



**CORSO DI
PROGETTAZIONE ASSISTITA DA COMPUTER
CLM ING. dei VEICOLI**

**PARTE II A
REV01 2018 (da slides Prof.L.Bertini 2014)**

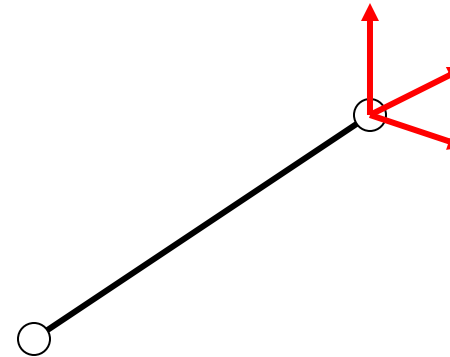
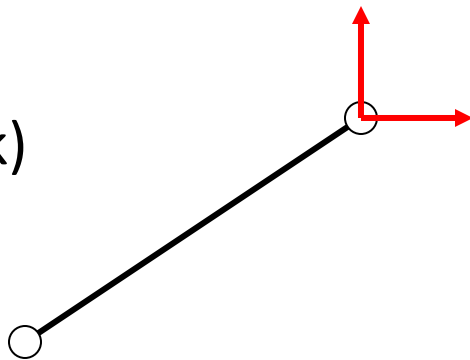
**PRINCIPALI TIPI DI ELEMENTO E LORO IMPIEGO
(PARTE A)**

PRINCIPALI TIPI DI ELEMENTO

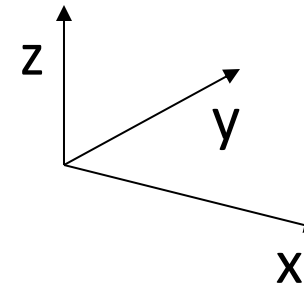
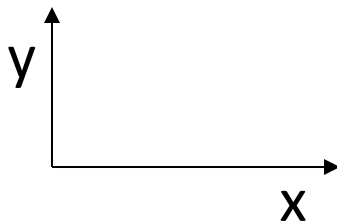
2D

3D

ASTA (link)



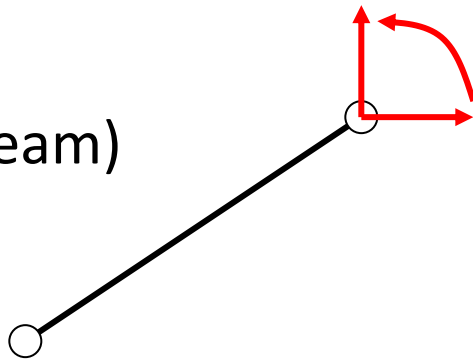
Travature reticolari



PRINCIPALI TIPI DI ELEMENTO

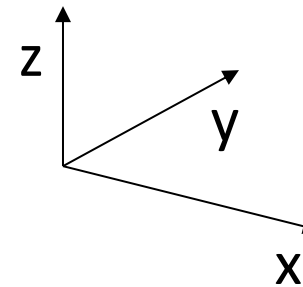
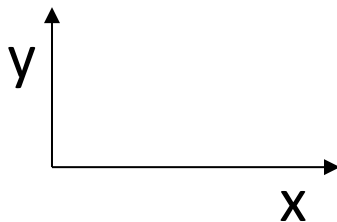
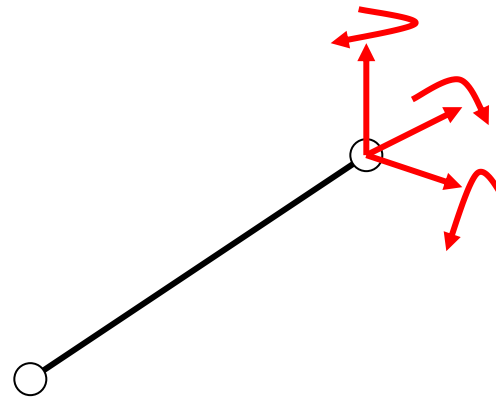
2D

TRAVE (beam)



3D

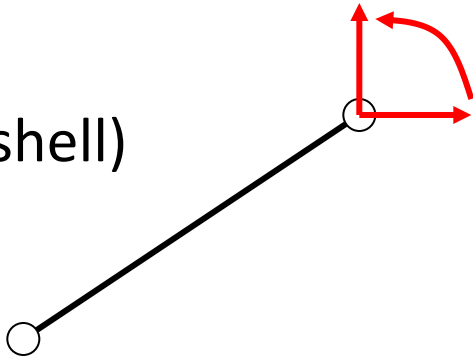
Telai



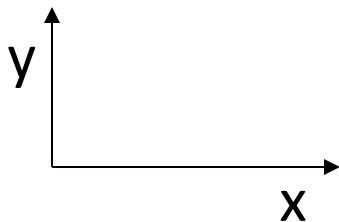
PRINCIPALI TIPI DI ELEMENTO

2D

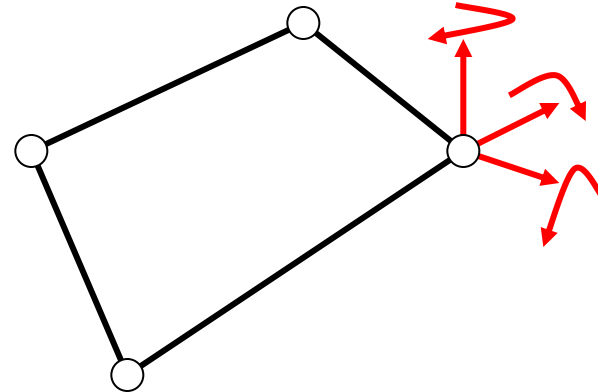
GUSCIO (shell)



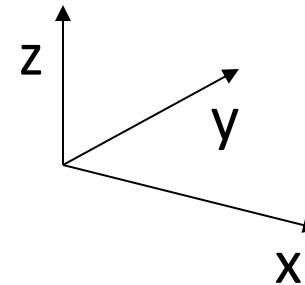
Piastra/guscio assialsimmetrico



3D



Piastra/guscio 3D

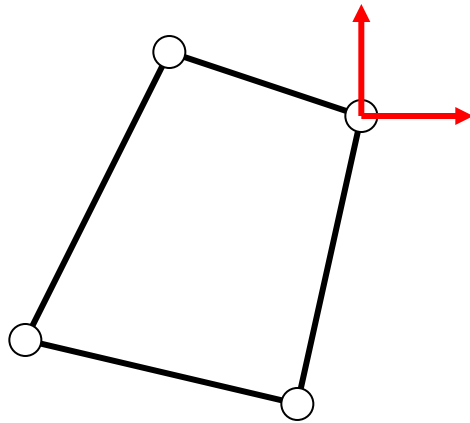


PRINCIPALI TIPI DI ELEMENTO

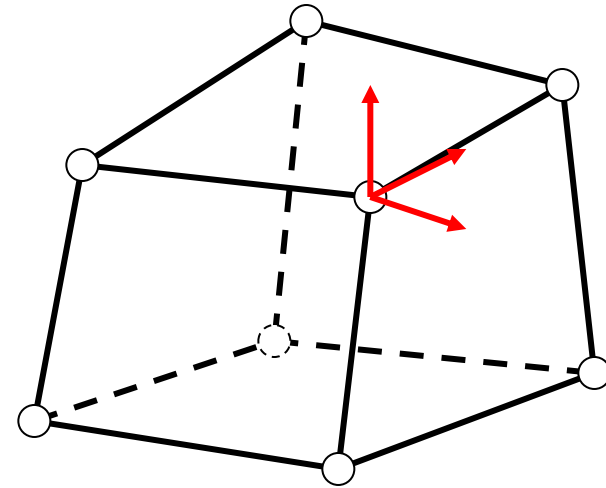
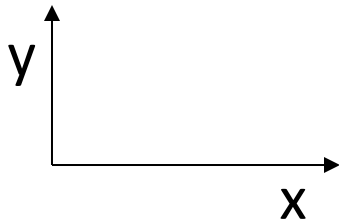
2D

3D

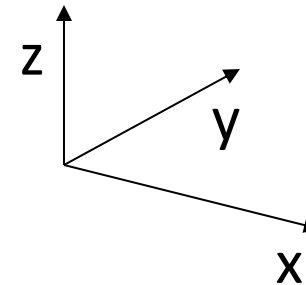
SOLIDO
(solid)



Pb. di Elasticità piana

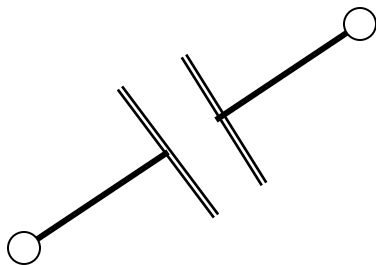


Pb. di Elasticità 3D



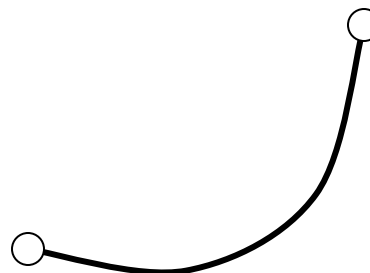
ALTRI TIPI COMUNI DI ELEMENTO

“GAP”



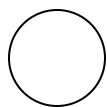
Pb. contatto

“PIPE”



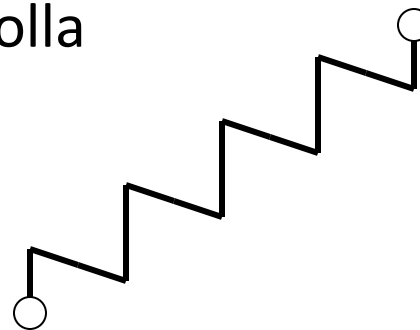
Tubazioni

Massa



Masse concentrate

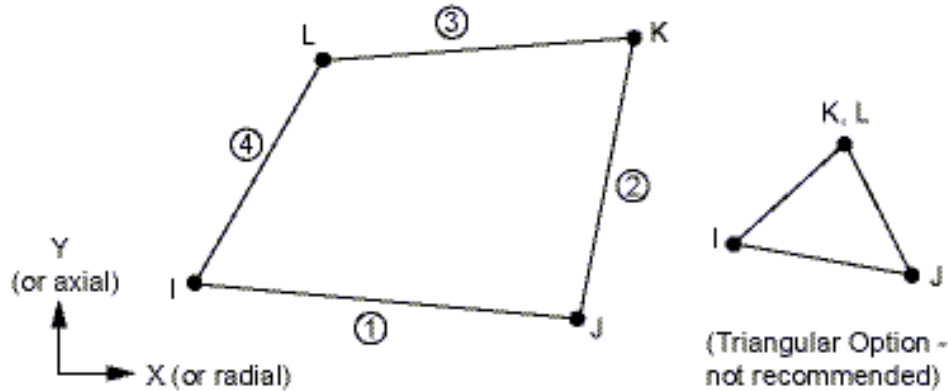
Molla



Elementi elastici

ELEMENTI PIANI/1

Figure 182.1: PLANE182 Geometry

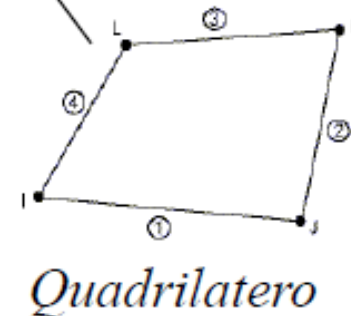
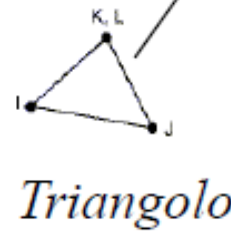
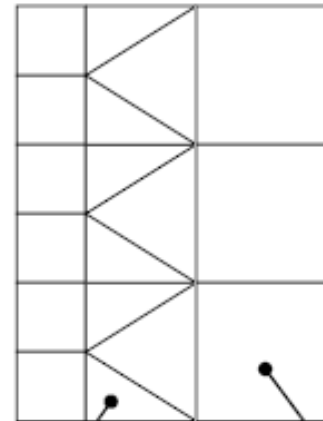
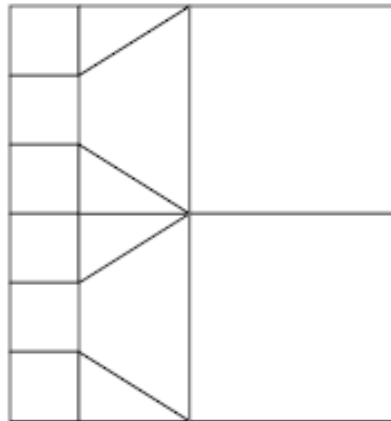


Problemi di elasticità piana

- 4 (3) nodi
- 2 g.d.l /nodo
- tre “classi” di problemi:
 - Lastre in stato piano di tensione (“plane stress”)
 - Corpi in stato piano di deformazione (“plane strain”)
 - Corpi assialsimmetrici (“axi-symmetric stress/strain”)

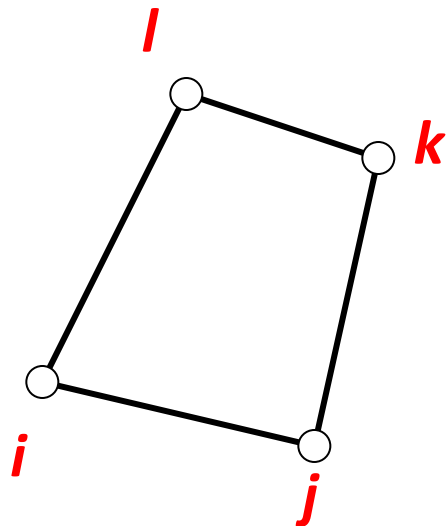
ELEMENTI PIANI/2

Esempi di zone di transizione per gestire diversi livelli di infittimento

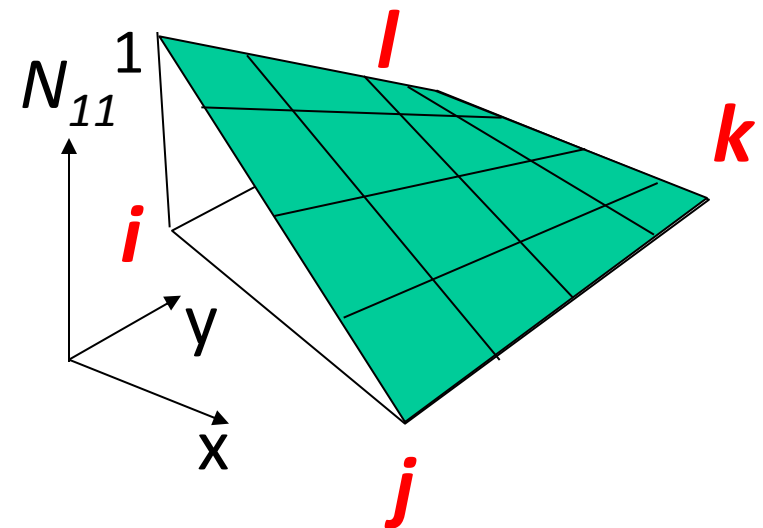


ELEMENTI PIANI/3

Rispetto all'elemento triangolare è possibile scrivere 4 condizioni (invece di 3) per ciascuna delle f.ni di forma



$$\begin{cases} N_{11}(x_i, y_i) = 1 \\ N_{11}(x_j, y_j) = 0 \\ N_{11}(x_k, y_k) = 0 \\ N_{11}(x_l, y_l) = 0 \end{cases}$$



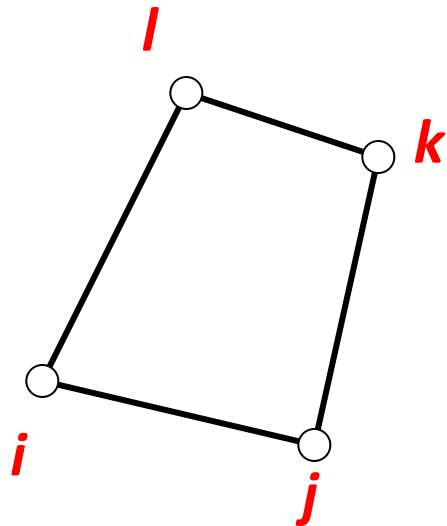
Per tale motivo, le f.ni di forma possono avere una formulazione a 4 parametri, che include un termine di 2° grado

$$N_{11}(x, y) = A_{11} + B_{11}x + C_{11}y + D_{11}xy$$

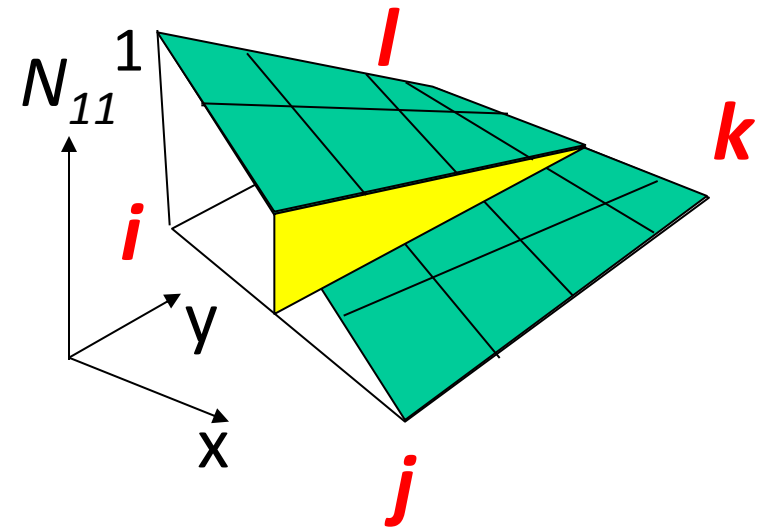
ELEMENTI PIANI/4

Rispetto all'elemento triangolare è p
(invece di 3) per ciascuna delle f.ni d

Superficie rigata: ogni sezione con piani "x=cost" mostra una variazione lineare con "y" e viceversa



$$\begin{cases} N_{11}(x_i, y_i) = 1 \\ N_{11}(x_j, y_j) = 0 \\ N_{11}(x_k, y_k) = 0 \\ N_{11}(x_l, y_l) = 0 \end{cases}$$



Per tale motivo, le f.ni di forma possono avere una formulazione a 4 parametri, che include un termine di 2° grado

$$N_{11}(x, y) = A_{11} + B_{11}x + C_{11}y + D_{11}xy$$

ELEMENTI PIANI/5

Andamento tensioni/deformazioni

$$\begin{cases} \varepsilon_x = \frac{\partial u_x}{\partial x} \\ \varepsilon_y = \frac{\partial u_y}{\partial y} \\ \gamma_{xy} = \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \end{cases}$$

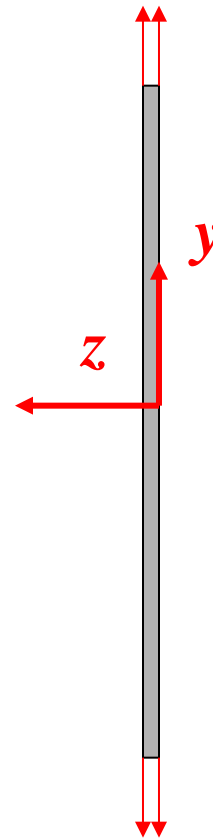
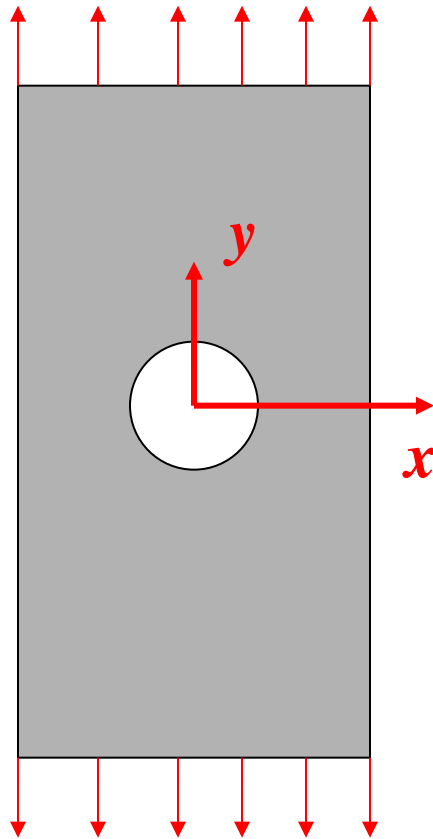
$$N_{lm}(x, y) = A_{lm} + B_{lm}x + C_{lm}y + D_{lm}xy$$

$$\begin{cases} \varepsilon_x = a + b \cdot y \\ \varepsilon_y = c + d \cdot x \\ \gamma_{xy} = e + f \cdot x + g \cdot y \end{cases}$$

ELEMENTI PIANI/6

Stati piani di tensione:

- sono caratterizzati dall'avere una delle componenti principali di tensione identicamente nulla
- si verificano tipicamente in corpi piani, di spessore piccolo rispetto alle altre dimensioni caratteristiche del problema, caricati nel loro piano medio.



