
168 !comando coupling, seleziono linee 3 e 12, selezione nodi sulle linee 3 e 12, e poi coupling
169
170 !LSEL line select
171 LSEL,S,LINE, ,3
172
173 !LSEL also select
174 LSEL,A,LINE, ,12
175
176 !selezione nodi sulle linee attive, cioè linea 3 e 12
177 NSLL,S,1
178
179 !coupling di tutti i nodi attivi sul gdl UY
180 CP,1,UY,ALL
181
182 !selezione tutto
183 ALLSEL,ALL
184
185 !importazione file che contiene i risultati dell'analisi termica
186 LDREAD,TEMP,,, , , 'esercitazione_8', 'rth', ' '
187
188 !fine preprocessore
189 FINISH
190
191 !entro nel solutore
192 /SOL
```

Esercitazione N.8

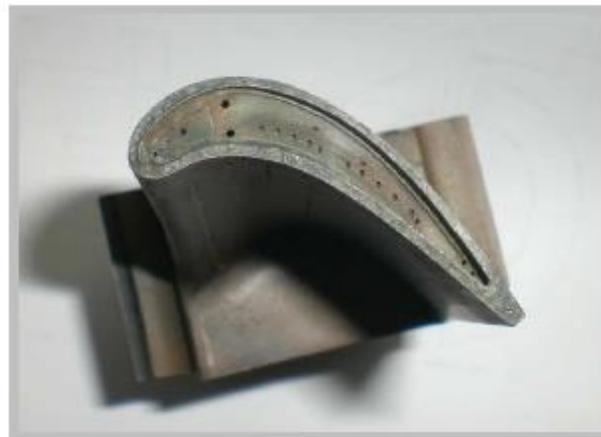
(File testuale - Parametrizzazione)

```
193
194 !impostazione automatic time stepping
195 AUTOTS,1
196
197 !impostazione time end of loadstep
198 TIME,1
199
200 !avvio soluzione
201 SOLVE
202 FINISH
203
204 !entro nel postprocessore
205 /POST1
206
207 !plotto equivalent plastic strain
208 PLNSOL, NL,EPEQ, 0,1.0
209
210 !plotto il campo di temperatura ai nodi
211 PLNSOL, BFE,TEMP, 0,1.0
212
```

Esercitazione N.9

(Paletta aeronautica, analisi termo-strutturale)

Determinare il campo di temperatura, il campo tensionale e deformativo, di una paletta per turbina in superlega di nickel in condizioni di esercizio stazionarie.



N.b. Studio estremamente semplificato, su geometria di massima e dati di letteratura

Esercitazione N.9

(Paletta aeronautica, analisi termo-strutturale)

Condizioni stazionarie di esercizio:

$$t_H = 1123 \text{ K}$$

$$t_{L_1} = 773 \text{ K}$$

$$t_{L_2} = 673 \text{ K}$$

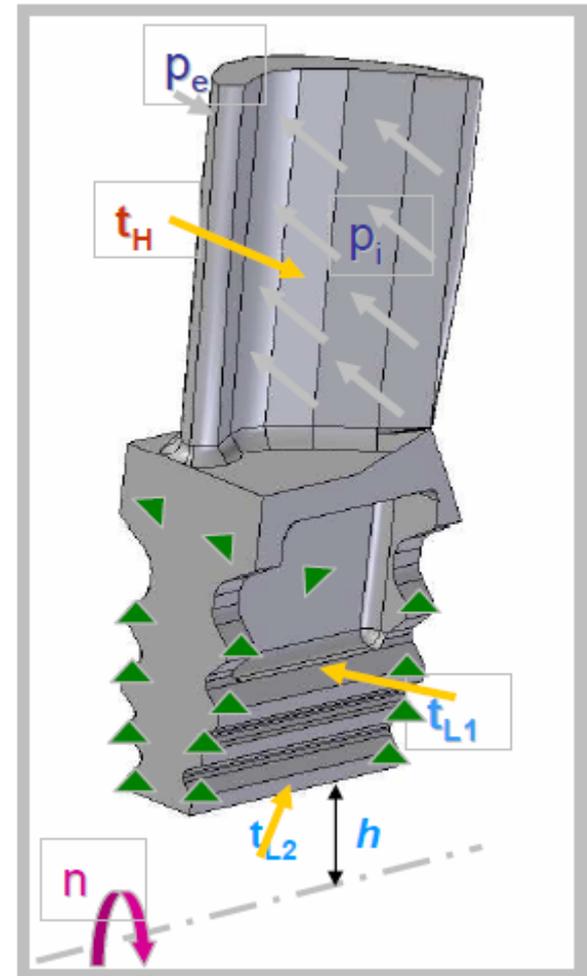
$$\Delta p_{\text{intradosso-estradosso}} = p_i - p_e = 5 \text{ bar}$$

$$n = 10000 \frac{\text{giri}}{\text{min}}$$

$$h = 30 \text{ cm} \quad \text{Distanza base abete - asse di rotazione}$$

La temperatura media intorno all'intera ala della paletta tiene conto del raffreddamento a film. La temperature inferiori sono misurate in due punti di attacco paletta-tamburo.

L' "abete" è vincolato al disco/tamburo



Esercitazione N.9

(Paletta aeronautica, analisi termo-strutturale)

Materiale: superlega di nickel, Nimonic 90

	$T = 293 K$	$T = 573 K$	$T = 1073 K$	Unità
Tensione di rottura σ_r :	1175	1080	660	<i>MPa</i>
Tensione di Snervamento σ_s :	750	680	530	<i>MPa</i>
Modulo di Young E :	205	190	150	<i>GPa</i>

Coeff. di Poisson:

$$\nu = 0.3$$

Densità:

$$\rho = 8180 \frac{kg}{m^3}$$

Coeff. di espansione termica medio
nel range di temperatura 293-1073 k:

$$\alpha = 16 \cdot 10^{-6} \frac{m}{m K}$$

Esercitazione N.9

(Paletta aeronautica, analisi termo-strutturale)

Materiale: superlega di nickel, Nimonic 90

	$T = 293 \text{ K}$	$T = 573 \text{ K}$	$T = 1073 \text{ K}$	Unità
Conducibilità termica K :	11.5	15.5	23.0	$\frac{W}{m K}$
Calore specifico c :	450	510	650	$\frac{J}{Kg K}$

Temperatura di fusione:

$$T_M = 1583 - 1643 \text{ K}$$

Esercitazione N.9

(Paletta aeronautica, analisi termo-strutturale)

New:

- *Modellazione di problemi tridimensionali.*
- *Importazione geometrie mediante formati di interscambio a partire da un modello CAD.*
- *Proprietà dei materiali variabili con la temperatura: descrizione del comportamento meccanico ad elevate temperature.*
- *Problematiche e tecniche di discretizzazione in problemi tridimensionali.*
- *Ottimizzazione del numero di elementi dell'analisi.*
- *Applicazione carichi di tipo centrifugo.*

Esercitazione N.9 (Informazioni preliminari)

Per la modellazione 3D si usano principalmente i seguenti elementi:

- **parallelepipedo 8 nodi (brik):** si usa con geometrie semplici o regolari
- **tetraedrico, 4 nodi o 10 nodi (nodi intermedi):** si usa con superfici particolari o curve

Se si usano elementi con nodi intermedi (funzioni di forma quadratiche), la funzione di forma descrive meglio il campo di spostamento e quindi la descrizione globale è migliore: a parità di discretizzazione (mesh) si ha un risultato migliore. Sempre a parità di discretizzazione però il tempo di calcolo aumenta. Infine a parità di tempo di calcolo si ha la stessa precisione con o senza nodi intermedi.

NB: nello studio semplificato della paletta manca il creep

Operazioni da compiere:

1. modellazione
2. analisi termica
3. analisi meccanica

Esercitazione N.9 (Modellazione 3D)

Modellazione di volumi: stesse operazioni e modalità della modellazione delle aree. Tale metodo si utilizza per volumi e forme semplici, altrimenti...

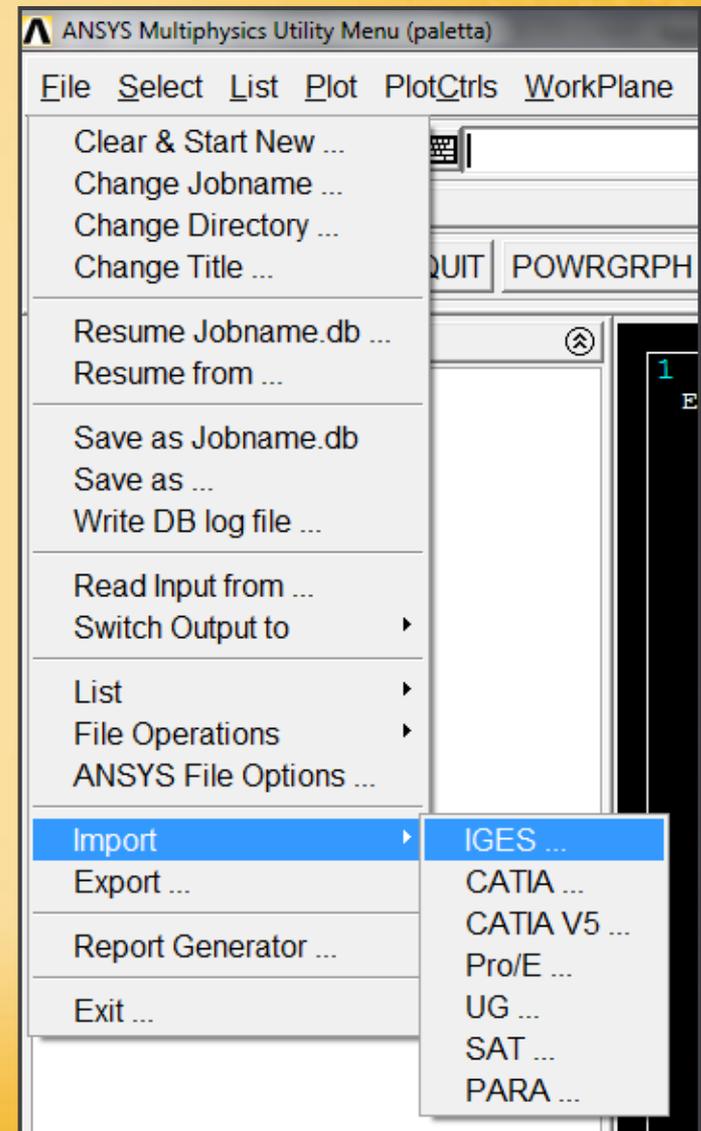
Importazione geometrie CAD: si utilizza per geometrie complesse e di non semplice realizzazione tramite gli strumenti di ANSYS.

Si utilizzano delle funzioni di importazione presenti nel programma.

Formato classico di importazione: .igs

FILE – IMPORT – IGES

Esistono altri formati di importazione più complessi ma sono proprietari: ad esempio Solid Edge utilizza il formato PARASOLID (PARA...)



Esercitazione N.9 (Importazione CAD 3D)

Si importa il modello CAD 3D della paletta.

NOTE

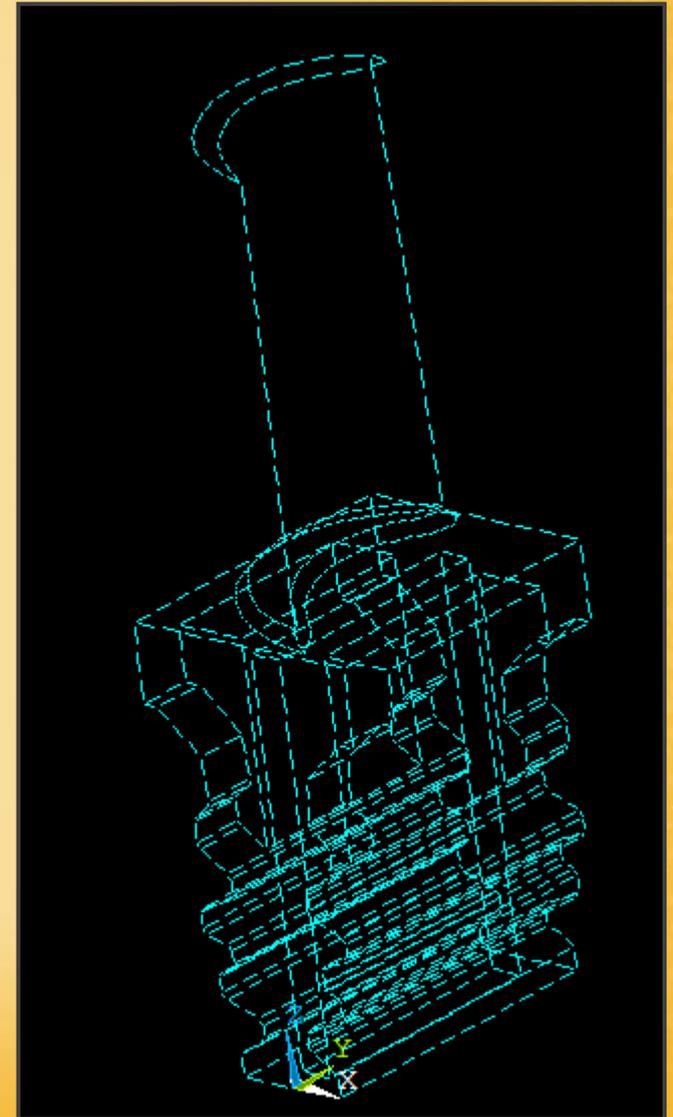
1) controllare sempre tramite l'importazione se ANSYS dopo l'importazione ha creato il volume tramite il comando LIST

2) controllare sempre le unità di misura dei modelli CAD importati: di solito i formati vengono importati con le seguenti unità di misura:

IGES in millimetri

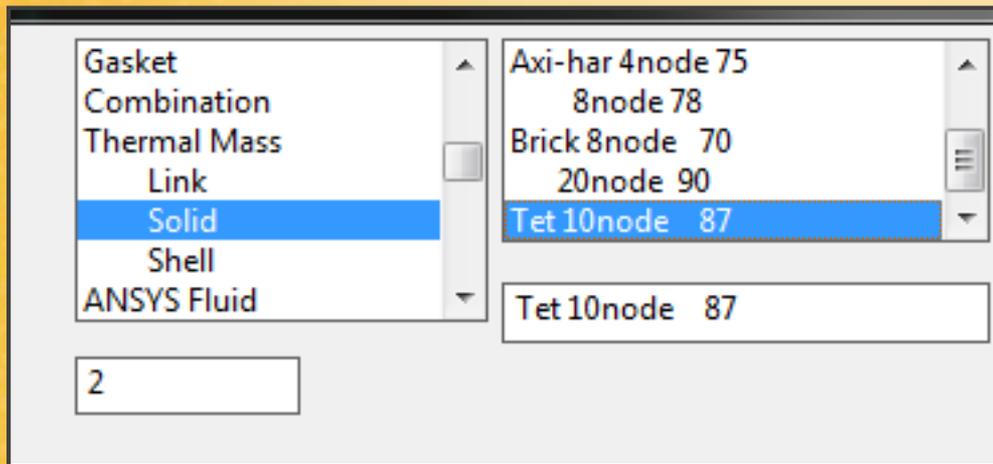
PARASOLID in metri

Non è detto che le unità di misura coincidano con quelle impostate nel modello CAD: controllare!



Esercitazione N.9 (Impostazione ELEMENTO)

Definizione tipo di elemento: tetraedrico termico a 10 nodi

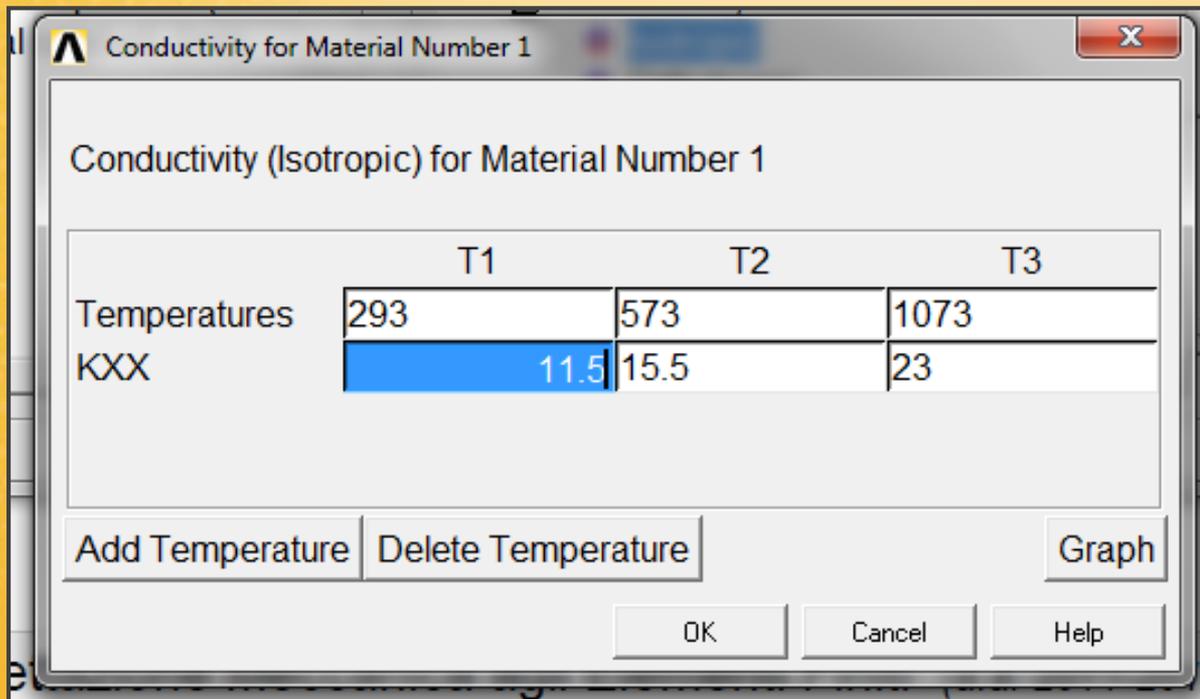


Esercitazione N.9 (Impostazione MATERIALE)

Proprietà del materiale: analisi termica + conducibilità

Thermal - Conductivity – Isotropic
+ ADD TEMPERATURE

Bisogna definire le proprietà di conducibilità alle differenti temperature (vedere tabelle iniziali).



Esercitazione N.9 (Meshing)

Nella discretizzazione della paletta bisogna identificare le zone critiche: incastri e raccordi. In queste zone critiche bisogna infittire la mesh. Si effettua una mesh uniforme e poi si infittisce dove è necessario (es. nei raccordi).

NB: bisogna stare sotto i 32.000 elementi o nodi della versione didattica di ANSYS.

Meshing - Mesh Tool: meshatore automatico (non utilizzare)

Meshing - Mesh Attributes: nel caso in cui bisognasse impostare diversi materiali

NB: per creare una mesh di volume prima bisogna creare la mesh delle aree e da quest'ultima si costruisce la mesh degli elementi anche all'interno del volume.

Meshing - Size Cntrl - Manual Size - Areas - ALL Areas

Selezionare tutte le aree ed assegnare una mesh globale a tutte le aree della palette di 0.0035 mm

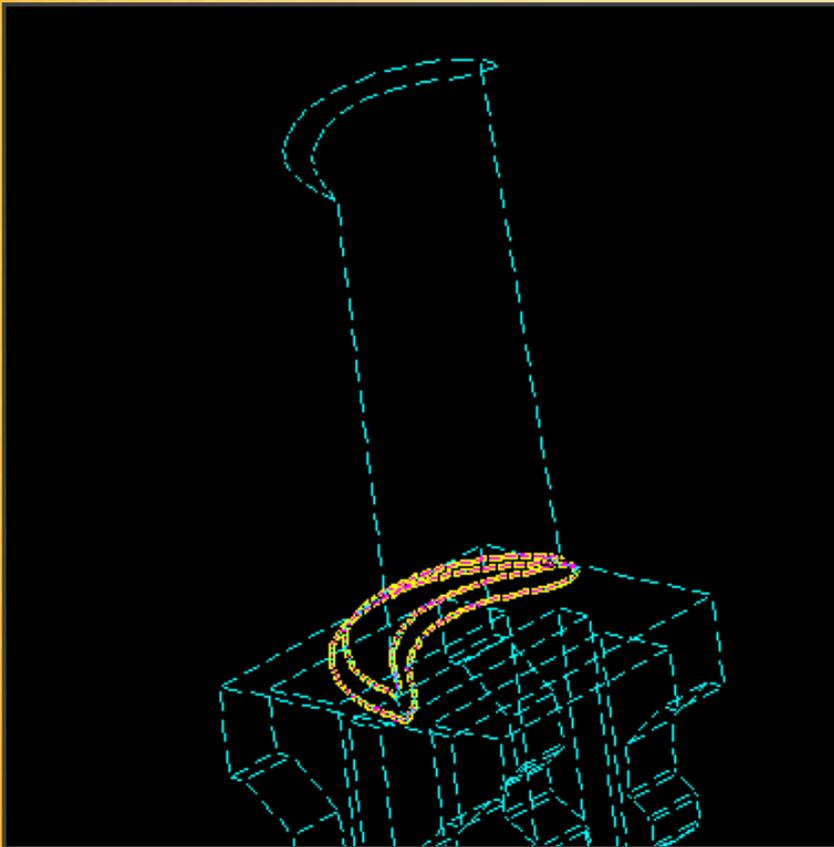
[AESIZE] Element sizes on all selected areas

SIZE Element edge length

Esercitazione N.9 (Meshing)

Meshing - Size Cntrls - Manual Size - Areas – Picked Areas

Selezionare le aree in cui si vuole infittire la mesh: ad esempio i raccordi della paletta, ed assegnare una mesh di 0.0015 mm.



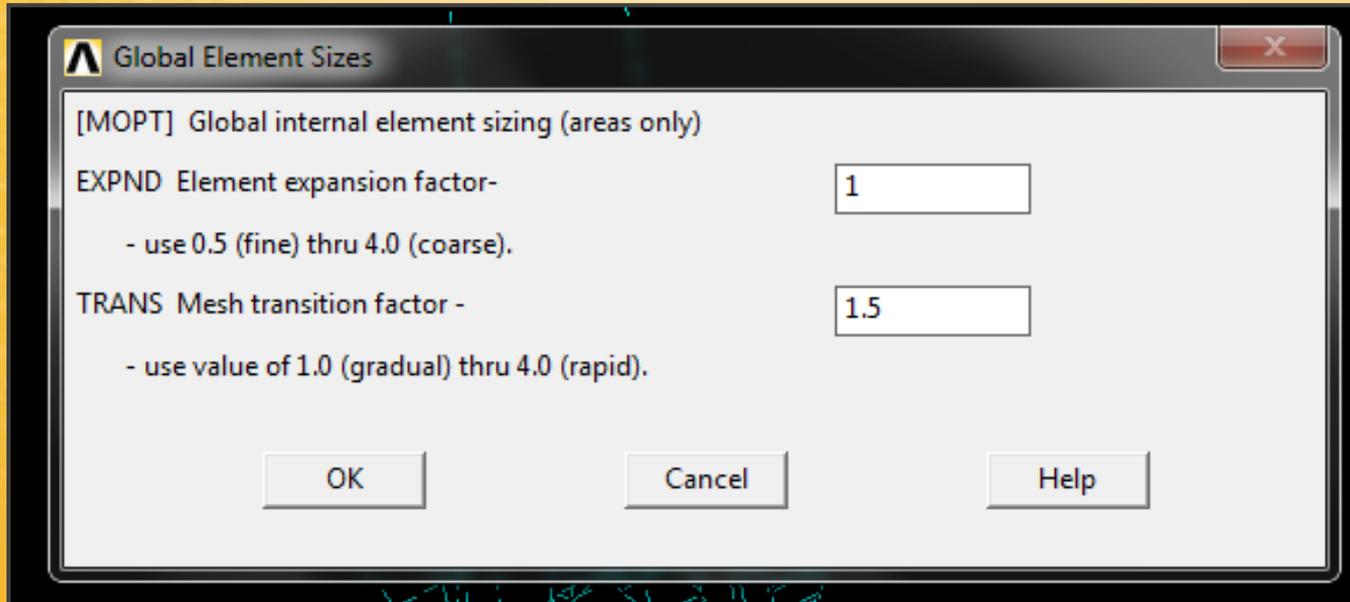
Esercitazione N.9 (Meshing)

Manual Size - Global - Area Cntrls

EXPND: espande o contrae gli elementi della mesh a seconda del vincolo imposto sulle aree

TRANS: indica la velocità di espansione dell'elemento dalla superficie verso l'interno, cioè la velocità di transizione da elementi fini a grossi della mesh.

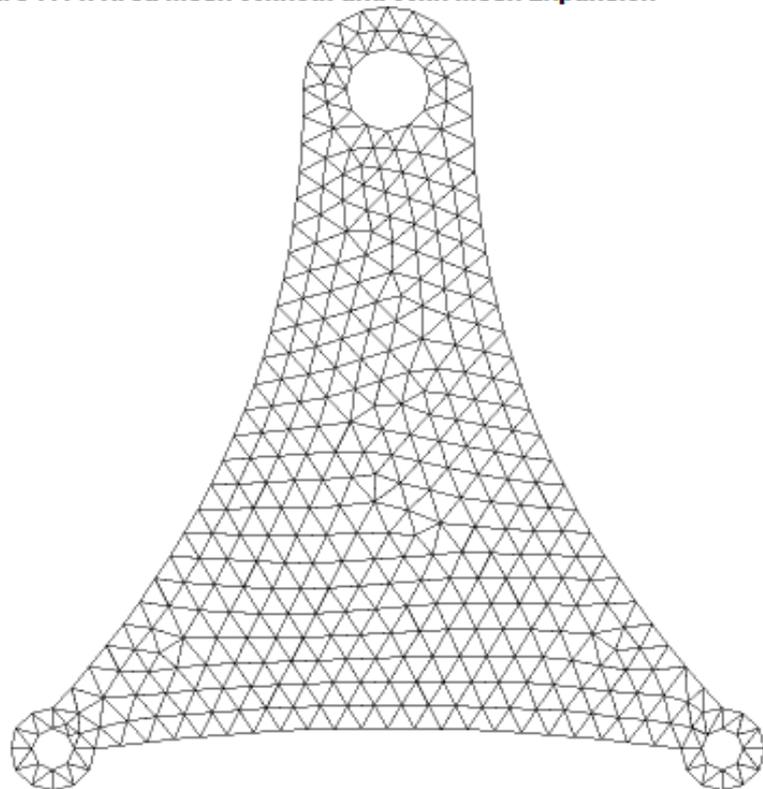
NB: per maggiori dettagli vedere l'HELP.



Esercitazione N.9 (Meshing)

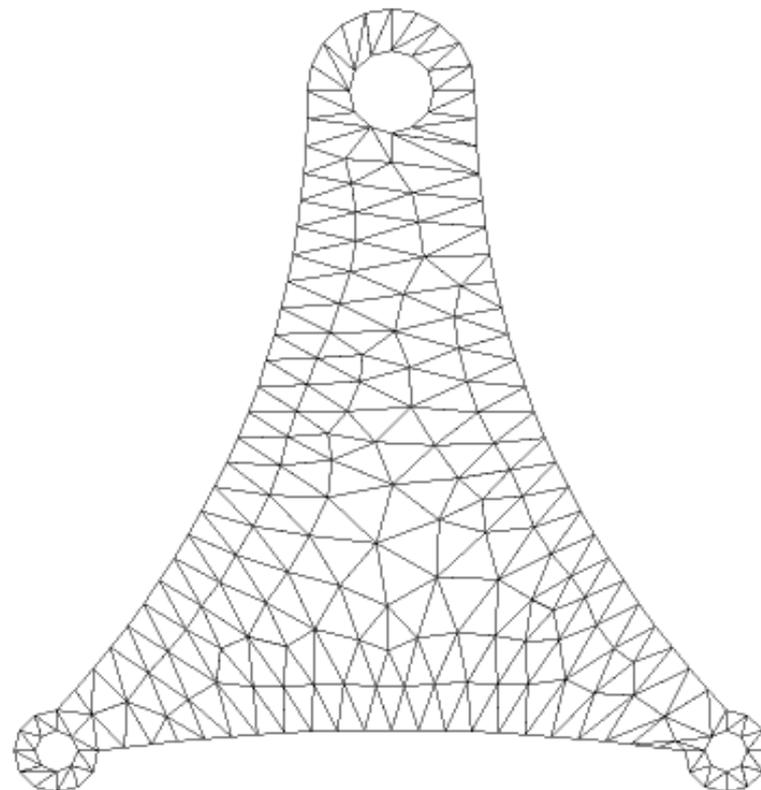
Esempi

Figure 7.11: Area Mesh Without and With Mesh Expansion



(a) No mesh expansion

698 elements



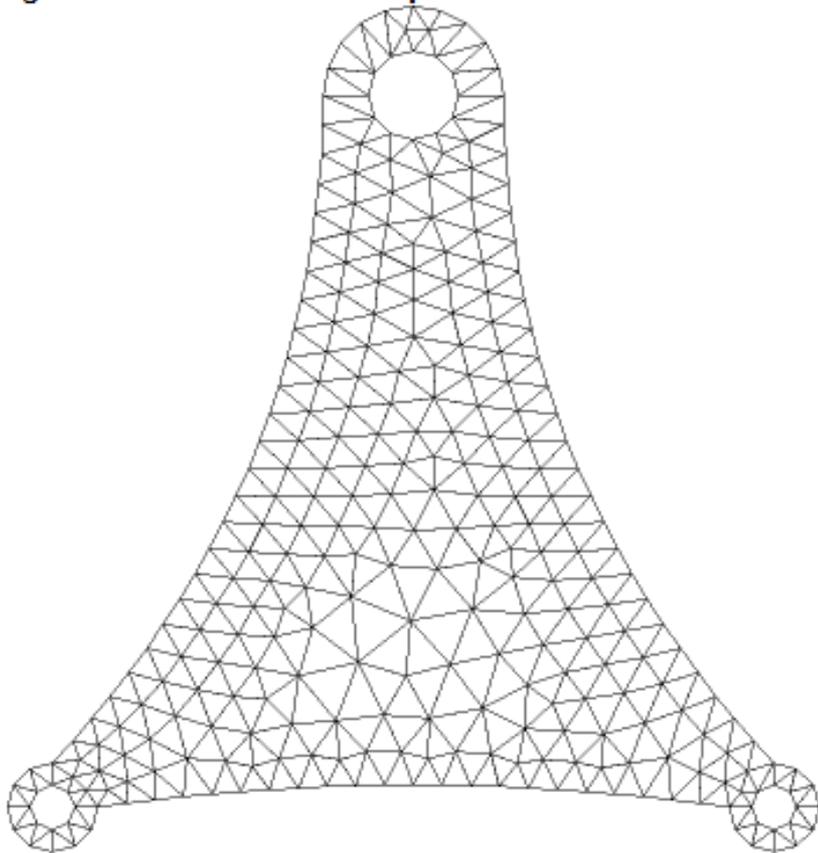
(b) MOPT,EXPND,2.5

326 elements

Esercitazione N.9 (Meshing)

Esempi

Figure 7.12: Area Mesh With Expansion and Transition Control ([MOPT](#) Command)

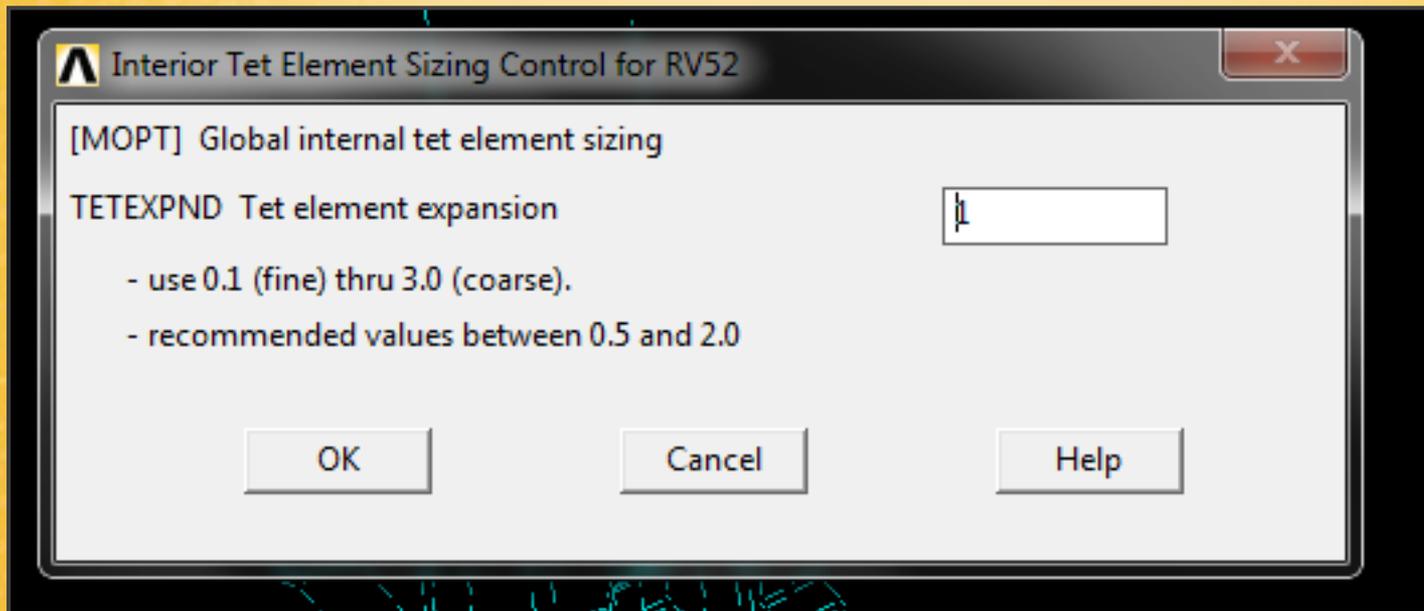


492 elements

Esercitazione N.9 (Meshing)

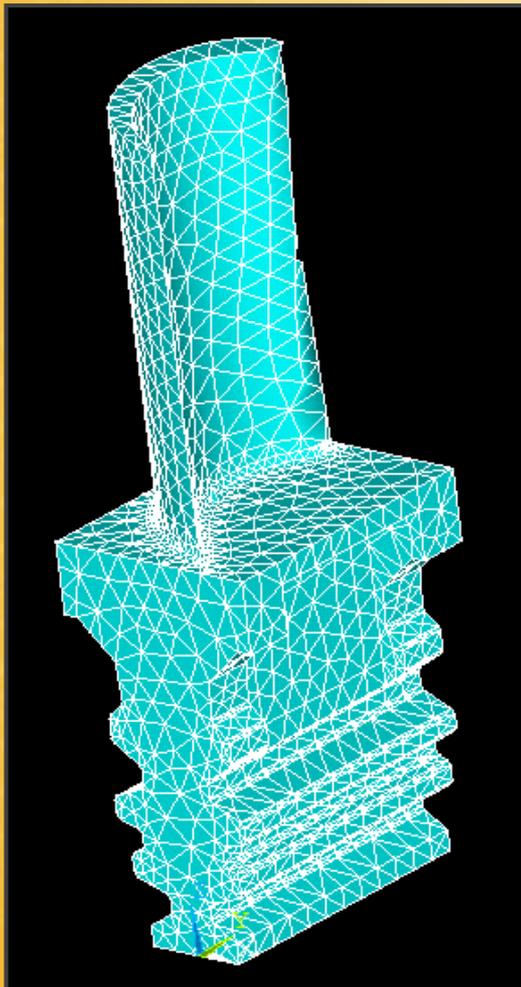
Manual Size - Global - Volu Cntrl

TETEXPND: indica la modalità del passaggio dagli elementi di area a quelli di volume. Questa opzione è utilizzata per dimensionare gli elementi interni di un volume in base alle dimensioni degli elementi sul contorno del volume stesso.



Esercitazione N.9 (Meshing)

Mesh - Volumes - Free



Physics Utility Menu (palette)

List Plot PlotCtrls WorkPlane Parameters Mac

Files

Status Global Status

Keypoint Graphics

ANSYS /STAT Command

File

MODEL INFORMATION -----

Solid model summary:

	Largest Number	Number Defined	Number Selected
Keypoints	197	197	197
Lines	293	293	293
Areas	100	100	100
Volumes	1	1	1

Finite element model summary:

	Largest Number	Number Defined	Number Selected
Nodes	27589	27589	27589
Elements	16291	16291	16291
Element types	1	1	n.a.
Real constant sets	0	0	n.a.
Material property sets	1	1	n.a.
Coupling	0	0	n.a.
Constraint equations	0	0	n.a.

Esercitazione N.9 (Carichi termici)

Applicazione delle temperature alle singole aree:

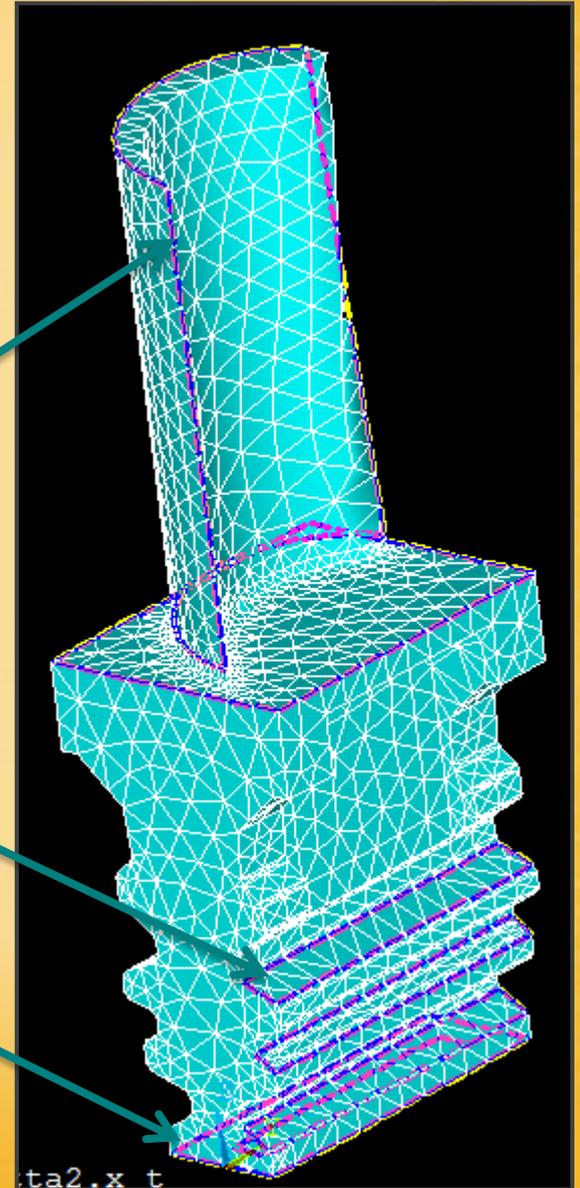
Define Loads - Thermal - Temperature - On Areas

Superficie paletta, raccordi e base 1123 K

Tre superfici laterali di incastro 773 K

Superfici della base 673 K

Controllo: **List - Loads - DOF - Constrains - All Area**



Esercitazione N.9 (Soluzione)

Si effettua un'analisi non lineare perché le proprietà variano con la temperatura.

Impostazione analisi non lineare:

Solution - Analysis Type - Sol'n Controls

**Automatic step on
Time 1**

Time Control

Time at end of loadstep

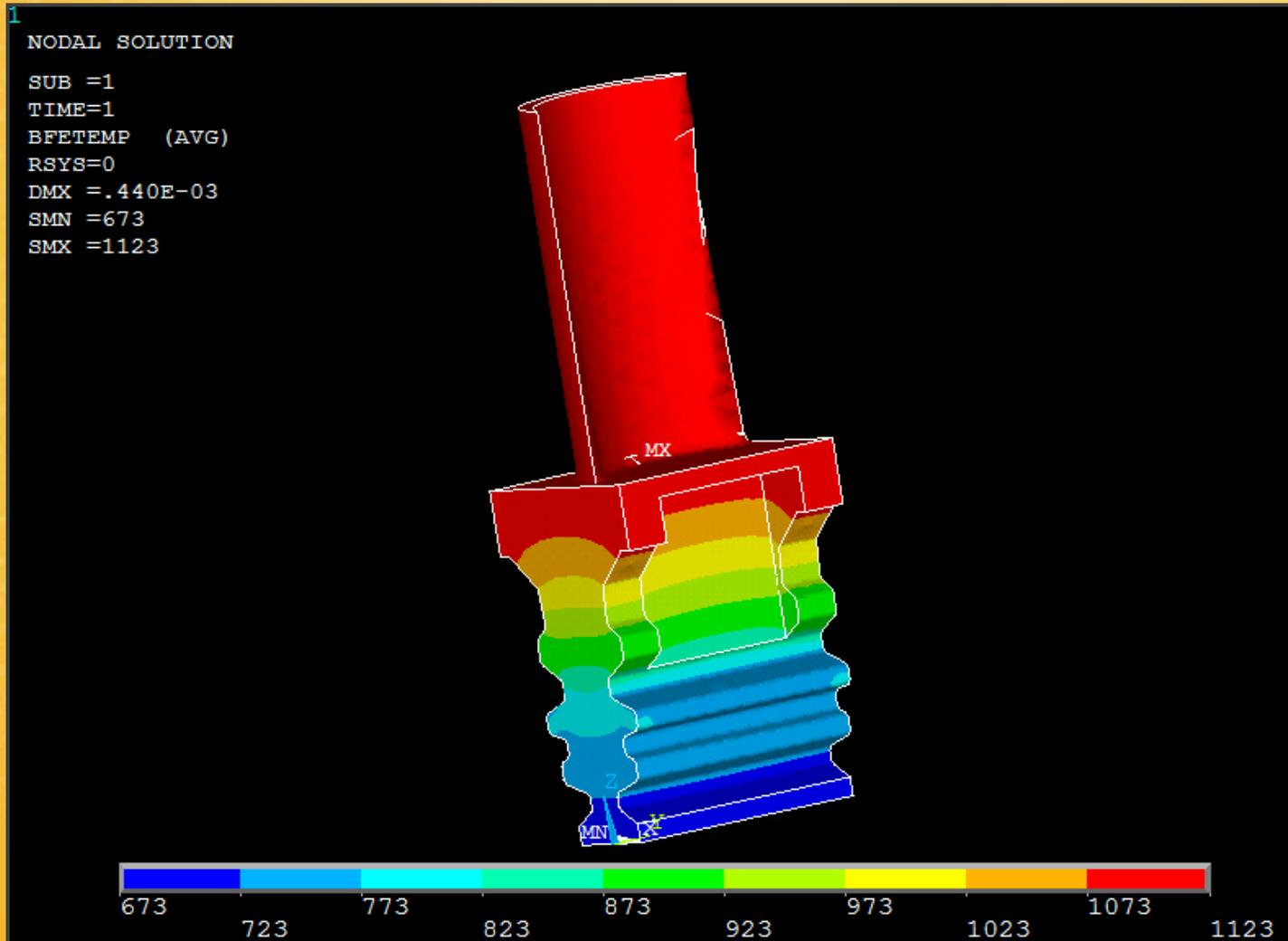
Automatic time stepping

Number of substeps

Time increment

Esercitazione N.9 (Risultati)

General Postproc - Plot Results - Nodal Solu - Nodal Temperature



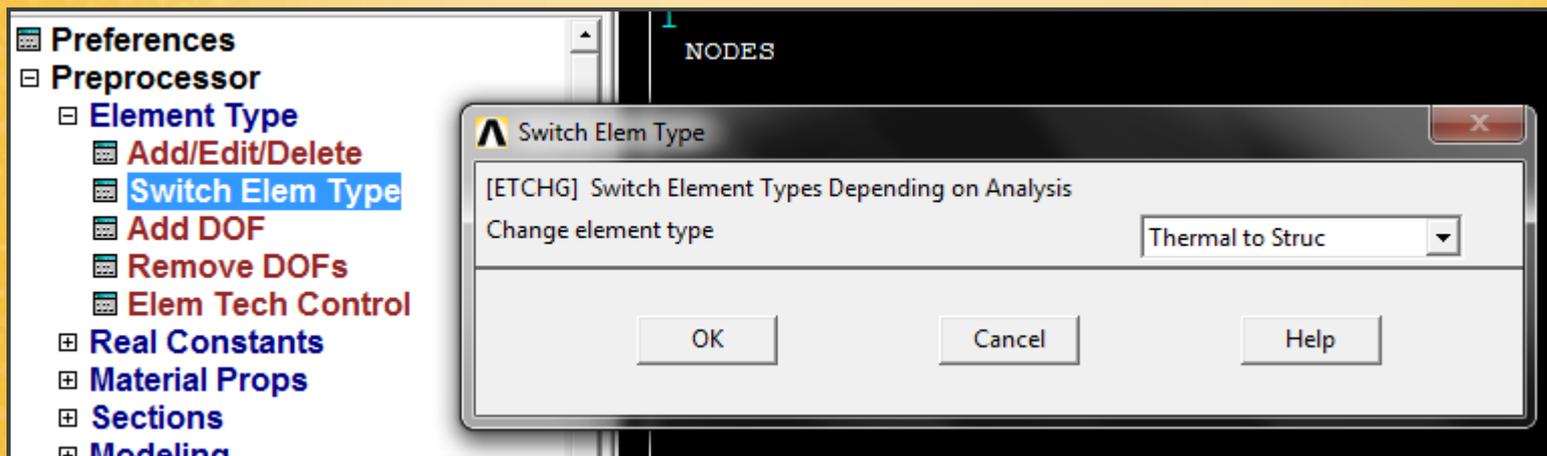
Esercitazione N.9 (Analisi MECCANICA)

Per passare all'analisi meccanica:

1) si torna nel preprocessore, è buona cosa cancellare i carichi termici:

Delete - All Load Data - All Loads & Opts

2) **Preprocessor - Element Type - Switch Elem Type**: si indica il passaggio dall'analisi termica a quella meccanica: **Thermal to Struc**



Esercitazione N.9 (Proprietà del MATERIALE)

Si assume che il materiale sia indefinitamente elastico, si assegna solo il Modulo di Young E al variare della temperatura: si considera il problema lineare, non viene impostata la parte plastica.

NB: per verificare se nell'analisi si è superato o meno il valore della σ di snervamento, si controlla nei risultati la σ equivalente di Von-Mises, e si verifica se non si è superato il valore limite in alcuni punti della paletta, a seconda della temperatura locale.

Si considera il coefficiente di espansione termica costante.

Material Models - Thermal Expansion - Secant coefficient - Isotropic

Come temperatura di riferimento si imposta 773 K, quella media nella parte centrale della paletta.

Thermal Expansion Secant Coefficient for Material Number 1

Reference temperature

	T1
Temperatures	<input type="text" value="0"/>
ALPX	<input type="text" value="1.6E-005"/>

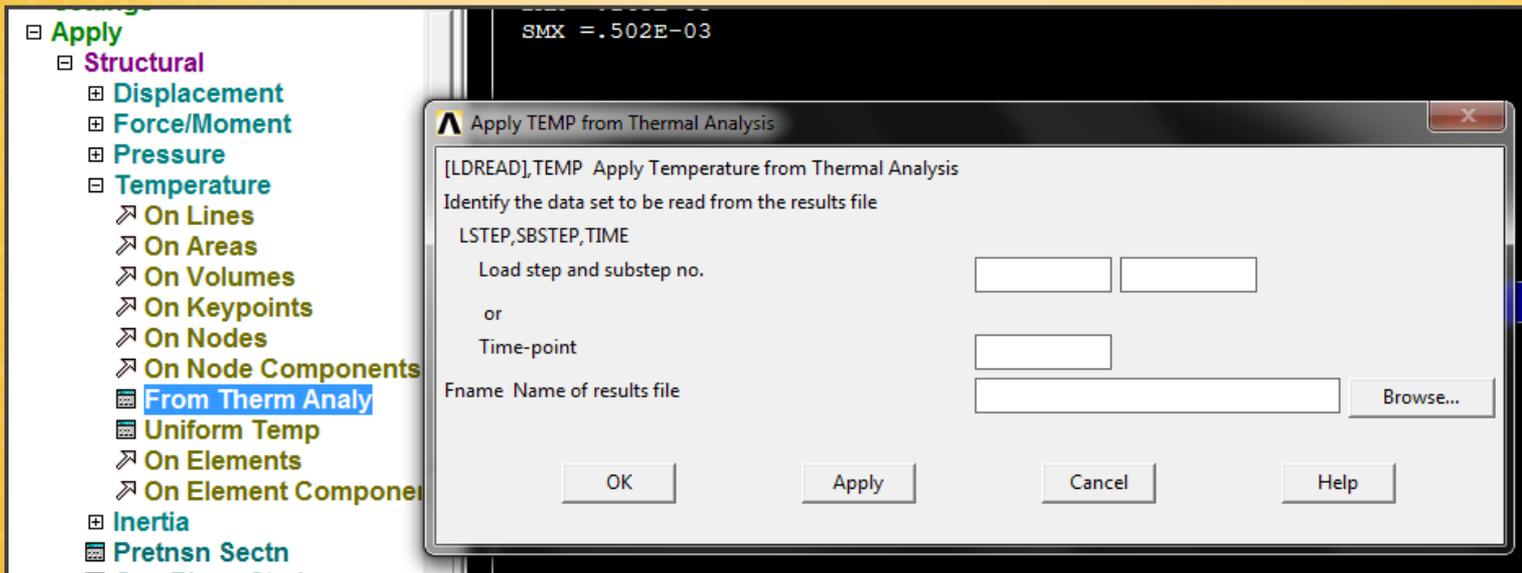
Esercitazione N.9 (Carichi e Vincoli – 1° Parte)

Si risolve il problema aggiungendo i carichi uno alla volta, prima gli stress dovuti al campo termico e poi quelli dovuti alla forza centrifuga.

1. Carico termico: ricaricare i risultati dell'analisi termica

Define Loads - Apply - Structural - Temperature - From Therm Analy

indicare dove è salvato il file che contiene i risultati dell'analisi termica .rth



Esercitazione N.9 (Carichi e Vincoli – 1° Parte)

Asse di riferimento

x-circonferenziale

y-assiale

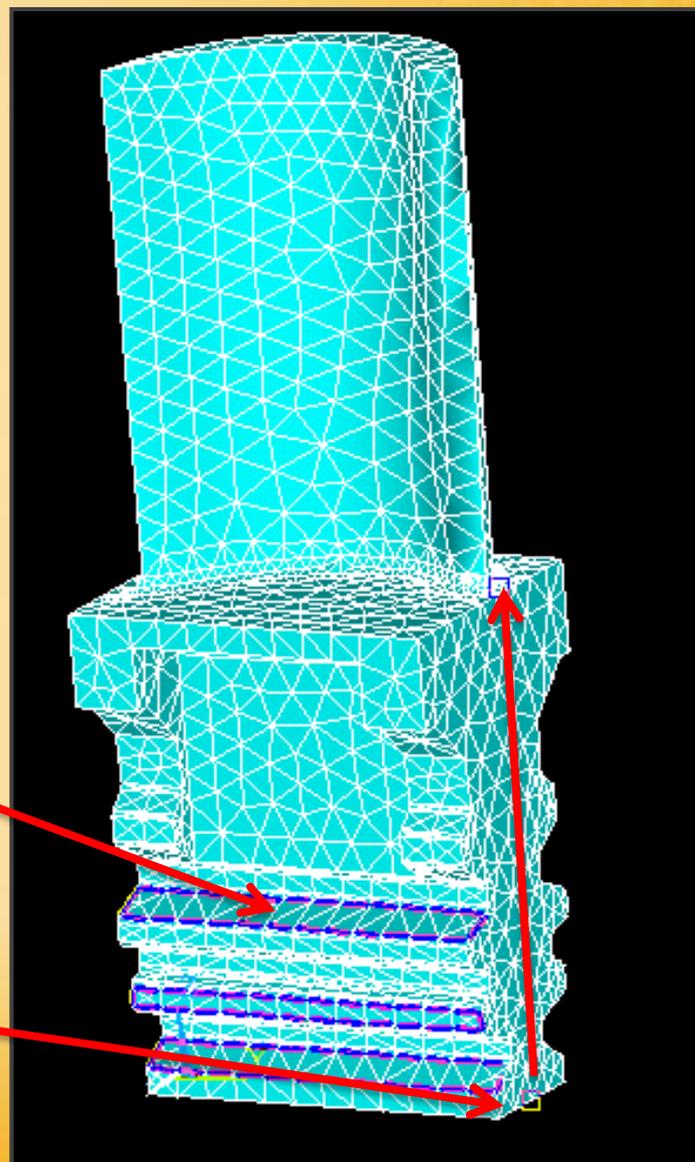
z-radiale

Sulle superfici che si appoggiano al tamburo bloccano la UX e la UZ. Bisogna applicare i vincoli uno alla volta, prima UX e poi UZ. (anche sulle superfici simmetriche)

La soluzione in queste zone non sarà corretta a causa dell'approssimazione introdotta dai vincoli.

Si blocca la UY per due nodi sulla superficie laterale.

In questo modo il sistema è isostatico.

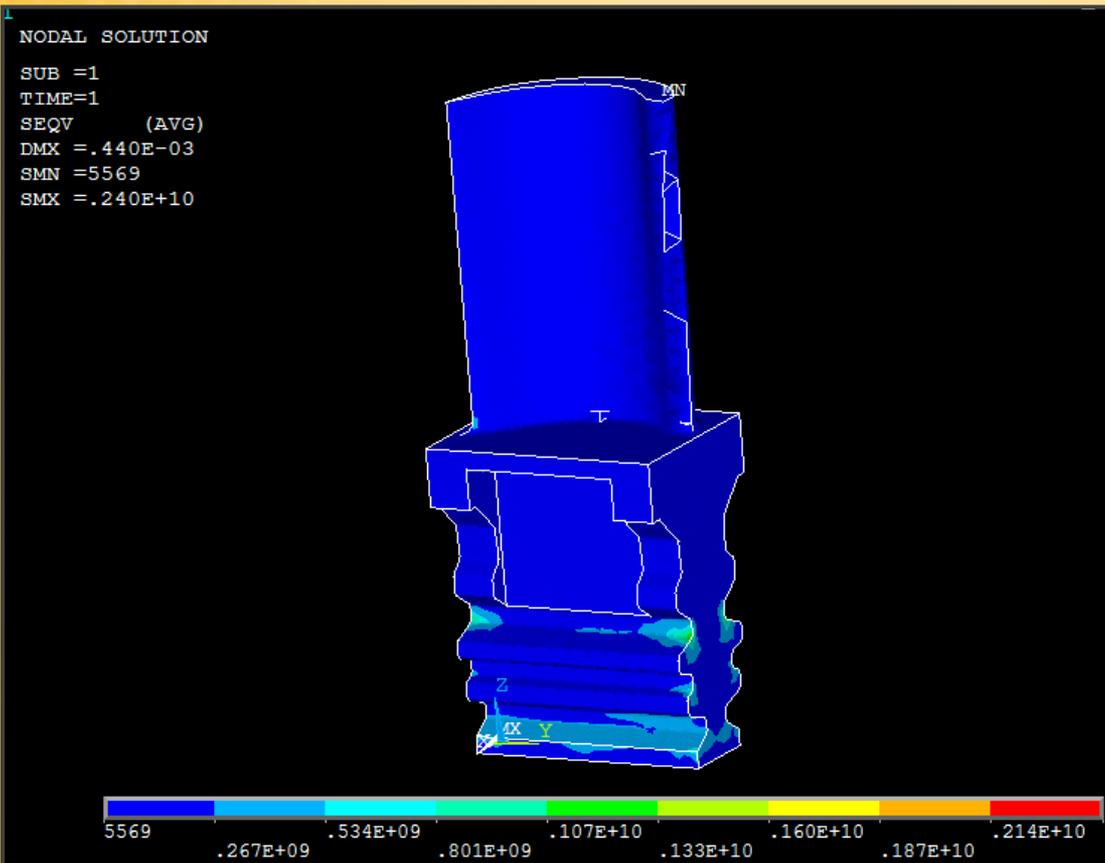


Esercitazione N.9 (Soluzione)

Solution - Solve - Current LS

Soluzione dell'analisi meccanica con campo di temperatura derivante dall'analisi termica.

Risultati: stress - von mises stress



Esercitazione N.9 (Risultati)

Per evidenziare meglio le zone in cui si supera il limite elastico:

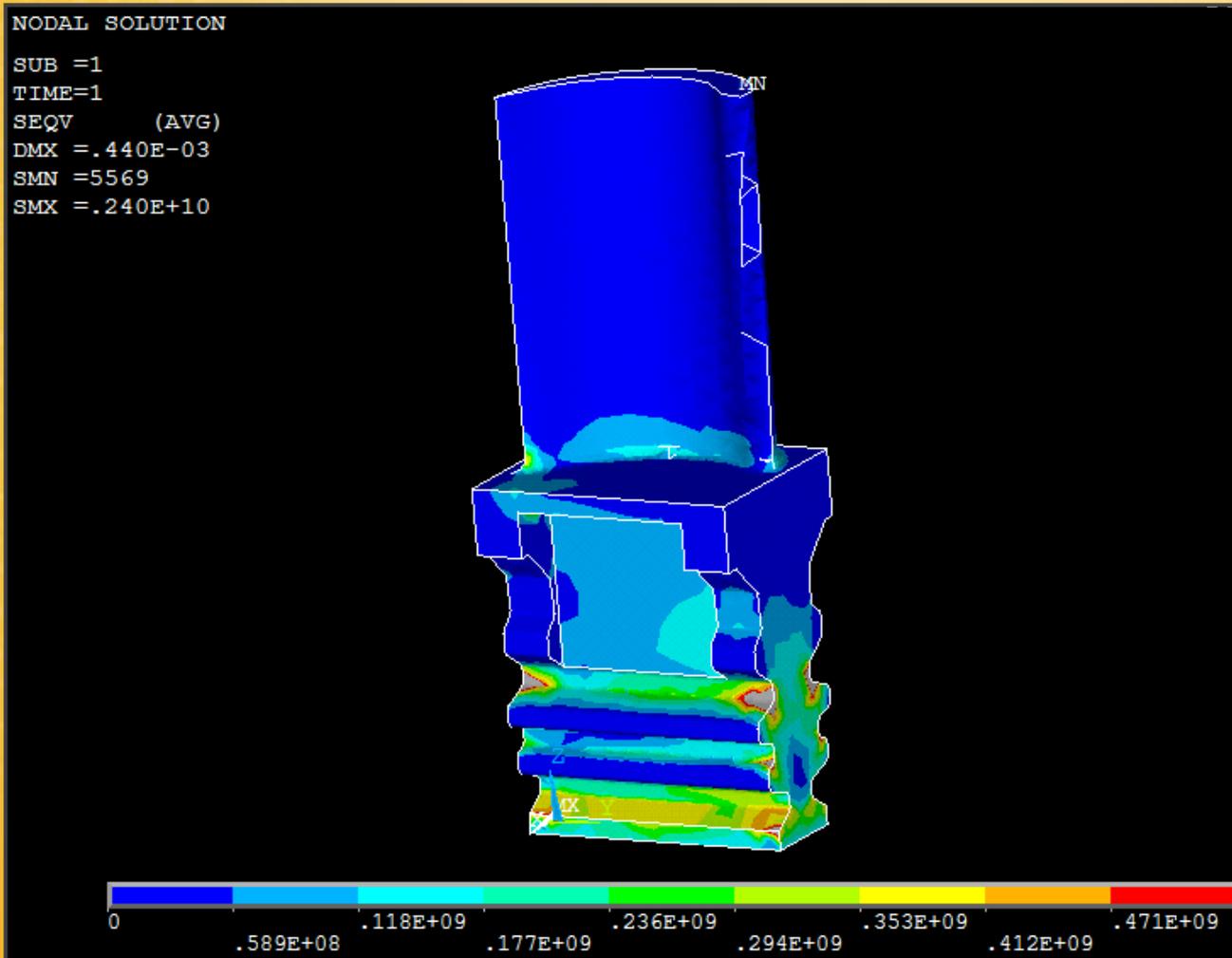
Plotctrls – Style – Contours – Uniform Contours: user specific

	<input checked="" type="radio"/> User specified
User specified intervals	
VMIN Min contour value	<input type="text" value="0"/>
VMAX Max contour value	<input type="text" value="530e6"/>
VINC Contour value incr	<input type="text"/>

Specifico il valore massimo corrispondente alla sigma di snervamento 530 MPa

Esercitazione N.9 (Risultati)

In questo modo si evidenzia che le zone maggiormente sollecitate sono quelle in corrispondenza dei vincoli in cui la soluzione non è corretta.



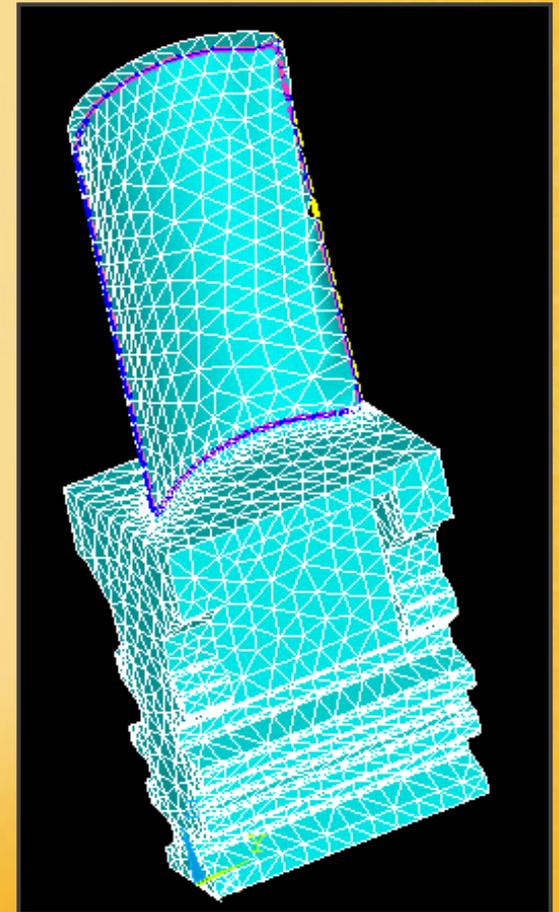
Esercitazione N.9 (Carichi – 2° Parte)

Si aggiunge ora la **presenza del fluido**, impostando una differenza di pressione di 5 bar = 0.5×10^6 Pa, sulla superficie della paletta.

Define Loads - Apply - Structural – Pressure – On Areas

Viene selezionata la superficie interna della paletta: pressione positiva entrante.

Ricalcolo della soluzione



Esercitazione N.9 (Carichi – 3° Parte)

Forza centrifuga: si aggiunge il carico dovuto alla forza centrifuga (bisogna assegnare la densità de materiale!)