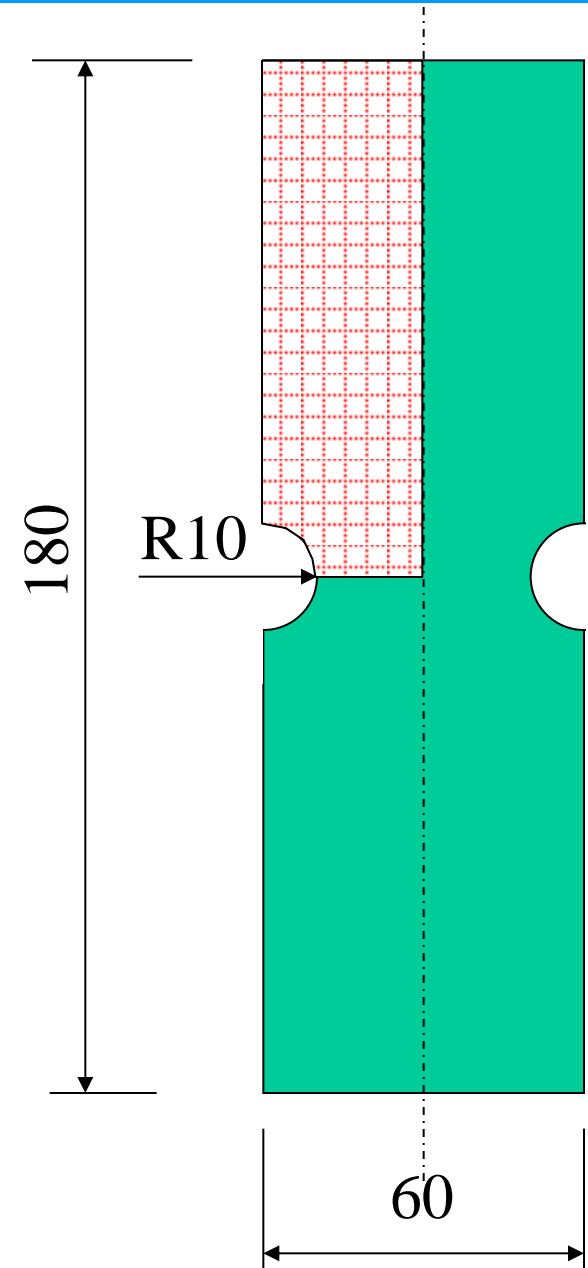
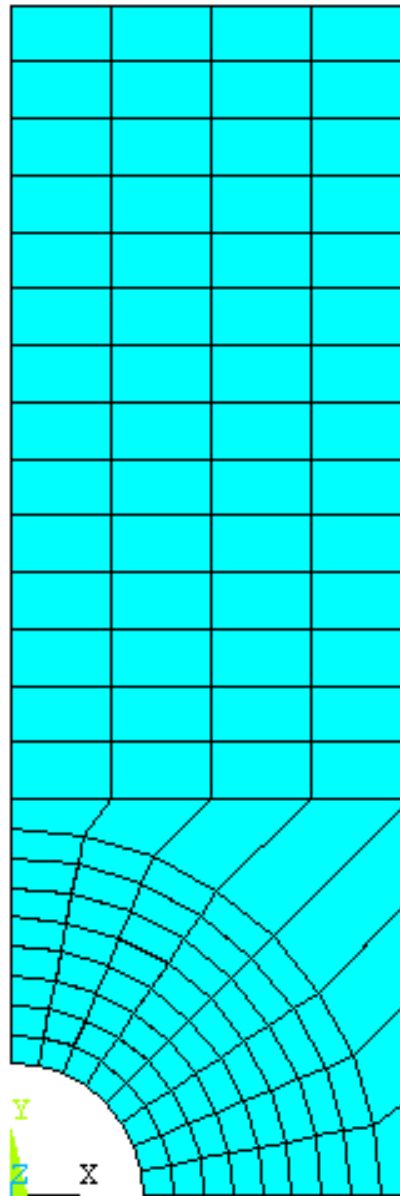
$$\sigma_z = \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0$$

$$\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy} \neq 0$$

ELEMENTI PIANI/7

Il modello giace sul piano “x-y” e rappresenta il piano medio (a metà spessore) della struttura.

I carichi possono essere sull'intero spessore (*plane stress with thickness*) o per unità di spessore (*plane stress*).



ELEMENTI PIANI/8

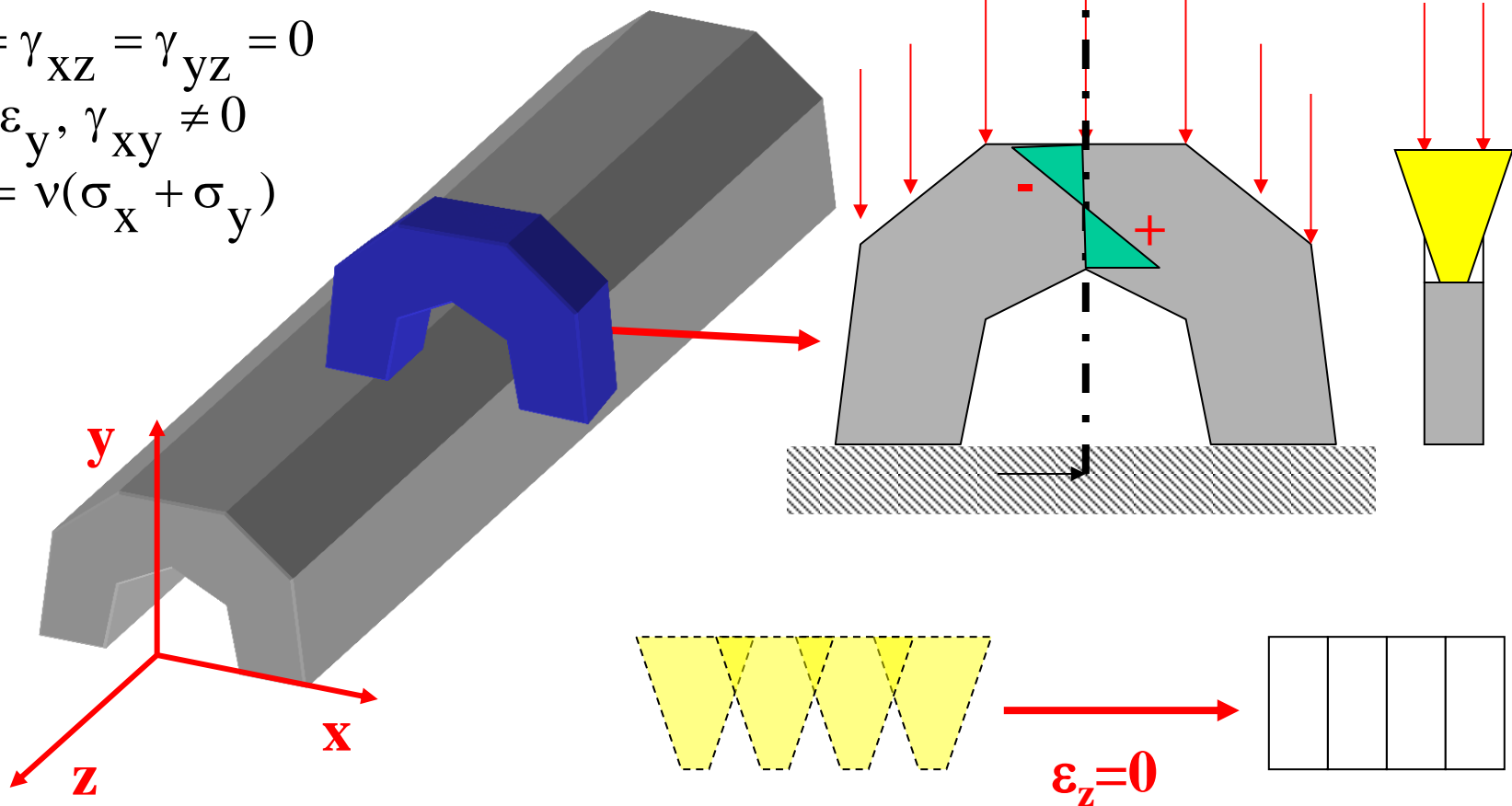
Stati piani di deformazione:

- sono caratterizzati dall'aver una delle componenti principali di deformazione identicamente nulla
- si verificano tipicamente in corpi di spessore grande rispetto alle altre dimensioni caratteristiche del problema.

$$\varepsilon_z = \gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0$$

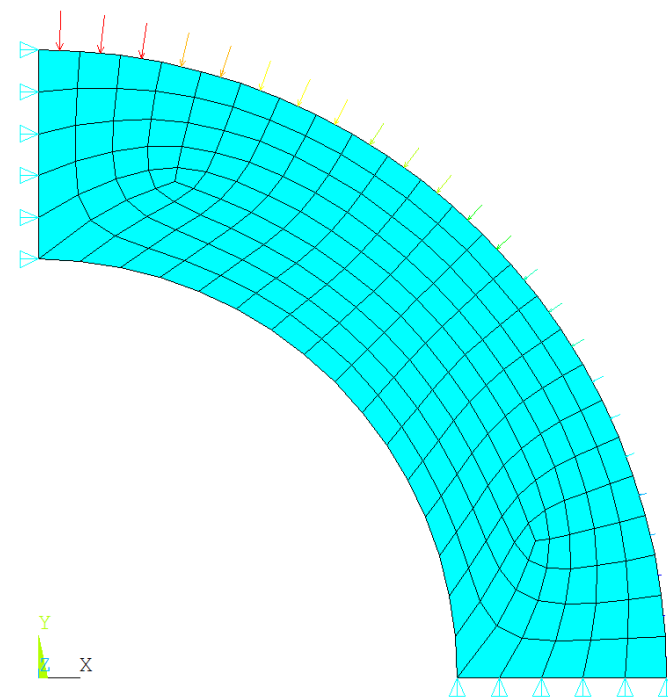
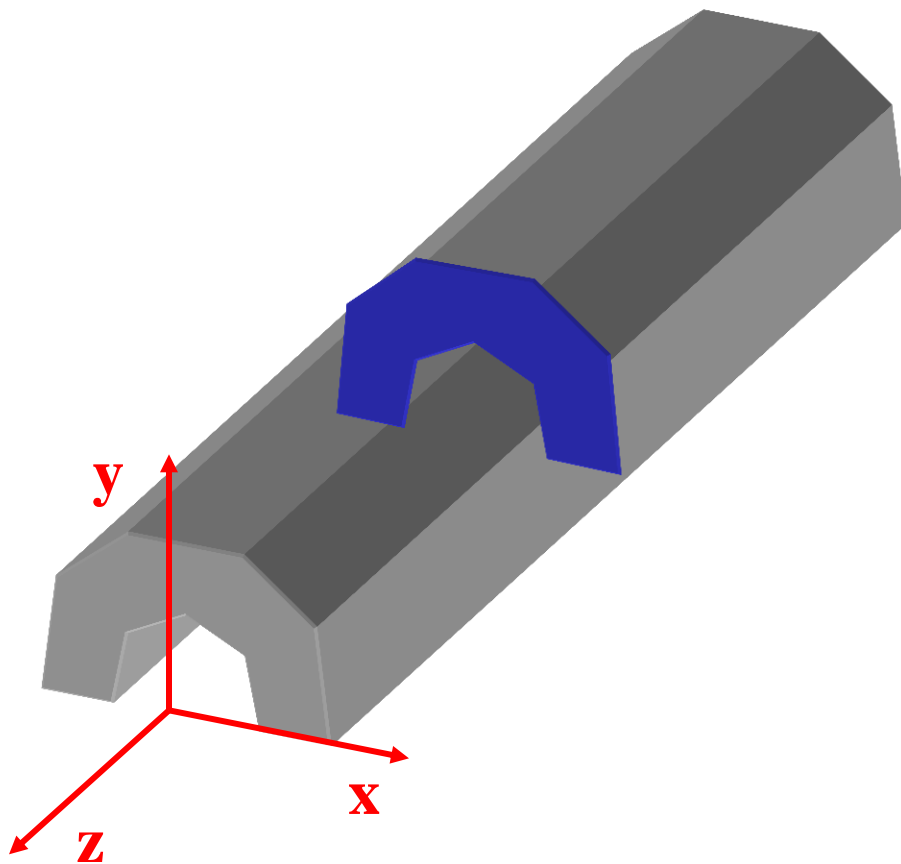
$$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy} \neq 0$$

$$\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y)$$



ELEMENTI PIANI/9

Il modello giace sul piano “x-y” e rappresenta una sezione, eseguita con un piano ortogonale all’asse z, della struttura.
I carichi sono per unità di spessore.



ELEMENTI PIANI/10

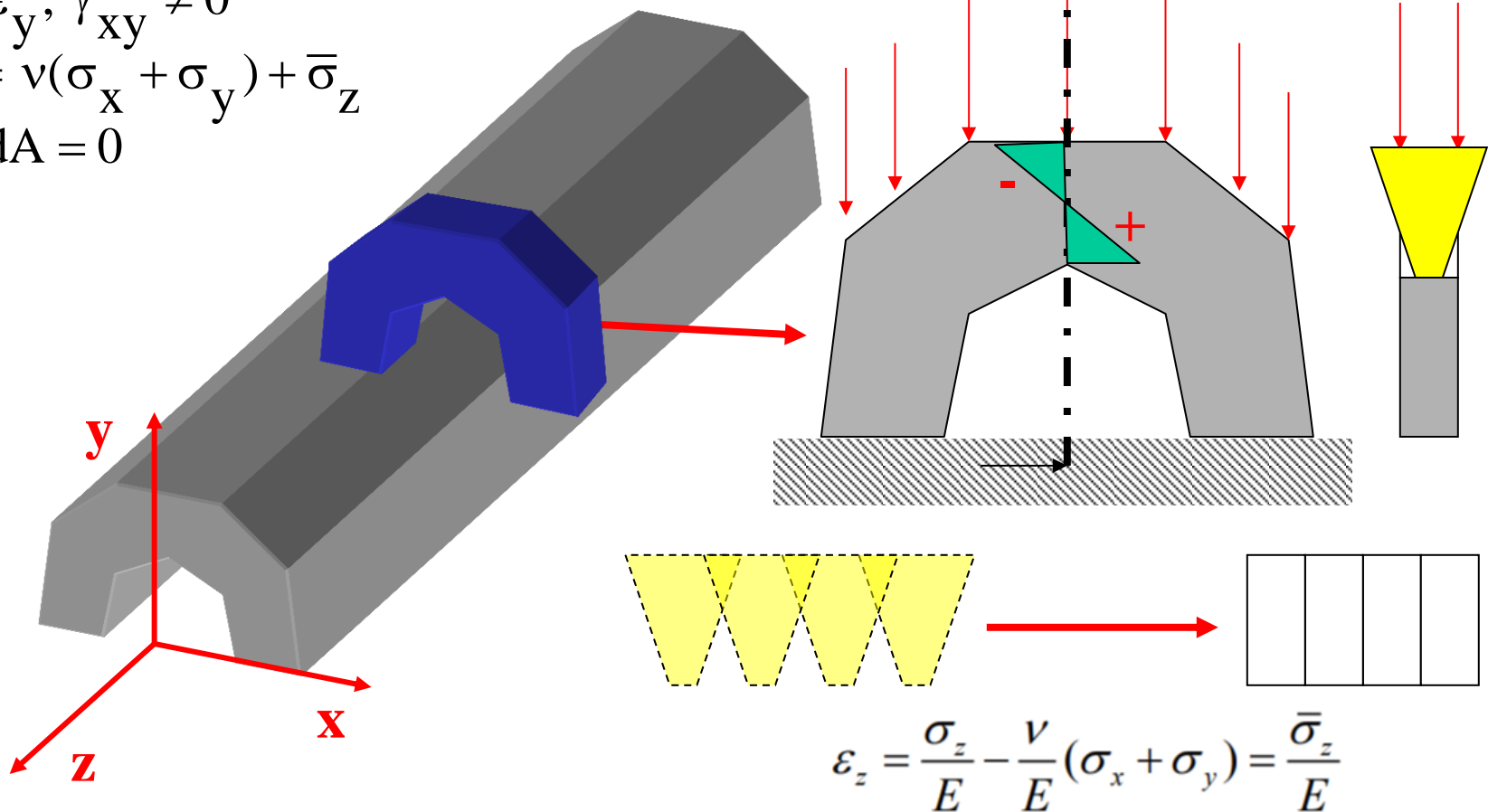
Generalized Plane Strain: alla soluzione plane strain si aggiunge un termine di tensione normale uniforme, e relativa deformazione, in modo da annullare la risultante in direzione assiale

$$\gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0$$

$$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy} \neq 0$$

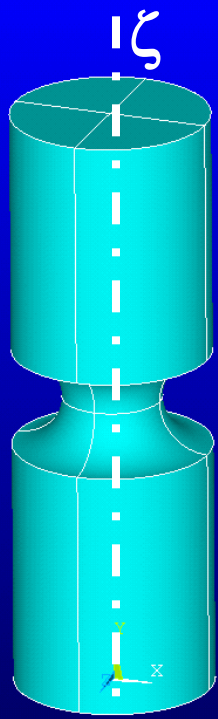
$$\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y) + \bar{\sigma}_z$$

$$\int \sigma_z dA = 0$$

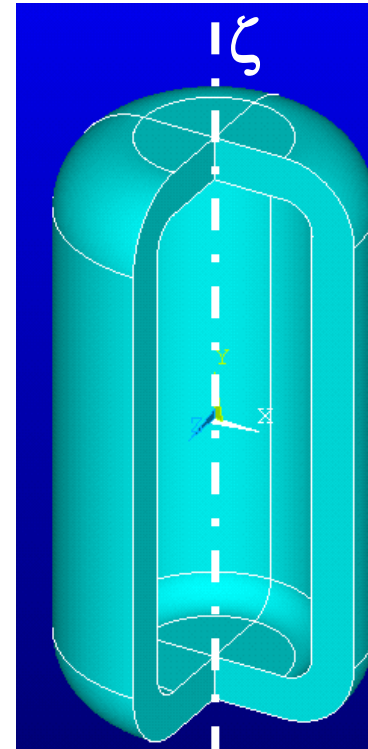
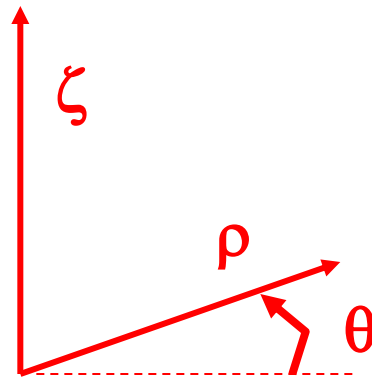


Stati assial-simmetrici

- si verificano in corpi di geometria assial-simmetrica (ottenibile per rotazione di una sezione attorno ad un asse fisso ζ) carichi con carichi che presentano lo stesso tipo di simmetria.
- fissato un SR cilindrico “ ρ, θ, ζ ”, per simmetria lo stato di tensione/deformazione risulta indipendente da θ e le componenti di spostamento in direzione circonferenziale (θ) risultano nulle: il problema può di conseguenza essere studiato come piano.