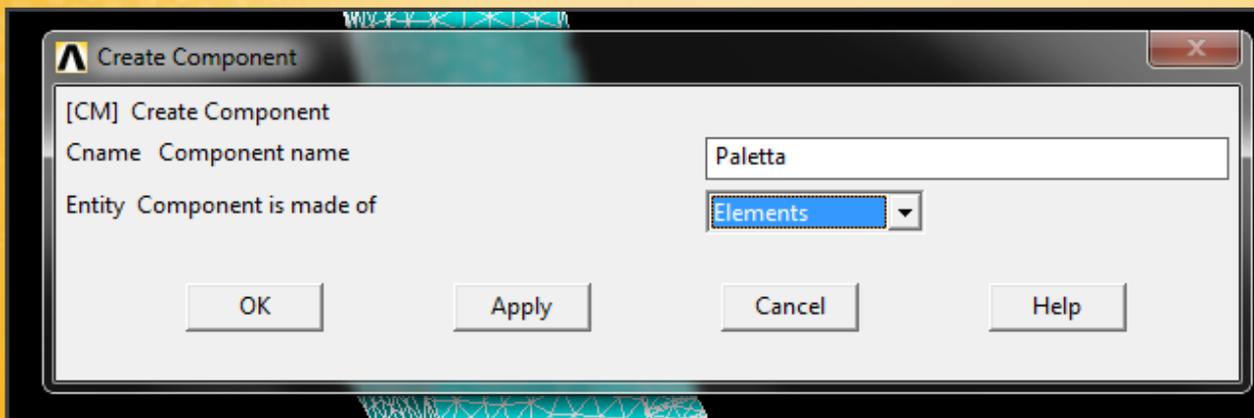
Define Loads - Apply - Structural – Inertia – Angular Veloc

Global: bisogna dare il valore della velocita angolare ed indicare l'asse di rotazione tra uno dei tre assi coordinati x,y,x. In questo caso non si può usare global perché gli assi coordinati non coincidono con l'asse di rotazione della paletta.

On Components: in questo caso si definisce l'asse di rotazione, ma bisogna creare prima un gruppo identità, un «componet» di nodi ed elementi.

Select – Comp/Assembly – Create Componets

Si assegna il nome e si selezione «element»



Esercitazione N.9 (Carichi – 3° Parte)

Angular Veloc - On Components – by Axis:

Velocità angolare (OMEGX): $10000 \cdot 6.28 / 60$

Asse di rotazione fissato impostando due punti fissi sull'asse stesso:

$x1=0, z1=-30\text{cm}, y1=0$

$x2=0, z2=-30\text{cm}, y2=1$ valore qualsiasi

Apply Angular Velocity On Components

[CMOMEGA] Apply Angular Velocity On Components

CM_NAME Component Name

OMEGX Magnitude

X1,Y1,Z1 Rotational Axis / Pt 1	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="-30"/>	<input type="text" value="0"/>
X2,Y2,Z2 Rotational Axis / Pt 2	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="-30"/>	<input type="text" value="1"/>

KSPIN Spin softening key

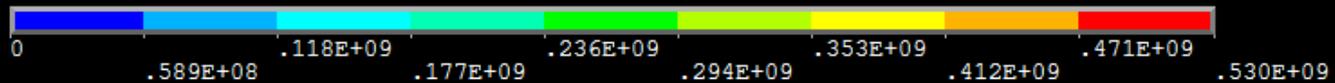
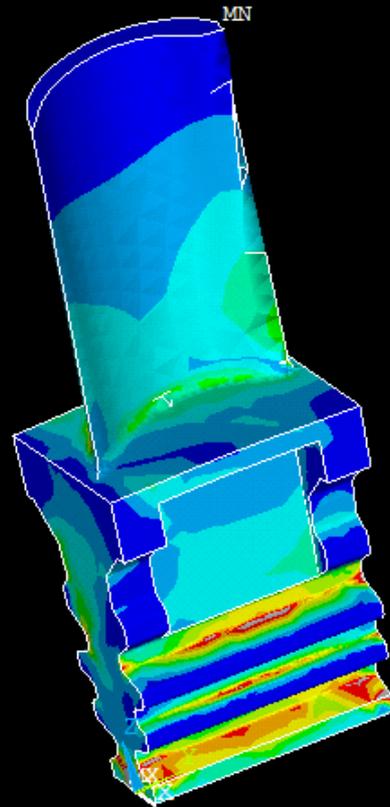
Ricalcolo della soluzione

Esercitazione N.9 (Risultati)

Nodal solution – Von mises stress

NODAL SOLUTION

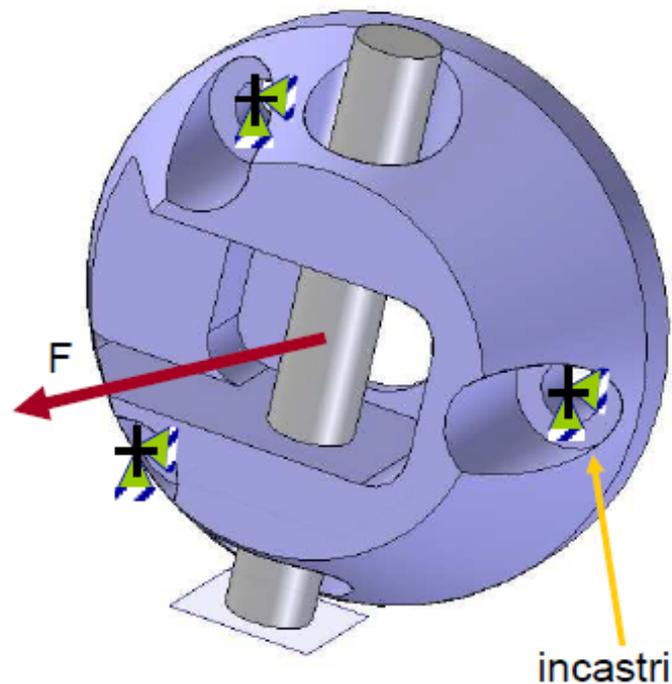
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SEQV (AVG)
DMX =.744E-03
SMN =526417
SMX =.263E+10



Esercitazione N.10 (Braccetto sospensione)

Il componente consente il collegamento tra telaio in carbonio e braccetto della sospensione. Verificarne la resistenza in esercizio.

L'attacco viene reso solidale al telaio mediante un collegamento bullonato (3 bulloni a 120° tra loro). Il carico F proveniente dal braccetto, è trasferito all'attacco come mostrato in figura: nella parte terminale del braccetto è avvitato un uni-ball che lo collega ad un perno (snodo sferico), a sua volta incernierato all'attacco. La direzione della forza esercitata dal braccetto giace su un piano perpendicolare all'asse del perno ed è ivi inclinata di 45° , come riportato in figura. La si può considerare agente nella zona di mezzeria del perno.



N.b. Per riprodurre la corretta sollecitazione sull'attacco della sospensione è indispensabile modellare il **contatto** con il perno.

Esercitazione N.10 (Braccetto sospensione)



$$F=10000 \text{ N}$$

Attacco sospensione in alluminio:

$$E=70 \text{ GPa}$$

$$\nu=0.33$$

$$\sigma_y=260 \text{ MPa}$$

$$M_t=3000 \text{ MPa}$$

Perno in acciaio:

$$E=200 \text{ GPa}$$

$$\nu=0.3$$

Esercitazione N.10 (Braccetto sospensione)

New:

- *Modello a geometria mista, in parte importata, in parte creata nel codice.*
- *Importanza e difficoltà legate alla modellazione di vincoli e carichi equivalenti al problema reale.*
- *Gestione del contatto e problematiche: possibilità di studiare non solo componenti singoli, ma anche interi sistemi meccanici.*
- *Procedura di creazione del contatto, elementi contact e target, non linearità dovute al contatto stesso.*

Esercitazione N.10 (Introduzione **CONTATTO**)

Nel caso si dovesse analizzare un assemblato, si cerca sempre di scindere il problema ed analizzare singolarmente le varie parti che compongono l'assieme, individuando ed analizzando le forze che si scambiano nei punti di contatto.

Quando non è possibile studiare le singole parti, bisogna analizzare l'assieme nel suo complesso e modellare il problema con le forze che si scambierebbero i singoli componenti a contatto reciproco: **bisogna quindi modellare il contatto!**

Gestione del contatto da parte di ANSYS

Il programma ha degli elementi piani che vanno a ricoprire le zone dei componenti che si scambiano il contatto reciproco:

- **Elementi target**
- **Elementi contact**

Esercitazione N.10 (Importazione CAD 3D)

FILE – IMPORT – IGES: *AttaccoSospensione.IGS*

Si importa solo la base e non il perno che verrà modellato in seguito con ANSYS.

Per effettuare un'analisi FEM vengono di solito importati modelli CAD che hanno geometrie semplificate, ed in particolare che riportano solo le parti essenziali per condurre l'analisi. Importare un modello con tutti i dettagli geometrici produrrebbe solamente un aumento non giustificato dei tempi di calcolo.

NB: Verificare sempre nell'importazione sia stato creato il volume: **List – Volumes**

Preprocessor - Numbering Ctrl - Merge Items – ALL

Si imposta la tolleranza per l'unione (merge) degli elementi vicini: serve a ripulire ed a semplificare la geometria importata.

[NUMMRG] Merge Coincident or Equivalently Defined Items

Label Type of item to be merge

All

TOLER Range of coincidence

GTOLER Solid model tolerance

ACTION Merge items or select?

Esercitazione N.10 (Modellazione)

MODELLAZIONE DEL PERNO TRAMITE ANSYS

Modelling – Create – Volumes – Cylinder - Solid Cylinder
non si può fare perché non coincidono gli assi!

Bisogna creare il volume per estrusione:

- 1) Si crea un area rettangolare
- 2) Si estrude per rotazione intorno ad un asse:

Operate – Estrude – Areas – About Axis

Si seleziona l'area e poi si definiscono i due punti dell'asse di rotazione

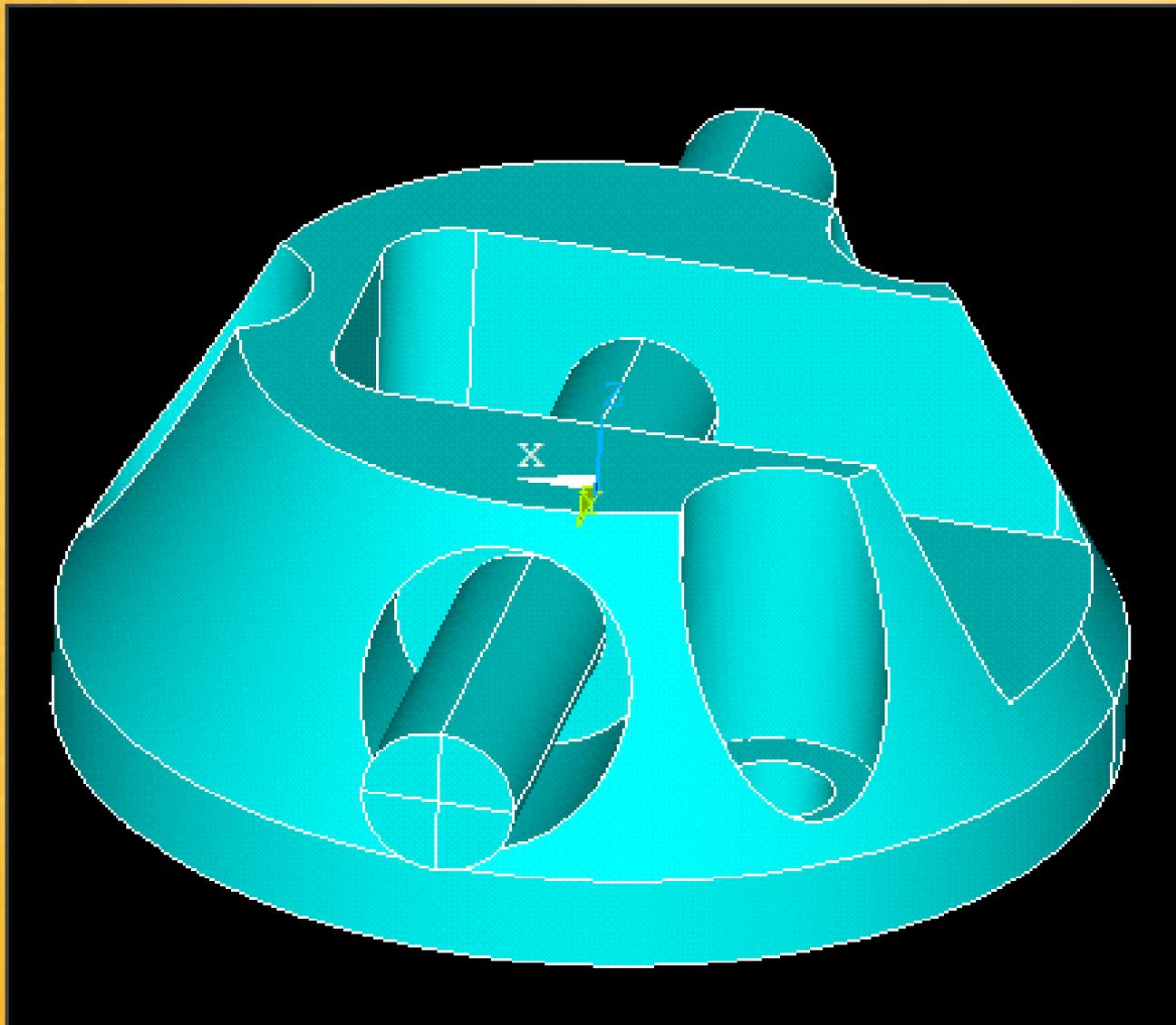
- 3) Si imposta l'angolo di rotazione di 360°

Dimensioni del perno

Lunghezza: 70 mm

Diametro: 8 mm

Esercitazione N.10 (Modellazione)



Esercitazione N.10 (Modellazione)

Element type: solid 10node187

Materiale: acciaio ed alluminio

NB: al perno viene assegnato un materiale con modulo di Young pari a $200e4$. Viene fatto più rigido perché nella nostra analisi è un elemento che serve solo per trasmettere la forza!

Discretizzazione: bisogna infittire la mesh nelle zone critiche: attacco perno

NB: Non è consigliato avere la stessa dimensione della mesh per le aree del contatto e per le aree normalmente meshate: uno delle due mesh deve essere più fitta dell'altra. In particolare dovrà essere più fitta per la zona che interessa il contatto e più grande per gli elementi che verranno ricoperti da quelli target.

Esempio:

Base: 4 mm

Parti in contatto della base: 1 mm

Trans: 1.5

Area perno: 1.5 mm

Esercitazione N.10 (Meshing)

1) Selezione delle aree della base:

select - entities - volumes - by num pick: selezionare base perno

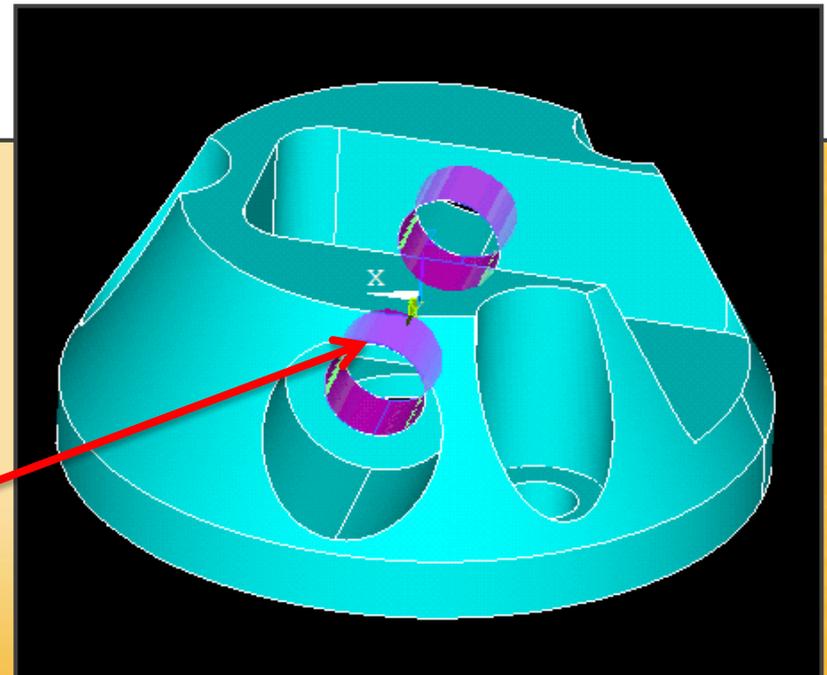
select - entities - areas - attached to - volumes: ok

NB: in questo modo sono attive solo le aree attaccate al volume relativo!

2) Si applica la mesh

3) Alla fine si seleziona di nuovo tutto

select - everything



**Mesh di 1 mm, il resto del pezzo di 4 mm
(area elementi contact)**

Esercitazione N.10 (Meshing)

1) Selezione del perno:

select - entities - volumes - by num pick: selezionare volume perno

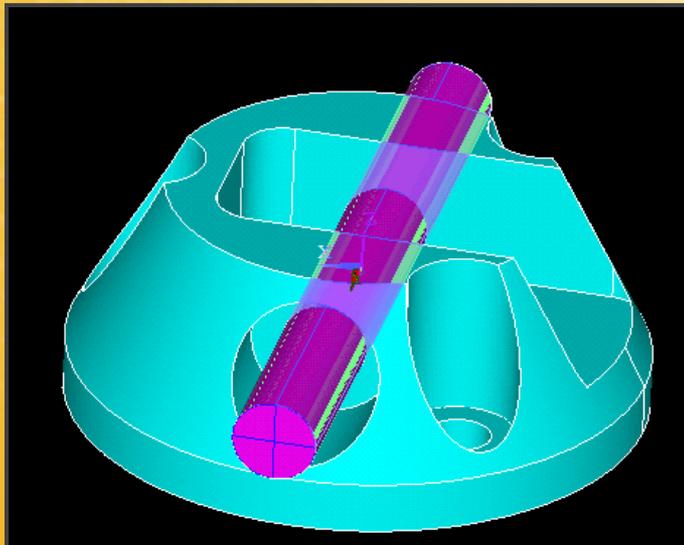
select - entities - areas - attached to - volumes: ok

NB: in questo modo sono attive solo le aree attaccate al volume relativo!

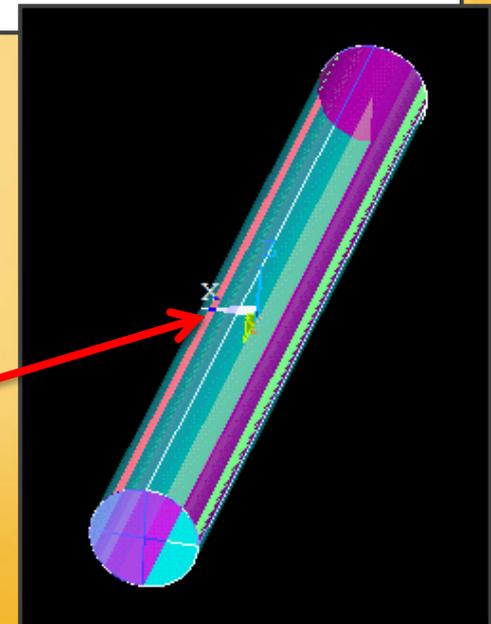
2) Si applica la mesh

3) Alla fine si seleziona di nuovo tutto

select - everything

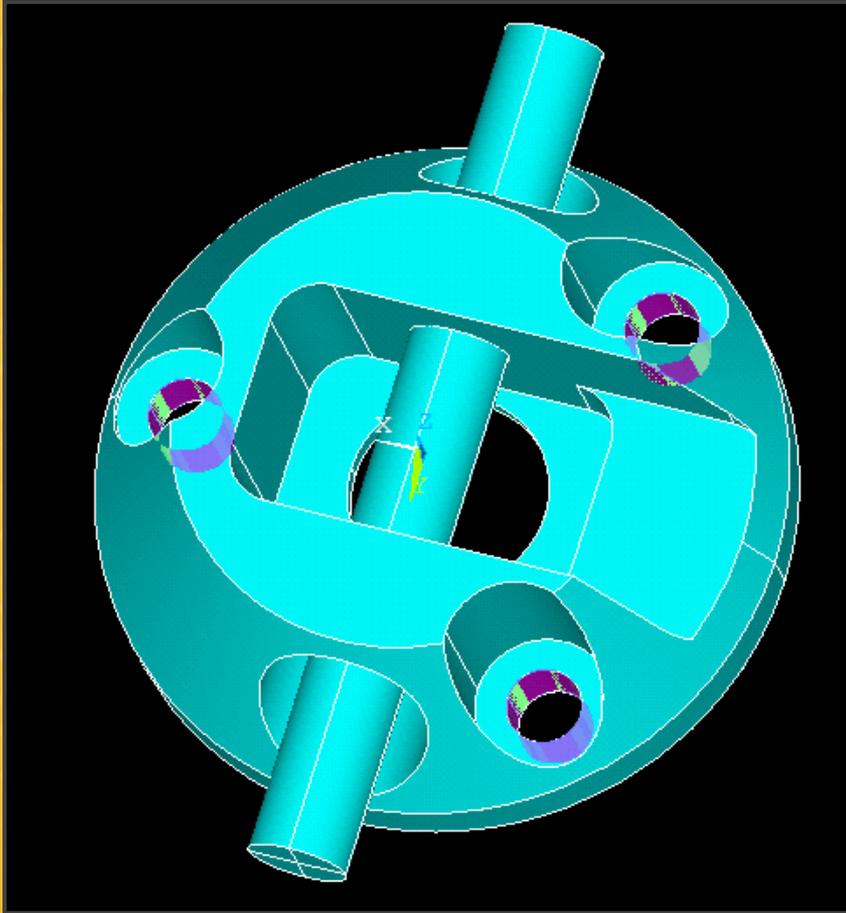


Mesh di 1,5 mm
Area elementi target



Esercitazione N.10 (Vincoli)

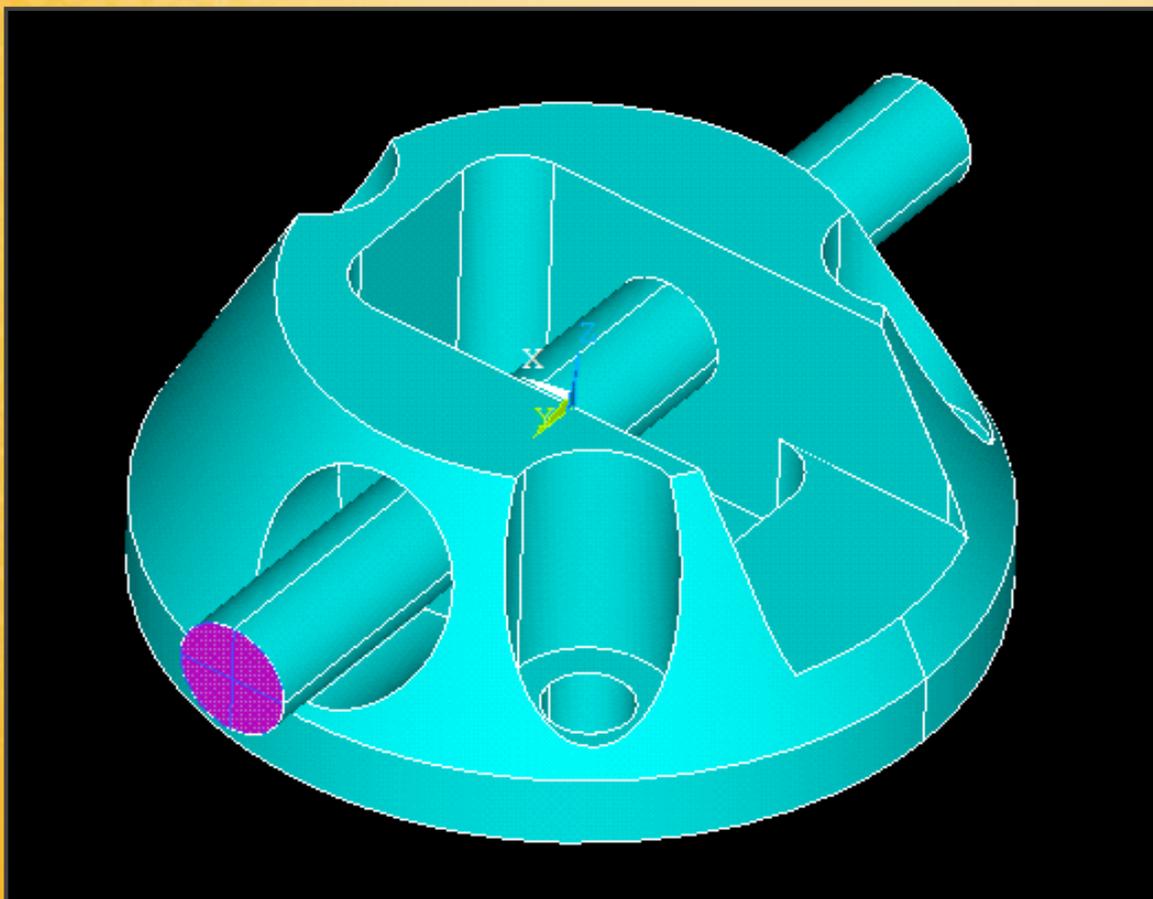
I bulloni agenti sulla base, bloccano tutti i gradi di liberta: **ALL DOF**



Esercitazione N.10 (Vincoli)

Il contatto con il perno funge da vincolo.

Per mantenere l'equilibrio in direzione assiale, blocco l'area della base inferiore ad esempio verso UY.



Esercitazione N.10 (Carico)

Scomporre il carico concentrato secondo le sue componenti ed applicarlo ad un nodo crea problemi all'analisi lineare.

Per questo motivo si applica il carico su un gruppo di nodi appartenenti al perno:

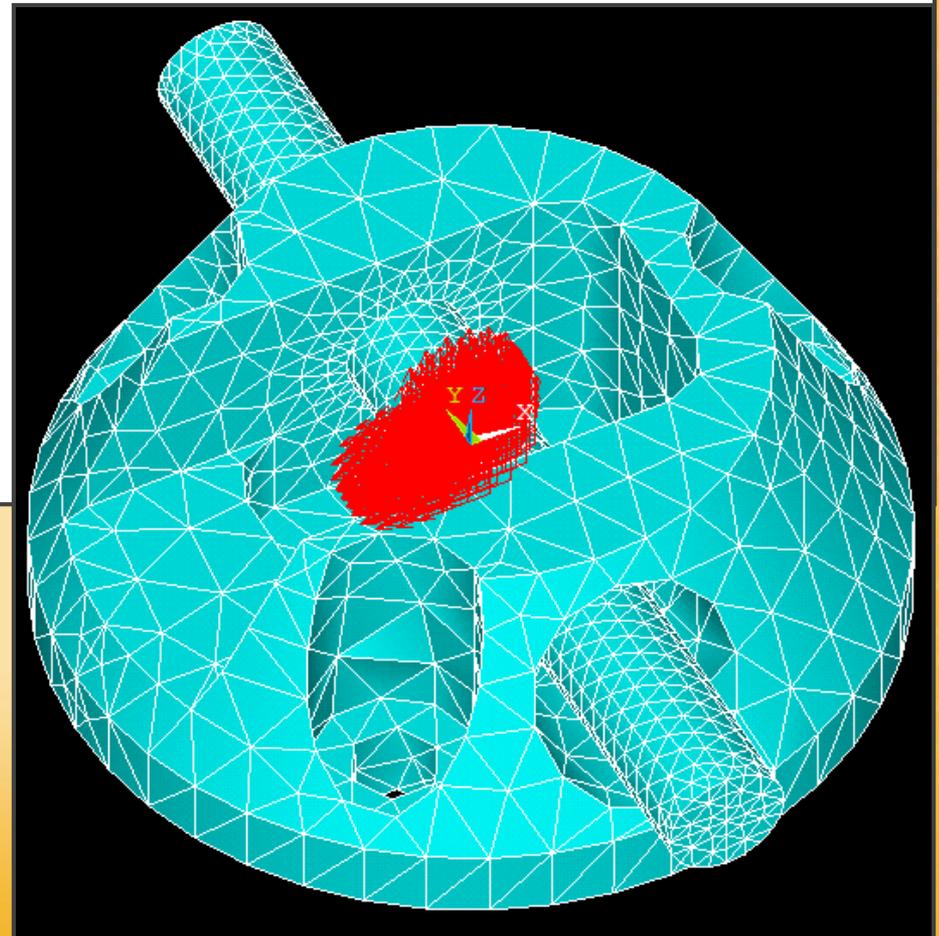
1) Select – node - by num pick - box

n.389 nodi selezionati

2) Plot nodes

3) Applicare le forze concentrate ai nodi selezionati

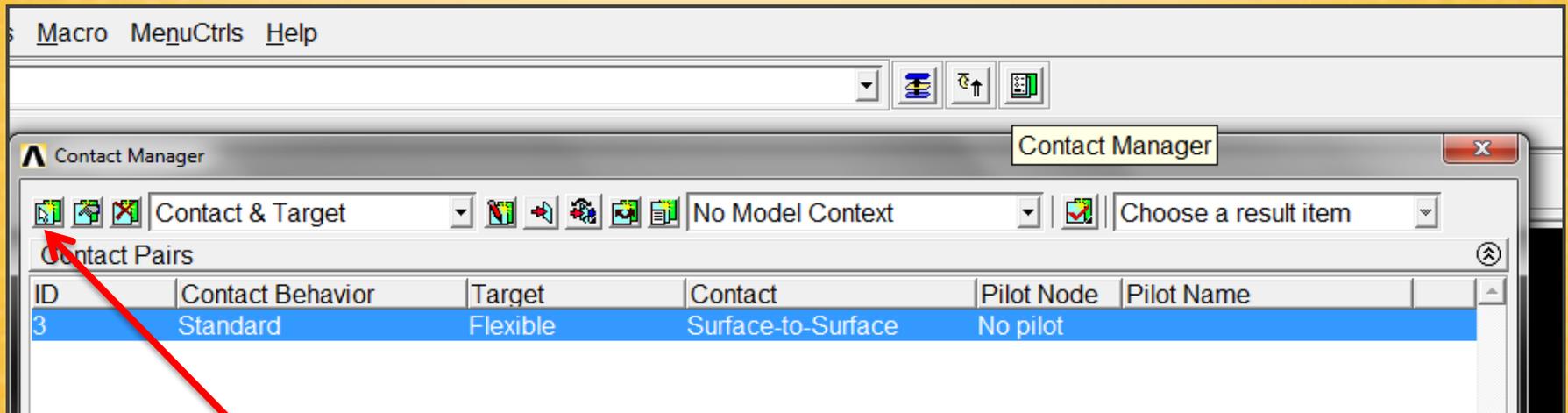
Fx: -10000/1.41/389



Esercitazione N.10 (Gestione del CONTATTO)

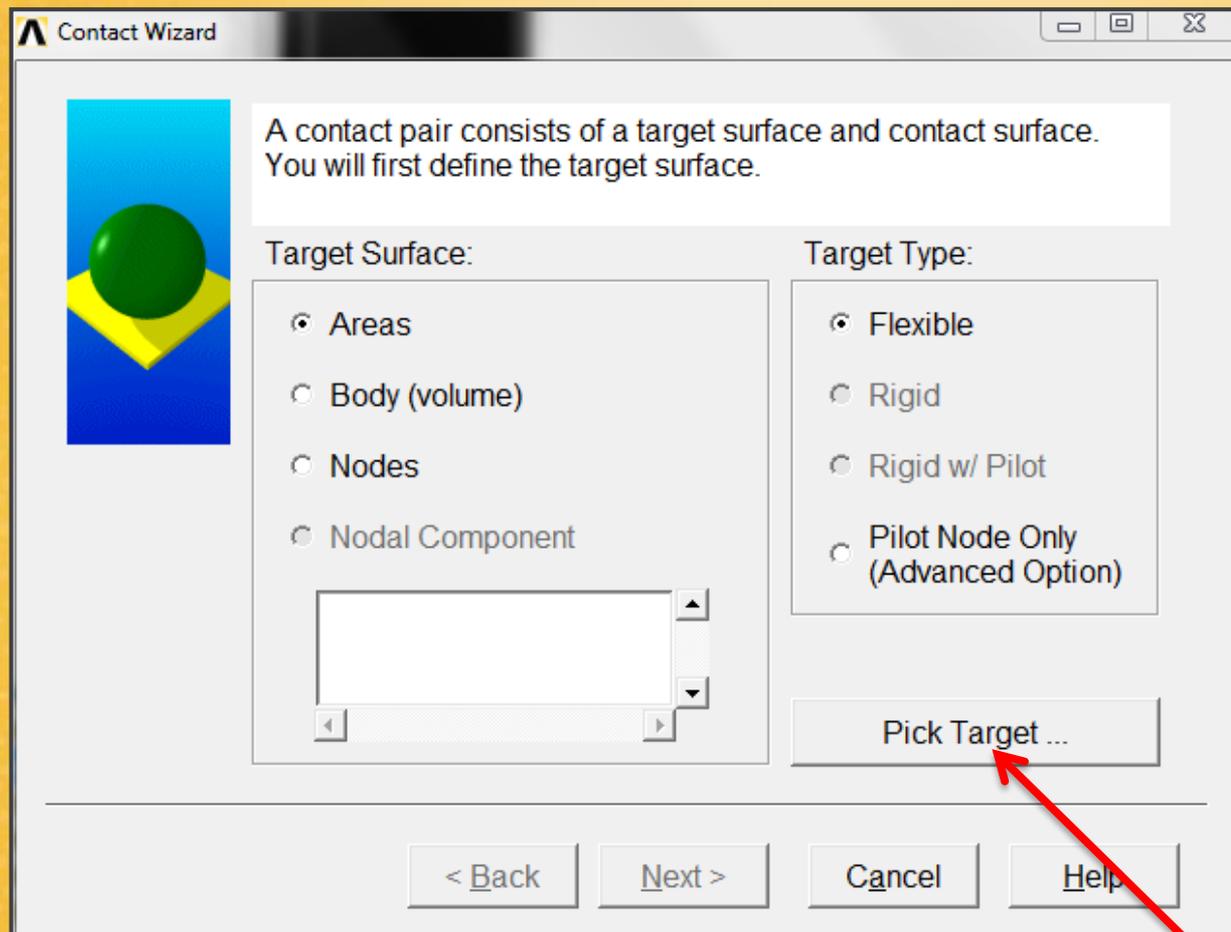
Contact Manager

- 1) selezione aree target: perno
- 2) selezione aree contact: aree forate interne alla base
- 3) impostare le opzioni di contatto



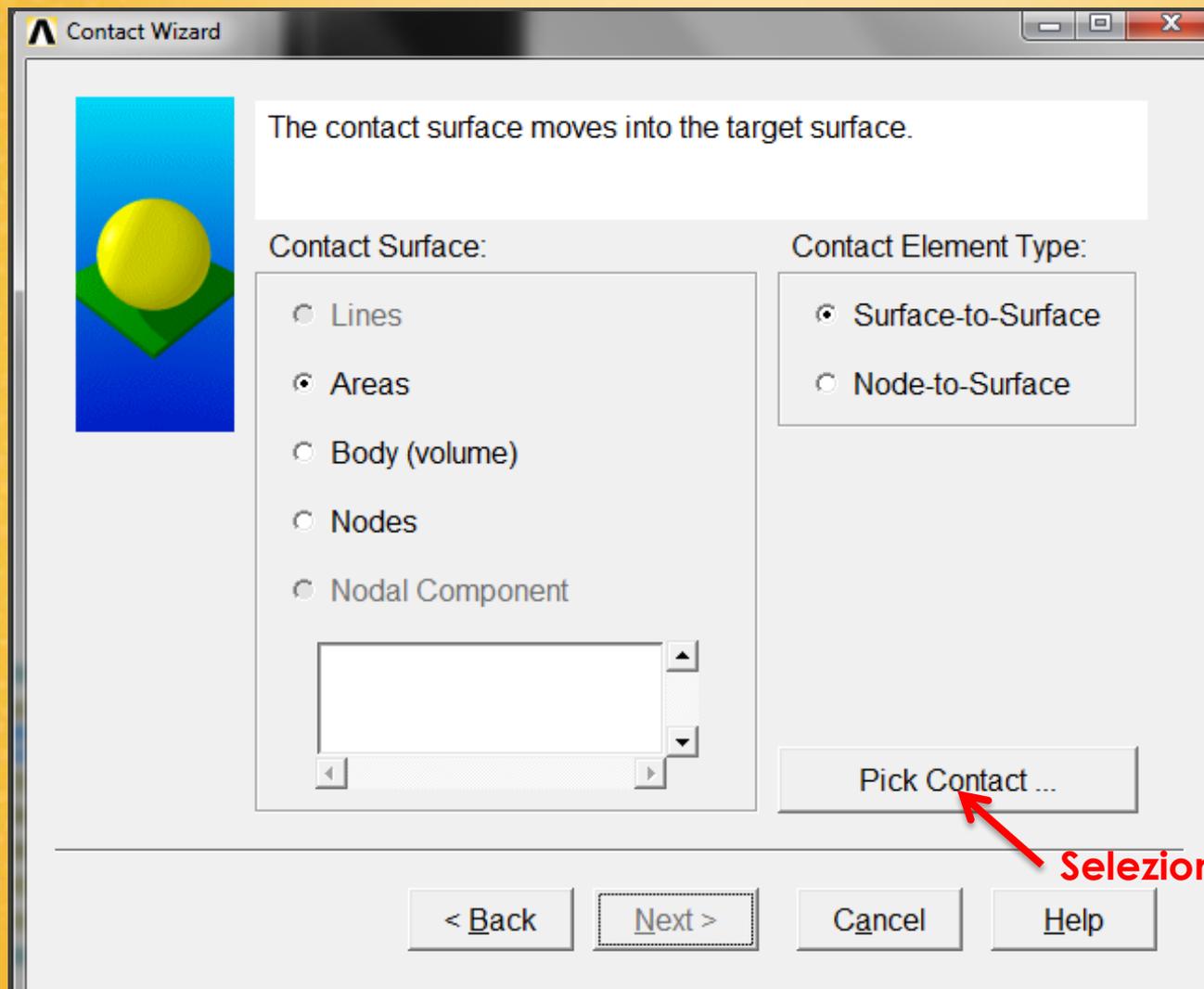
Contact Wizard

Esercitazione N.10 (Gestione del CONTATTO)



Selezionare le aree target

Esercitazione N.10 (Gestione del CONTATTO)

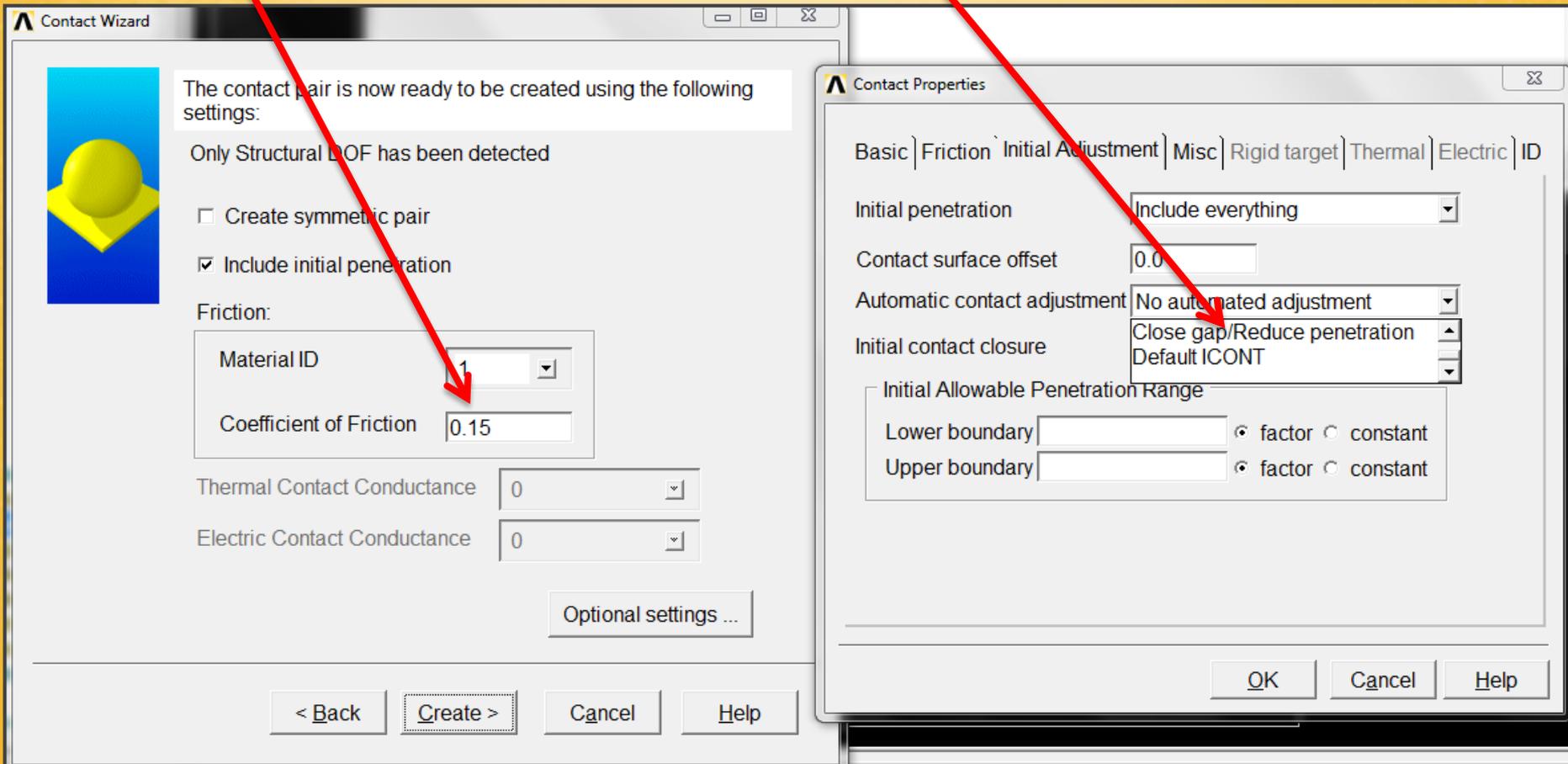


Selezionare le aree contact

Esercitazione N.10 (Gestione del CONTATTO)

Attrito del contatto

Ottimizzazione del contatto
(facoltativa), non impostare



Esercitazione N.10 (Gestione del CONTATTO)

Dopo aver impostato il contatto, nell'element type compaiono automaticamente gli elementi target e contact.

ANSYS Main Menu

- Preferences
 - Preprocessor
 - Element Type
 - Add/Edit/Delete
 - Switch Elem Type
 - Add DOF
 - Remove DOFs
 - Elem Tech Control
 - Real Constants
 - Material Props
 - Sections
 - Modeling
 - Meshing
 - Checking Ctrl

Element Types

Defined Element Types:

Type 1	SOLID187
Type 2	TARGE170
Type 3	CONTA174

Esercitazione N.10 (Soluzione)

Solution - Analysis type - Sol'n ctrl:

small displacement

time at end of loadstep 1

automatic steppin on

Contourn plot

Von mises stress

```
NODAL SOLUTION
```

```
STEP=1
```

```
SUB =1
```

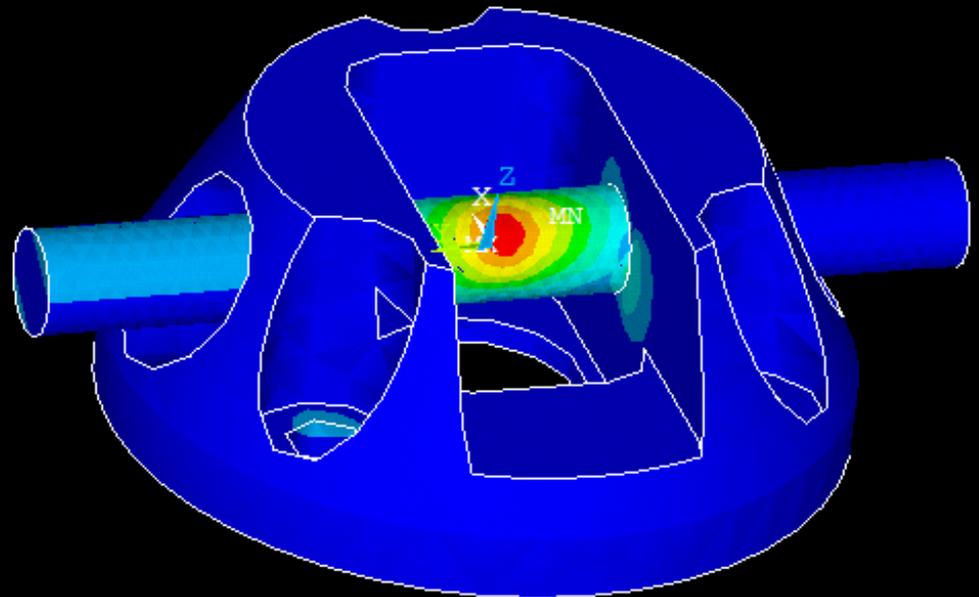
```
TIME=1
```

```
SEQV      (AVG)
```

```
DMX =.067834
```

```
SMN =.217E-03
```

```
SMX =1068
```



Esercitazione N.10 (Soluzione)

Selezionare solo gli elementi a contatto (quelli target):

select - entities - volumes - by num pick: selezionare volume base

select - entities - element - attached to - volumes: ok

NODAL SOLUTION

STEP=1

SUB =1

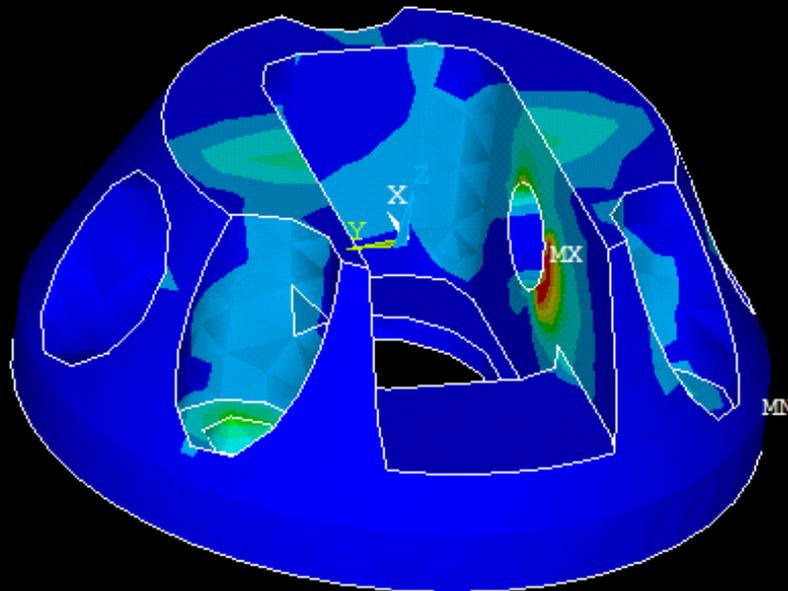
TIME=1

SEQV (AVG)

DMX =.067834

SMN =1.241

SMX =312.601



Esercitazione N.10 (Soluzione)

Selezionare solo elementi di contatto (type3)

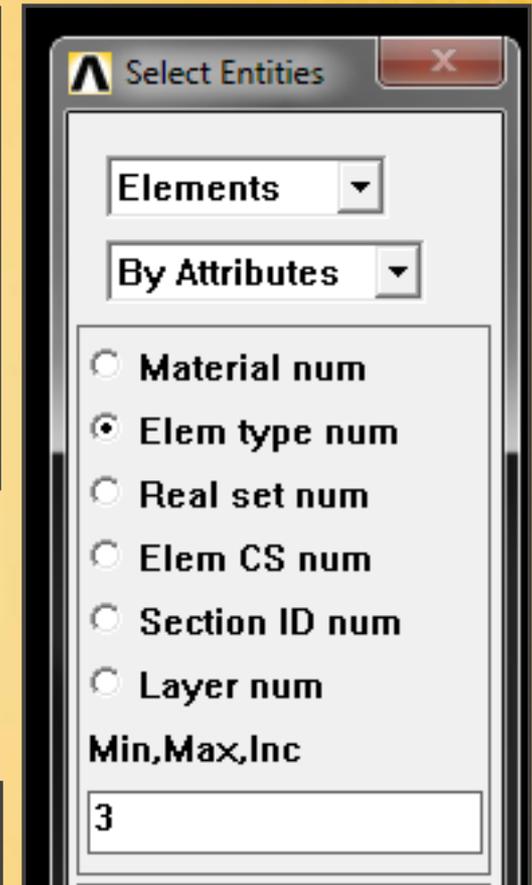
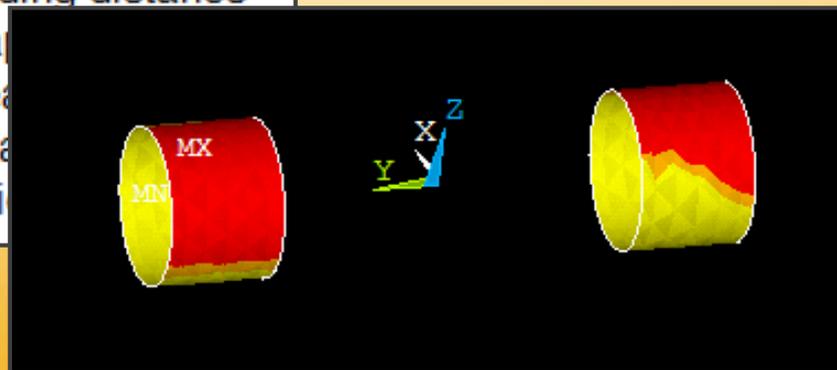
select - entities - volumes - by num pick: volume base

select - entities - element - by attributes - element type: 3

contact pressure: pressione di contatto

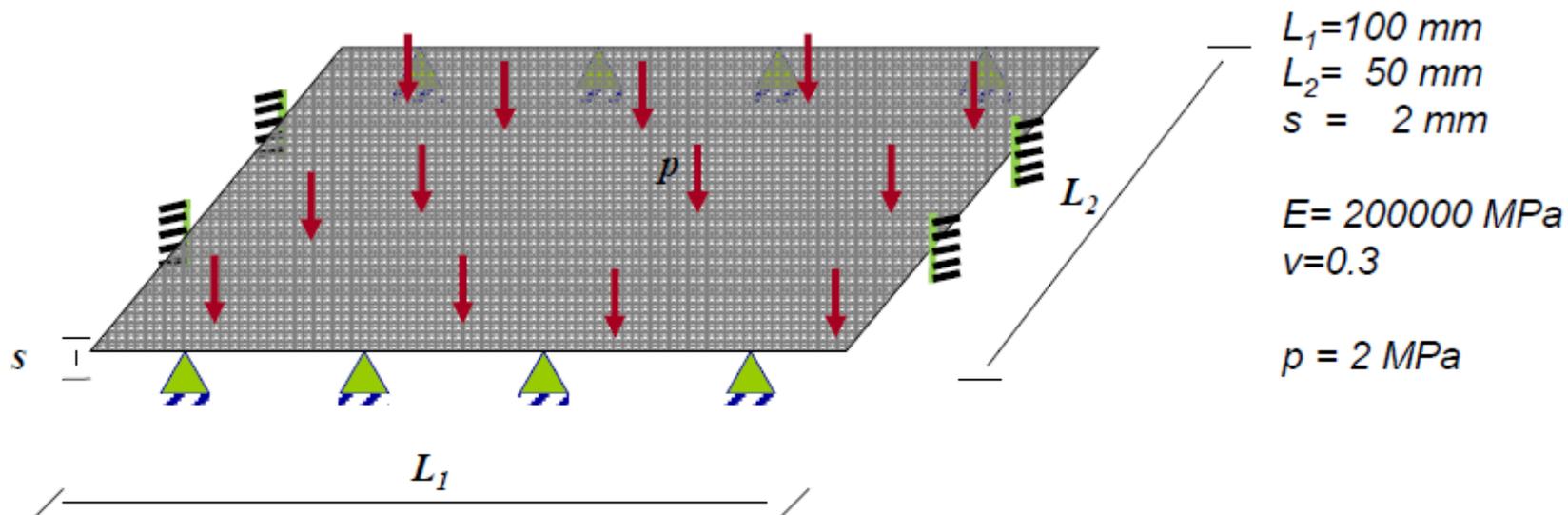
contact status: quali parti sono in contatto

- Energy
- Contact
 - Contact status
 - Contact penetration
 - Contact pressure
 - Contact friction stress
 - Contact total stress
 - Contact sliding distance
 - Contact gap
 - Contact heat
 - Contact char
 - Contact fluid



Esercitazione N.11 (Strutture a spessore sottile)

Studiare la piastra rettangolare a spessore costante in figura, appoggiata (snodi sferici) sui lati lunghi ed incastrata sui lati corti. Sulla piastra agisce una pressione uniforme p .



Si studi inoltre l'ulteriore problema in cui:

- il carico rimane inalterato.
- i vincoli su tutti e quattro i lati impediscono le sole traslazioni nel piano della piastra, mentre in direzione perpendicolare si comportano come molle lineari con costante elastica $K = 10 \text{ N/mm}$.

Esercitazione N.11 (Strutture a spessore sottile)

New:

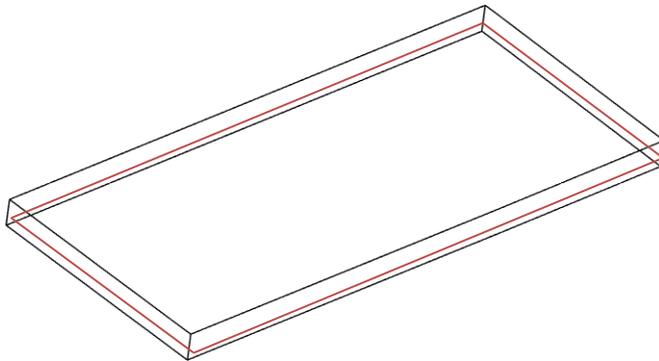
- *Elementi shell per problemi spaziali a spessore sottile: piastre, gusci, lamiere, etc.*
- *Elementi molla-smorzatore.*
- *Operazioni di duplicazione di entità geometriche, nodi, elementi.*
- *Collegamento elementi mediante merging.*
- *Cenni su comportamento ortotropo/anisotropo dei materiali.*

Esercitazione N.11 (Introduzione)

Per questo tipo di analisi si usa un **elemento di tipo piano SHELL a 4 o 8 nodi**.

Questo elemento rappresenta una porzione del volume della piastra che in realtà possiede un proprio spessore.

E' come se l'elemento fosse posizionato sulla superficie media della piastra.



Quando si effettua la modellazione geometrica, si realizza in realtà la superficie media della piastra e si discretizza tale superficie con gli elementi SHELL. Questi elementi in realtà considerano anche il volume, che può essere impostato all'interno delle Real Constant.

Se si hanno piastra con spessori variabili, si possono associare i vari spessori agli elementi SHELL sempre tramite le Real Constant (si imposta il valore dello spessore ai nodi).

Esercitazione N.11 (Impostazione ELEMENTO)

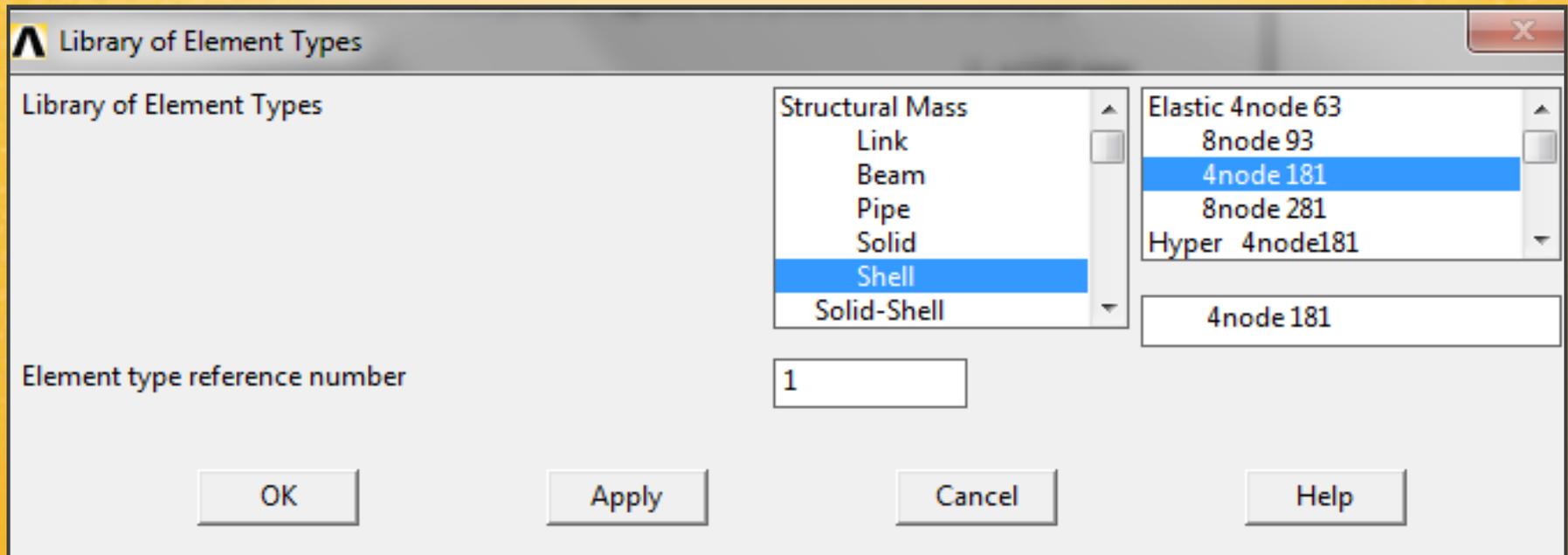
Elemento utilizzato:

elastic 4node63

plastic 4node63

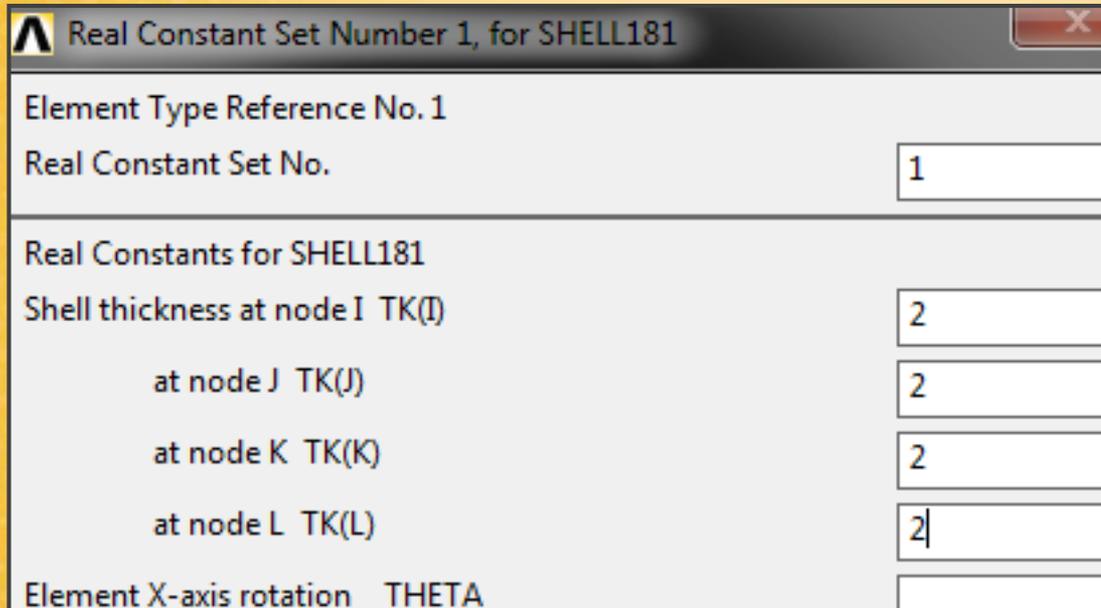
L'elemento più generale che verrà usato in questa esercitazione: **elastic 4node181**

NB: i gradi di libertà dei nodi degli elementi SHELL sono $6 = 3$ forze + 3 momenti
(3 spostamenti e 3 rotazioni)



Esercitazione N.11 (Real Constant)

Attraverso le Real Constant si imposta lo spessore della piastra:
si imposta il valore ai 4 nodi a 2 mm



Real Constant Set Number 1, for SHELL181	
Element Type Reference No. 1	
Real Constant Set No.	1
Real Constants for SHELL181	
Shell thickness at node I TK(I)	2
at node J TK(J)	2
at node K TK(K)	2
at node L TK(L)	2
Element X-axis rotation THETA	

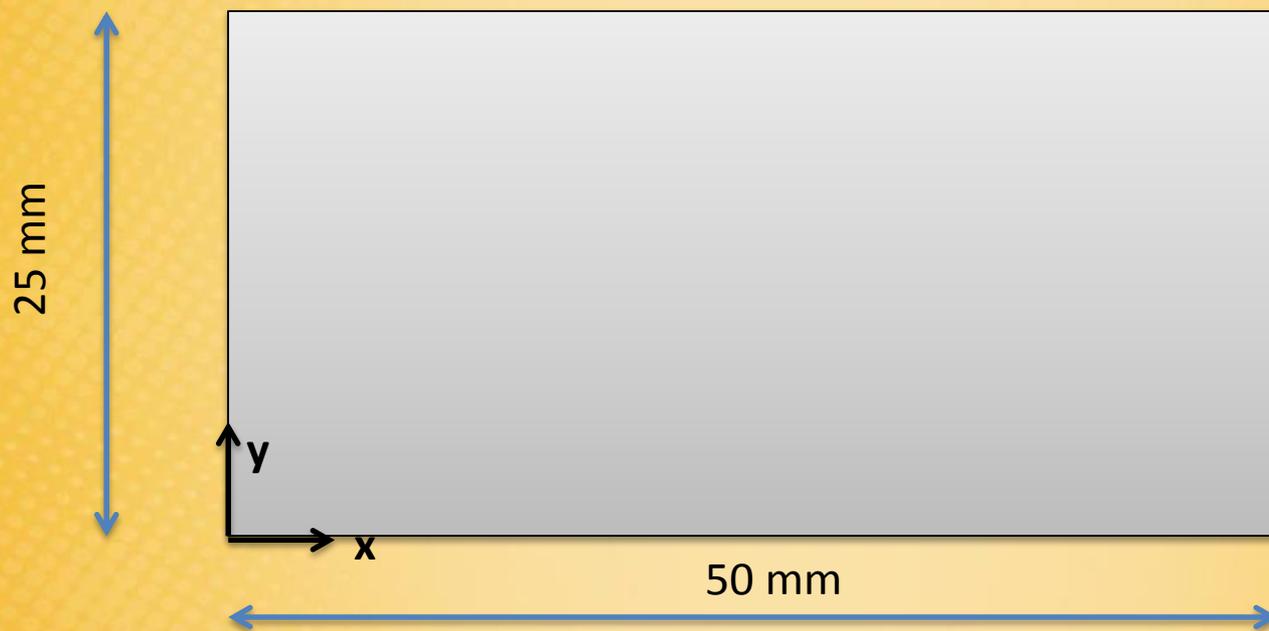
Impostazione materiale:

Modulo E = 200×10^5 N/mm²

Poisson = 0.3

Esercitazione N.11 (Modellazione)

Si modella $\frac{1}{4}$ della piastra sfruttando la geometria.