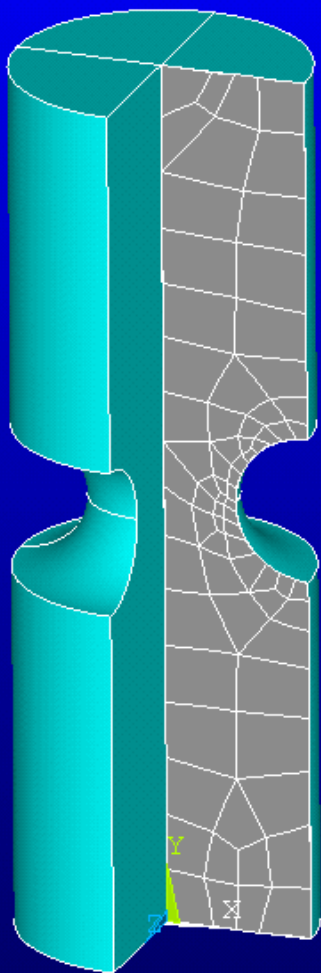
Provino cilindrico intagliato soggetto a trazione



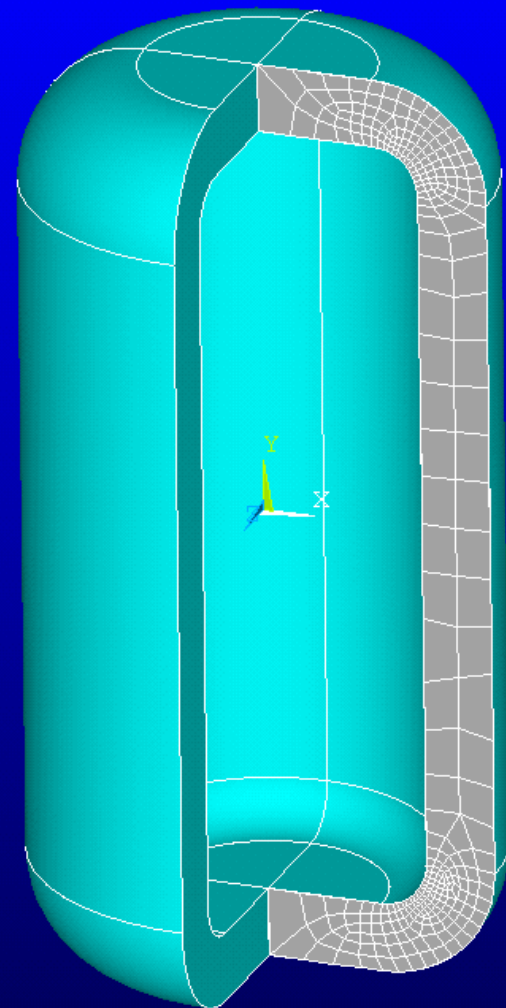
Recipiente cilindrico soggetto a pressione interna

ELEMENTI PIANI/12

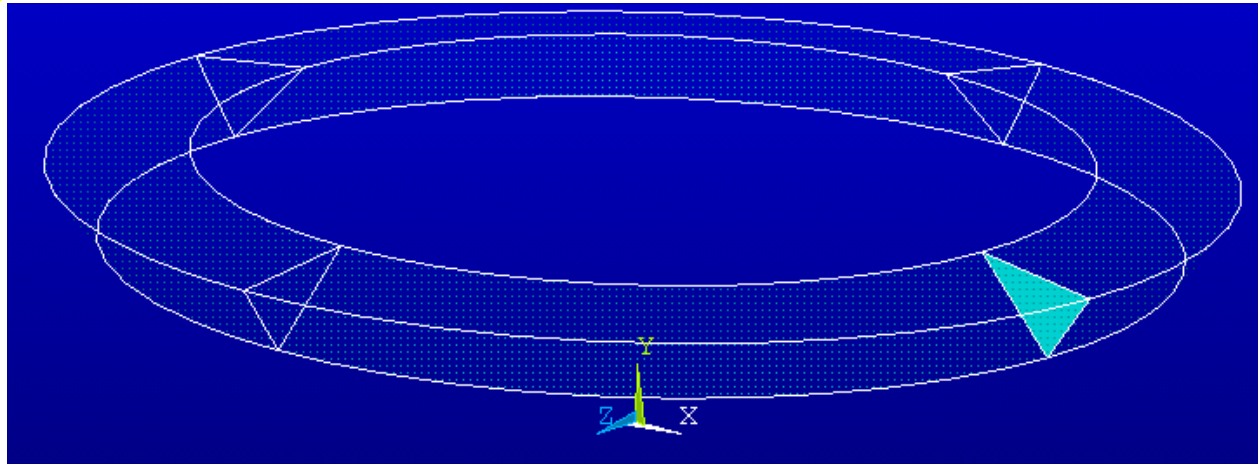
Il modello deve rappresentare una sezione del corpo fatta con un piano passante per l'asse di simmetria **(in ANSYS, l'asse di simmetria e la direzione radiale devono coincidere rispettivamente con l'asse "Y" e l'asse "X" del SR cartesiano globale).**



Un modello 2D rispetto al modello 3D è meno oneroso dal punto di vista computazionale!



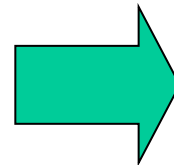
ELEMENTI PIANI/13



Volume rappresentato dall'elemento

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_x = \frac{\partial u_x}{\partial x} \\ \varepsilon_y = \frac{\partial u_y}{\partial y} \\ \gamma_{xy} = \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \\ \varepsilon_z = \frac{u_x}{x} \left(\varepsilon_\theta = \frac{u_r}{r} \right) \end{array} \right.$$

Rispetto al caso "plane stress" è necessario aggiungere una componente di deformazione/tensione

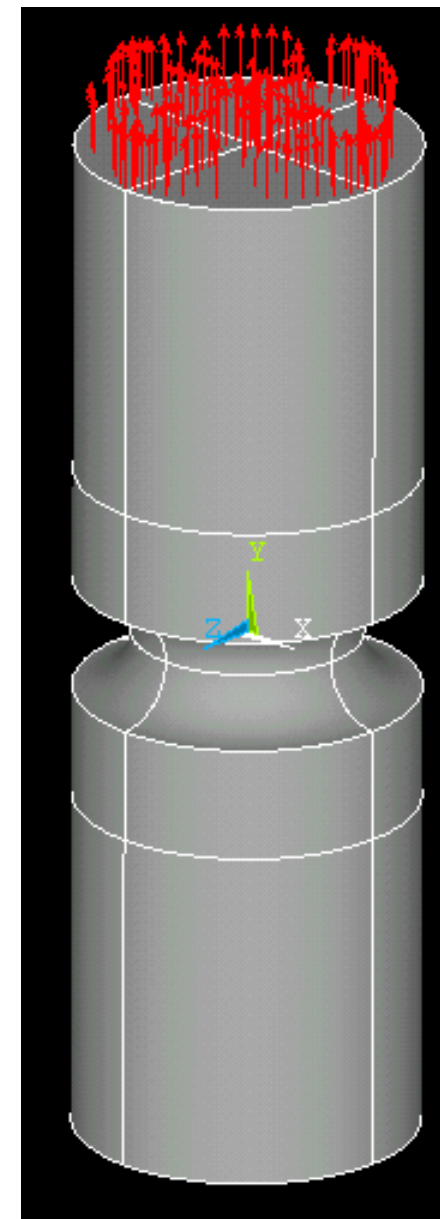
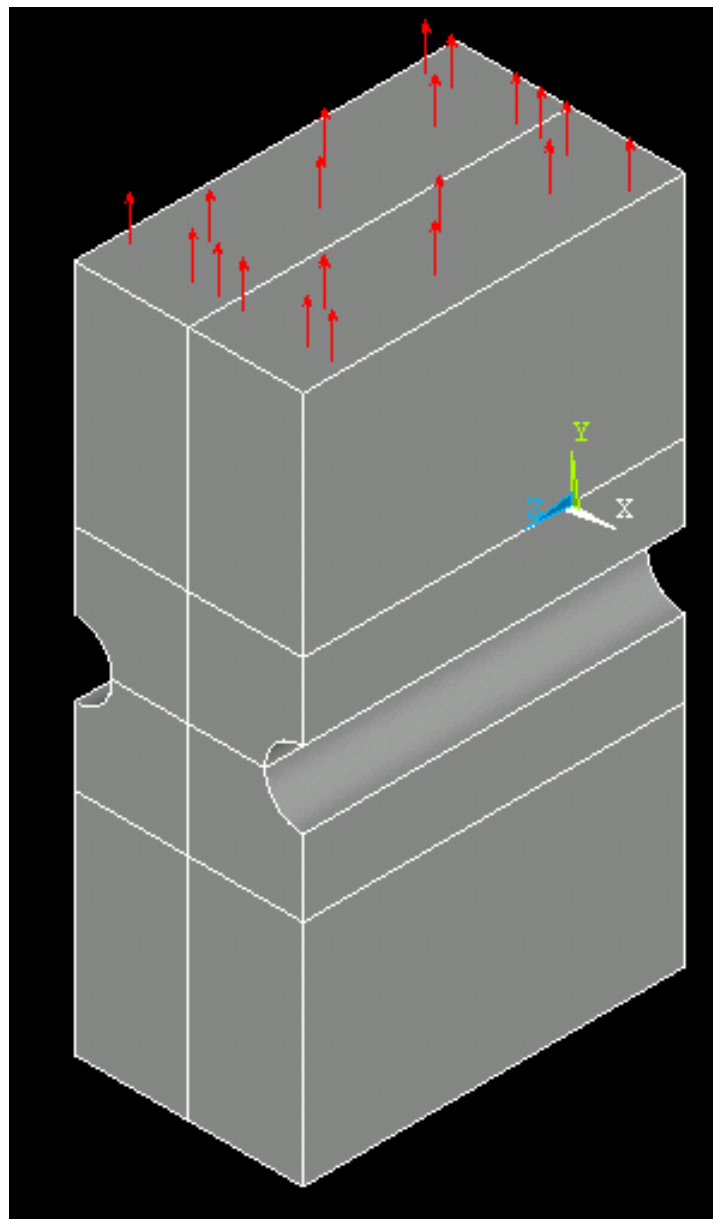
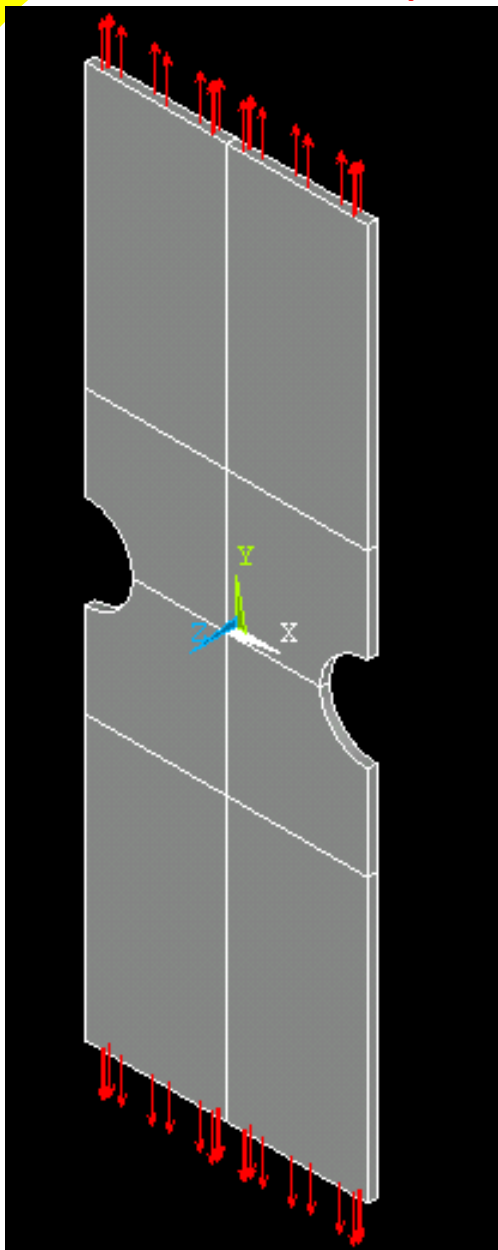


$$x=r, y=z, z=\theta$$

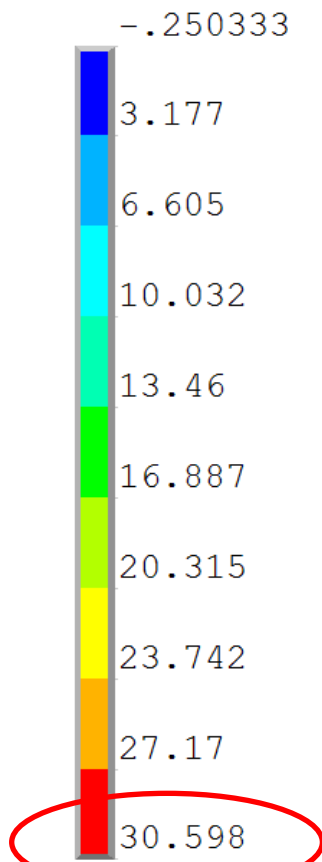
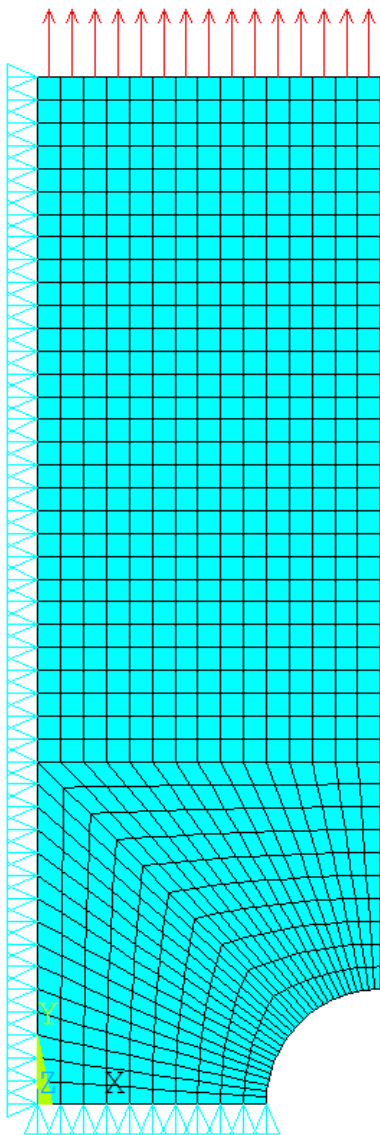
$$[L] = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{1}{x} & 0 \end{bmatrix}$$

Esempio di applicazione

ELEMENTI PIANI/14

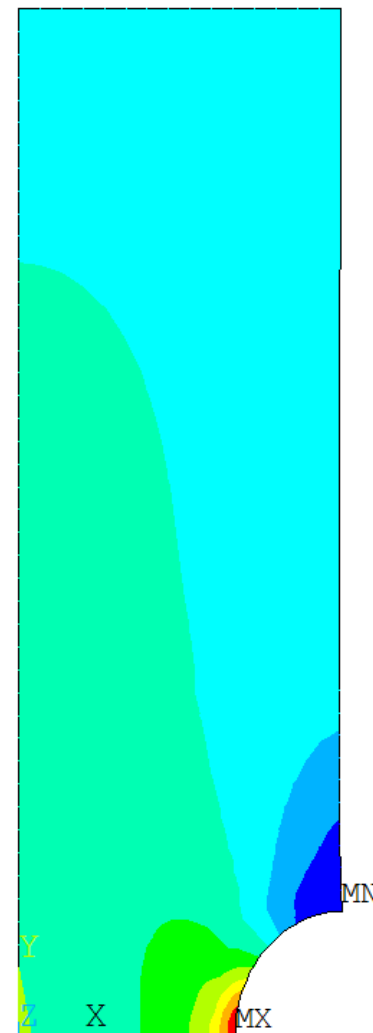


ELEMENTI PIANI/15



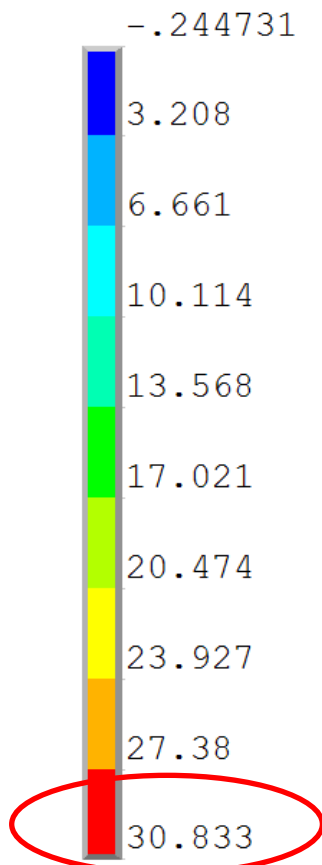
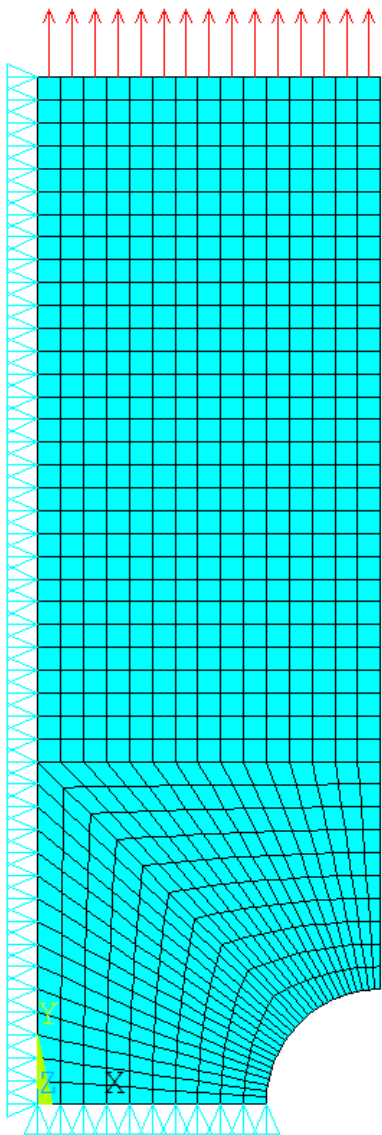
STEP=1
 SUB =1
 TIME=1
 SY (AVG)
 RSYS=0

STATO PIANO DI TENSIONE

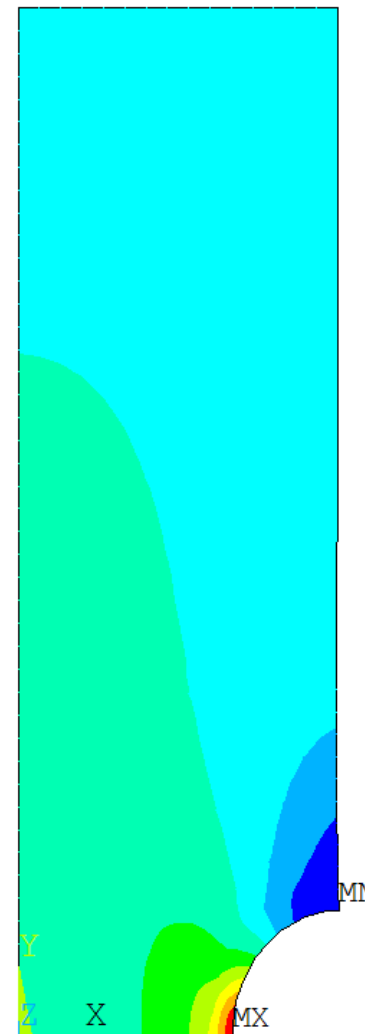


File di comandi: ANALISI_PIANA_INTAGLIO.txt

ELEMENTI PIANI/16



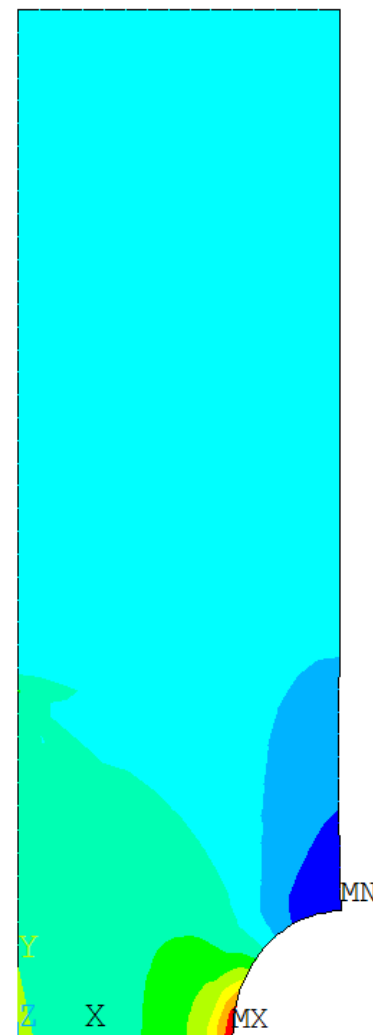
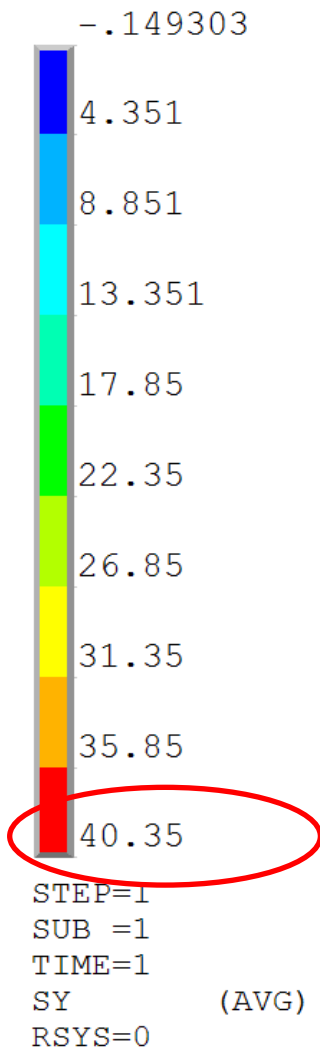
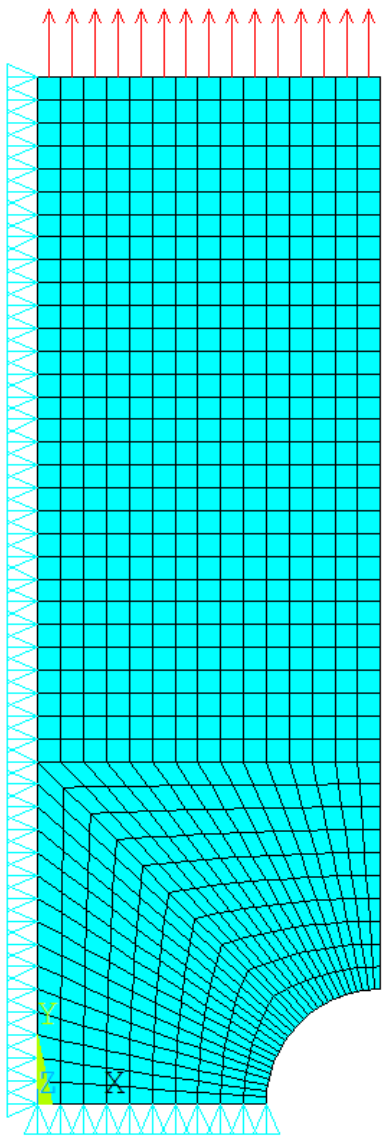
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SY (AVG)
RSYS=0