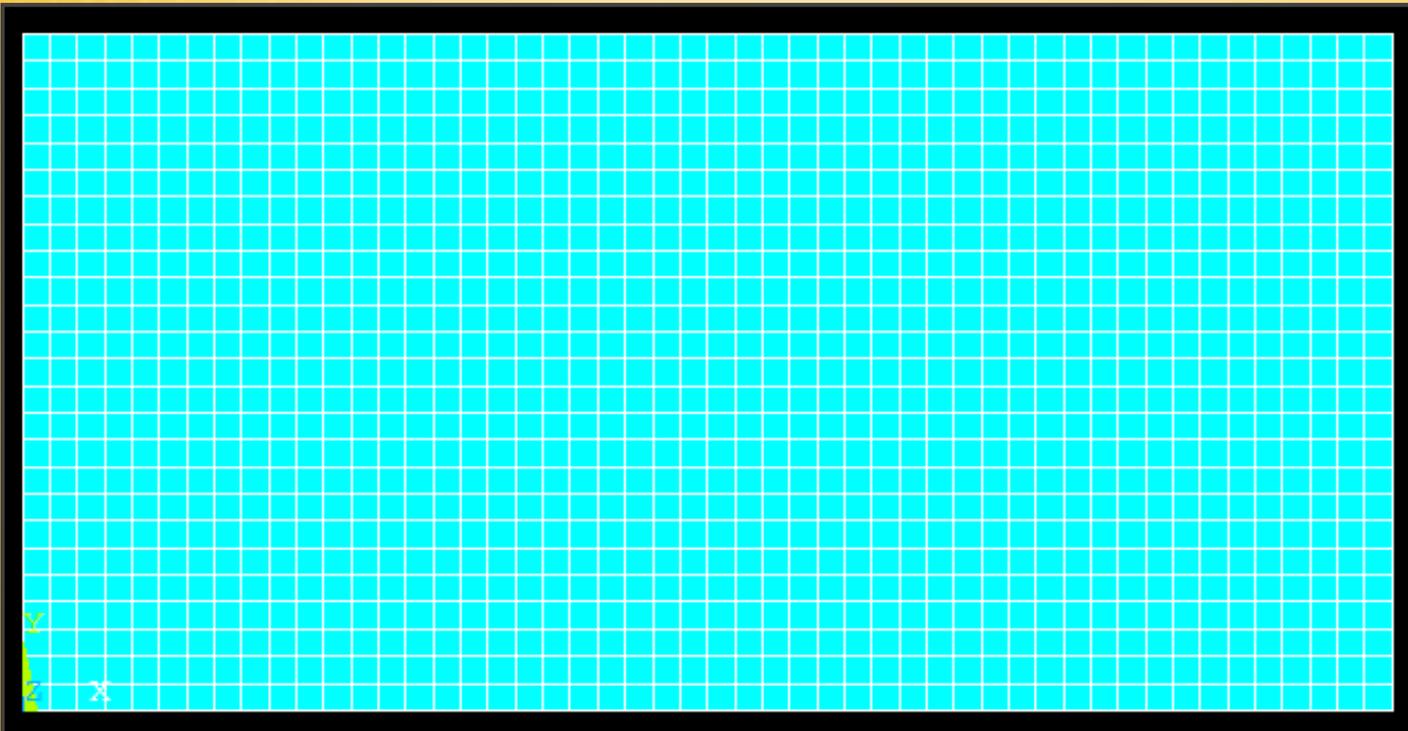


Esercitazione N.11 (Meshing)

Si imposta lo stesso numero di elementi su tutti i lati.

Si effettua il sizing delle aree con 1 mm (è necessario sapere quanti sono i nodi e gli elementi per la 2° parte dell'esercitazione)

Mesh - Mapped - 3 or 4 side



Esercitazione N.11 (Vincoli)

Impostazione vincoli $\frac{1}{4}$ della piastra: on lines



Per la simmetria i vincoli sono:

lato lungo: u_y , rot_z , rot_x

lato corto: u_x , rot_z , rot_y

Esercitazione N.11 (Carichi)

Per impostare il carico di pressione sull'area è necessario conoscere il verso della normale uscente all'area:

Plotctrl – Symbols – ADIR (on)

Il verso positivo della pressione segue quello della normale uscente.

In questo caso il valore della pressione essendo entrante è di -2 N/mm^2 .

If Constant value then:

VALUE Load PRES value

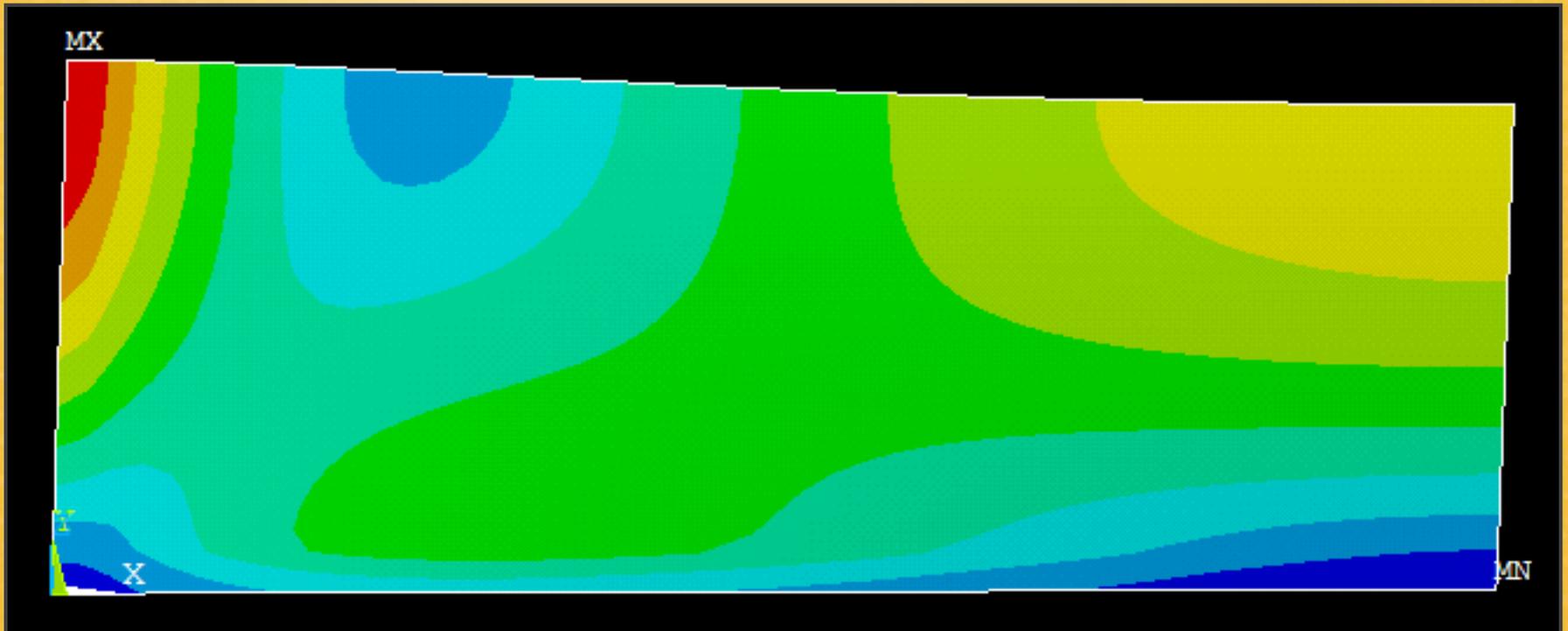
LKEY Load key, usually face no.

(required only for shell elements)

Esercitazione N.11 (Soluzione)

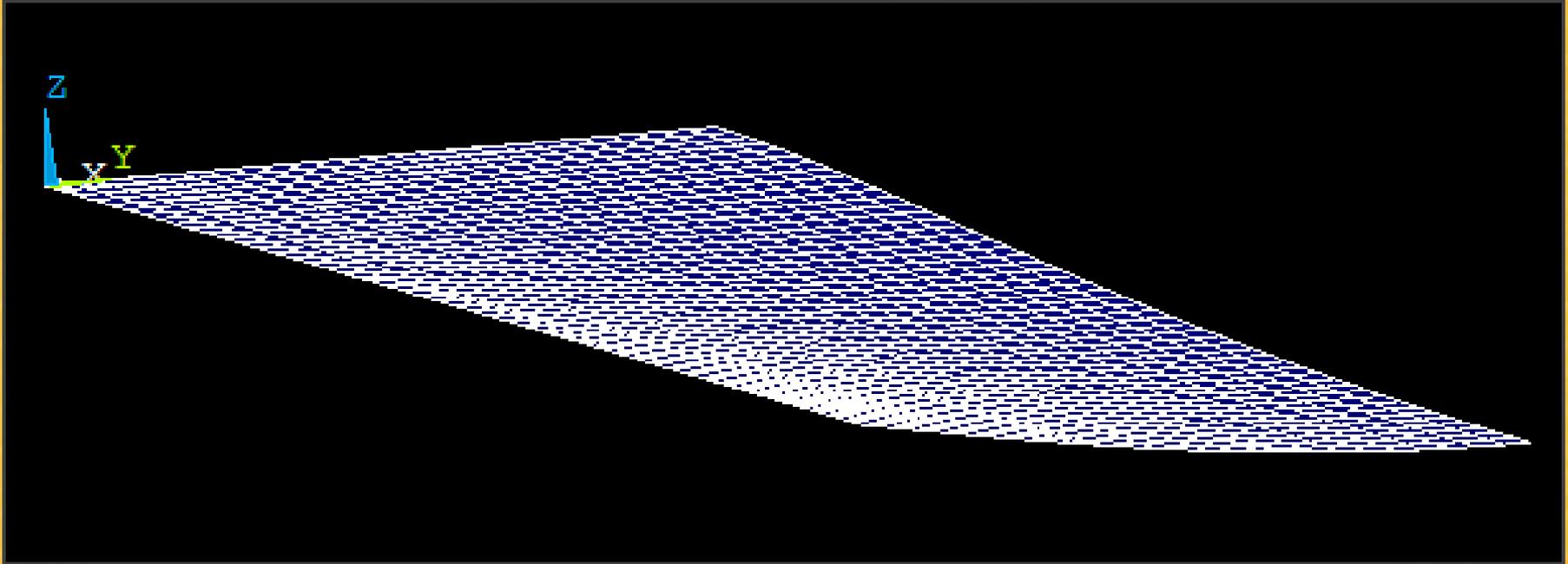
Solution - Solve - Current LS: soluzione lineare

Risultati: stress - von mises stress



Esercitazione N.11 (Risultati)

Risultati: deformata



Esercitazione N.11 (Elementi COMBIN)

Si sostituiscono i vincoli lungo i lati con degli elementi molla: **combin 14**

Element Type: combination – spring - damper14 (vedere HELP molla+smorzatore)

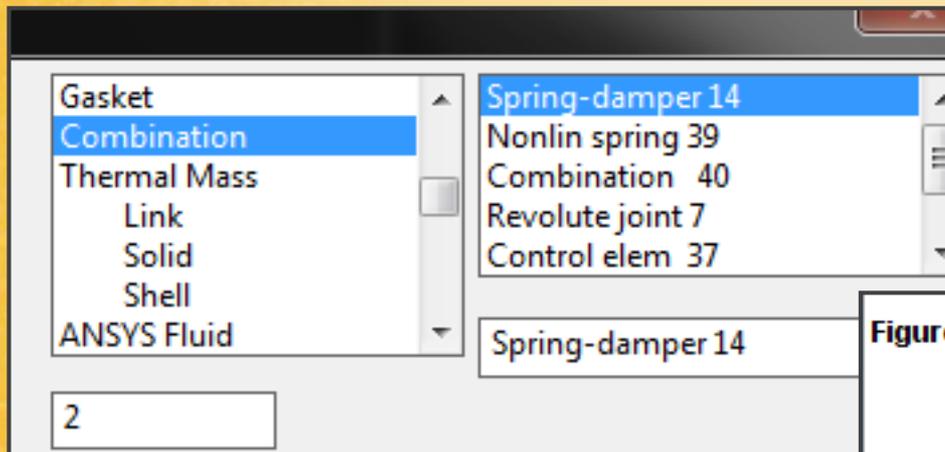
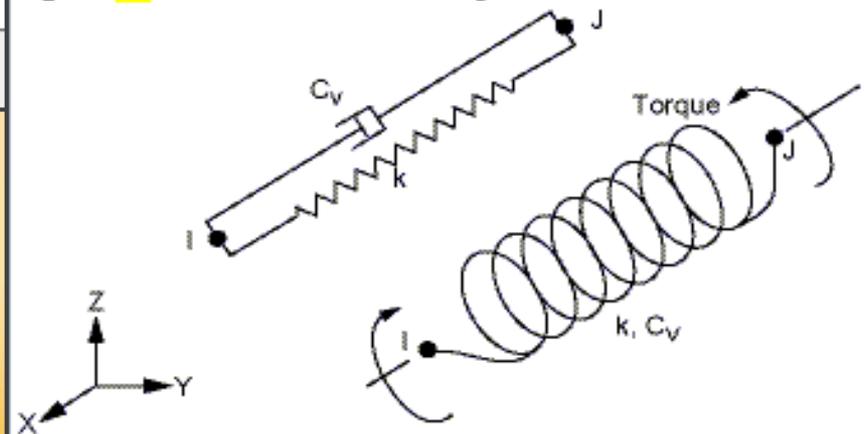


Figure 14.1: COMBIN14 Geometry



2-D elements must lie in a $z = \text{constant}$ plane

Esercitazione N.11 (Real Constant)

Real constant: rigidezza della molla $k = 10 \text{ N/mm}$

Real Constant Set Number 2, for COMBIN14

Element Type Reference No. 2

Real Constant Set No.

Spring constant K

Damping coefficient CV1

Nonlinear damping coeff CV2

Initial Length ILEN

Initial Force IFOR

OK Apply Cancel Help

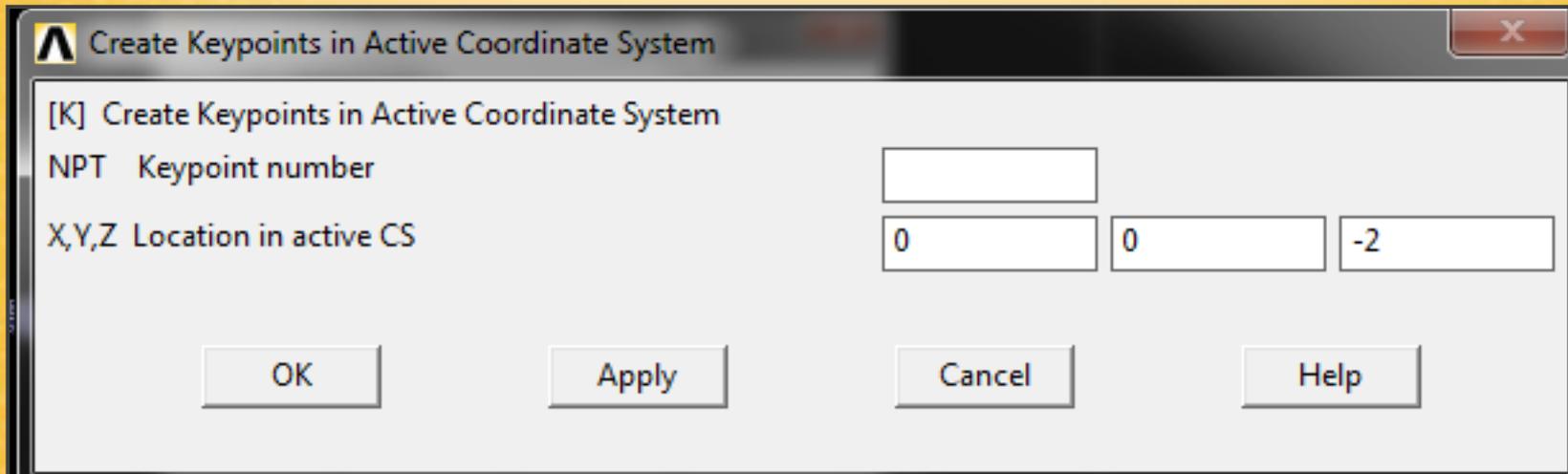
Esercitazione N.11 (Vincoli)



Esercitazione N.11 (Elementi COMBIN)

Bisogna creare dei keypoint lungo i lati sui quali verranno collegati gli elementi combin:

Create – Keypoint - In Active CS: 0, 0, -2



Create Keypoints in Active Coordinate System

[K] Create Keypoints in Active Coordinate System

NPT Keypoint number

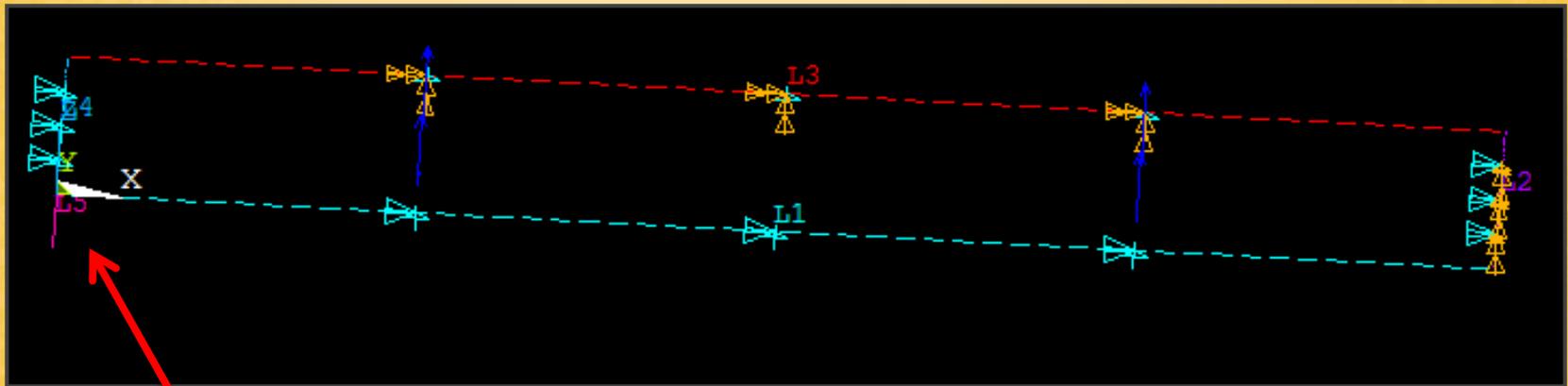
X,Y,Z Location in active CS

OK Apply Cancel Help

Esercitazione N.11 (Elementi COMBIN)

Si creano le linee che uniscono i keypoint:

Create – Lines – Straight Line: 1 , 5



In pratica unisco il punto a coordinata $y=-2$ con l'origine con una linea

Esercitazione N.11 (Elementi COMBIN)

Mesh attributes: selezionare linea, proprietà, real const, impostare 2

Line Attributes

[LATT] Assign Attributes to Picked Lines

MAT Material number	1
REAL Real constant set number	2
TYPE Element type number	2 COMBIN14
SECT Element section	None defined
Pick Orientation Keypoint(s)	<input type="checkbox"/> No

Esercitazione N.11 (Elementi COMBIN)

Meshing - manual size - lines: 1 elemento

[LESIZE] Element sizes on picked lines

SIZE Element edge length

NDIV No. of element divisions

(NDIV is used only if SIZE is blank or zero)

KYNDIV SIZE,NDIV can be changed

Yes

SPACE Spacing ratio

ANGSIZ Division arc (degrees)

(use ANGSIZ only if number of divisions (NDIV) and

Mesh – lines: selezionare la linea

Esercitazione N.11 (Elementi COMBIN)

Replicazione dell'elemento per tutti i nodi presenti sui lati, prima x e poi y.

Modelling – Copy - Lines: selezionare la linea

Numero di copie inclusa l'originale:

51 lungo x, 26 lungo y
distanza 1 mm

[LGEN]

ITIME Number of copies -

- including original

DX X-offset in active CS

DY Y-offset in active CS

DZ Z-offset in active CS

KINC Keypoint increment

NOELEM Items to be copied

[LGEN]

ITIME Number of copies -

- including original

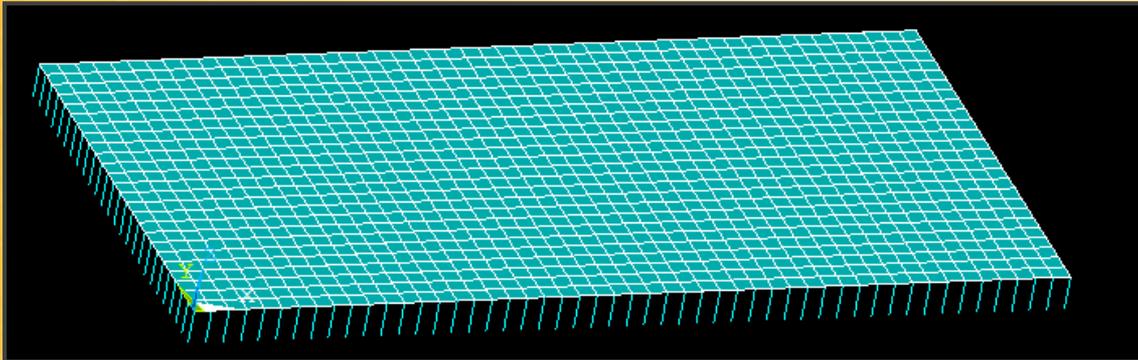
DX X-offset in active CS

DY Y-offset in active CS

DZ Z-offset in active CS

Esercitazione N.11 (Elementi COMBIN)

Risultato della replicazione dell'elemento.



Bisogna ora collegare i nodi creati con la duplicazione degli elementi combine ai rispettivi nodi della piastra: infatti la duplicazione ha creato 2 nodi sovrapposti, 1 della piastra e 1 dell'elemento combine.

Preprocessor - Numebr Ctrl – Merge Items: node

[NUMMRG] Merge Coincident or Equivalently Defined Items

Label Type of item to be merge

Nodes

TOLER Range of coincidence

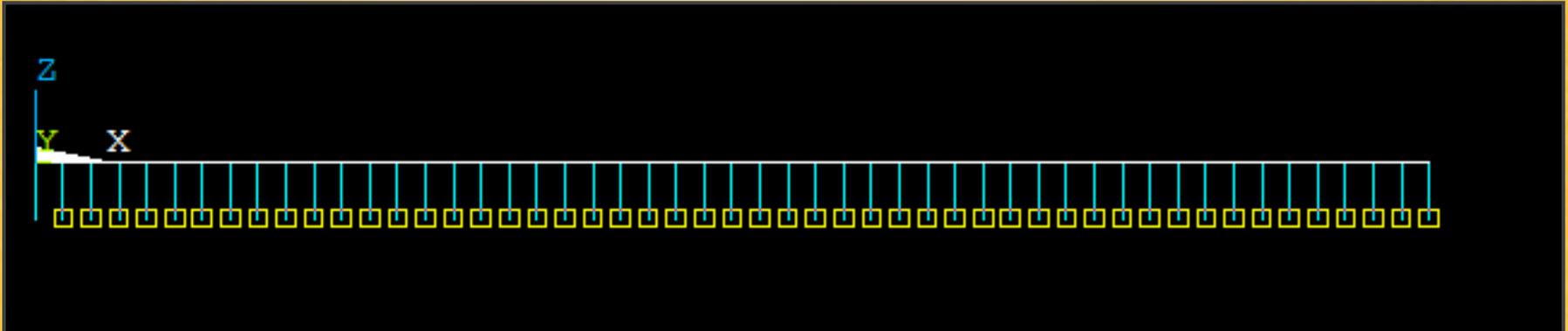
GTOLER Solid model tolerance

ACTION Merge items or select?

Esercitazione N.11 (Elementi COMBIN)

Successivamente bisogna impedire gli spostamenti, in particolare le 3 traslazioni dell'elemento COMBINE (l'elemento possiede solo 3gdl).

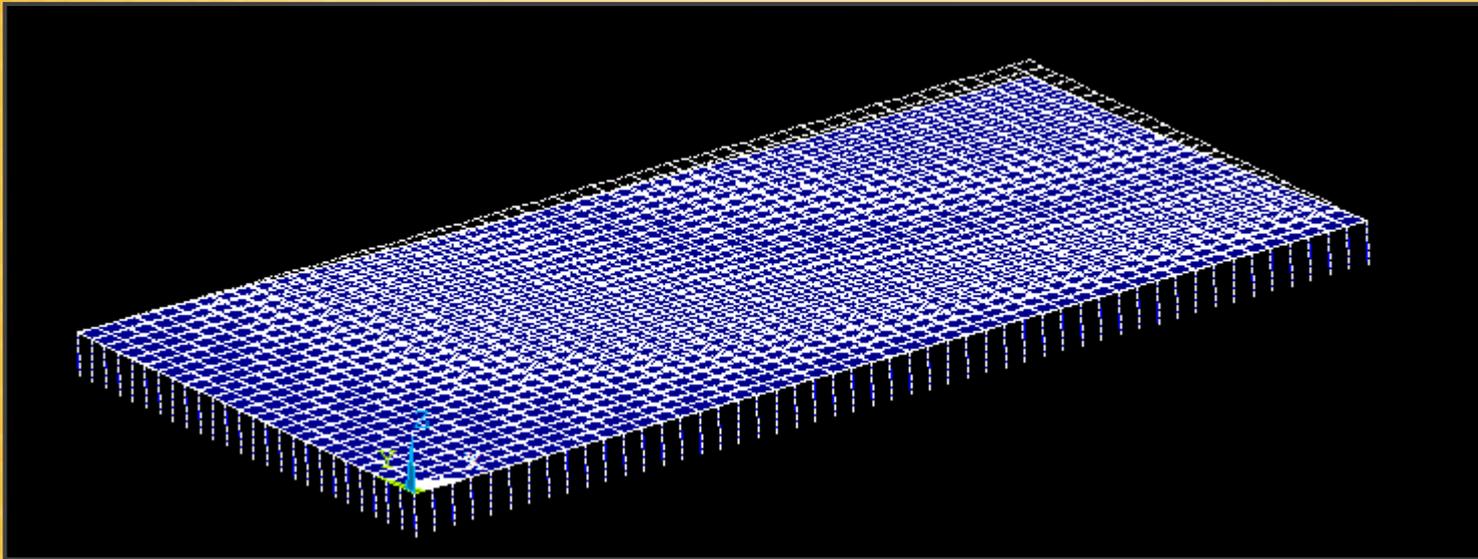
Selezionare tutti nodi alla base e fare **ALL DOF**



Esercitazione N.11 (Soluzione)

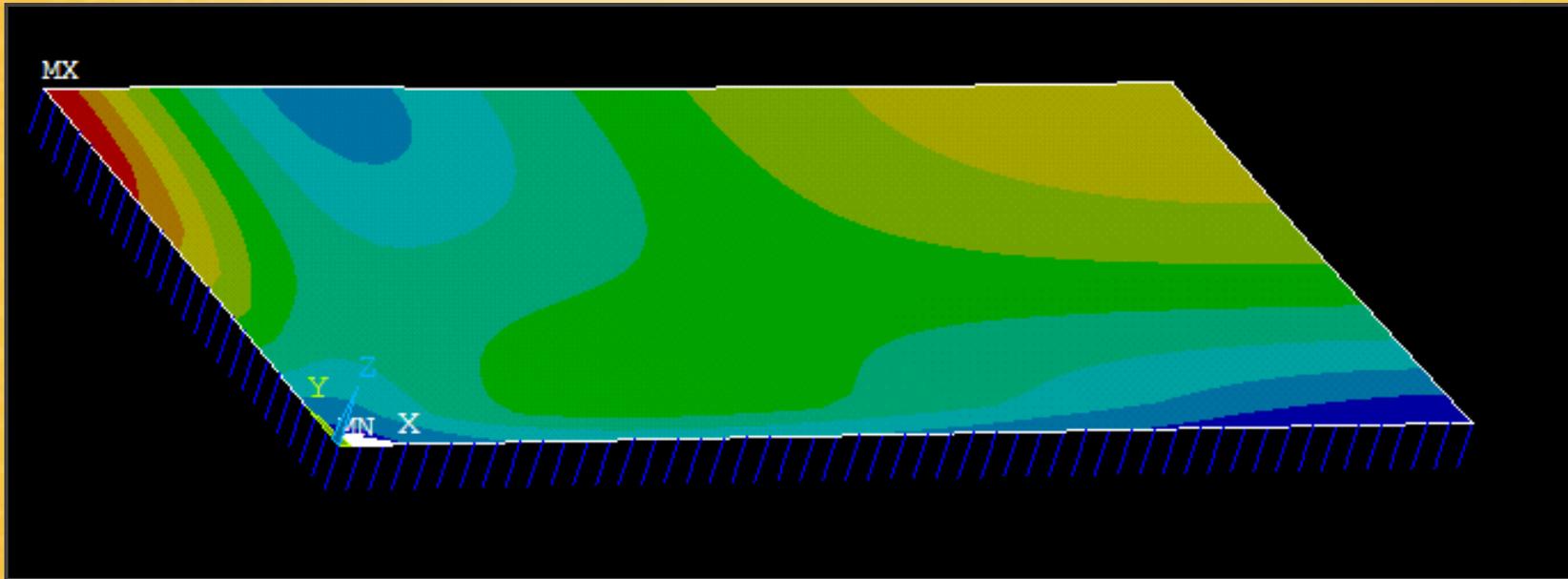
Solution - Solve - Current LS: soluzione lineare

Risultati: z-component of displacement



Esercitazione N.11 (Risultati)

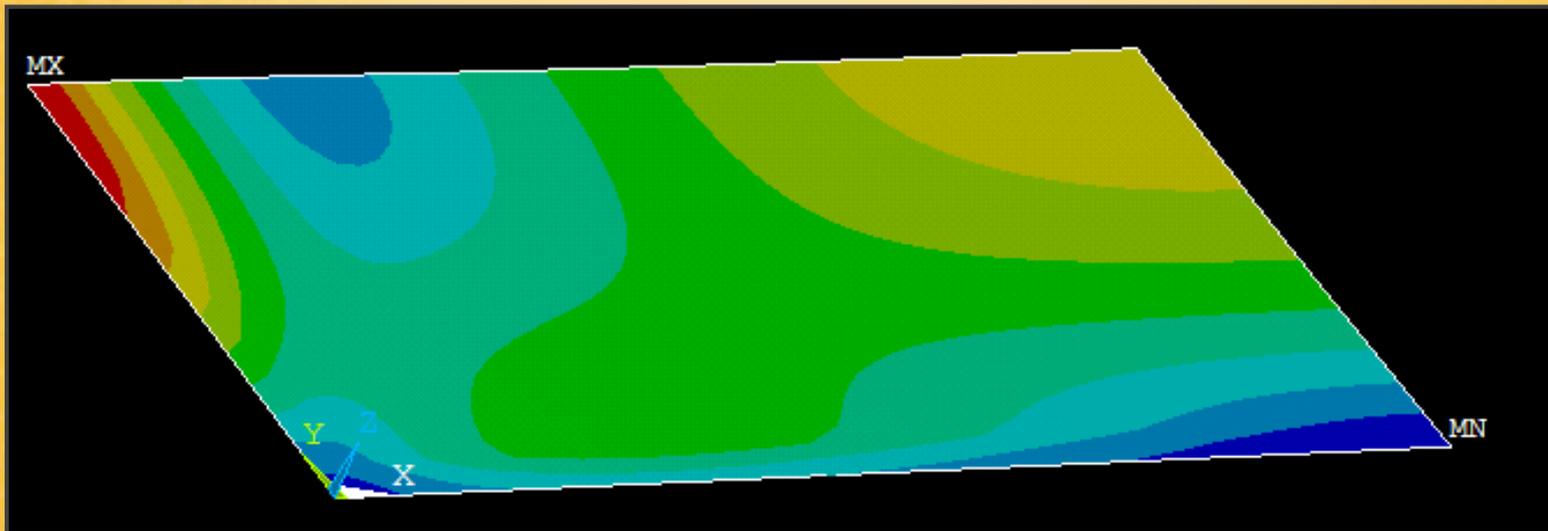
Risultati: von mises stress



Esercitazione N.11 (Risultati)

Risultati: selezionare solo gli elementi SHELL senza selezionare gli elementi COMBINE

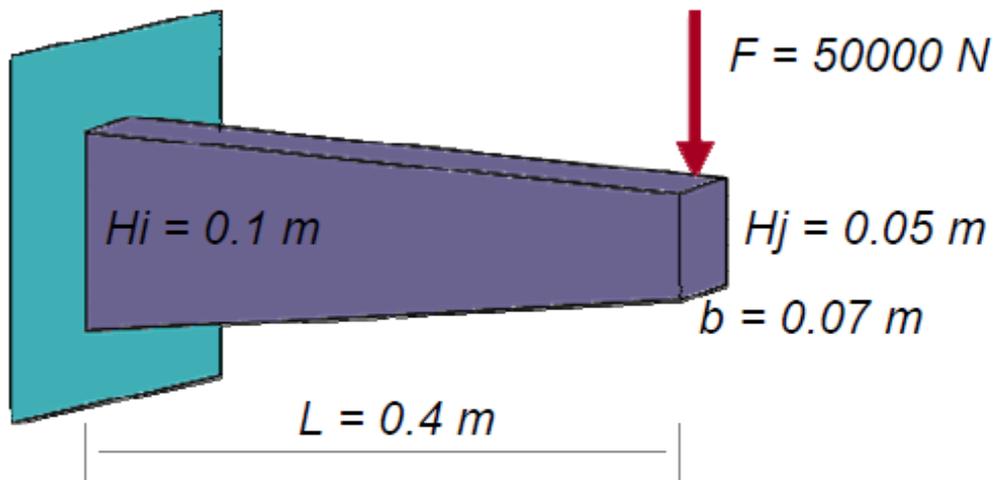
Select – Entities – Element – By Attributes: type number 1



Esercitazione N.12

(Ottimizzazione di progetto)

Ottimizzare il progetto della mensola trapezoidale in acciaio riportata in figura, soggetta ad un carico verticale all'estremità, cercando di ridurre il peso, compatibilmente con le condizioni sottoelencate.



Dati materiale:

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$\nu = 0.3$$

$$\sigma_y = 600 \text{ MPa}$$

Vincoli:

- Il componente deve resistere staticamente con coefficiente di sicurezza $X=1.5$.
- La freccia massima deve essere inferiore a $f_{max} = 0.005 \text{ m}$
- Per consentire una corretta applicazione del carico la larghezza (costante) della mensola non può essere inferiore a $b_{min} = 0.03 \text{ m}$

Variabili di progetto:

H_i, H_j, b

Esercitazione N.12

(Ottimizzazione di progetto)

New:

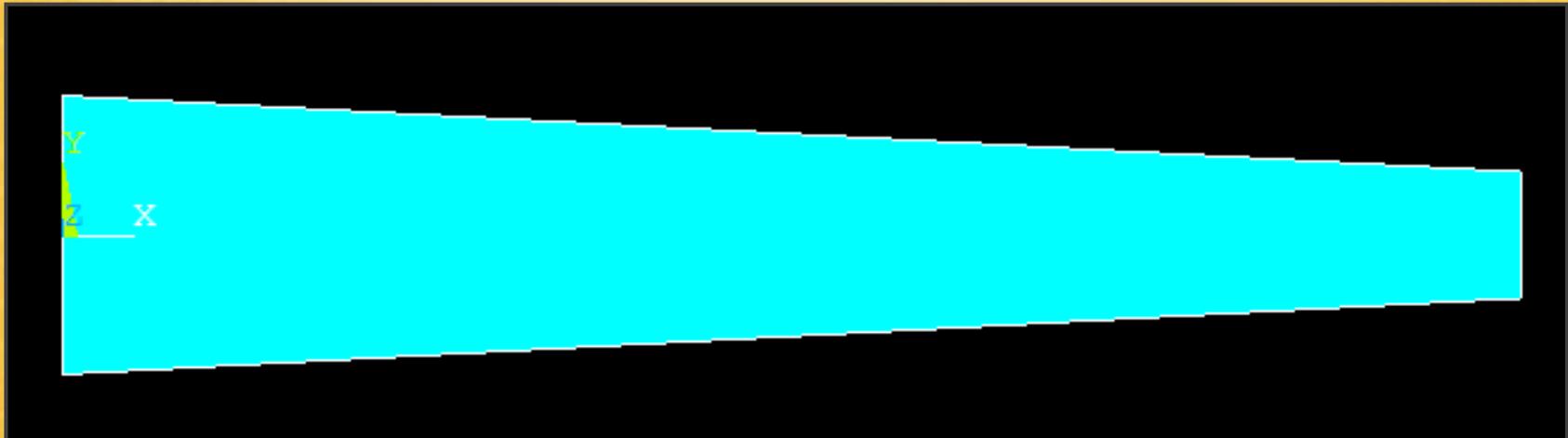
- *Logica di ottimizzazione: variabili di progetto, variabili di stato, condizioni di vincolo, funzione obiettivo, algoritmi di minimizzazione.*
- *Il linguaggio di scripting orientato all'ottimizzazione: modello parametrizzato in funzione di variabili di progetto, di stato e funzione obiettivo.*
- *Comandi testuali per la manipolazione dei risultati in fase di post-processing.*
- *Uso delle funzionalità di ottimizzazione automatiche nei codici agli elementi finiti.*

Esercitazione N.12

(Ottimizzazione di progetto)

Importazione del modello già realizzato tramite il file: *mensolapara.txt*

Tipologia del problema: stato di tensione piana, elemento utilizzato PLANE42



Esercitazione N.12 (Introduzione)

ANSYS è in grado di **ottimizzare automaticamente le variabili di progetto** al fine di ottenere il migliore risultato per la progettazione.

La logica che segue il programma per il processo di ottimizzazione è la seguente:

- 1) Definizione delle variabili di progetto:** nel nostro caso H_i, H_j, b
- 2) Definizione della funzione obiettivo:** funzione scalare delle variabili di progetto. Nel nostro caso è rappresentata dal volume da minimizzare $f(H_i, H_j, b, \text{ecc.})$
- 3) Definizione delle funzioni di stato:** condizioni di vincolo del sistema $g(\sigma_{eq}, Y_{MAX})$
Nel nostro caso sono i valori massimi della sigma eq. e della freccia massima:

$$\sigma_{eq} < 400 \text{ MPa}$$

$$Y_{MAX} < 0,005 \text{ m}$$

Esercitazione N.12

(Ottimizzazione: es_12_optimizzazione.lgw)

File di ottimizzazione contenente la modellazione parametrica (parte 1)

```
1 FINISH
2 /CLEAR
3
4 !* Replace current parameter set with these parameters
5 PARRES,NEW
6
7 FINISH
8
9 /PREP7
10
11 ET,1,PLANE42
12
13 MPTEMP,,,,,,,,
14 MPTEMP,1,0
15 MPDATA,EX,1,,200e9
16 MPDATA,PRXY,1,,0.3
17 K,1,0,-Hi/2,0
18 K,2,L,-Hj/2,0
19 K,3,L,Hj/2,0
20 K,4,0,Hi/2,0
21
22 LSTR,1,2
23 LSTR,2,3
24 LSTR,3,4
25 LSTR,4,1
```

Esercitazione N.12

(Ottimizzazione: es_12_optimizzazione.lgw)

File di ottimizzazione contenente la modellazione parametrica (parte 2)

```
26
27 AL, ALL
28 AESIZE, ALL, Hj/8,
29 MSHKEY, 1
30 AMESH, ALL
31 MSHKEY, 0
32
33 DL, 4, , ALL,
34
35 p=F/b
36 FK, 2, FY, -p/2
37 FK, 3, FY, -p/2
38
39 FINISH
40 /SOL
41 SOLVE
```

Esercitazione N.12

(Ottimizzazione: es_12_optimizzazione.lgw)

File di ottimizzazione contenente la modellazione parametrica (parte 3):

```
42
43 FINISH
44 /POST1
45 PLNSOL, S,EQV, 0,1.0
46
47 !* prende il valore max dell'ultimo grafico plottato e lo mette nella variabile SQMAX
48 *GET, SQMAX, PLNSOL, 0, MAX
49
50 !* prende il valore della freccia massima nel nodo imposto (coordinate) e direzione UY
51 *GET, YMAX, NODE, NODE (L, 0, 0), U, Y
52
53 !* inverte la grandezza la UY è negativa
54 YMAX=-YMAX
55
56 vol=(Hi+Hj)/2*L*b
57
58 PARSAVE, ALL
```

Esercitazione N.12

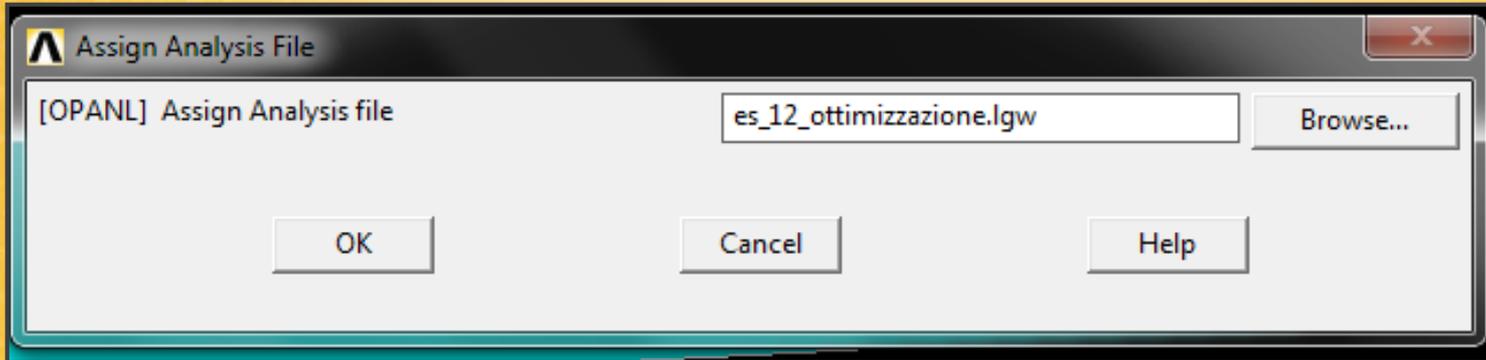
(Ottimizzazione: es_12_variabili.lgw)

File contenente le variabili di progetto aggiornate durante i cicli di ottimizzazione.

```
1  FINISH
2  /CLEAR
3
4  Hi=0.1
5  Hj=0.05
6  L=0.4
7  b=0.07
8  F=50000
9
10  !* salva in un file tutte le variabili d'ambiente
11  PARSAVE,ALL
12
```

Esercitazione N.12 (Design Optimization)

- 1) Scegliere il file da richiamare nell'ottimizzazione:
Design Opt – Analysis File - Assign



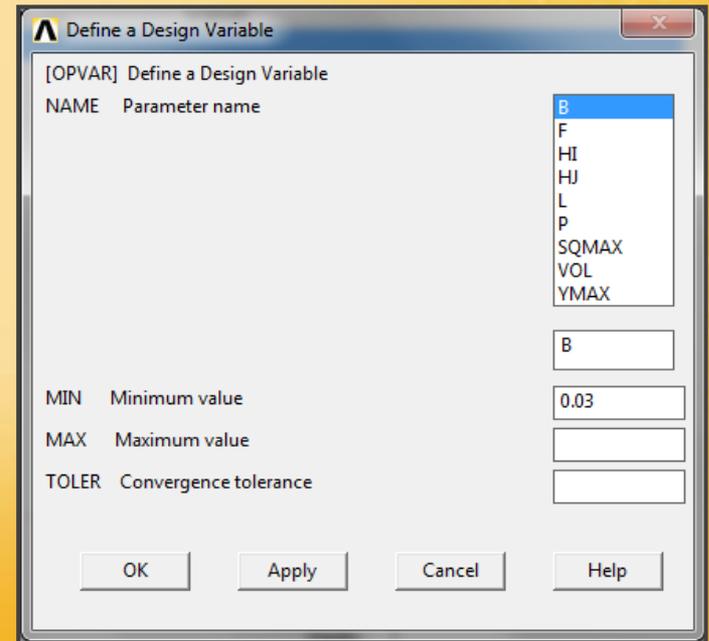
- 2) Definire le variabili di progetto:
Design Opt – Design variables – Add

Inserire H_i , H_j , b con i loro vincoli:

$$H_i = \max 0.1$$

$$H_j = \max 0.05$$

$$b = \min 0.03$$



Esercitazione N.12 (Design Optimization)

3) Definire le variabili di stato:

Design Opt – State Variables

$$SQMAX = 400e6 \text{ Pa}$$

$$YMAX = 0.005 \text{ m}$$

4) Definire funzione obiettivo:

Design Opt – Objective

Variabile da minimizzare:

Volume V

Define a State Variable

[OPVAR] Define a State Variable

NAME	Parameter name
B	
F	
HI	
HJ	
L	
P	
SQMAX	
VOL	
YMAX	

SQMAX

MIN Lower limit (blnk=none)

MAX Upper limit (blnk=none)

TOLER Feasibility tolerance

400e6

Help

Define Objective Function

[OPVAR] Define Objective Function

NAME	Parameter name
B	
F	
HI	
HJ	
L	
P	
SQMAX	
VOL	
YMAX	

VOL

TOLER Convergence tolerance

OK Cancel Help

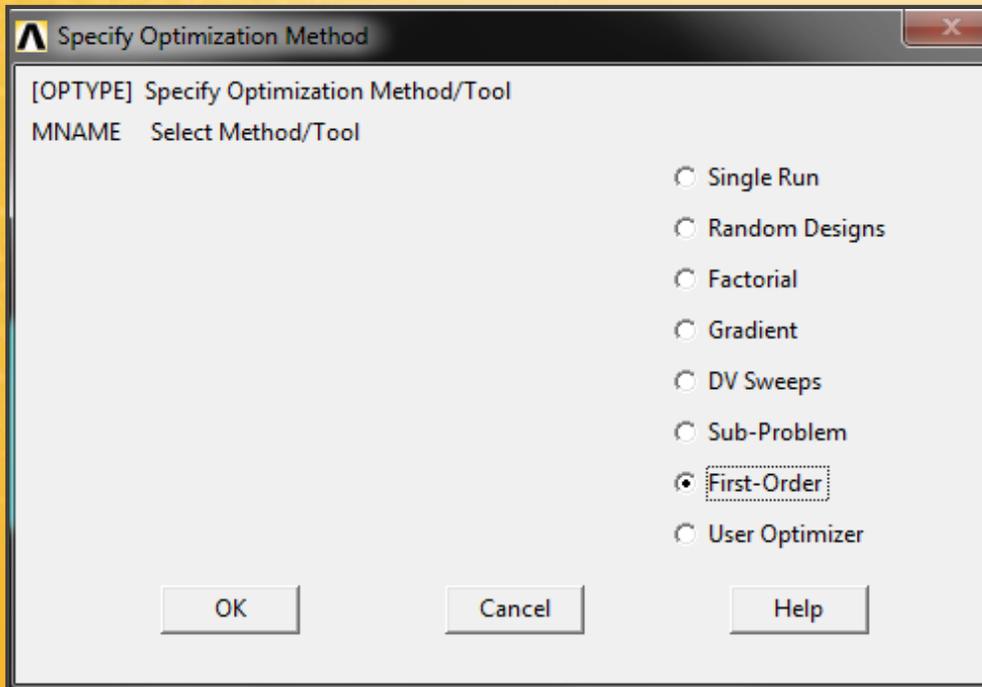
Esercitazione N.12 (Design Optimization)

5) Definire algoritmo di soluzione:

Design Opt – Method Tool: First Order

Bisogna indicare un algoritmo da utilizzare per minimizzare il volume.

First-Order: trova un minimo locale, il più vicino alla soluzione di partenza, ma bisogna partire da una soluzione possibilmente già ottimizzata.



Esercitazione N.12 (Design Optimization)

6) Calcolo soluzione ottimizzata: **Design Opt – RUN**

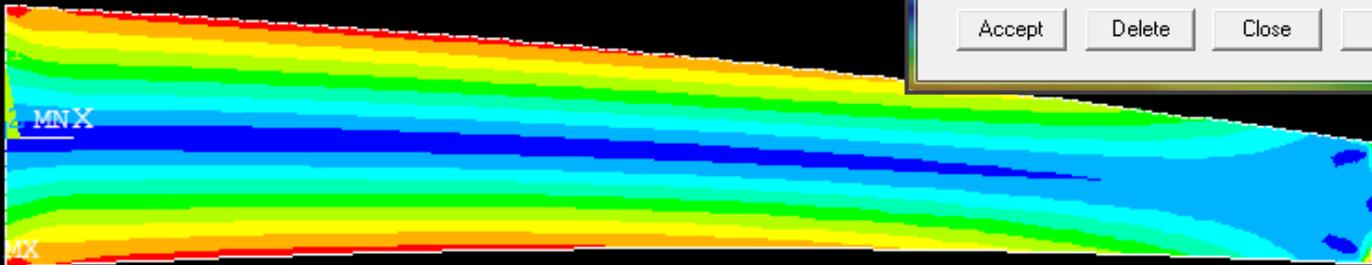
```
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SEQV      (AVG)
DMX =.004569
SMN =.110E+07
SMX =.398E+09
```

Scalar Parameters

Items	
B	= 5.401181517E-02
F	= 50000
HI	= 7.732972483E-02
HJ	= 3.511792937E-02
L	= 0.4
P	= 925723.378
SQMAX	= 398460128
VOL	= 1.214700383E-03
YMAX	= 4.541915764E-03

Selection

Accept Delete Close Help

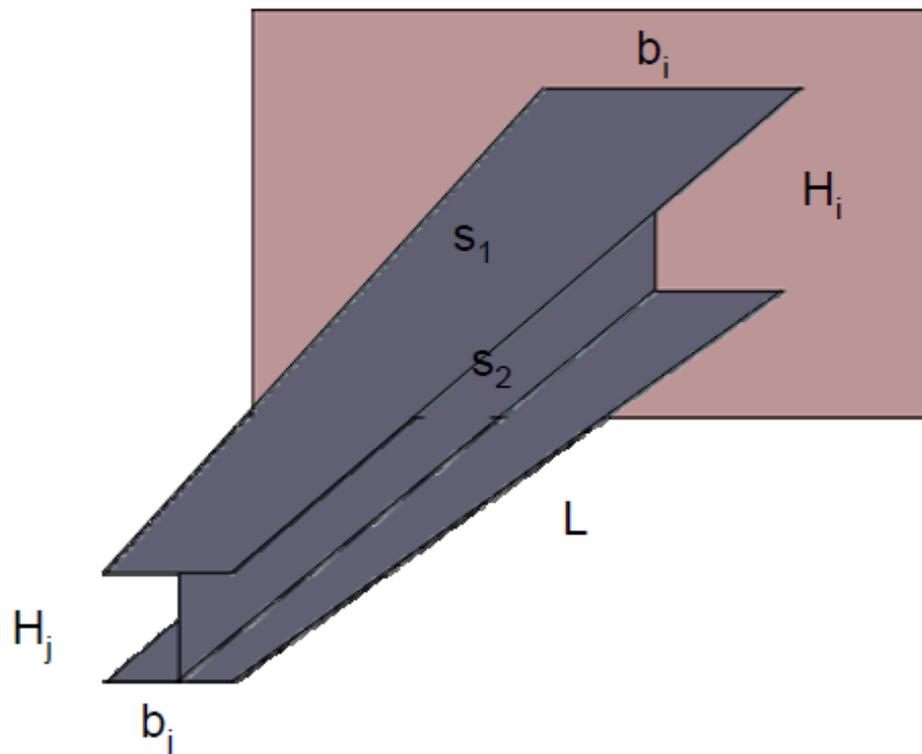


7) Mostrare i risultati ottenuti nei vari tentativi di ottimizzazione:
Design Sets - List - All sets

Esercitazione N.13

(Analisi modale e risposta dinamica)

Individuare le frequenze proprie e i corrispondenti modi di vibrazione della trave a mensola rastremata riportata in figura. Si studi inoltre la risposta nel tempo della struttura a seguito dell'applicazione di un carico impulsivo all'estremo libero con direzione a piacere.



Dati geometrici:

$$H_i = 0.08 \text{ m}$$

$$b_i = 0.04 \text{ m}$$

$$H_j = 0.04 \text{ m}$$

$$b_j = 0.02 \text{ m}$$

$$L = 0.6 \text{ m}$$

$$s_1 = 0.002 \text{ m (spessore ali)}$$

$$s_2 = 0.0015 \text{ m (spessore anima)}$$

Dati materiale:

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$\nu = 0.3$$

N.b. Si modelli la trave con elementi shell a 4 nodi

Esercitazione N.13

(Analisi modale e risposta dinamica)

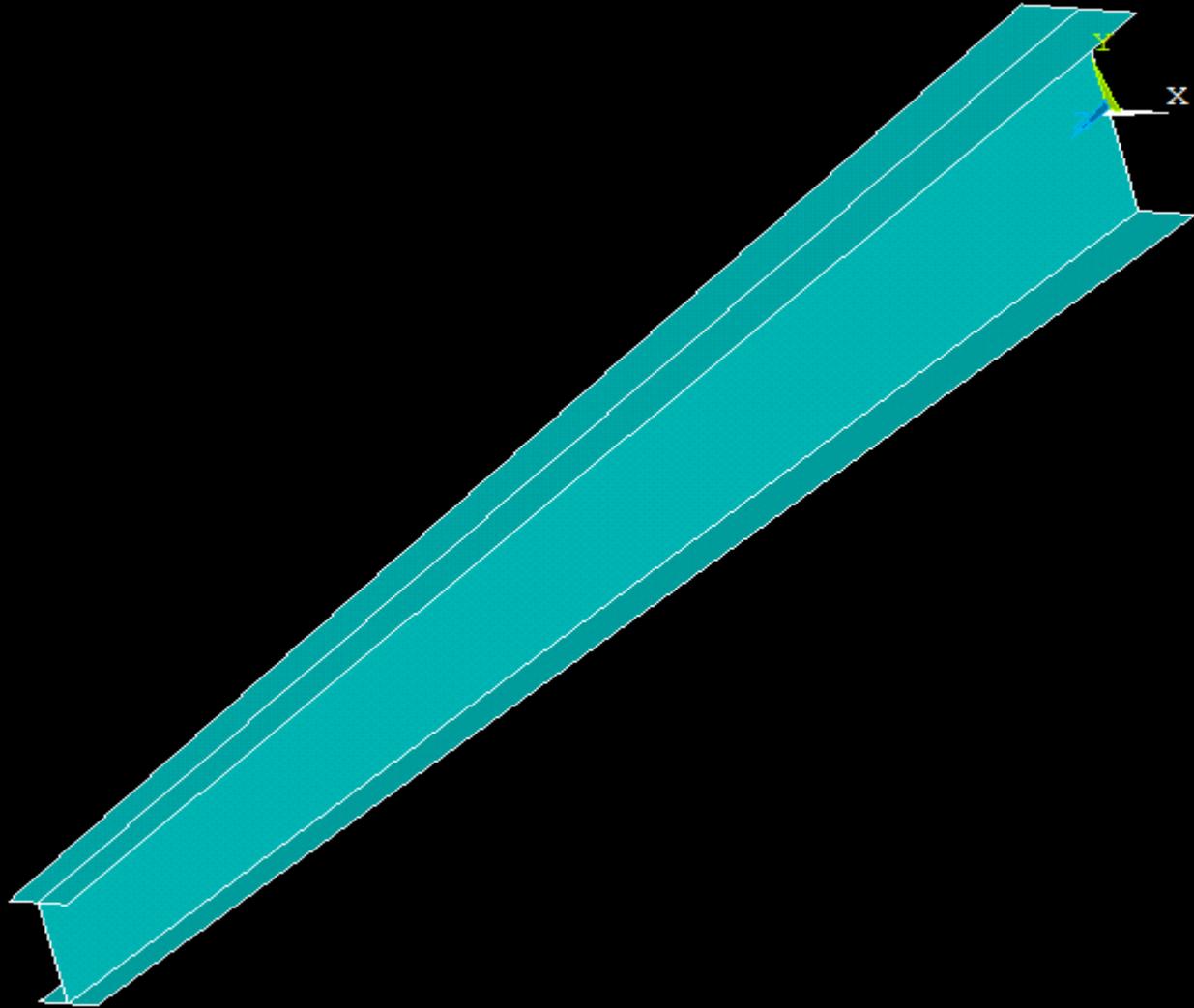
New:

- *Modellazione di travi e in generale di strutture scatolate con elementi shell.*
- *Analisi modale: considerazioni generali, indicazioni sull'impostazione dei parametri e sulla scelta degli algoritmi del solutore, individuazione delle frequenze proprie e dei corrispondenti modi di vibrazione. Visualizzazione grafica dei modi in fase di post-processing.*
- *Analisi di tipo transiente, considerazioni generali, applicazione carichi variabili nel tempo o impulsivi, indicazioni sull'impostazione dei parametri e sulla scelta degli algoritmi del solutore, inclusione degli effetti dinamici, studio della risposta della struttura nel tempo. Visualizzazione delle principali grandezze in una analisi di tipo transiente: time history post-processing.*
- *Considerazioni sulla strategia di discretizzazione e sulla scelta del passo di integrazione.*

Esercitazione N.13 (Modellazione)

AREAS

TYPE NUM



Esercitazione N.13 (Modellazione)

Element Type: SHELL181

Real Constant: bisogna impostare due differenti spessori per l'anima e la piattabanda della trave, quindi sono necessari due set di costanti:

Set 1= biattabanda

Set 2= anima

Materiale: acciaio, lineare-elastico-isotropo + densità materiale per l'analisi modale

Geometria: bisogna creare le aree come in figura e poi unirle con il comando GLUE. Per duplicare le aree simmetriche si può usare il comando:

Preproc – Modelling – Reflect – Areas

Meshing: assegnare i set di costanti alla singole aree.

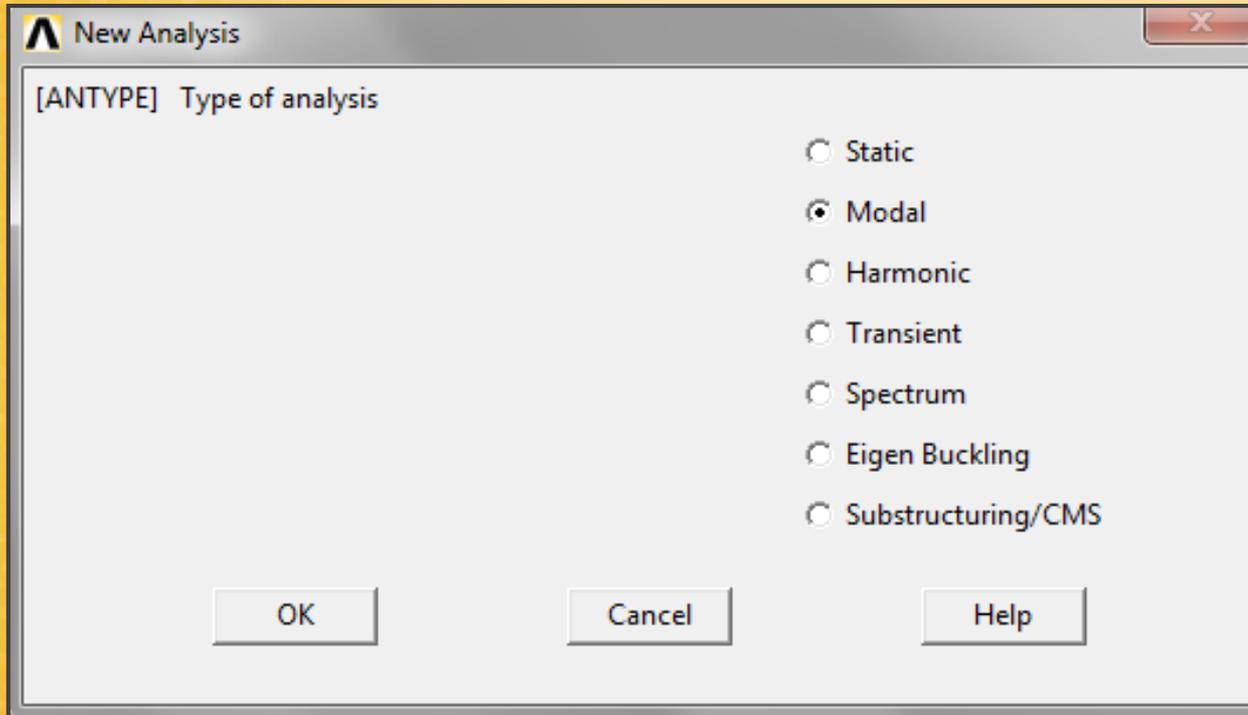
Mesh: viene impostata una mesh uniforme su tutte le aree di 0.01 m

La finezza della mesh dipende da quanti modi di vibrazione si vogliono visualizzare: per vedere i modi più elevati è necessaria una mesh più fitta, finché i modi e le frequenze proprie calcolate con l'analisi modale non si stabilizzano.

Vincoli: si bloccano tutti i gradi di libertà (ALL DOF) sulle linee dell'incastro della trave.

Esercitazione N.13 (Analisi MODALE)

1) Impostazione dell'analisi modale nel solutore:
Solution - Analysis Type - New Analysis: Modal



Esercitazione N.13 (Analisi MODALE)

2) Impostare il tipo di analisi modale:

Solution - Analysis Type - Analysis Options: Block Lanczos

Modal Analysis

[MODOPT] Mode extraction method

Block Lanczos

PCG Lanczos

Reduced

Unsymmetric

Damped

QR Damped

Supernode

No. of modes to extract:

(must be specified for all methods except the Reduced method)

[MXPAND]

Expand mode shapes: Yes

NMODE No. of modes to expand:

Elcalc Calculate elem results?: No

[LUMPM] Use lumped mass approx?: No

[PSTRES] Incl prestress effects?: No

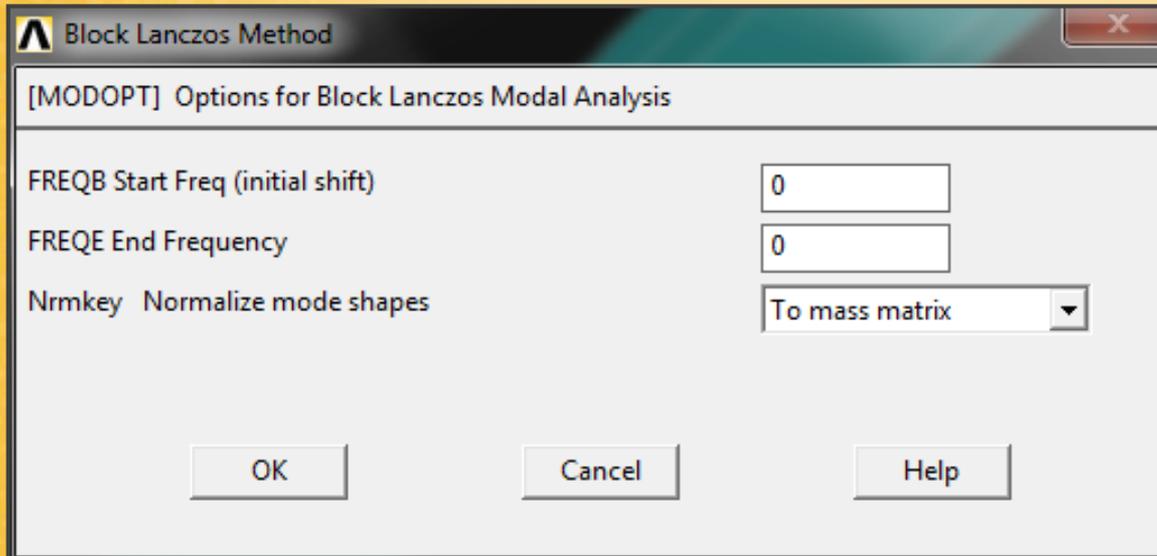
OK Cancel Help

Numero di modi da visualizzare

Numero di modi da espandere

Esercitazione N.13 (Analisi MODALE)

3) Successivamente si avrà la seguente schermata dove è possibile impostare eventuali limiti sulle frequenze da visualizzare nell'analisi:



4) Soluzione: **Solution – Solve – Current LS**

Esercitazione N.13 (Analisi MODALE: Risultati)

5) Visualizzazione frequenze proprie:
General Postproc - Results Summary

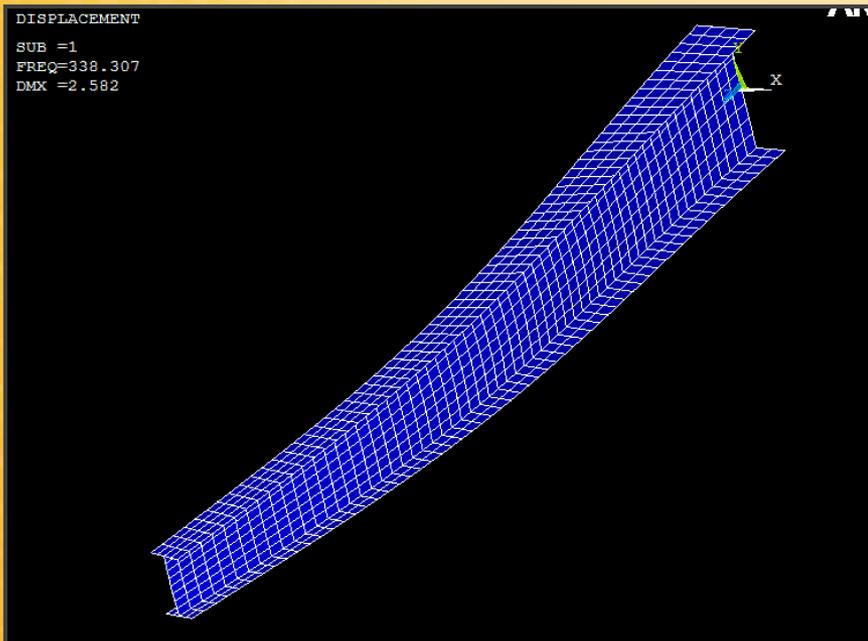
***** INDEX OF DATA SETS ON RESULTS FILE *****

SET	TIME/FREQ	LOAD STEP	SUBSTEP	CUMULATIVE
1	72.275	1	1	1
2	138.18	1	2	2
3	280.42	1	3	3
4	338.31	1	4	4
5	464.25	1	5	5
6	686.24	1	6	6
7	909.83	1	7	7
8	997.09	1	8	8
9	1061.4	1	9	9
10	1156.5	1	10	10

Esercitazione N.13 (Analisi MODALE: Risultati)

6) Per visualizzare i modi di vibrazione associati alle diverse frequenze:
General Postproc – Read Results – First Set (scelgo il 1° modo di vibrazione)

Per vedere l'animazione del modo di vibrazione:
Plotctrl - Animate - Mode Shape



Infine per visualizzare i modi di vibrazione successivi:
General Postproc – Read Results – Next Set (ecc...)