STATO PIANO DI DEFORMAZIONE

File di comandi: ANALISI_PIANA_INTAGLIO.txt

ELEMENTI PIANI/17



STATO DI TENSIONE ASSIALSIMMETRICO

File di comandi: ANALISI_PIANA_INTAGLIO.txt



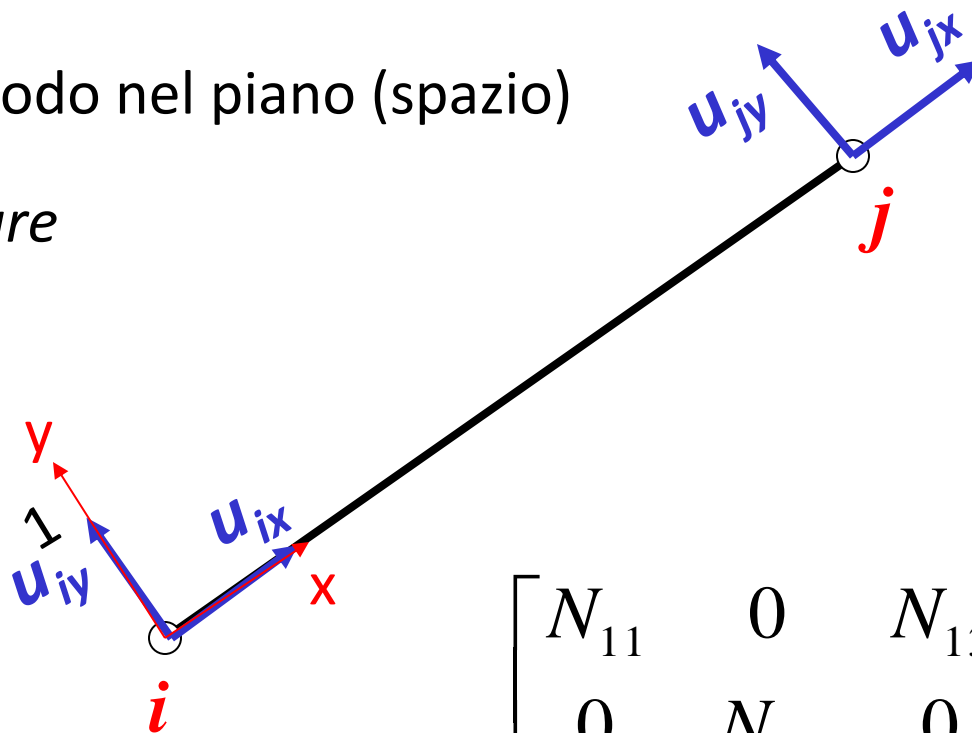
ELEMENTO ASTA/1

N° 2 nodi

N° 2(3) g.d.l. per nodo nel piano (spazio)

F.ne di forma lineare

$$N_{11} = A_{11} + B_{11}x$$



$$\begin{bmatrix} N_{11} & 0 & N_{13} & 0 \\ 0 & N_{11} & 0 & N_{13} \end{bmatrix}$$

Espressione nel S.R. elemento:

$$N_{11} = (L-x)/L$$

$$N_{13} = x/L$$

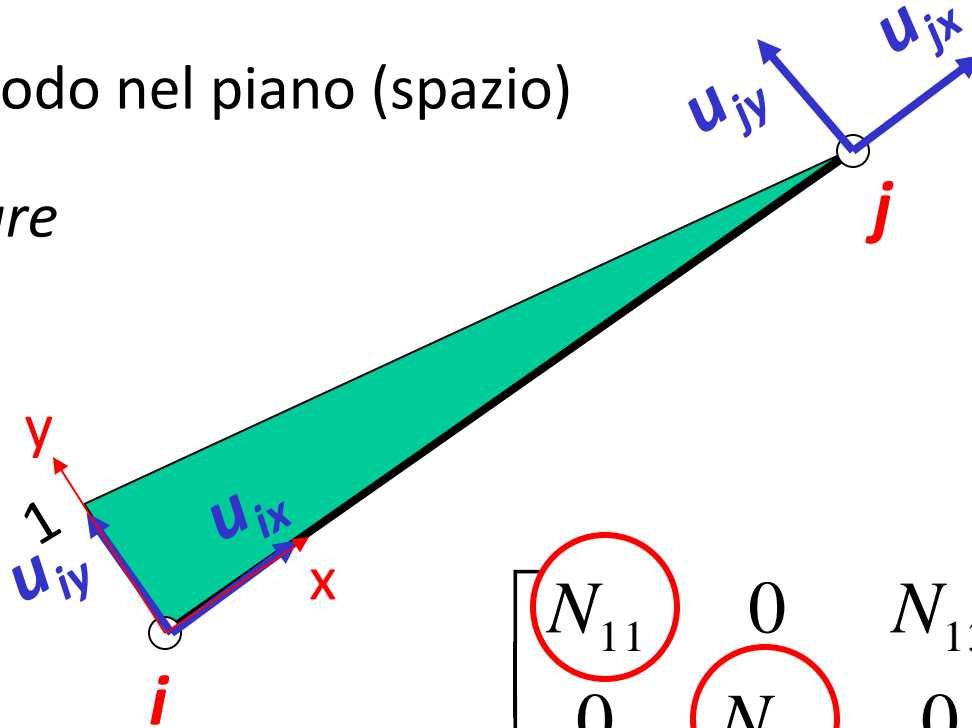
ELEMENTO ASTA/2

N° 2 nodi

N° 2(3) g.d.l. per nodo nel piano (spazio)

F.ne di forma lineare

$$N_{11} = A_{11} + B_{11}x$$



$$\begin{bmatrix} N_{11} & 0 & N_{13} & 0 \\ 0 & N_{11} & 0 & N_{13} \end{bmatrix}$$

Espressione nel S.R. elemento:

$$N_{11} = (L-x)/L$$

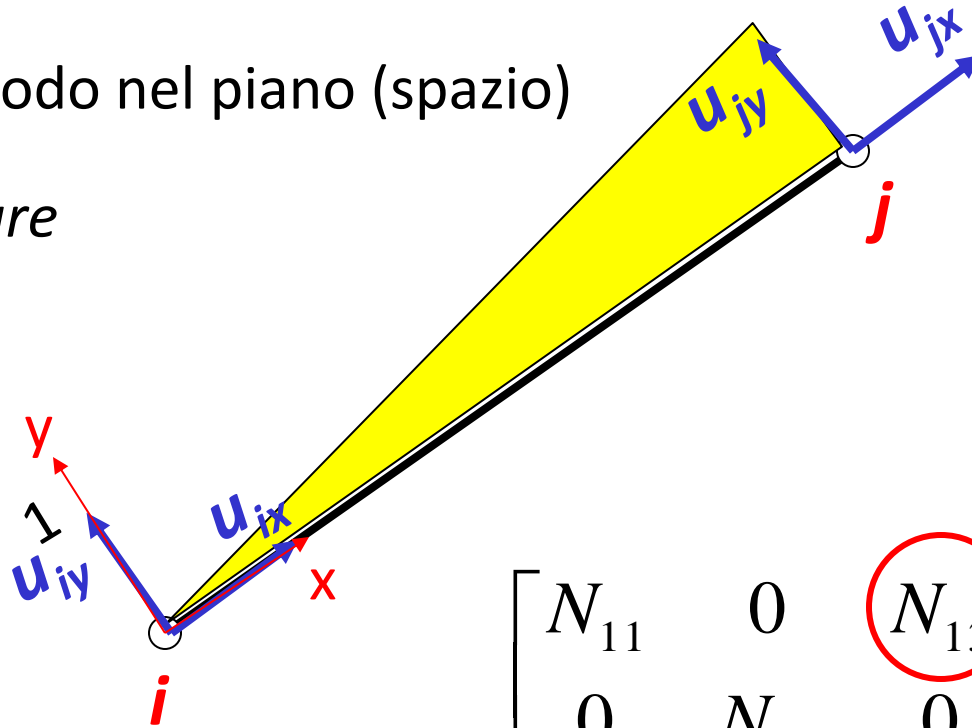
ELEMENTO ASTA/3

N° 2 nodi

N° 2(3) g.d.l. per nodo nel piano (spazio)

F.ne di forma lineare

$$N_{11} = A_{11} + B_{11}x$$



$$\begin{bmatrix} N_{11} & 0 & N_{13} & 0 \\ 0 & N_{11} & 0 & N_{13} \end{bmatrix}$$

Espressione nel S.R. elemento:

$$N_{11} = (L-x)/L$$

$$N_{13} = x/L$$

ELEMENTO ASTA/4

OSSERVAZIONE: La soluzione ottenuta è **esatta**, nel senso che rappresenta senza errori lo stato di tensione/deformazione di un componente di una travatura reticolare.

Elemento asta

$$u_x(x) = u_{ix} \cdot \frac{(L-x)}{L} + u_{jx} \cdot \frac{x}{L}$$

$$\varepsilon = \frac{\partial}{\partial x} \left(u_{ix} \cdot \frac{(L-x)}{L} + u_{jx} \cdot \frac{x}{L} \right) = \frac{u_{jx} - u_{ix}}{L} = \text{cost}$$

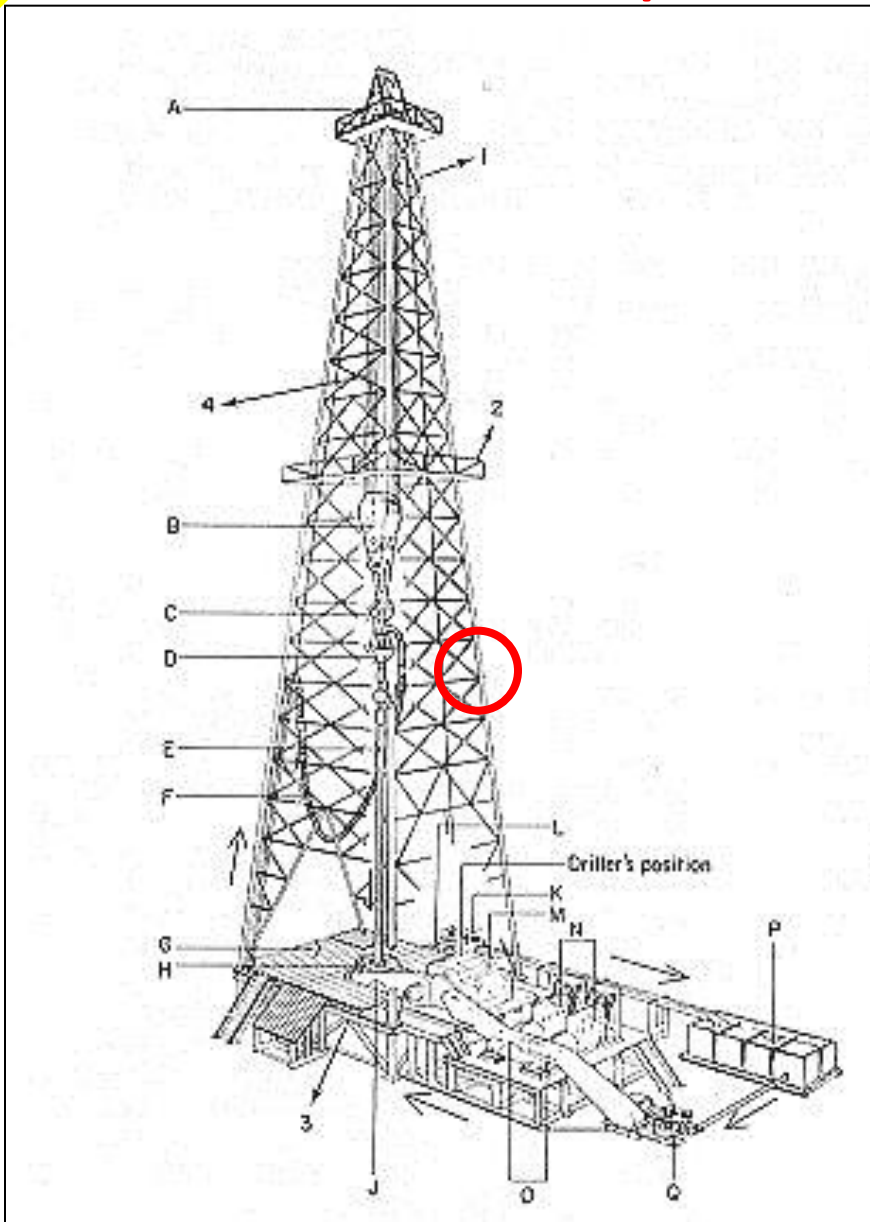
$$\varepsilon = \frac{N}{EA} = \text{cost}$$

Membro travatura reticolare

$$u_{jx} = u_{ix} + \varepsilon \cdot L$$

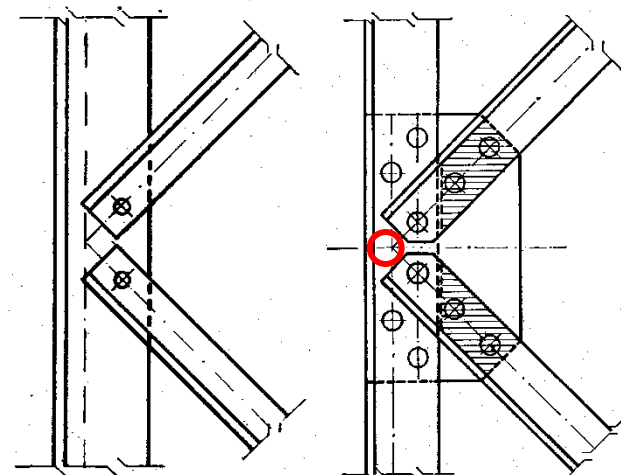
$$\varepsilon = \frac{u_{jx} - u_{ix}}{L}$$

ELEMENTO ASTA/5 – ESEMPIO TRALICCIO

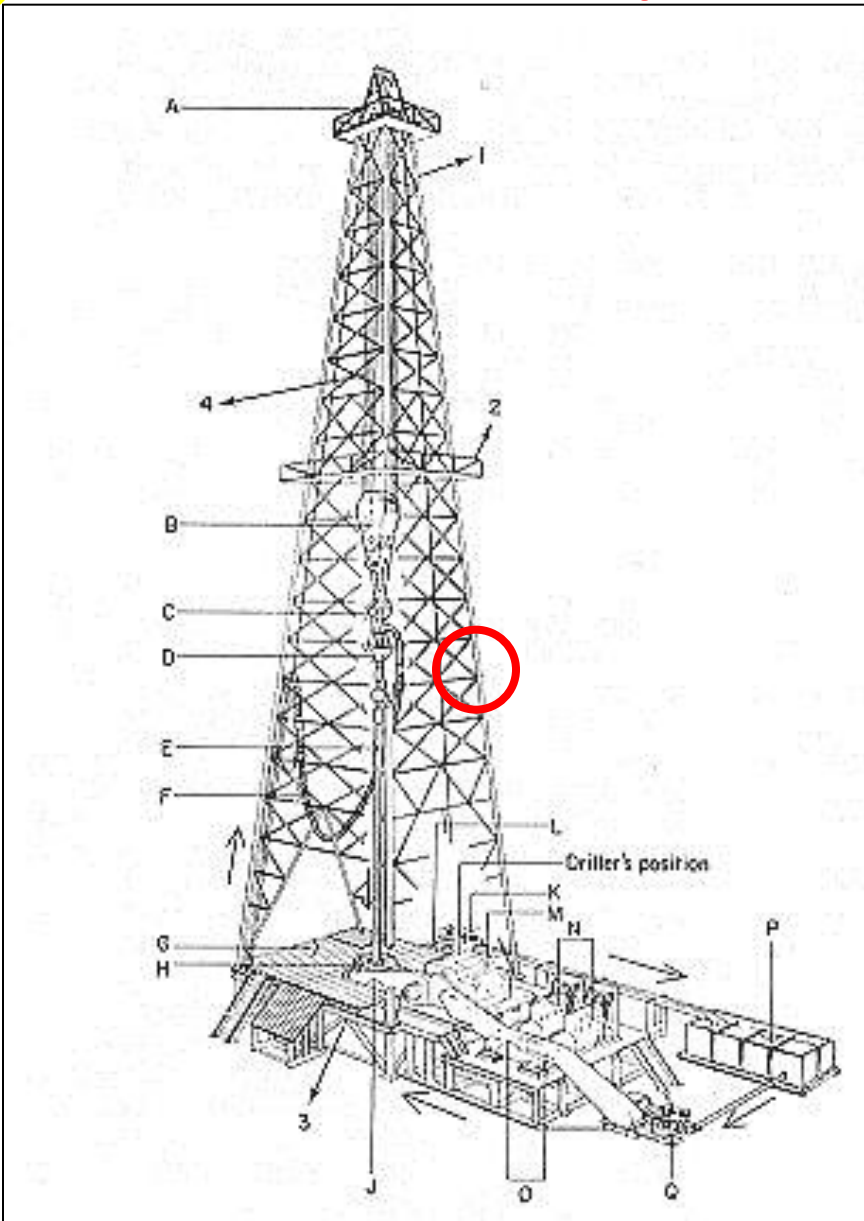


Traliccio di sostegno per batterie di perforazione petrolifera.

Questo tipo di strutture viene tradizionalmente trattato con modelli a travatura reticolare, assimilando i “nodi” a cerniere.



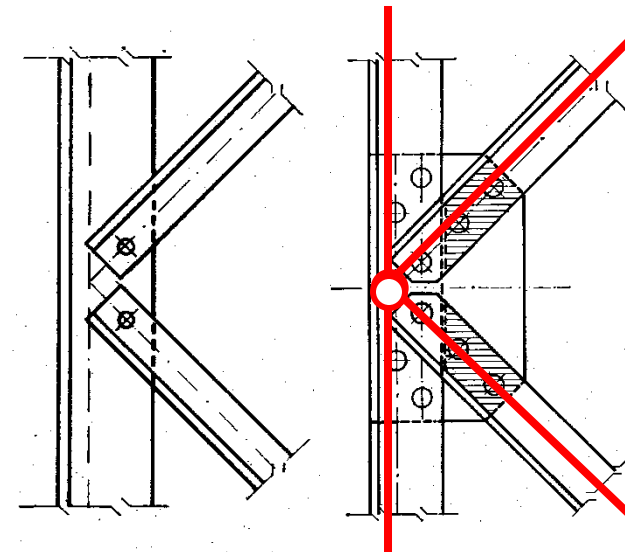
ELEMENTO ASTA/6 - ESEMPIO TRALICCIO



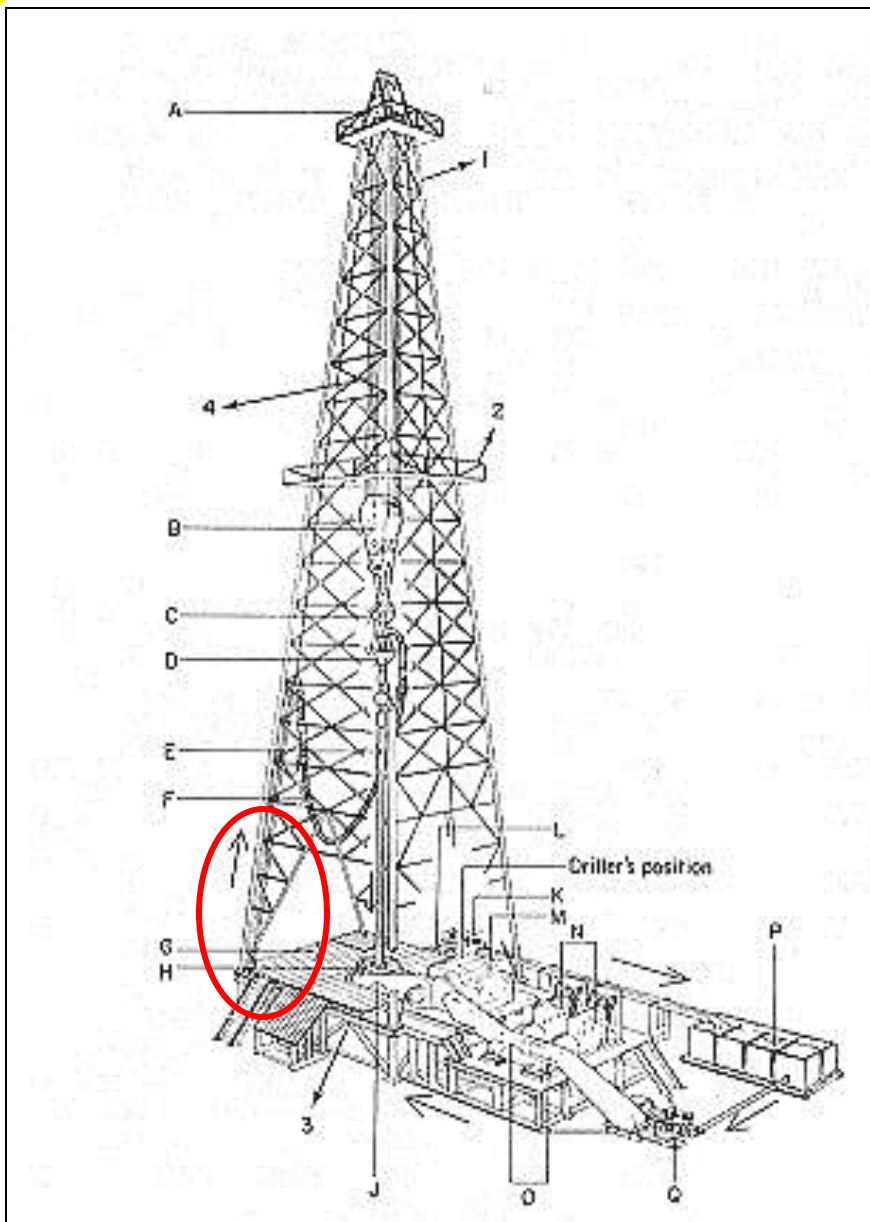
Traliccio di sostegno per batterie di perforazione petrolifera.