Esercitazione N.13

(Analisi Transitoria/Dinamica)

La **risposta di un sistema** soggetto ad un carico dinamico è una combinazione dei vari modi di vibrazione, dipende dai modi che vengono eccitati, cioè da come viene sollecitata nel complesso la struttura. Nel nostro caso si ha un carico impulsivo orizzontale sull'estremità della trave.

NB: conviene fare sempre un'analisi modale prima dell'analisi dinamica per analizzare le possibili risposte della struttura.

Logica risoluzione sistema dinamico

La soluzione avviene sempre per passi, il programma risolve una serie di problemi statici all'avanzare del tempo: si tiene conto delle inerzie e degli smorzamenti.

E' necessario scegliere il passo temporale di avanzamento della soluzione: se il problema è lineare il Δt dipende dalla risposta che si vuole osservare:

Algoritmo di Newmark: $\Delta t \leq 1/(20*f)$

Più è alta la frequenza che si vuole osservare e più bisogna abbassare il Δt : è necessario quindi capire a priori quali sono le frequenze di interesse per poter scegliere il Δt .

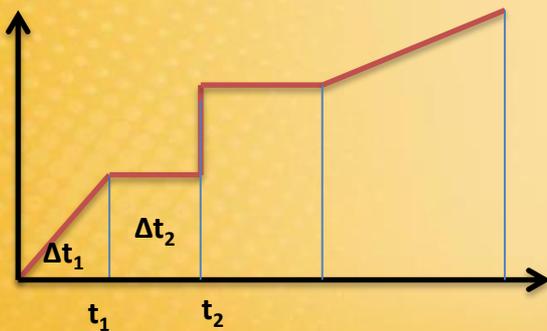
Esercitazione N.13

(Analisi Transitoria/Dinamica)

Come applicare un carico arbitrario nel tempo (metodo più semplice)

Per applicare un carico arbitrario nel tempo bisogna definire una serie di **Load Step**. I Load Step sono una combinazione di carichi e vincoli. Una volta definiti e salvati si dice al programma di risolverli in successione.

In particolare bisogna dire ad ANSYS il **valore del carico** ed il **tempo trascorso** al termine del Load Step. Inoltre bisogna definire se il carico è di tipo **Ramped** (lineare) o **Stepped** (costante): in questo modo è possibile approssimare un carico arbitrario nel tempo.



Schematizzazione carico impulsivo

Bisogna applicare una forza per un certo tempo e successivamente rimuoverla per osservare cosa accade in un certo intervallo di tempo successivo.

Il primo intervallo di tempo è quello dell'impulso vero e proprio con un carico definito, mentre il secondo intervallo di tempo corrisponderà al tempo di osservazione della struttura mentre vibra: ad esso sarà assegnato un carico nullo.

Esercitazione N.13

(Analisi Transitoria/Dinamica)

Nel nostro caso si vogliono osservare i primi due modi di vibrazione sul piano orizzontale: si vogliono cioè osservare il 1° modo fino a 72Hz e poi il 4° modo a 338Hz, cioè i modi che hanno una componente orizzontale.

Quindi per osservare la risposta dinamica della struttura bisogna osservare le Frequenze almeno fino a 338Hz.

Il passo di avanzamento temporale che è in grado di cogliere frequenze di quell'ordine è dato dalla relazione:

$$\Delta t \leq 1/(20*f) = 1/(20*338)$$

Il Δt corrisponde al passo in cui vengono trovate le singole soluzioni statiche definite dai Load Step.

Stesso discorso vale per l'impulso. Se bisogna eccitare fino a frequenze di 338Hz l'impulso deve avere una durata al massimo di $\Delta t_1 \leq 1/(20*f) = 1/(20*338)$
Il numero di sottopassi in cui bisogna dividere il Δt_1 è soltanto 1.

```
***** INDEX OF DATA SETS ON RESULTS FILE *****
```

SET	TIME/FREQ	LOAD STEP	SUBSTEP	CUMULATIVE
1	72.275	1	1	1
2	138.18	1	2	2
3	280.42	1	3	3
4	338.31	1	4	4
5	464.25	1	5	5
6	686.24	1	6	6
7	909.83	1	7	7
8	997.09	1	8	8
9	1061.4	1	9	9
10	1156.5	1	10	10

Esercitazione N.13

(Analisi Transitoria/Dinamica)

Successivamente bisogna rimuovere il carico ed andare a visualizzare la risposta per un tempo più lungo della durata dell'impulso Δt_2 .

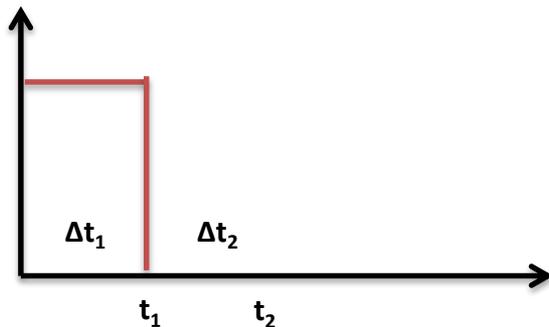
Quanto deve durare il Δt_2 ?

Se il tempo è troppo lungo, l'analisi transitoria è lunga da risolvere

Se il 1° modo è a 72Hz, vuol dire che la struttura vibrerà con il primo modo 72 volte al secondo, quindi se voglio vedere ad esempio 3 oscillazioni, il tempo finale sarà:

$$\Delta t_2 = 3 * (1/72)$$

In realtà l'oscillazione sul piano orizzontale sarà una composizione del 1° e del 4° modo.

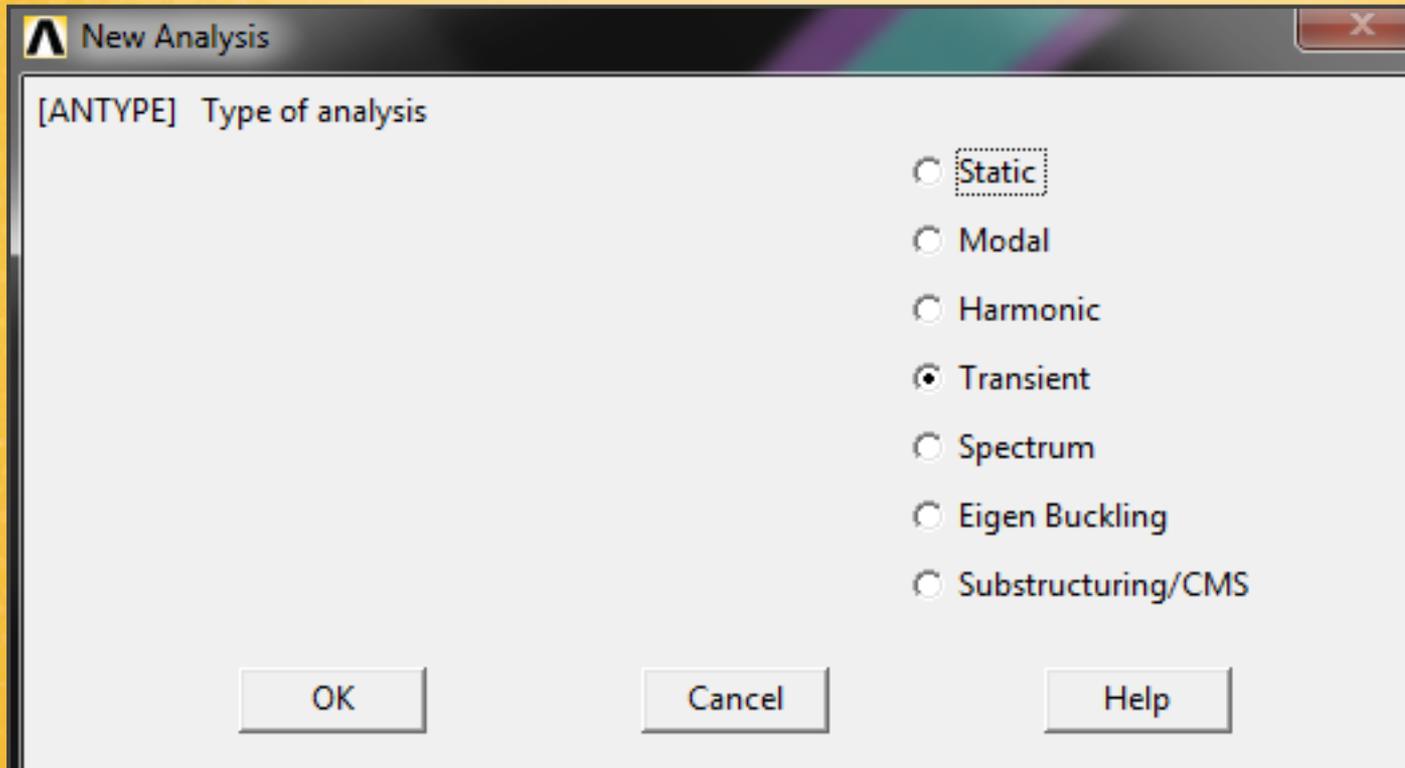


Esercitazione N.13

(Analisi Transitoria/Dinamica)

1) Cambio del tipo di analisi, da Modale a Transitoria

Solution – Analysis Type - New Analysis: Transient



Esercitazione N.13

(Analisi Transitoria/Dinamica)

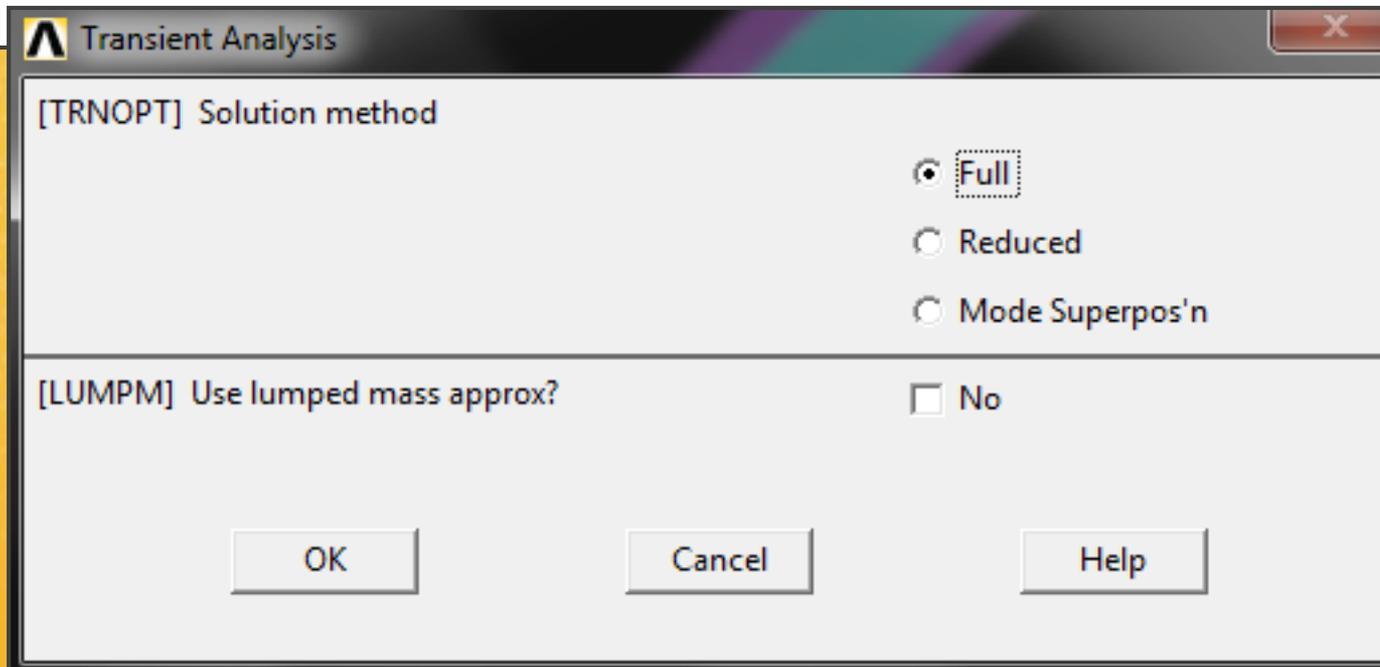
Ci sono tre modi di soluzione:

Full: risolve il sistema dinamico completo, è lento se si usa per sistemi complessi

Reduce*: considera solo i gradi di libertà importanti per la dinamica

Mode Superpos'n*: trova la risposta dinamica considerando la composizione dei modi

(*) gli ultimi due hanno limitazioni, si usano di solito solo per problemi lineari



Esercitazione N.13

(Analisi Transitoria/Dinamica)

2) Definizione dei Load Step:

Descrizione della storia di carico nel tempo

Prima combinazione di carico (impulso):

- Applicazione del carico
- Impostazione del tempo di durata del carico
- Impostazione del numero di sottopassi per arrivare al tempo finale t_1
- Salvataggio Load Step 1

Seconda condizione di carico (osservazione):

- Rimozione del carico
- Impostazione del tempo t_2 di osservazione delle oscillazioni
- Si divide il t_2 in certo numero di sottopassi
- Salvataggio Load Step 2

Esercitazione N.13

(Analisi Transitoria/Dinamica)

Prima combinazione di carico (impulso):

Impostazione tempo finale t1 e numero di sottopassi:

Solution – Analysis Type - Sol'n Controls

Basic | Transient | Sol'n Options | Nonlinear | Advanced

Analysis Options

Small Displacement Transient

Calculate prestress effects

Time Control

Time at end of loadstep:

Automatic time stepping:

Number of substeps

Time increment

Time step size:

Minimum time step:

Maximum time step:

Durata generico Load Step (t1)

Passo di avanzamento
uguale al Load Step dell'impulso

Esercitazione N.13

(Analisi Transitoria/Dinamica)

Basic | Transient | Sol'n Options | Nonlinear | Advanced NL

Full Transient Options

- Transient effects
- Stepped loading
- Ramped loading

Damping Coefficients

Mass matrix multiplier (ALPHA)

Stiffness matrix multiplier (BETA)

Midstep Criterion

- Midstep Criterion
- Toler./Ref. for Bisection (TOLERB)
- Include Response Frequency

Time Integration

Algorithm:
Newmark algorithm

- Amplitude decay
- Integration parameters

GAMMA

ALPHA

DELTA

ALPHAF

ALPHAM

Analisi transiente

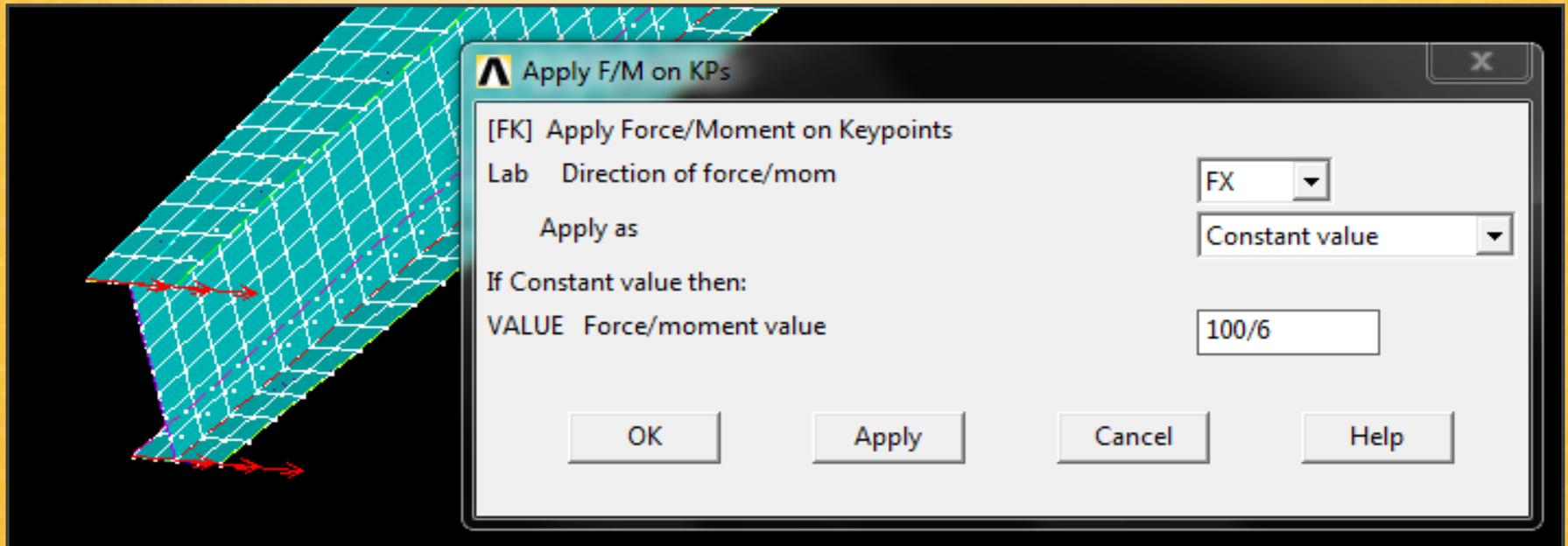
Tipo di carico
Impulso, Stepped

Esercitazione N.13

(Analisi Transitoria/Dinamica)

Applicazione del carico:

Solution - Define Loads - Apply - Structural - Force/Moment - On Keypoints

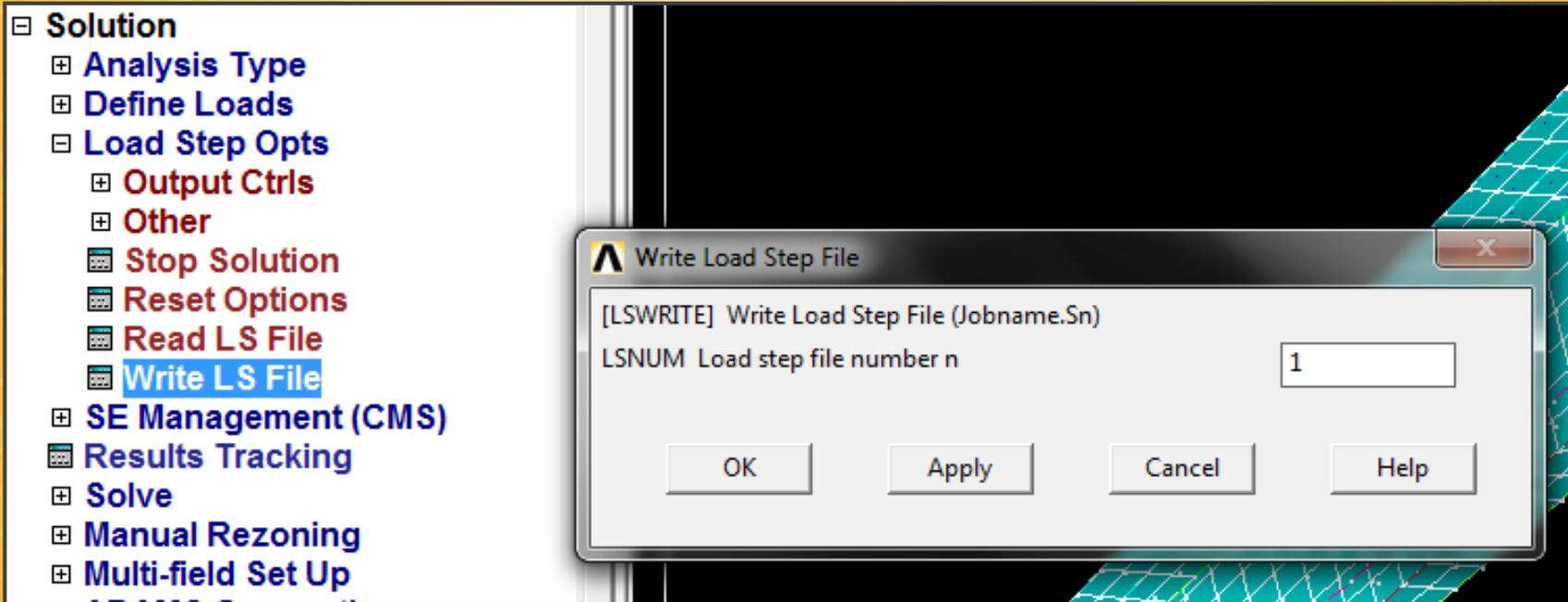


Esercitazione N.13

(Analisi Transitoria/Dinamica)

Salvataggio prima combinazione dei Load Step creata.

Solution – Load Step Opts – Write LS File: scrivere 1 per il primo Load Step



Attraverso Read LS File posso ricaricare in ogni momento le condizioni di carico e vincoli impostate

Esercitazione N.13

(Analisi Transitoria/Dinamica)

Seconda combinazione di carico (osservazione)

Impostazione tempo finale t_2 e numero sottopassi:

Solution – Analysis Type - Sol'n controls

Basic | Transient | Sol'n Options | Nonlinear | A

Analysis Options

Small Displacement Transient

Calculate prestress effects

Time Control

Time at end of loadstep: 3/72

Automatic time stepping: Prog Chosen

Number of substeps

Time increment

Time step size: 1/(20*338)

Minimum time step: 0

Maximum time step: 0

Tempo uguale a 3 oscillazioni del 1° modo

Il passo di avanzamento deve essere più piccolo del «time at end of loadstep»: si lascia quello precedente

Esercitazione N.13

(Analisi Transitoria/Dinamica)

Solution – Analysis Type - Sol'n controls

Nodal DOF Solution ▲
Nodal Reaction Loads
Nodal Velocity
Nodal Acceleration
Element Solution ▼

Frequency:
Write every substep ▼

where N = 1

Bisogna salvare più sottopassi per vedere l'andamento della soluzione nel tempo: vengono salvati al massimo 1000 substeps

Esercitazione N.13

(Analisi Transitoria/Dinamica)

Basic | Transient | Sol'n Options | Nonlinear | Advanced NL

Full Transient Options

- Transient effects
- Stepped loading
- Ramped loading

Damping Coefficients

Mass matrix multiplier (ALPHA)

Stiffness matrix multiplier (BETA)

Midstep Criterion

- Midstep Criterion
- Toler./Ref. for Bisection (TOLERB)
- Include Response Frequency

Time Integration

Algorithm:
Newmark algorithm

- Amplitude decay
- Integration parameters

GAMMA

ALPHA

DELTA

ALPHAF

ALPHAM

Analisi transiente

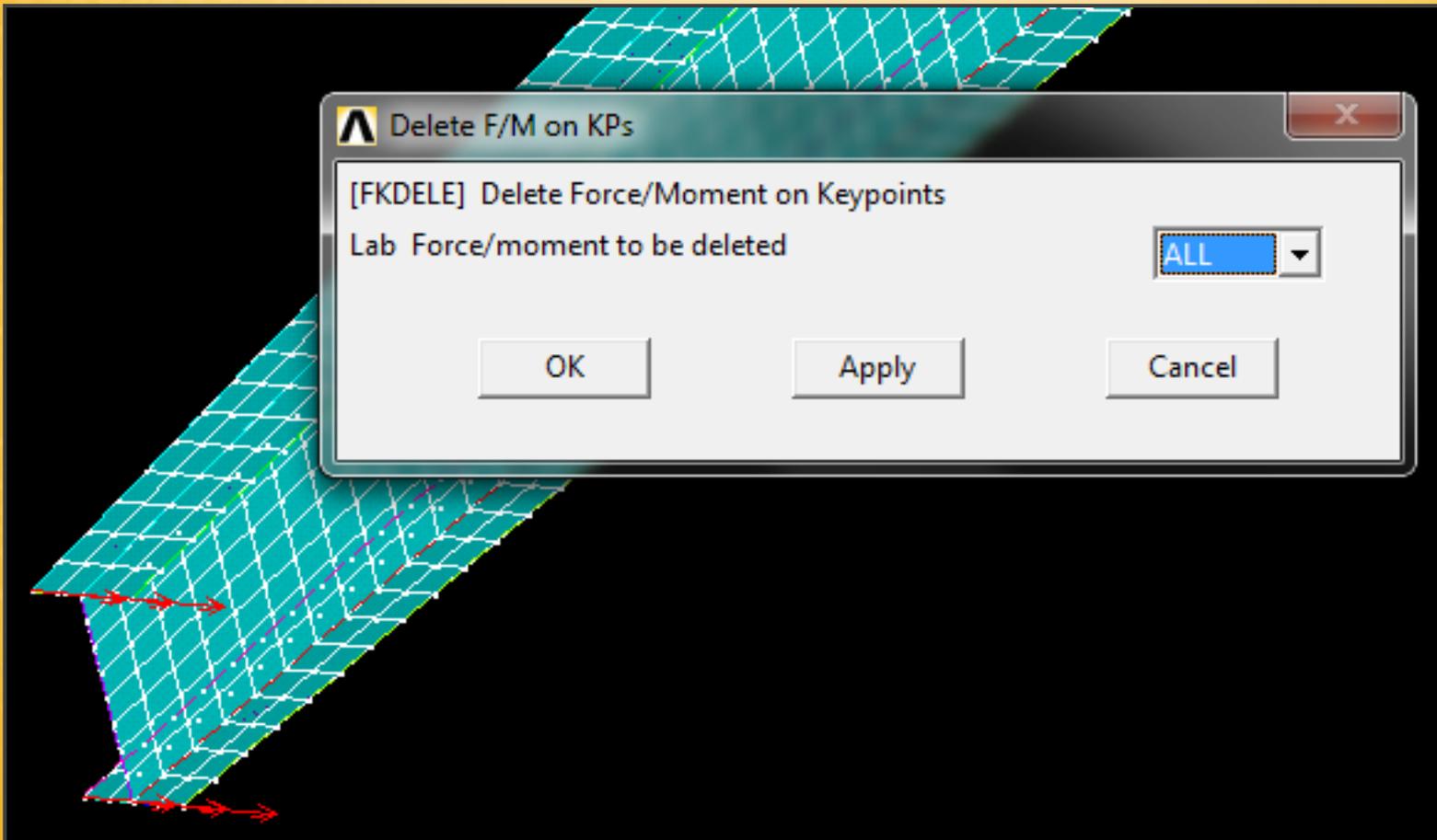
Tipo di carico
Impulso, Stepped

Esercitazione N.13

(Analisi Transitoria/Dinamica)

Rimozione del carico:

Solution - Define Loads – Delete - Structural – Force/Moment - On Keypoints: ALL

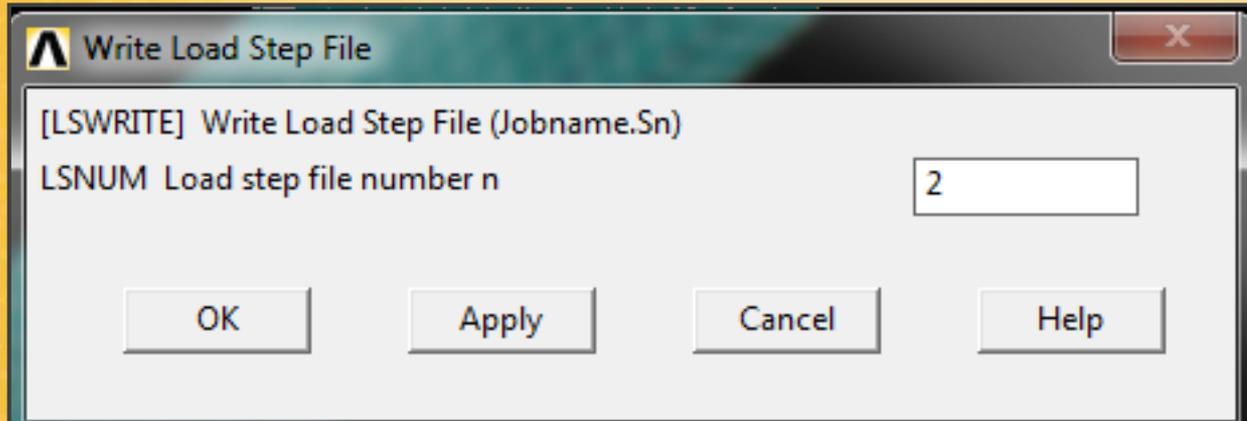


Esercitazione N.13

(Analisi Transitoria/Dinamica)

Salvataggio prima combinazione dei Load Step creata:

Solution – Load Step Opts – Write LS File: scrivere 2 per il primo Load Step



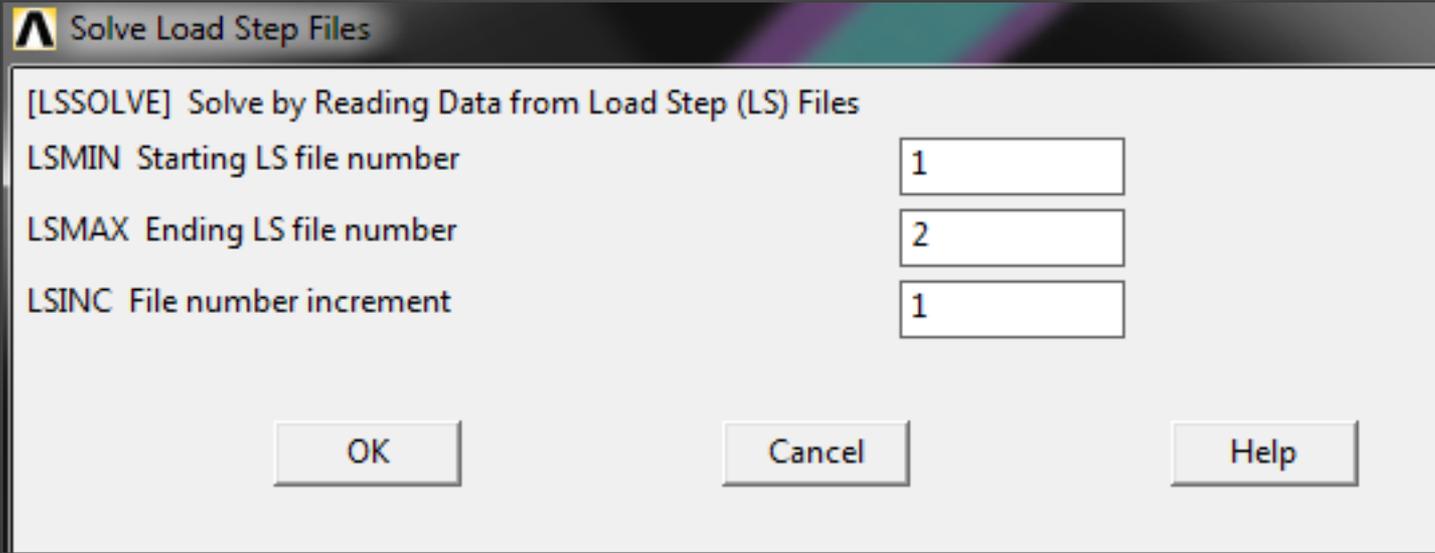
Esercitazione N.13

(Analisi Transitoria/Dinamica)

3) Soluzione del problema

Solve - From LS File:

bisogna indicare il Load Step iniziale, quello finale e l'incremento



Solve Load Step Files

[LSSOLVE] Solve by Reading Data from Load Step (LS) Files

LSMIN Starting LS file number	<input type="text" value="1"/>
LSMAX Ending LS file number	<input type="text" value="2"/>
LSINC File number increment	<input type="text" value="1"/>

Solution is Done è relativo sempre ad un singolo Load Step.