Il modello è giustificabile con:

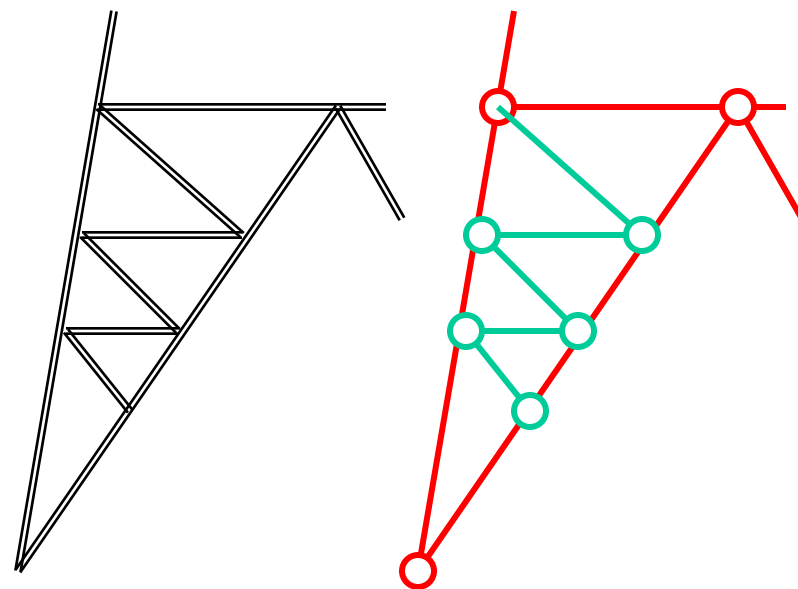
- bassa rigidezza flessionale delle aste
- giochi tra bulloni e fori



ELEMENTO ASTA/7 - ESEMPIO TRALICCIO

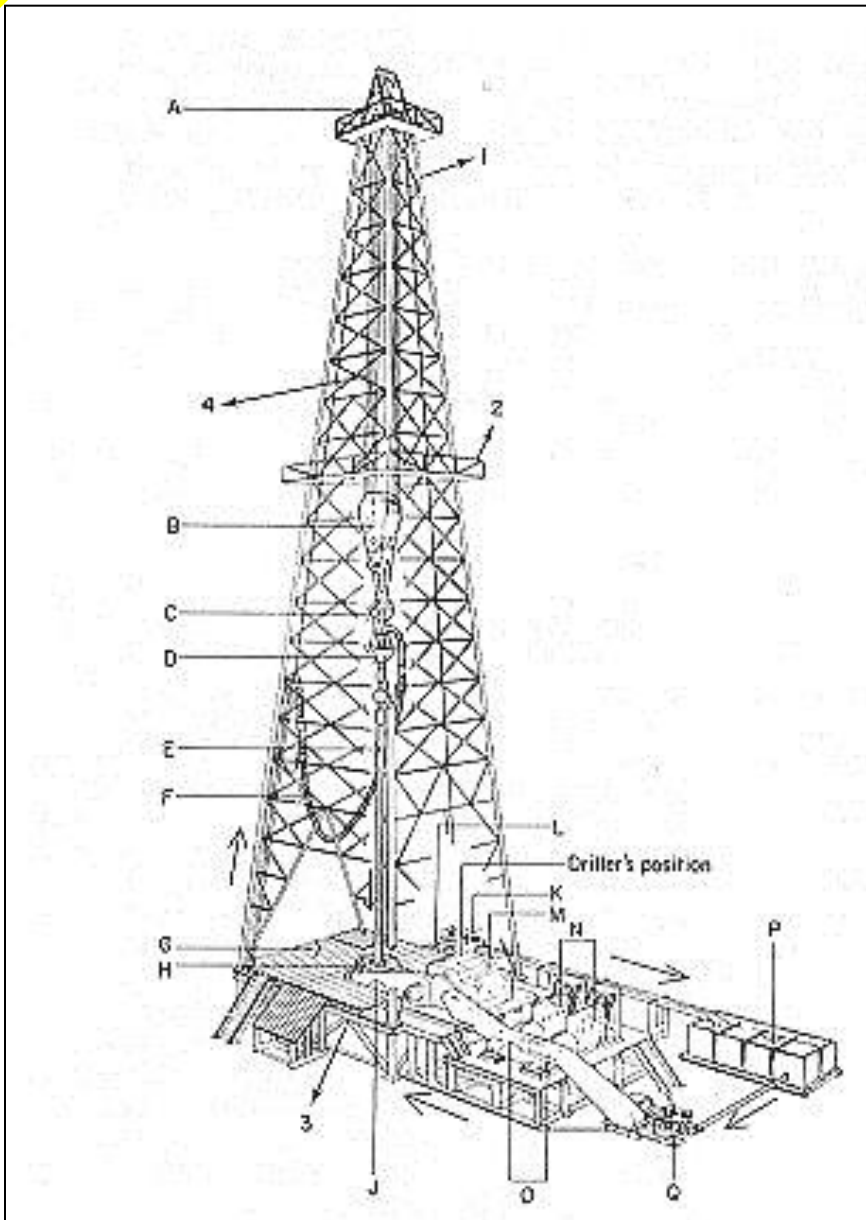


Nel fare il modello si escludono solitamente le aste (rompitratta) che non hanno la funzione di sopportare il carico ma ad es. garantire stabilità a carico di punta.



Modello di calcolo

ELEMENTO ASTA/8 – ESEMPIO TRALICCIO

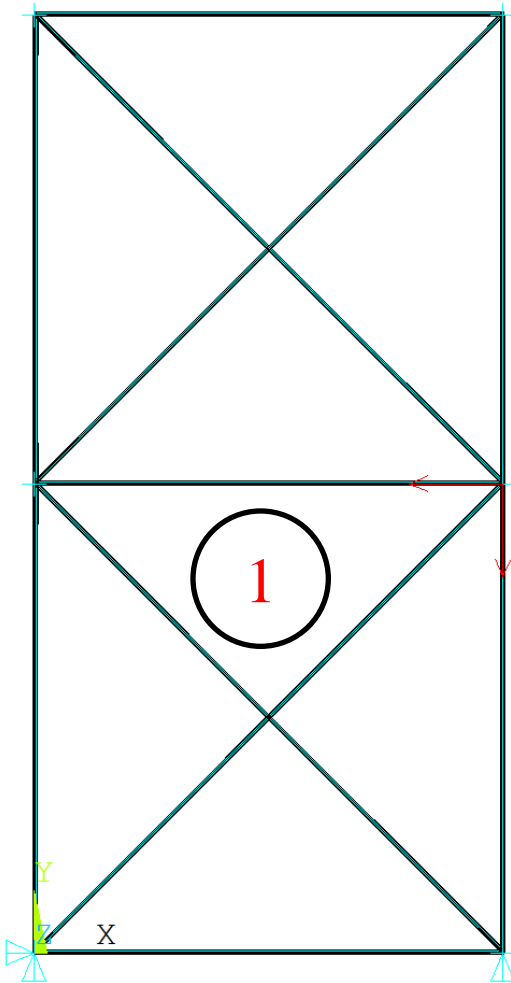


Sotto quali condizioni è lecito schematizzare la struttura come una travatura reticolare? Dipende dal rapporto tra la rigidità estensionale e quella flessionale delle singole travi, vale a dire :

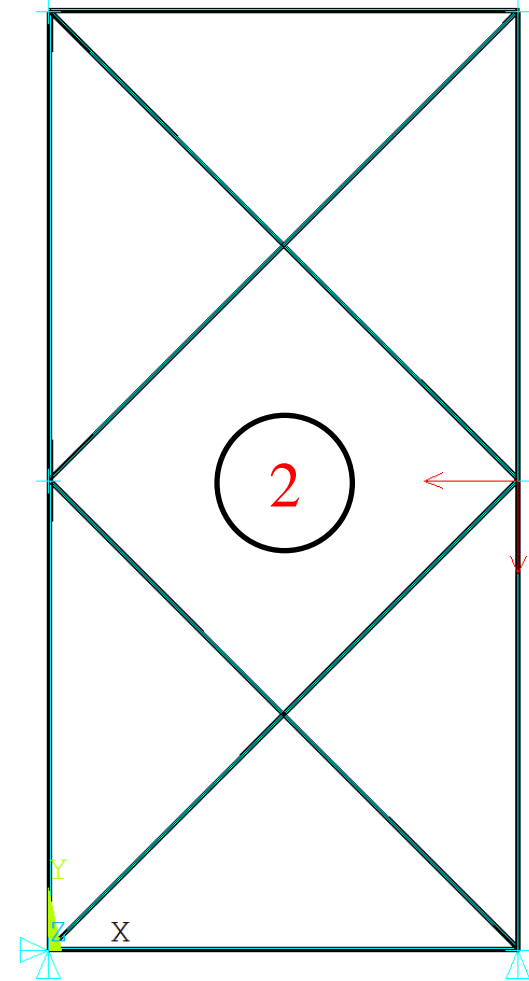
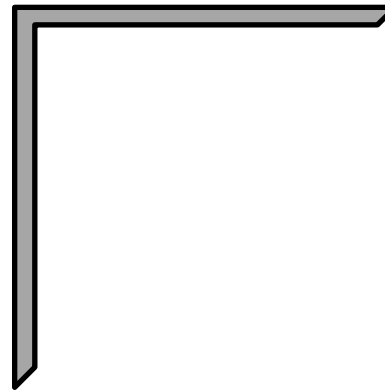
$$\frac{EA}{EJ} = \frac{A}{J} L^2 = \frac{L^2}{\rho^2} = \lambda^2$$

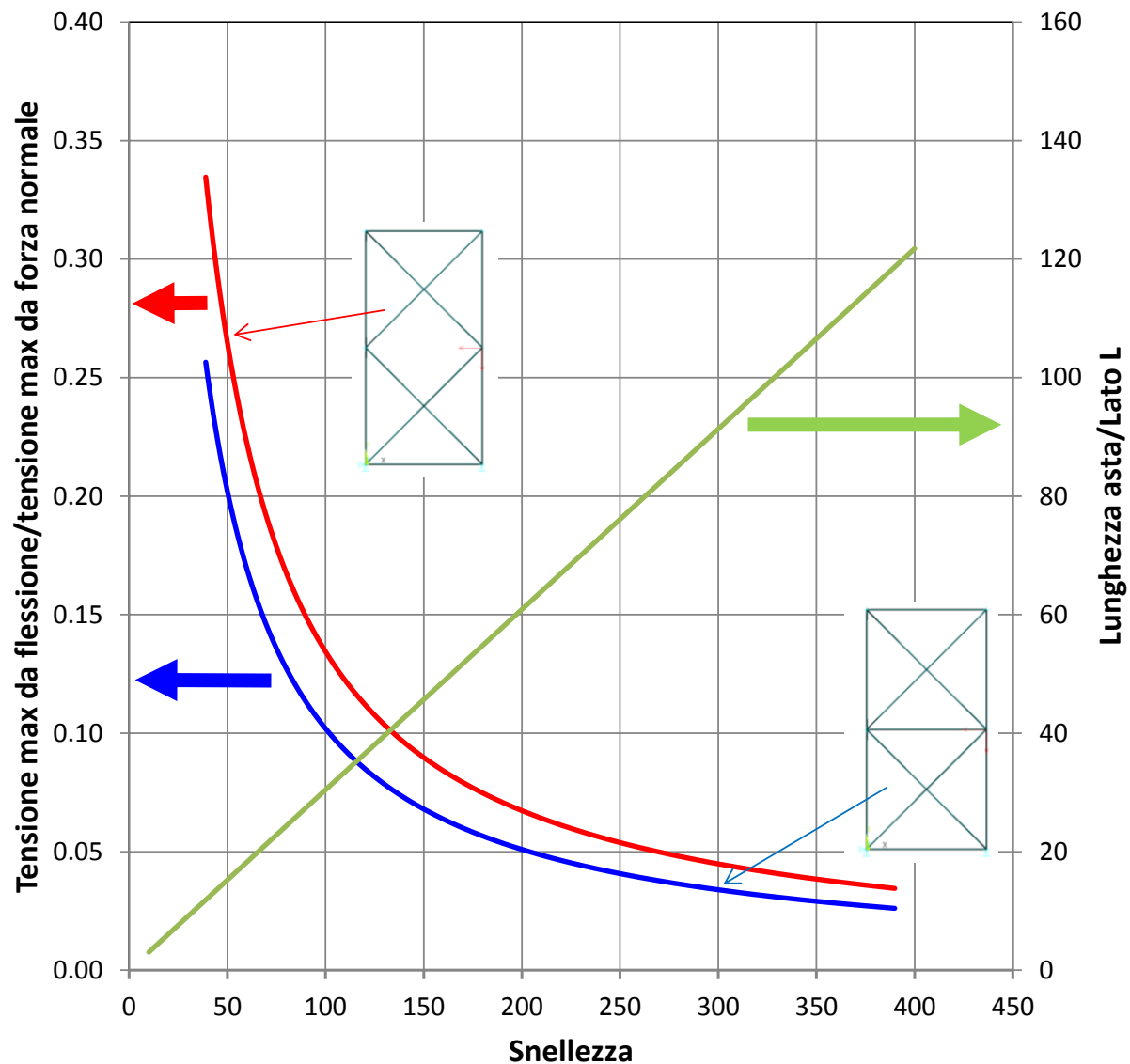
ρ = raggio giratore d'inerzia
 λ = snellezza

Analisi parametrica, travature reticolari



Profilo ad L a lati uguali
 $S_p/\text{Lato}=0.1$

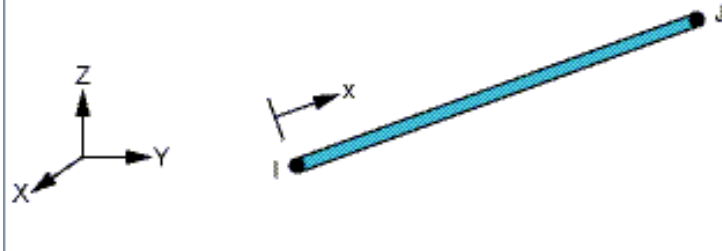




Rapporto tra tensioni max da flessione e da forza normale al variare della snellezza λ

ELEMENTO ASTA/9 - ANSYS

Figure 180.1 LINK180 Geometry



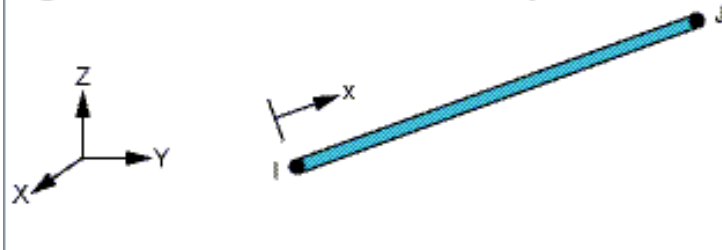
Disponibile solo l'elemento 3D.
Per simulazioni 2D (piano xy) è sufficiente vincolare il grado di libertà «z» di tutti i nodi.

Travature reticolari piane e spaziali

- *sola forza normale*
- *2 nodi*
- *3 g.d.l./nodo*
- *carichi applicabili solo nei nodi*
- *caratteristiche geometriche richieste: A*

ELEMENTO ASTA/10 - ANSYS

Figure 180.1 LINK180 Geometry



LINK180 Input Summary

Nodes

I, J

Degrees of Freedom

UX, UY, UZ

Real Constants

AREA - Cross-sectional area

ADDMAS - Added mass (mass/length)

TENSION - Tension- or compression-only option:

0 -- Tension and compression (default)

1 -- Tension only

-1 -- Compression only

Material Properties

EX, (PRXY or NUXY), ALPX (or CTEX or THSX), DENS, GXY, ALPD, BETD

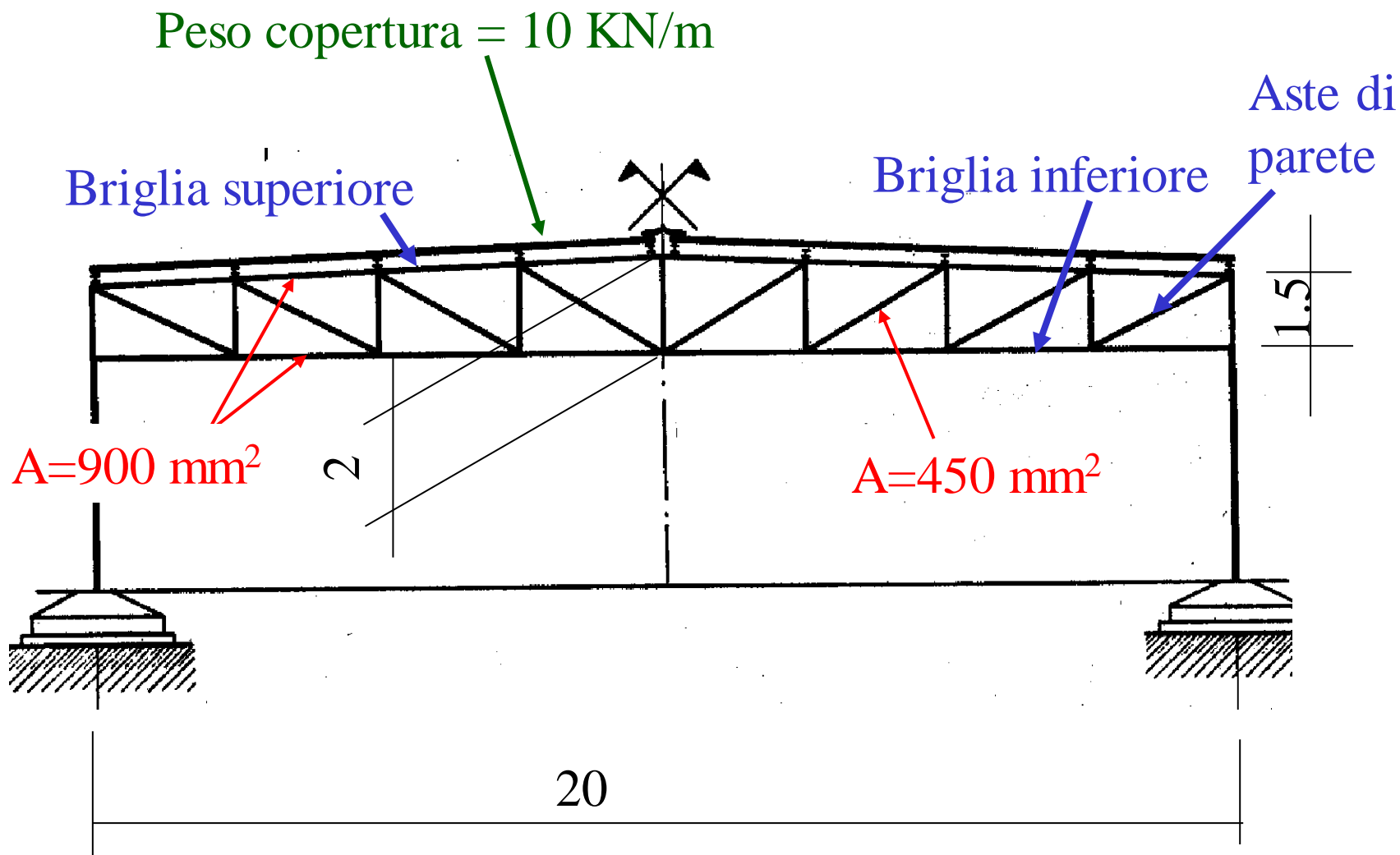
Surface Loads

None

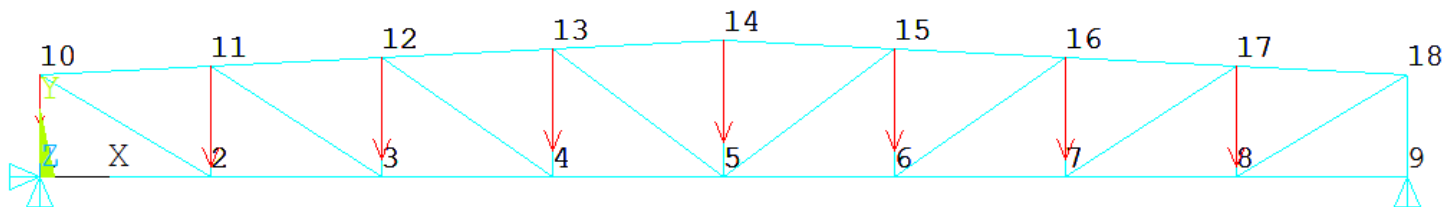
R, n° id., Area

N° identificativo nel modello

ELEMENTO ASTA/11 – ALTRE STRUTTURE



ELEMENTO ASTA/12 – ALTRE STRUTTURE

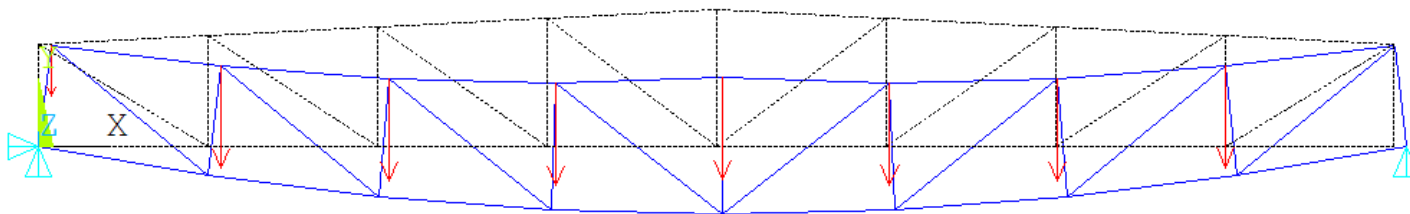


Modello

File di comandi: *CAPRIATA_RETICOLARE_PIANA.txt*

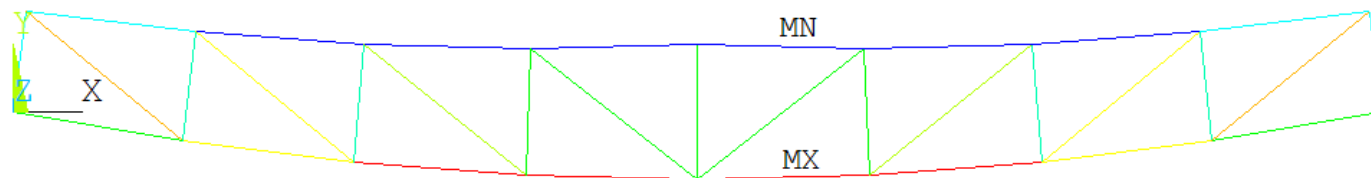
ELEMENTO ASTA/13 – ALTRE STRUTTURE

Deformata

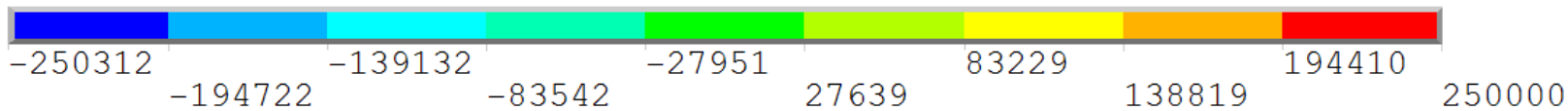


File di comandi: *CAPRIATA_RETICOLARE_PIANA.txt*

ELEMENTO ASTA/14 – ALTRE STRUTTURE



Forza normale



File di comandi: *CAPRIATA_RETICOLARE_PIANA.txt*

ACCESSO AI RISULTATI

elemento asta 3D – Comando ETABLE

ETABLE, *Lab*, *Item*, *Comp*

Table 180.2 LINK180 Item and Sequence Numbers

Output Quantity Name	Item	ETABLE and ESOL Command Input		
		E	I	J
Sxx	LS	-	1	2
EPELxx	LEPEL	-	1	2
EPTOxx	LEPTO	-	1	2
EPTHxx	LEPTH	-	1	2
EPPLxx	LEPPL	-	1	2
EPCRxx	LEPCR	-	1	2
FORCE	SMISC	1	-	-
AREA	SMISC	-	-	-
TEMP	LBFE	-	1	2

Lab: nome assegnato da utente

ETABLE,N,SMISC,1

! estrae la "forza normale" dal data base

ACCESSO AI RISULTATI

elemento asta 3D – Comando ETABLE

ETABLE, *Lab, Item, Comp*

Table 180.2 LINK180 Item and Sequence Numbers

Output Quantity Name	Item	ETABLE and ESOL Command Input		
		E	I	J
Sxx	LS	-	1	2
EPELxx	LEPEL	-	1	2
EPTOxx	LEPTO	-	1	2
EPTHxx	LEPTH	-	1	2
EPPLxx	LEPPL	-	1	2
EPCRxx	LEPCR	-	1	2
FORCE	SMISC	1	-	-
AREA	SMISC	2	-	-
TEMP	LBFE	-	1	2

ETABLE,SN,LS,1

! estrae il dato "tensione assiale" dal data base

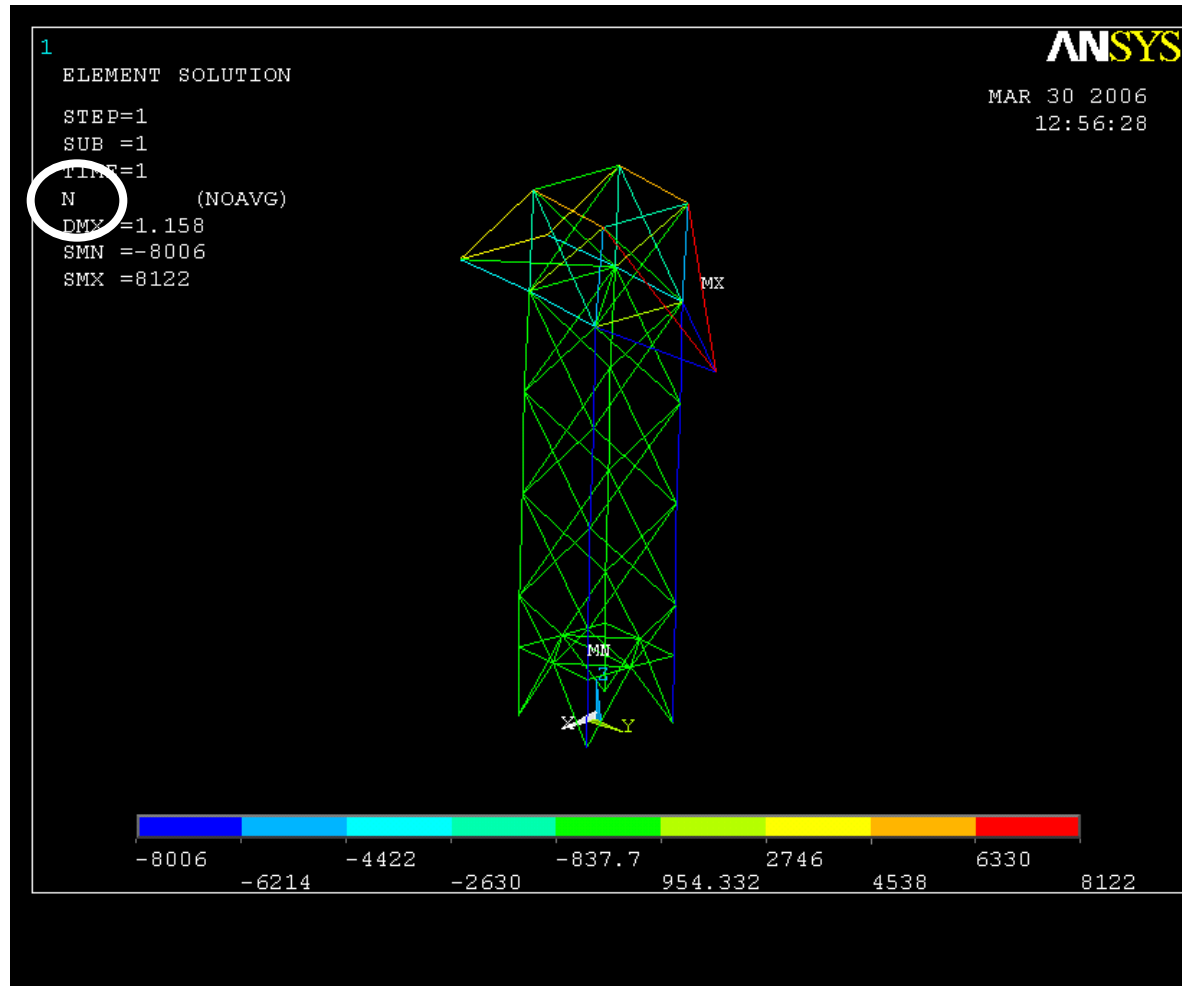
RAPPRESENTAZIONE GRAFICA RISULTATI

Comando PLETAB con intensità espressa da colore, mediata o no ai nodi

PLETAB, *Itlab*, *Avglab*

ETABLE,N,SMISC,1

PLETAB,N





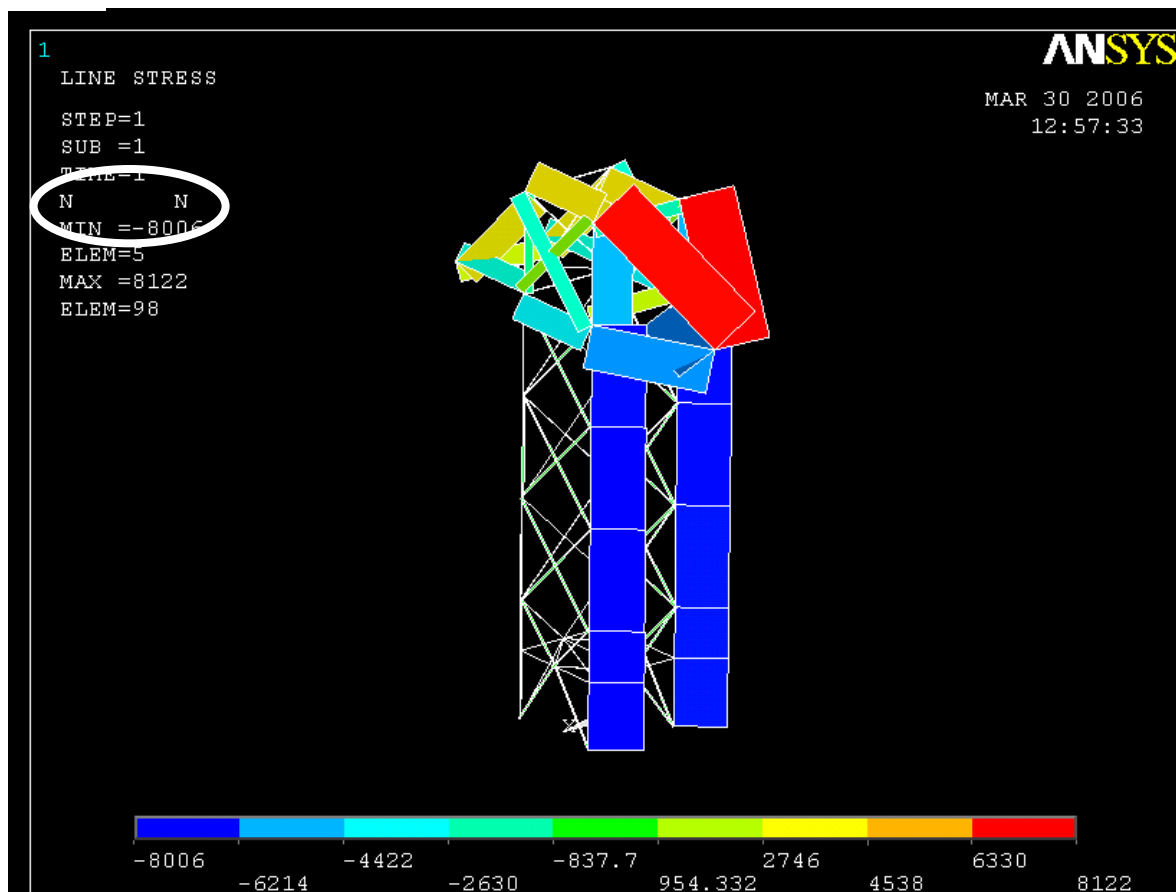
RAPPRESENTAZIONE GRAFICA RISULTATI

Comando PLLS per diagrammi caratteristiche di sollecitazione

PLLS, LabI, LabJ, Fact, KUND

ETABLE, N, SMISC, 1

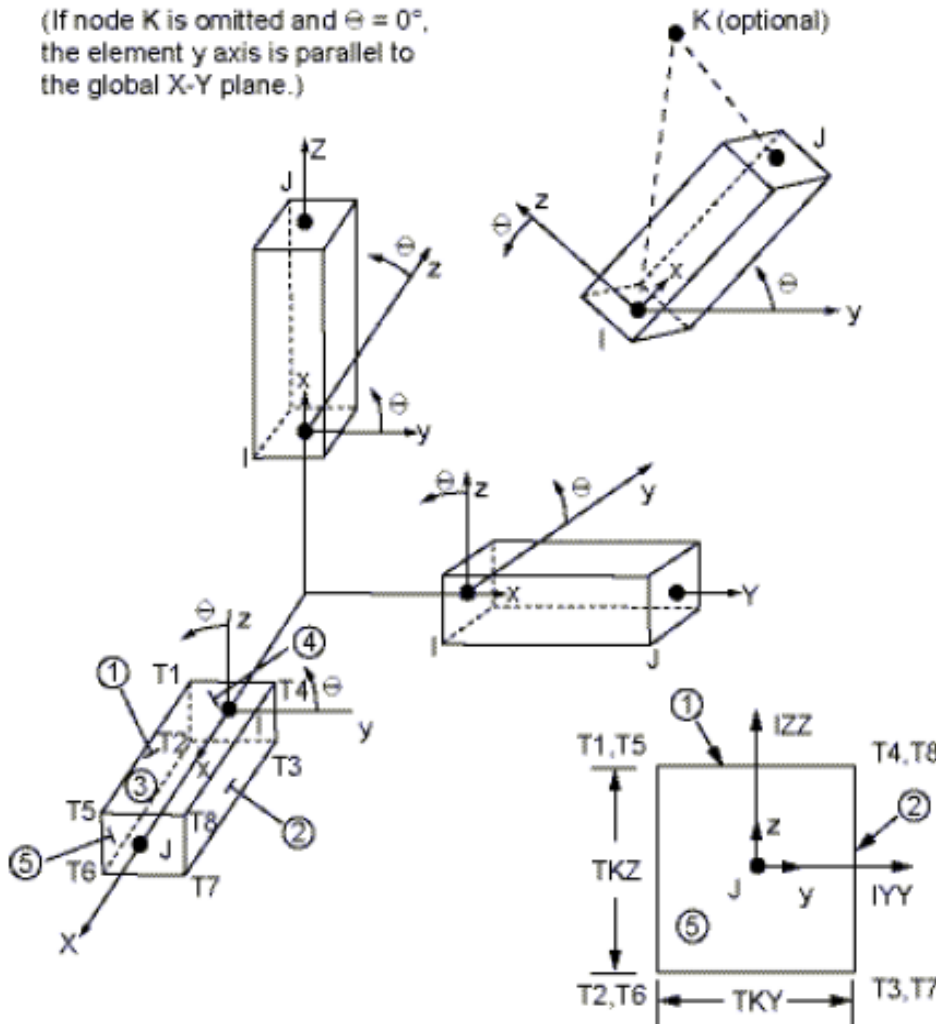
PLLS, N, N



ELEMENTO TRAVE/1

2D/3D

(If node K is omitted and $\Theta = 0^\circ$, the element y axis is parallel to the global X-Y plane.)

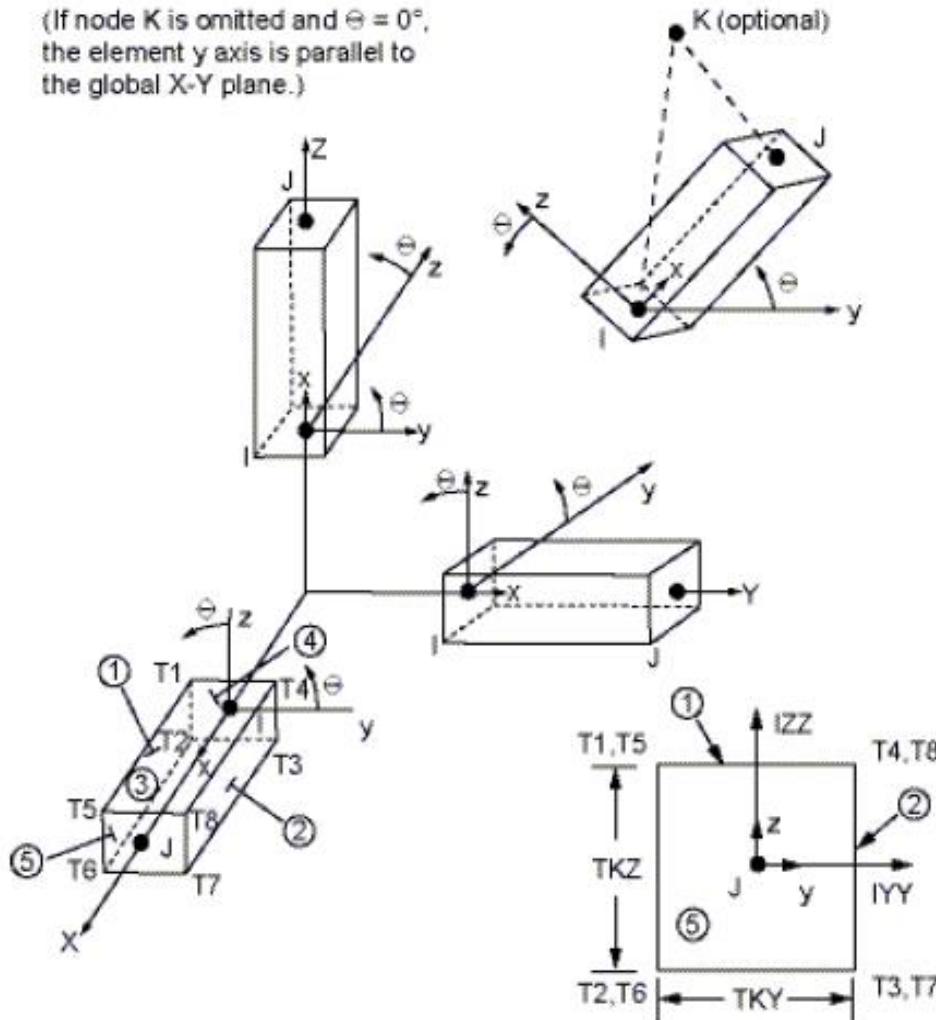


Telai piani e spaziali

- 2 (3) nodi
- 6 g.d.l /nodo
- carichi concentrati e distribuiti
- Car. geometriche: $A, J_{zz}, J_{yy}, J_{xx}, \dots$
- Il SR di elemento è definito per convenzione ($x // IJ$, se $\theta=0 \rightarrow y // XY$, se $IJ // Z$ e $\theta=0 \rightarrow y // Y$) o con il 3° nodo \in piano xz
- Gli assi y e z locali **devono** coincidere con gli assi principali di inerzia della sezione (tramite rotazione θ da SR convenzionali)

ELEMENTO TRAVE/2

(If node K is omitted and $\Theta = 0^\circ$, the element y axis is parallel to the global X-Y plane.)



Per condurre un'analisi piana:

- si usa l'elemento 3D e si vincolano i gdl fuori piano per tutti i nodi ($u_z = \text{rot}_x = \text{rot}_y = 0$)
- il piano XY deve contenere:
 - fibre baricentriche travi
 - rette di azione dei carichi
 - uno degli assi principali di inerzia delle sezioni

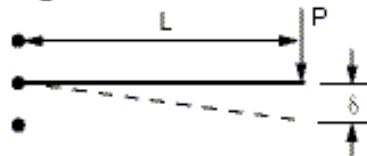
ELEMENTO TRAVE/3

Formulazione elementi trave basati sulle teorie di

- Eulero-Bernoulli che trascura le deformazioni da taglio (BEAM4 con costanti di taglio=0)
- Timoshenko che include una valutazione approssimata della deformabilità a taglio (deformazioni costanti sulla sezione) (BEAM4, BEAM188)

Confronto tra freccia di trave a mensola secondo i due modelli

Figure 188.2 Transverse-Shear Deformation Estimation



Slenderness Ratio ($GAL^2/(EI)$)	δ Timoshenko / δ Euler-Bernoulli
25	1.120
50	1.060
100	1.030
1000	1.003

ELEMENTO TRAVE/4

BEAM4 Input Summary

Nodes

I, J, K (K orientation node is optional)

Degrees of Freedom

UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ

Real Constants

AREA, IZZ, IYY, TKZ, TKY, THETA

ISTRN, IXX, SHEARZ, SHEARY, SPIN, ADDMAS

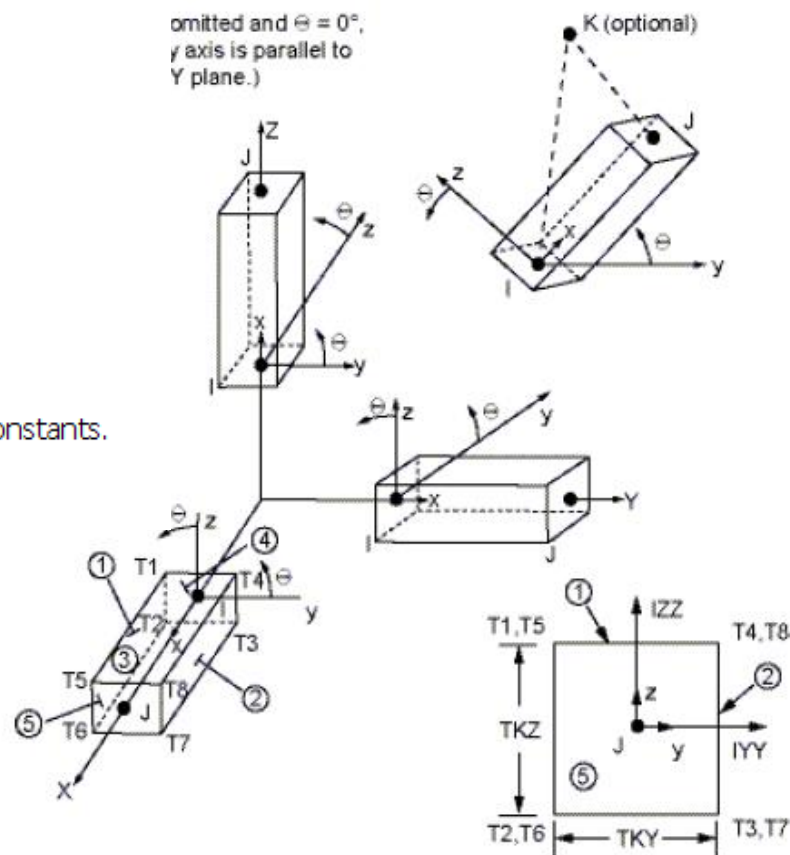
See [Table 4.1: BEAM4 Real Constants](#) for a description of the real constants.