L'avanzamento della soluzione dei singoli Load Step si vede nella finestra DOS di ANSYS

Esercitazione N.13

(Analisi Transitoria/Dinamica)

4) Analisi della risposta dinamica: la soluzione è stata salvata ad ogni sottopasso

General Postproc - Read Results – Next Step

Si vede la soluzione ad ogni sottopasso.
Nel nostro caso sono 281, procedura lunga.

General Postproc - Read Results – By Time/Freq

Si può indicare il tempo e la frequenza e vedere la relativa la soluzione.

- [-] General Postproc
 - [+] Data & File Opts
 - [+] Results Summary
 - [+] Read Results
 - [+] First Set
 - [+] Next Set
 - [+] Previous Set
 - [+] Last Set
 - [+] By Pick
 - [+] By Load Step
 - [+] By Time/Freq
 - [+] By Set Number
 - [+] FLOTRAN 2.1A

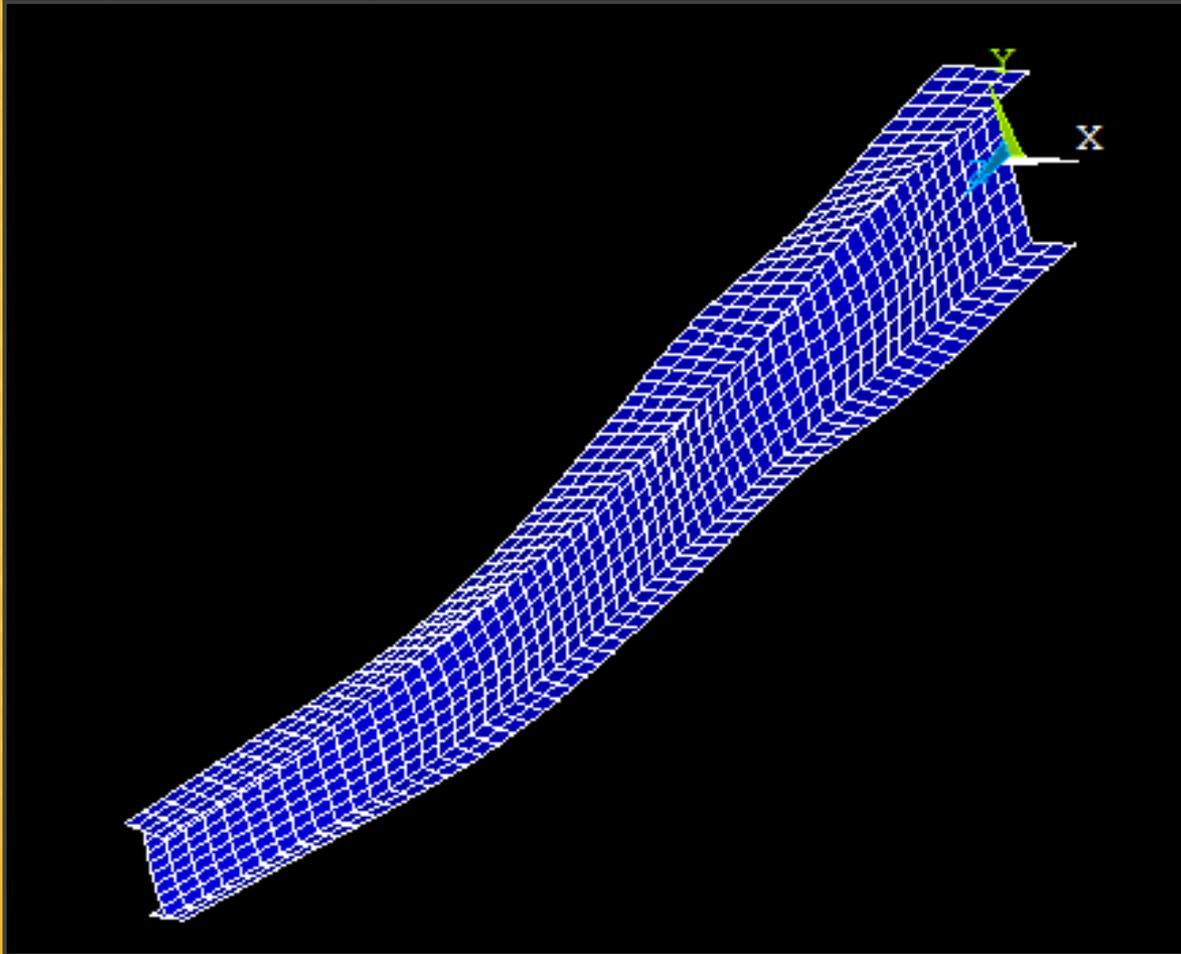
[SET] [SUBSET] [APPEND]	
Read results for	Entire model
TIME Value of time or freq	(3/72)/2
LSTEP Results at or near TIME	At TIME value
FACT Scale factor	1
ANGLE Circumferential location	

Soluzione a metà del tempo

Esercitazione N.13

(Analisi Transitoria/Dinamica)

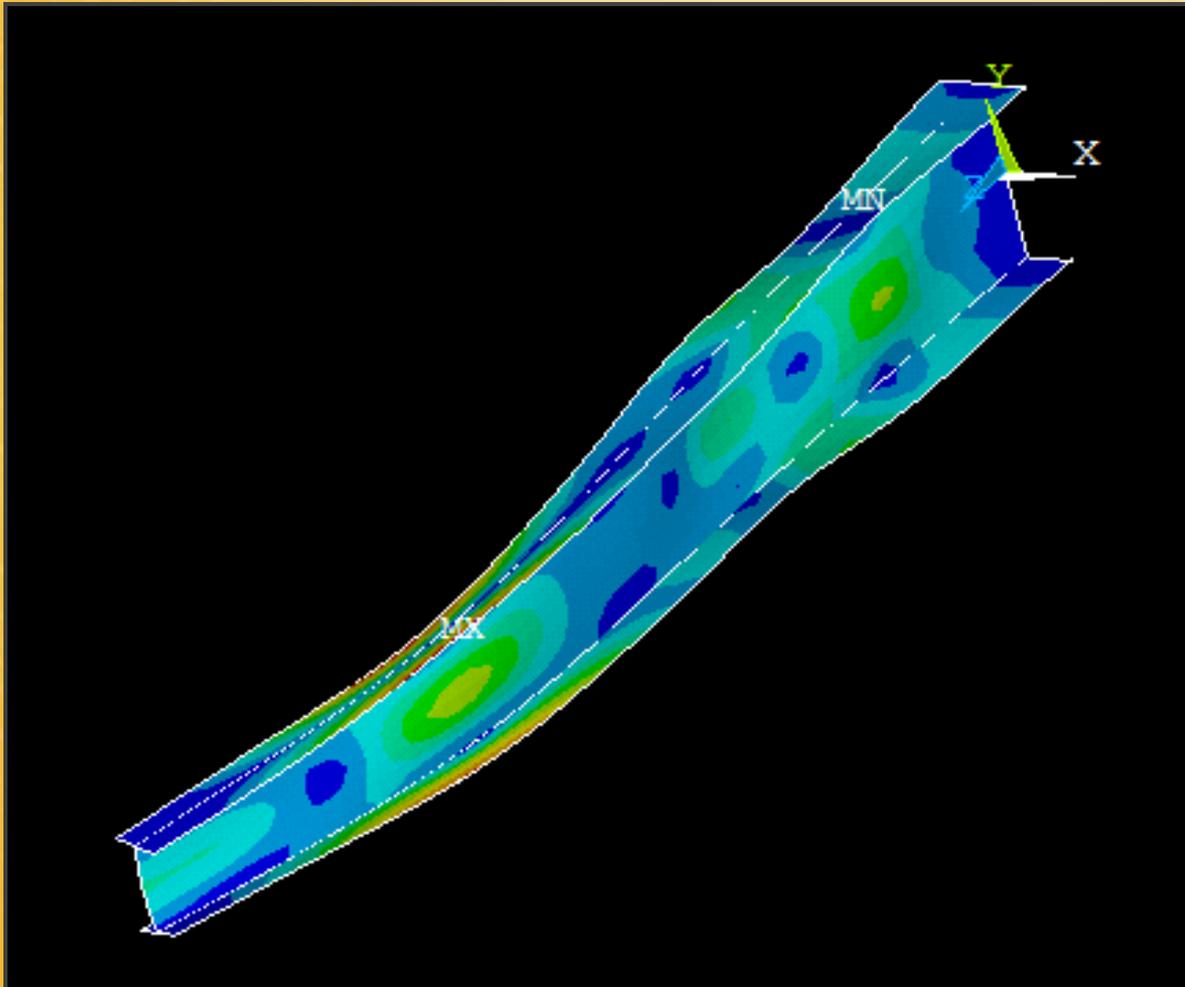
Visualizzazione delle deformata al tempo impostato



Esercitazione N.13

(Analisi Transitoria/Dinamica)

Visualizzazione Von Mises al tempo impostato



Esercitazione N.13

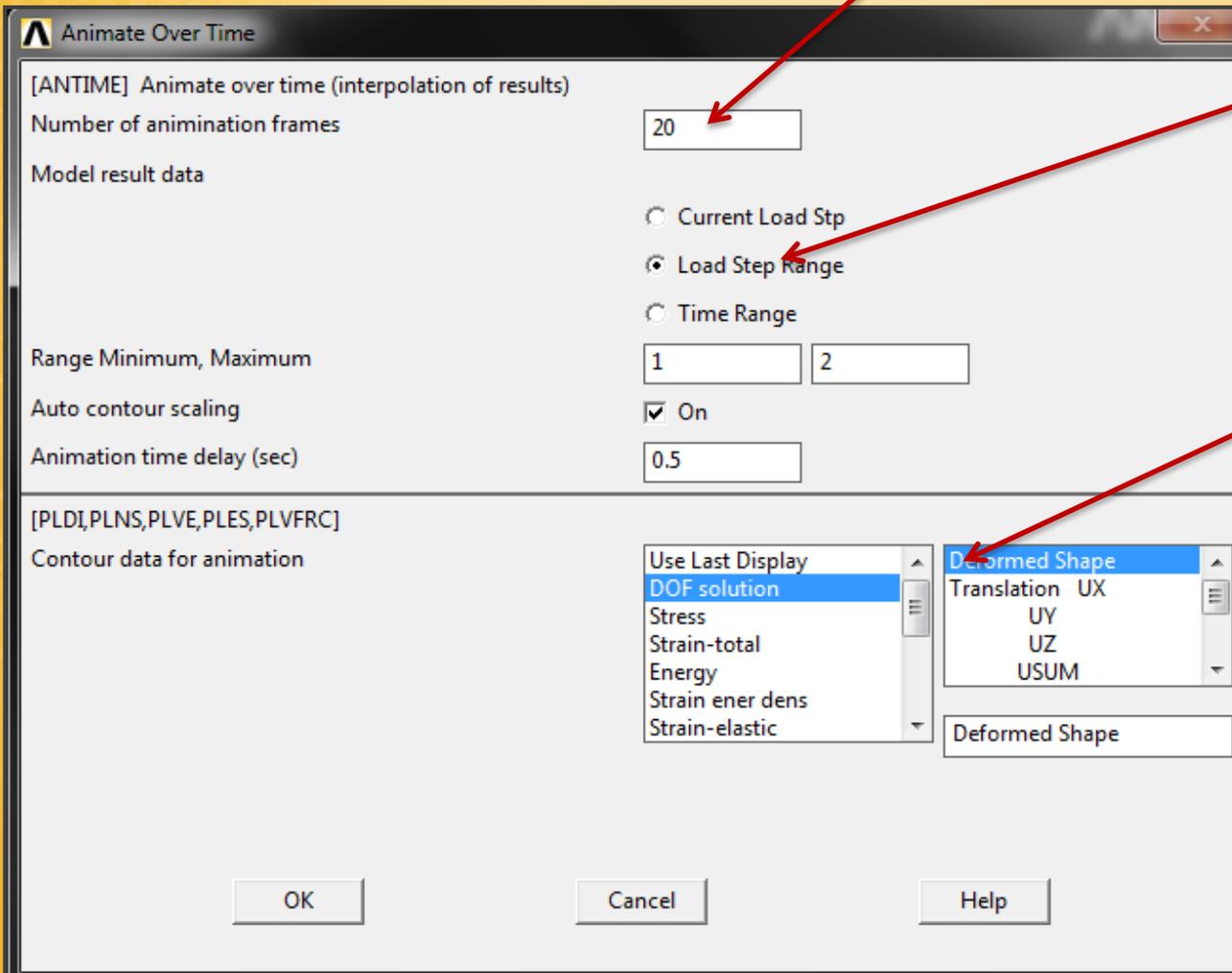
(Analisi Transitoria/Dinamica)

Per vedere la risposta nel tempo:
Plotcr1 - Animate - Overtime

Numero di Frame

Intervallo: dal primo al secondo Load Step

Grandezza da mappare: UX



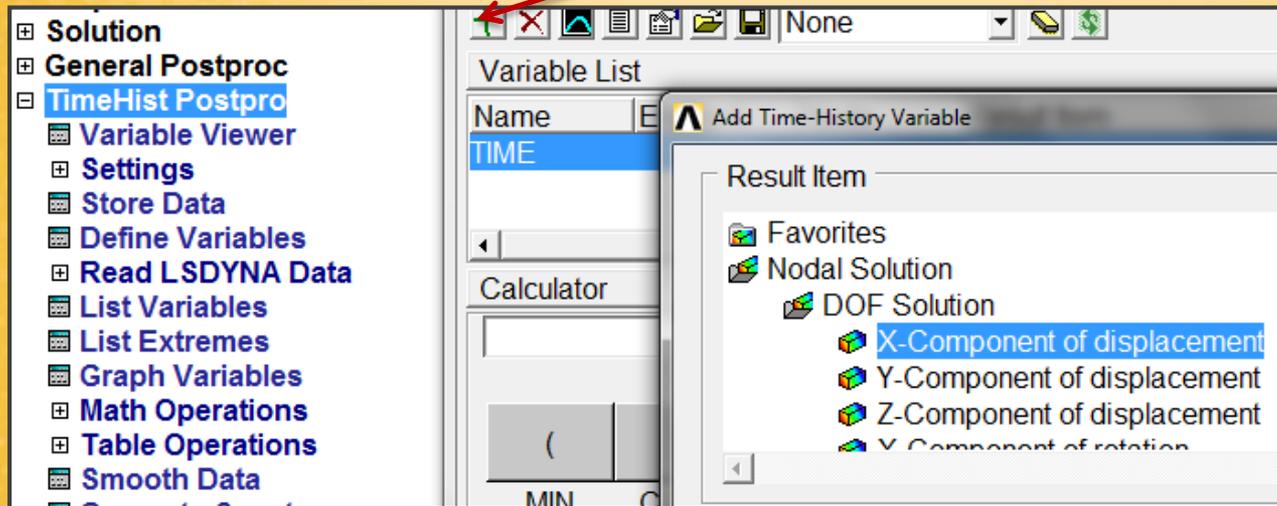
Esercitazione N.13

(Analisi Transitoria/Dinamica)

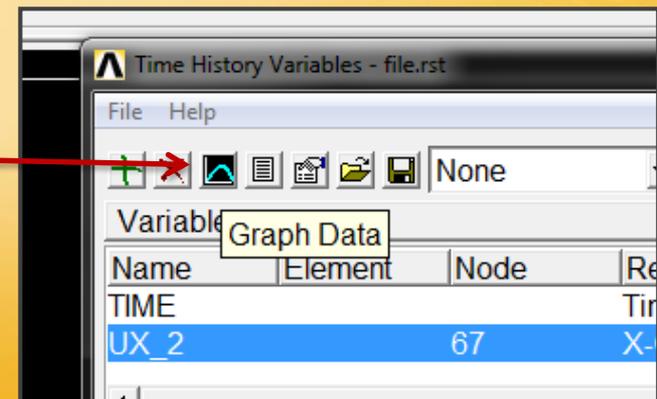
Andamento della grandezza in esame in un punto particolare nel tempo:

Time History Postproc

ADD data: UX



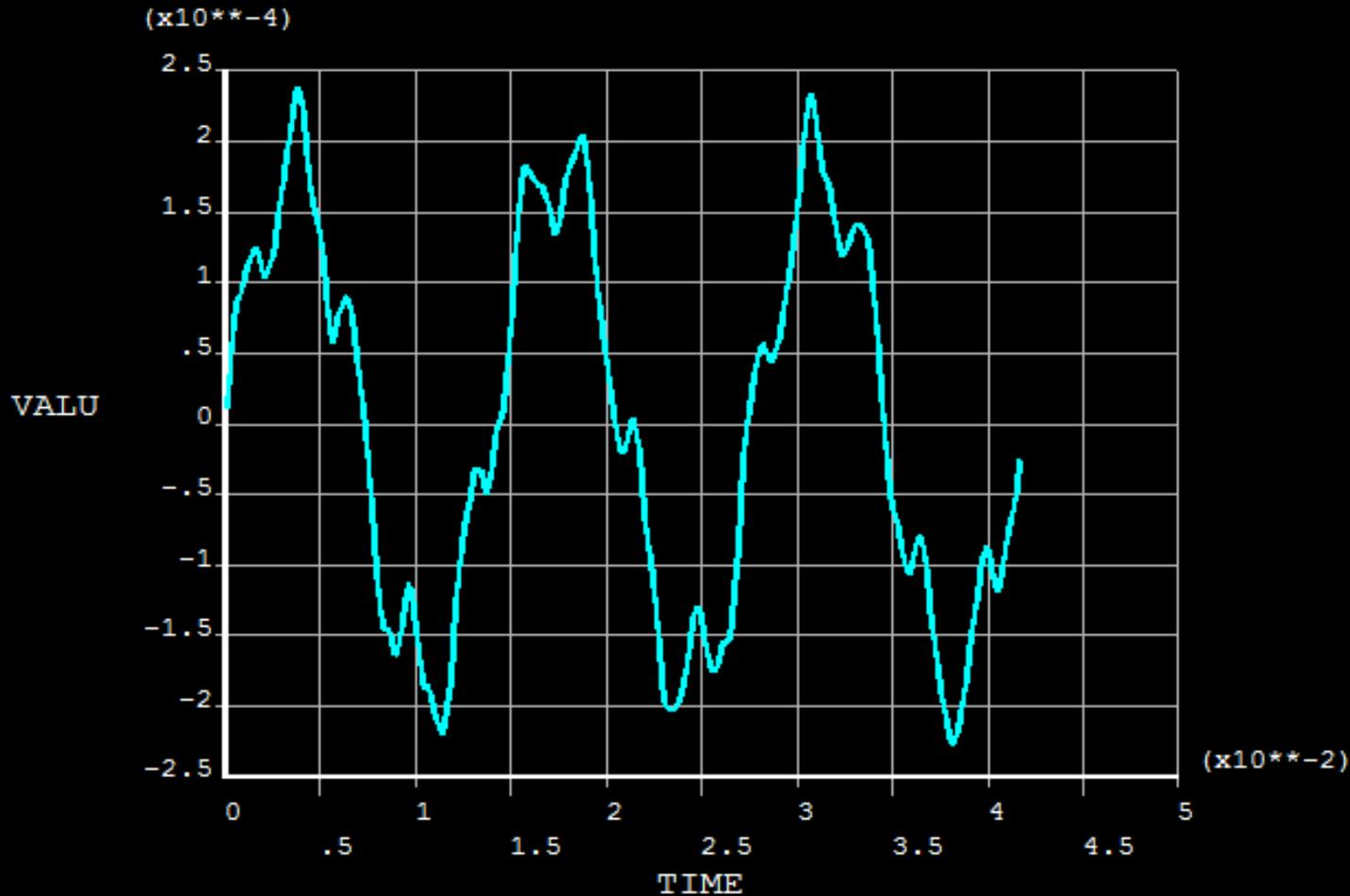
Selezionare il nodo in cui vedere l'andamento della grandezza UX, poi plottare il risultato con GRAPH DATA



Esercitazione N.13

(Analisi Transitoria/Dinamica)

Andamento della UX nel nodo selezionato: 3 oscillazioni

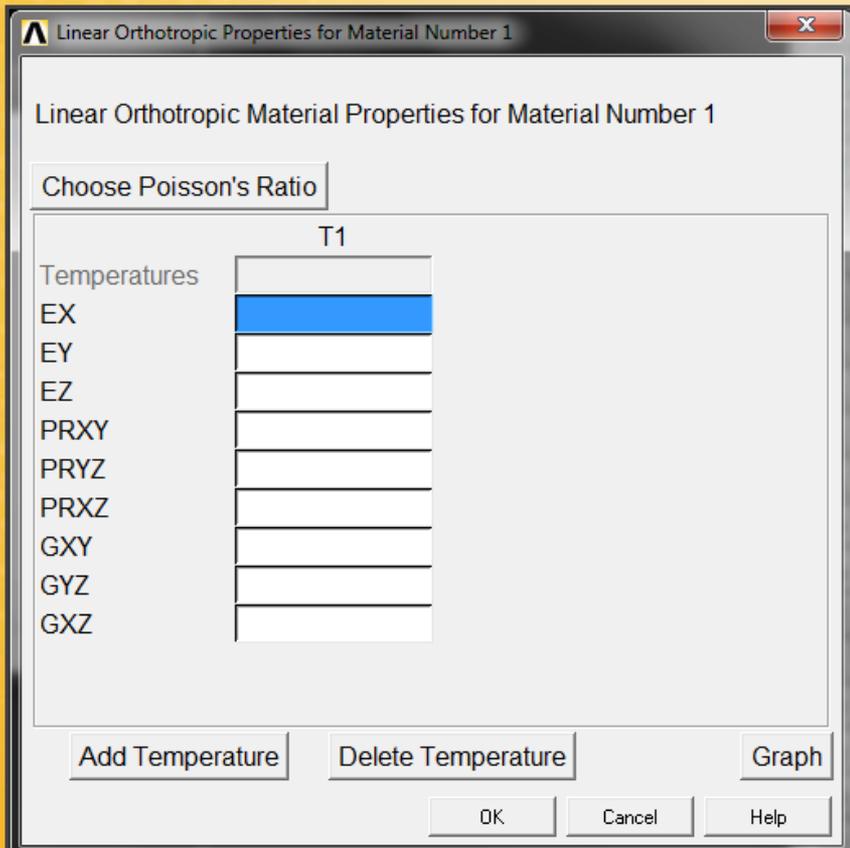


APPENDICE: Materiali ORTOTROPI

Materiali Ortotropi = Compositi

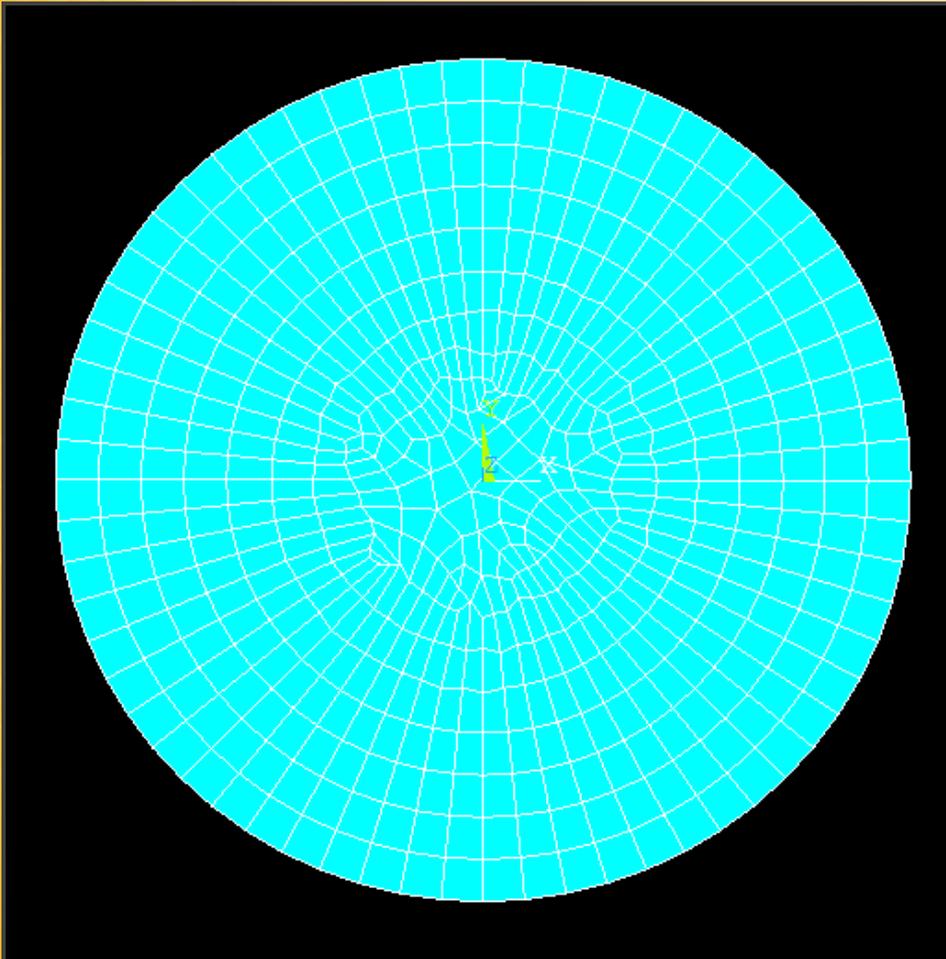
Hanno diverse caratteristiche a seconda della direzione della sollecitazione.

Material Models - Structural - Linear - Elastic - Orthotropic



APPENDICE: **Materiali ORTOTROPI**

Bisogna orientare il sistema di riferimento locale degli elementi della mesh, nello stesso modo del sistema di riferimento globale a cui si sono assegnate le proprietà del materiale ortotropo nelle diverse direzioni.

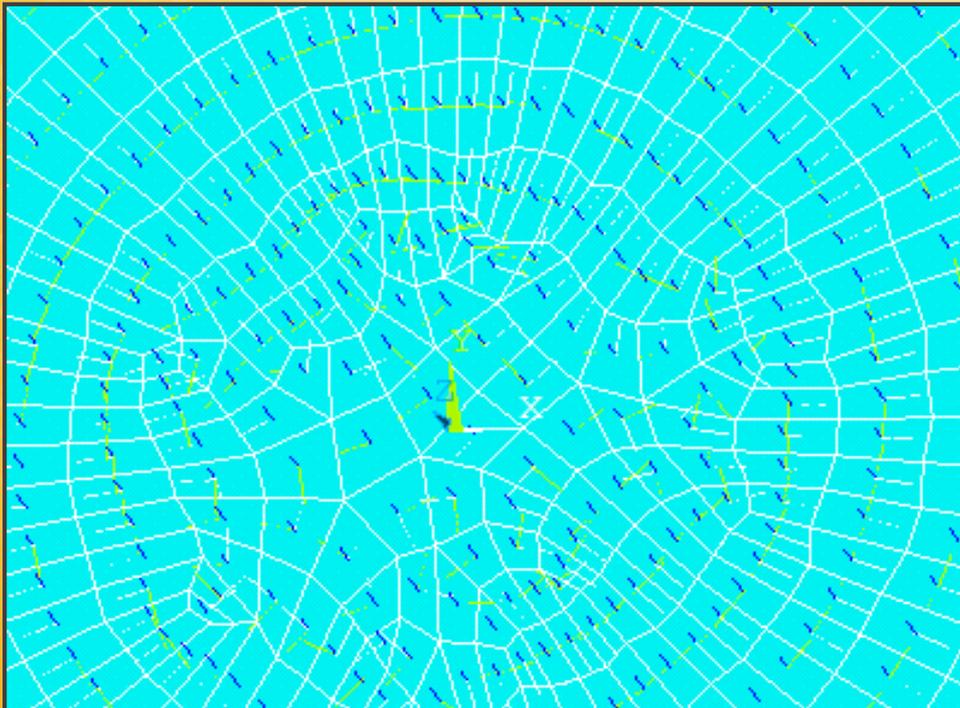


APPENDICE: **Materiali ORTOTROPI**

Per visualizzare il sistema di riferimento locale degli elementi delle mesh:

PlotCtrls - Symbols - ESYS Nodal coordinate system

NDIR Nodal coordinate system	<input type="checkbox"/> Off
ESYS Element coordinate sys	<input checked="" type="checkbox"/> On
LDIV Line element divisions	Meshed ▾



APPENDICE: **Materiali ORTOTROPI**

Bisogna ora orientare il sistema locale nello stesso modo del sistema globale.

Per fare questo bisogna creare un nuovo sistema di riferimento orientato come il globale ed associarlo agli elementi della mesh.

WorkPlane - Local Coordinate System - Create Local CS - At Wp Origin

Create Local CS at WP Origin

[CSWPLA] Create Local Coord System at Working Plane Origin

KCN Ref number of new coord sys

KCS Type of coordinate system

Following used only for elliptical and toroidal systems

PAR1 First parameter

PAR2 Second parameter

Numero del nuovo sistema riferimento

APPENDICE: Materiali ORTOTROPI

Bisogna assegnare il sistema di riferimento creato agli elementi.

Meshing - Mesh Attributes - Picked Areas

Attribute	Value
MAT Material number	None defined
REAL Real constant set number	None defined
TYPE Element type number	1 SHELL181
ESYS Element coordinate sys	11
SECT Element section	None defined

Selezionare il sistema di riferimento

APPENDICE: **Materiali ORTOTROPI**

Bisogna ora rifare la mesh ed i nuovi elementi avranno gli assi di riferimento locali orientati come quello globale a cui sono state assegnate le proprietà del materiale.