Material Properties

EX, ALPX (or CTEX or THSX), DENS, GXY, BETD, ALPD

- L'elemento BEAM4 può escludere o includere le deformazioni da taglio (cmq. costanti nella sezione)
- L'elemento BEAM4 non è più supportato → BEAM188 (v.dopo)

Figure 4.1 BEAM4 Geometry



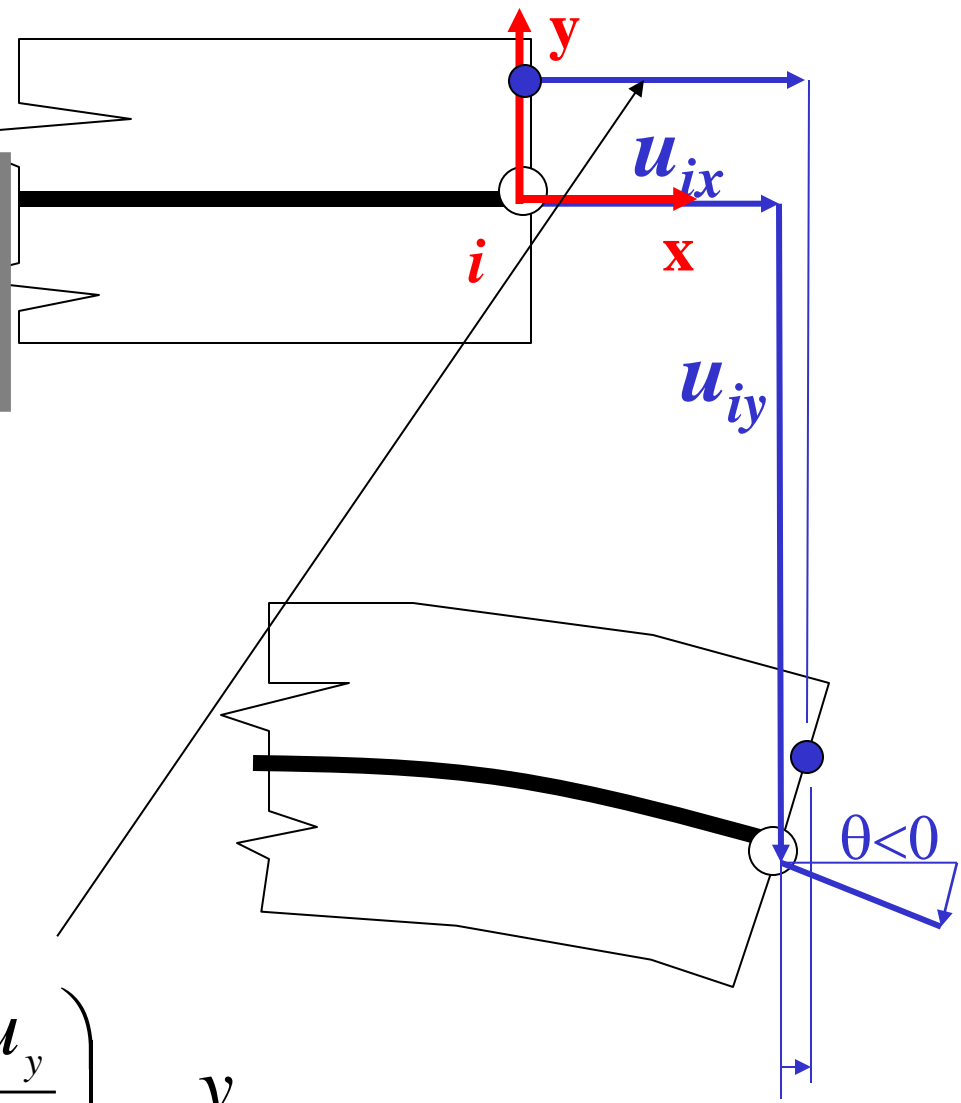


ELEMENTO TRAVE/5

Trave nel piano: con il nodo si vuole rappresentare lo stato di spostamento dell'intera sezione

Ipotesi sezioni piane

3 g.d.l. per nodo



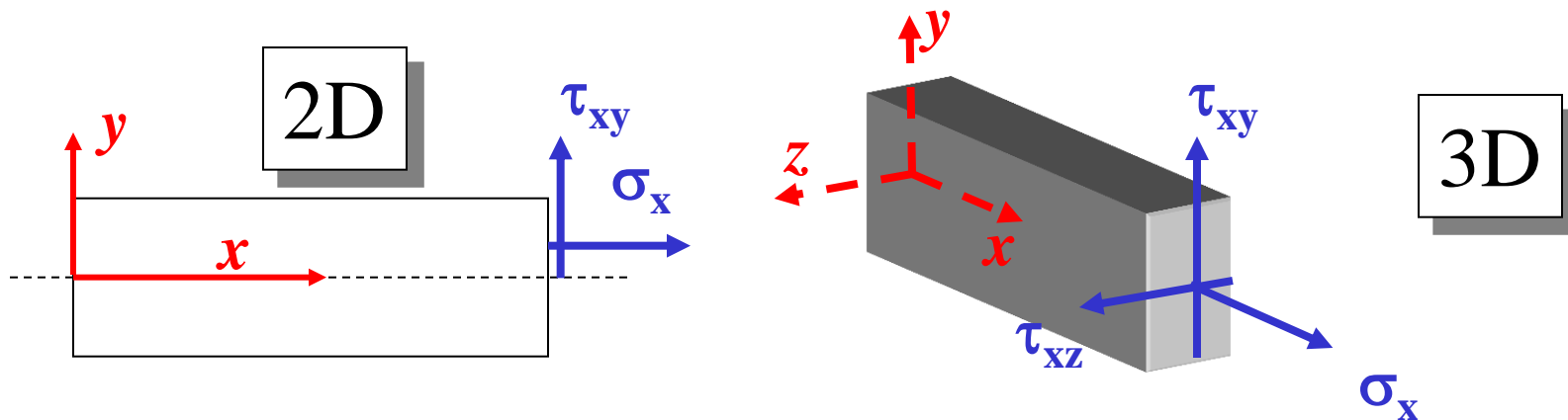
$$u_x(y) = u_{ix} - \theta y = u_{ix} - \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} \right)_{x=x_i} y$$

$$\theta y = \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} \right)_{x=x_i} y$$

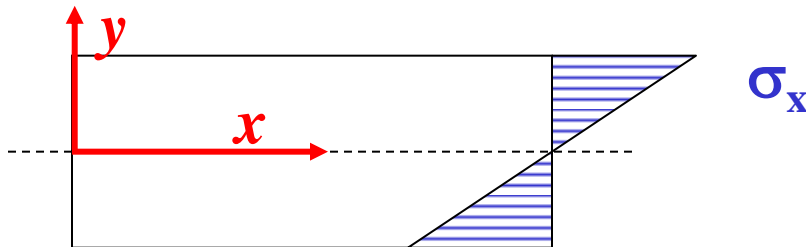
ELEMENTO TRAVE/6

Stato di tensione/deformazione implicitamente conseguente alla scelta di elementi trave:

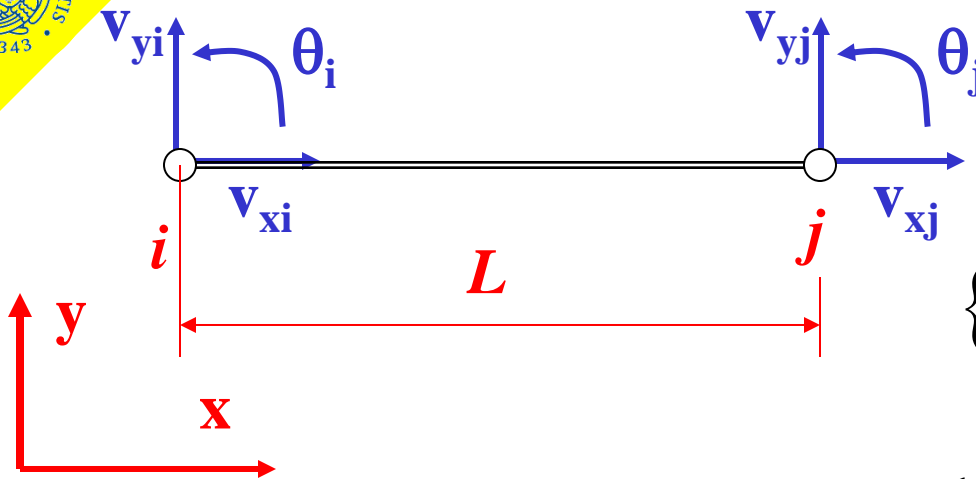
- le deformazioni dovute al taglio sono trascurate (ip. Eulero-Bernoulli)
- le uniche componenti di tensione non nulle sono:



- le σ_x hanno un andamento lineare nella sezione (formula di Navier)



ELEMENTO TRAVE/7



$$\{u(x)\} = \begin{Bmatrix} u_x \\ u_y \\ \theta \end{Bmatrix}$$

$$\{U^e\} = \begin{Bmatrix} u_{ix} \\ u_{iy} \\ \theta_i \\ u_{jx} \\ u_{jy} \\ \theta_j \end{Bmatrix}$$

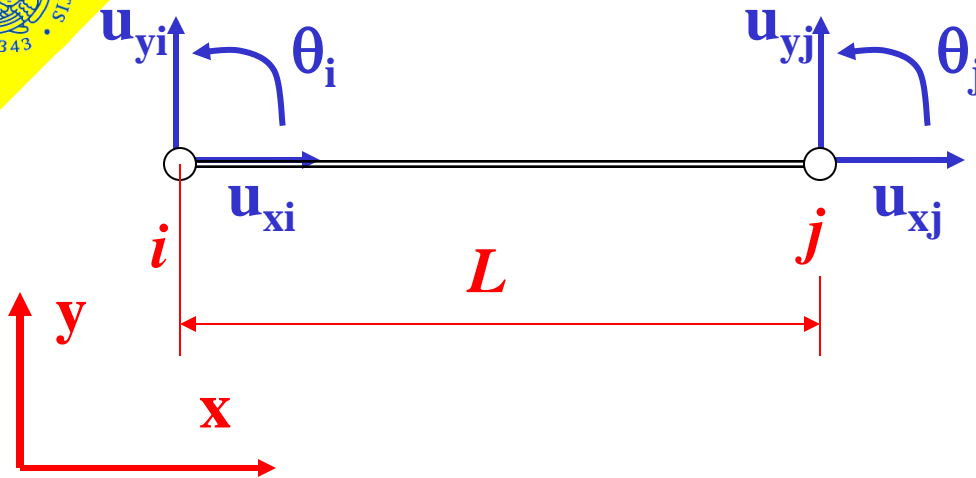
dipendenza solo da x

$$\{u(x)\} = [N(x)]\{U^e\}$$

$3 \times 1 \quad 3 \times 6 \quad 6 \times 1$

$$\begin{Bmatrix} u_x \\ u_y \\ \theta \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{11}(x) & \dots & N_{16}(x) \\ N_{21}(x) & \dots & N_{26}(x) \\ N_{31}(x) & \dots & N_{36}(x) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_{ix} \\ u_{iy} \\ \theta_i \\ u_{jx} \\ u_{jy} \\ \theta_j \end{Bmatrix}$$

ELEMENTO TRAVE/8



$$\{u(x)\} = \begin{Bmatrix} u_x \\ u_y \\ \theta \end{Bmatrix}$$

$$\{U^e\} = \begin{Bmatrix} u_{ix} \\ u_{iy} \\ \theta_i \\ u_{jx} \\ u_{jy} \\ \theta_j \end{Bmatrix}$$

Piccoli spostamenti/deformazioni

$$u_x(x) = f(u_{ix}, u_{jx})$$

2 condizioni per $u_x(x)$

F.ni di forma lineari in "x"

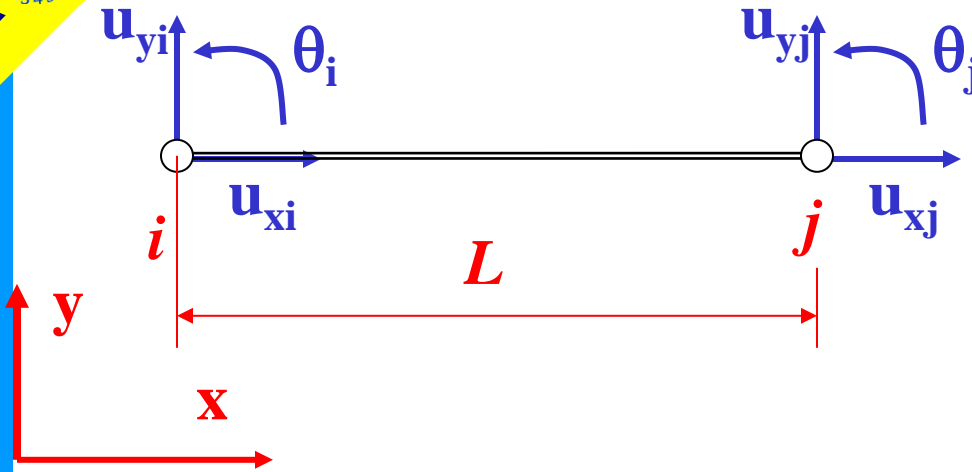
$$N_{12} = N_{13} = N_{15} = N_{16} = 0$$

indipendenza da u_y e da θ

$$u_x(x) = N_{11}u_{ix} + N_{14}u_{jx} = \left(1 - \frac{x}{L}\right)u_{ix} + \frac{x}{L}u_{jx} \quad \text{analogia con asta}$$



ELEMENTO TRAVE/9



$$\{u(x)\} = \begin{Bmatrix} u_x \\ u_y \\ \theta \end{Bmatrix} \quad \{U^e\} = \begin{Bmatrix} u_{ix} \\ u_{iy} \\ \theta_i \\ u_{jx} \\ u_{jy} \\ \theta_j \end{Bmatrix}$$

Piccoli spostamenti/deformazioni

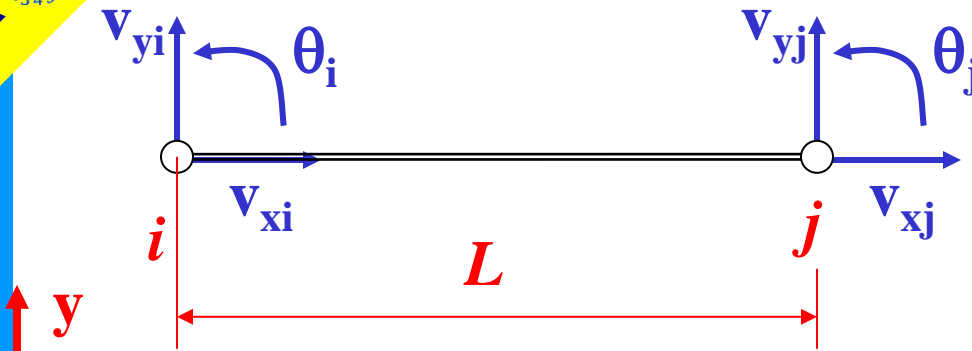
u_y e θ non dipendono da u_x

$$\theta = \frac{d u_y}{d x}$$

$$N_{21} = N_{31} = N_{24} = N_{34} = 0$$

$$N_{32} = \frac{d N_{22}}{d x}, \quad N_{33} = \frac{d N_{23}}{d x}, \quad N_{35} = \frac{d N_{25}}{d x}, \quad N_{36} = \frac{d N_{26}}{d x}$$

ELEMENTO TRAVE/10



$$\begin{Bmatrix} u_x \\ u_y \\ \theta \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{11} & 0 & 0 & N_{14} & 0 & 0 \\ 0 & N_{22} & N_{23} & 0 & N_{25} & N_{26} \\ 0 & \frac{d}{dx} N_{22} & \frac{d}{dx} N_{23} & 0 & \frac{d}{dx} N_{25} & \frac{d}{dx} N_{26} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_{ix} \\ u_{iy} \\ \theta_i \\ u_{jx} \\ u_{jy} \\ \theta_j \end{Bmatrix}$$

4 condizioni per $u_y(x)$

$$\begin{cases} u_y(0) = u_{iy} & \theta(0) = \theta_i \\ u_y(L) = u_{jy} & \theta(L) = \theta_j \end{cases}$$

$u_y(x)$ di 3° grado in "x"
 $\theta(x)$ di 2° grado in "x"

$$u_y(x) = A + Bx + Cx^2 + Dx^3$$

$$\theta(x) = B + 2Cx + 3Dx^2$$



ELEMENTO TRAVE/11

$$u_y(x) = N_{22}(x)u_{iy} + N_{23}(x)\theta_i + N_{25}(x)u_{jy} + N_{26}(x)\theta_j$$

$$\theta(x) = N_{32}(x)u_{iy} + N_{33}(x)\theta_i + N_{35}(x)u_{jy} + N_{36}(x)\theta_j$$

dove

$$N_{2j}(x) = A_{2j} + B_{2j}x + C_{2j}x^2 + D_{2j}x^3$$

$$N_{3j}(x) = B_{2j} + 2C_{2j}x + 3D_{2j}x^2$$

polinomi di 3°
e di derivazione

imponendo le condizioni ai nodi si ha

$$N_{2j}(0) = 0 \text{ per } j = 3,5,6; \quad N_{22}(0) = 1$$

$$N_{2j}(L) = 0 \text{ per } j = 2,3,6; \quad N_{25}(L) = 1$$

$$N_{3j}(0) = 0 \text{ per } j = 2,5,6; \quad N_{33}(0) = 1$$

$$N_{3j}(L) = 0 \text{ per } j = 2,3,5; \quad N_{36}(L) = 1$$



sistema lineare di
16 equazioni nelle
16 incognite

$$A_{2j}, B_{2j}, C_{2j}, D_{2j} \\ j = 2,3,5,6$$

ELEMENTO TRAVE/12

$$u_y(x) = N_{22}(x)u_{iy} + N_{23}(x)\theta_i + N_{25}(x)u_{jy} + N_{26}(x)\theta_j$$

$$\theta(x) = N_{32}(x)u_{iy} + N_{33}(x)\theta_i + N_{35}(x)u_{jy} + N_{36}(x)\theta_j$$

$$u_y(x) = \left(1 - 3\left(\frac{x}{L}\right)^2 + 2\left(\frac{x}{L}\right)^3\right)u_{iy} + \left(x - 2L\left(\frac{x}{L}\right)^2 + L\left(\frac{x}{L}\right)^3\right)\theta_i +$$

$$+ \left(3\left(\frac{x}{L}\right)^2 - 2\left(\frac{x}{L}\right)^3\right)u_{jy} + \left(-L\left(\frac{x}{L}\right)^2 + L\left(\frac{x}{L}\right)^3\right)\theta_j$$

$$\theta(x) = \frac{1}{L}\left(-6\left(\frac{x}{L}\right) + 6\left(\frac{x}{L}\right)^2\right)u_{iy} + \left(1 - 4\left(\frac{x}{L}\right) + 3\left(\frac{x}{L}\right)^2\right)\theta_i +$$

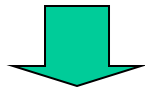
$$+ \frac{1}{L}\left(6\left(\frac{x}{L}\right) - 6\left(\frac{x}{L}\right)^2\right)u_{jy} + \left(-2\left(\frac{x}{L}\right) + 3\left(\frac{x}{L}\right)^2\right)\theta_j$$



ELEMENTO TRAVE/13

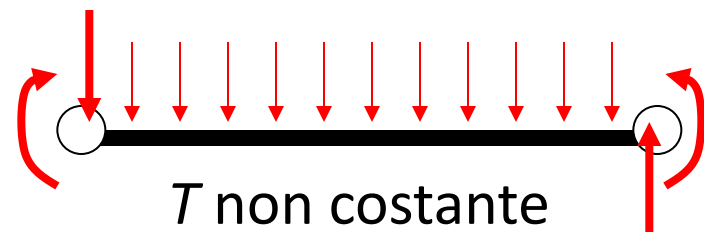
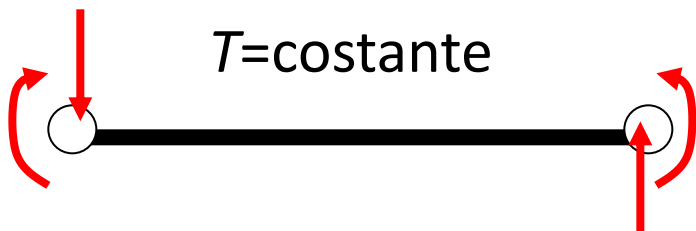
Oss.ne: la f.ne utilizzata per rappresentare la deformata della trave è una cubica.

$$u_y(x) = A + Bx + Cx^2 + Dx^3$$



$$T_y \propto \frac{d^3 u_y(x)}{dx^3} = \text{costante}$$

Le f.ni di forma rappresentano correttamente punto per punto la deformata del tratto di trave solo nel caso di taglio costante. Negli altri casi la rappresentazione di spostamenti, deformazioni e tensioni nei punti interni è approssimata, con errore che decresce al diminuire delle dimensioni dell'elemento



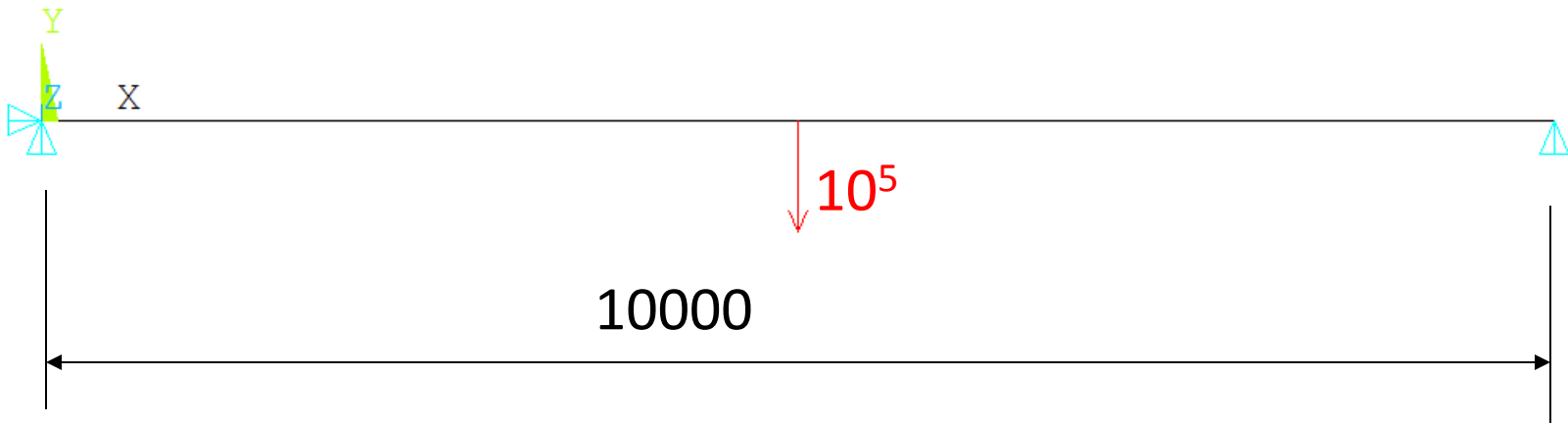
ELEMENTO TRAVE/14

Esempio 1: trave appoggiata con carico concentrato, taglio costante

$$A=10^4$$

$$J=10^8$$

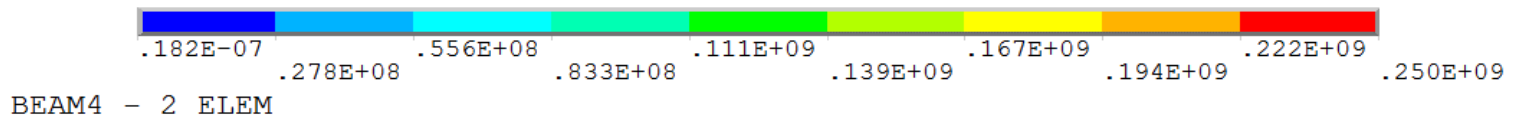
$$M_{\max} = 2.5 \cdot 10^8$$



ELEMENTO TRAVE/15

Esempio 1: trave appoggiata con carico concentrato, taglio costante, momento lineare

BEAM4, 2 ELEMENTI - ERRORE = 0 %

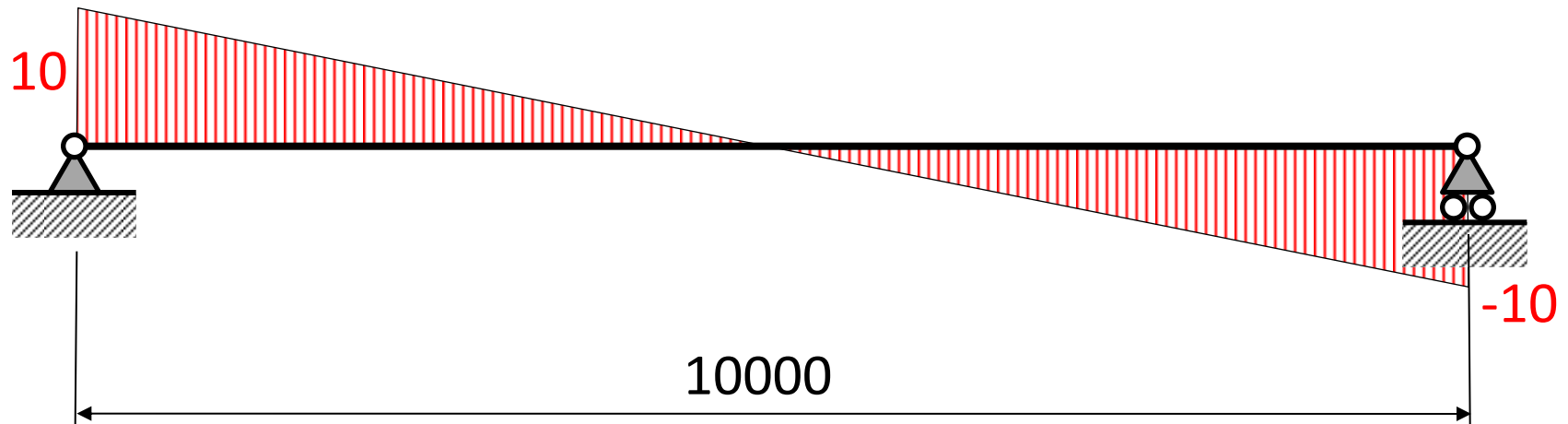


ELEMENTO TRAVE/16

Esempio 2: trave appoggiata con carico distribuito variabile linearmente, taglio parabolico

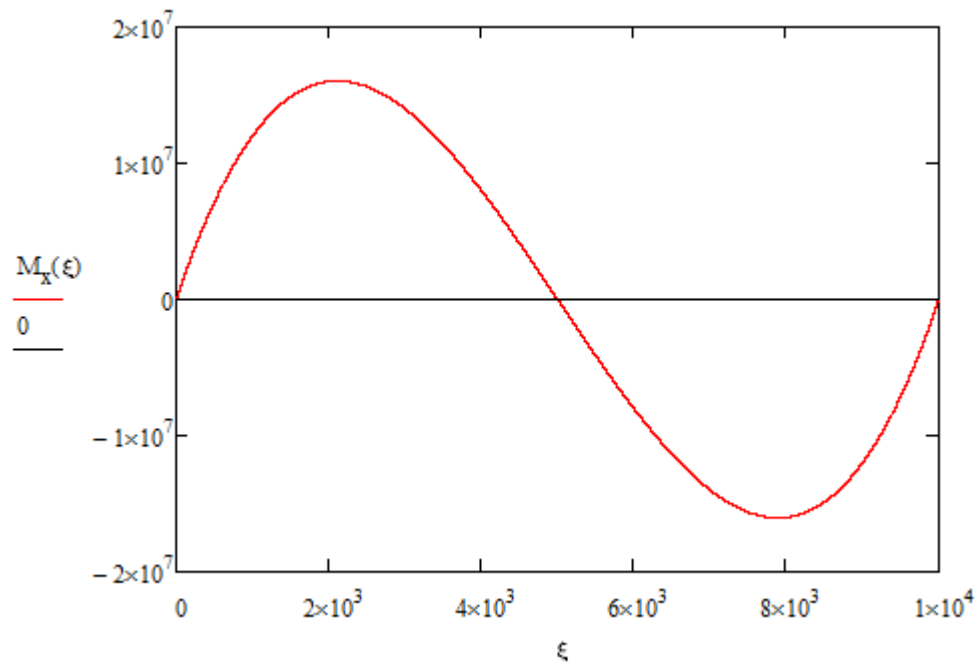
$$A=10^4$$

$$J=10^8$$



ELEMENTO TRAVE/17

Esempio 2: trave appoggiata con carico distribuito variabile linearmente, taglio parabolico, momento cubico

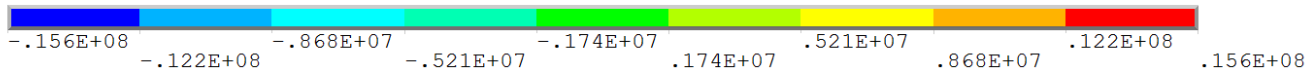
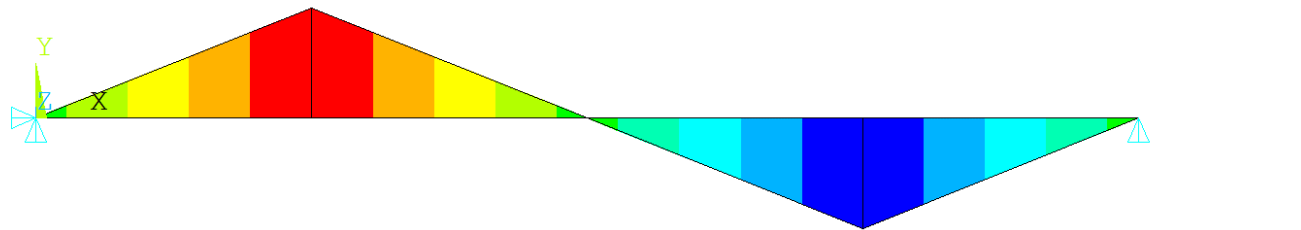


$$M_{\max} = 1.604 \cdot 10^7$$

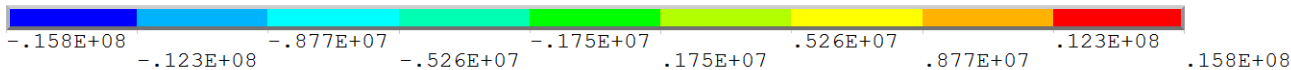
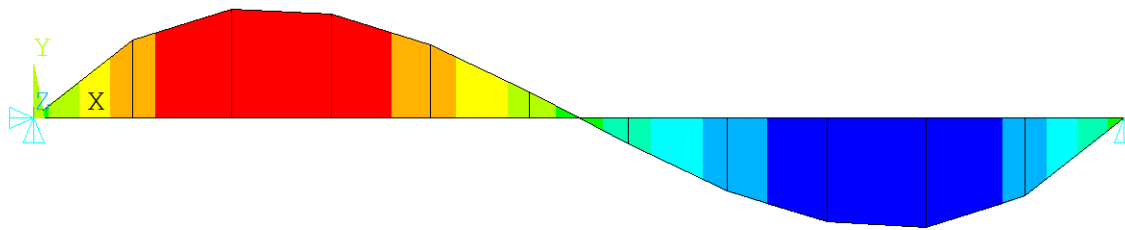
$$z_{\max} = 2113$$

ELEMENTO TRAVE/18

Esempio 2: trave appoggiata con carico distribuito variabile linearmente, taglio parabolico, momento cubico



BEAM4 - 4 ELEMENTI



BEAM4 - 11 ELEMENTI

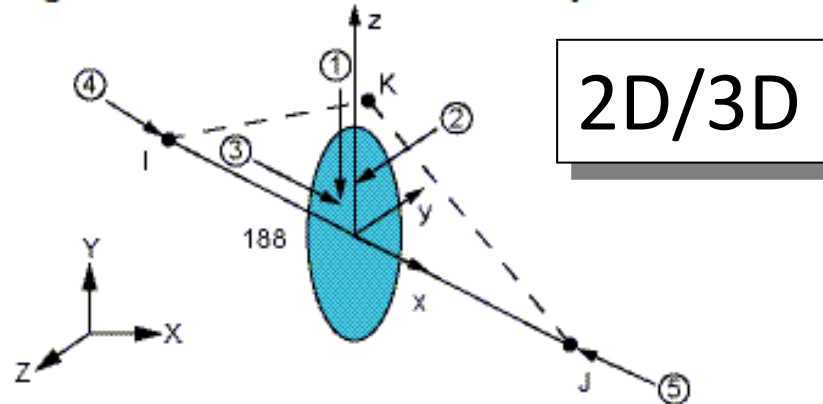
*Convergenza
al diminuire
della
dimensione
dell'elemento
(numero di
elementi
crescente)*

$$M_{\max} = 1.604 \cdot 10^7$$

$$z_{\max} = 2113$$

ELEMENTO TRAVE/19

Figure 188.1 BEAM188 Geometry



NOTA: 3° nodo (K) ∈
piano xz

- L'elemento BEAM188 è basato sulla teoria delle travi di **TIMOSHENKO**, che include una valutazione approssimata della deformabilità a taglio (deformazioni costanti sulla sezione) e quindi una maggiore accuratezza per travi non troppo snelle (ma non troppo tozze!)
- Input ed impiego simili al BEAM4

Telai spaziali

- *Car. geometriche: $A, J_{zz}, J_{yy}, J_{xx}, \dots$ (Comando SECTYPE)*
- *Il momento può essere rappresentato esattamente lungo l'asse x locale in base alla K03:*
 - $KOP3=0$ Funzione di forma lineare (no momento)
 - $KOP3=2$ Funzione di forma quadratica (momento costante esatto)
 - $KOP3=3$ Funzione di forma cubica (momento lineare esatto)



ELEMENTO TRAVE/20

Dati di input per l'elemento trave 3D (BEAM188) di ANSYS

BEAM188 Input Summary

Nodes

I, J, K (K, the orientation node, is optional but recommended)

Degrees of Freedom

UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ if KEYOPT(1) = 0

UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ, WARP if KEYOPT(1) = 1

Section Controls

TXZ, TXY, ADDMAS (See [SECCONTROLS](#))

(TXZ and TXY default to $A*GXZ$ and $A*GXY$, respectively, where A = cross-sectional area)

Material Properties

EX, (PRXY, or NUXY), GXY, GXZ

ALPX, (or CTEX, or THSX)

DENS, ALPD, BETD

Il valore della deformabilità a taglio può essere controllato tramite il comando:

SECCONTROLS

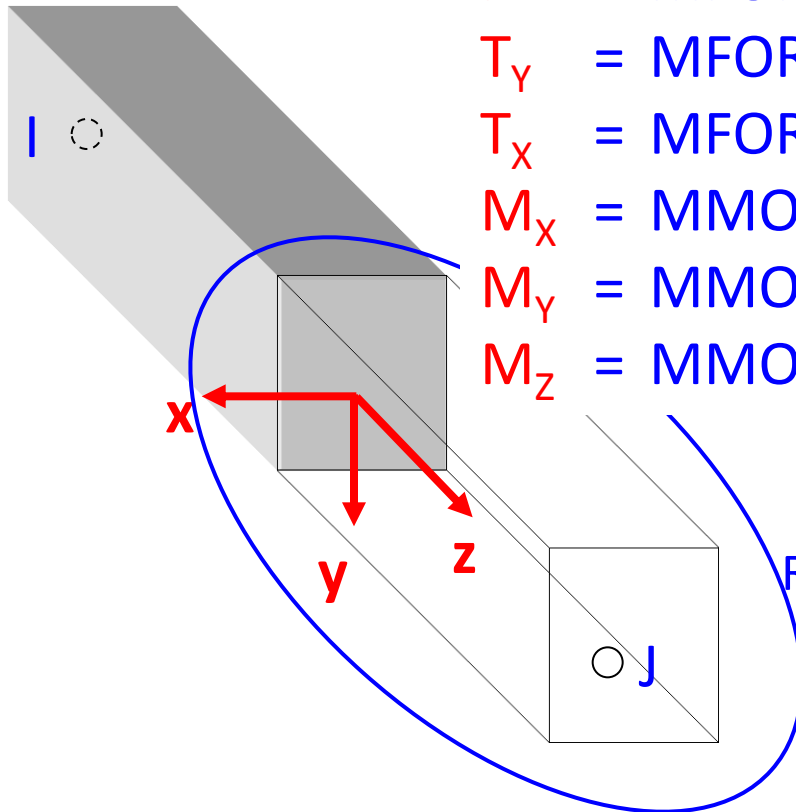
ELEMENTO TRAVE/21

SR tradizionale per le caratteristiche di sollecitazione

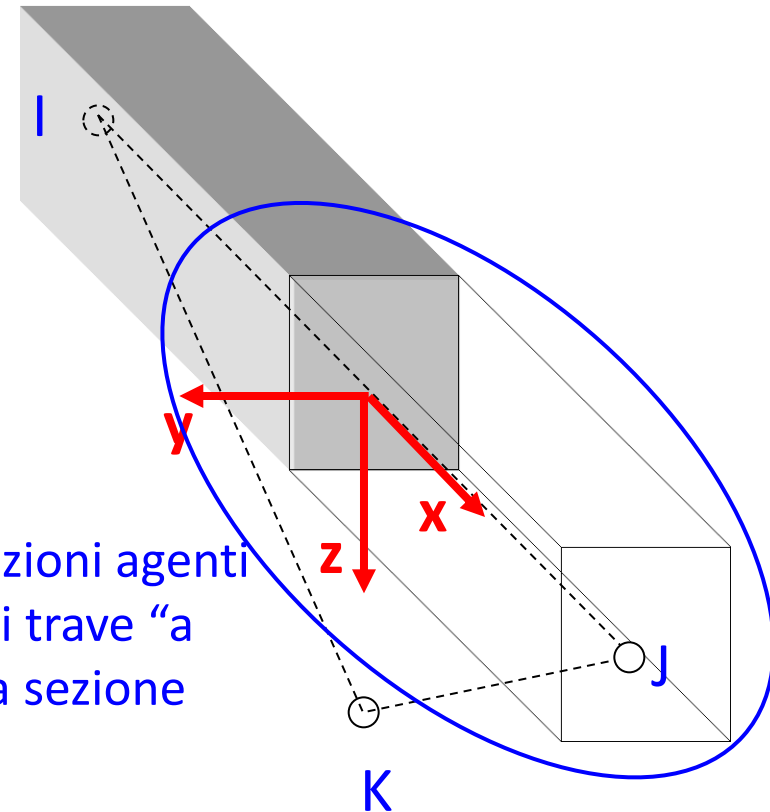
Car. sollecitazione trave 3D

SR usato da ANSYS per le caratteristiche di sollecitazione è definito per ogni singolo elemento trave con senso di percorrenza dal nodo I al nodo J

$$\begin{aligned}
 N &= \text{MFORX o } F_x \\
 T_y &= \text{MFORZ o } SF_z \\
 T_x &= \text{MFORY o } SF_y \\
 M_x &= \text{MMOMY o } M_y \\
 M_y &= \text{MMOMZ o } M_z \\
 M_z &= \text{MMOMX o } TQ
 \end{aligned}$$



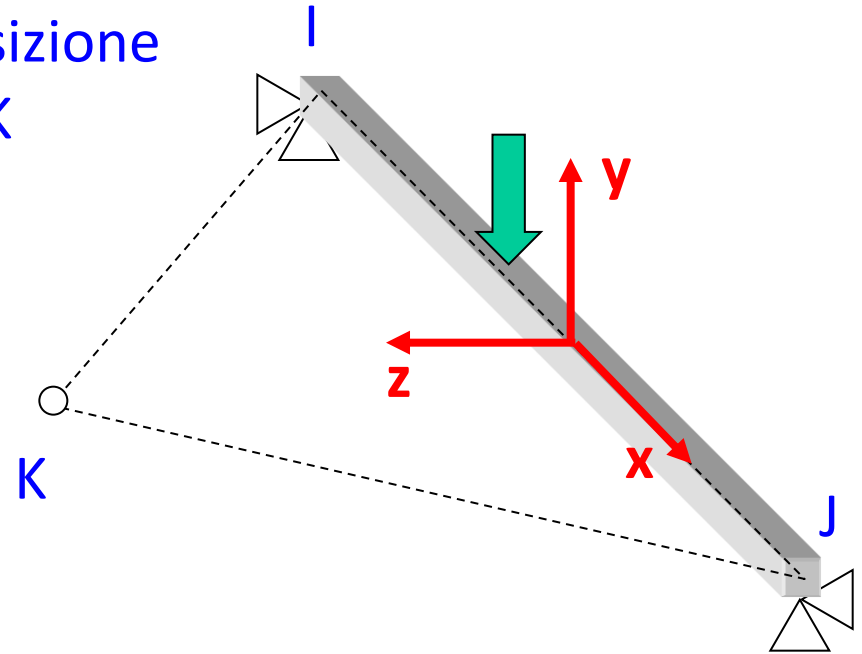
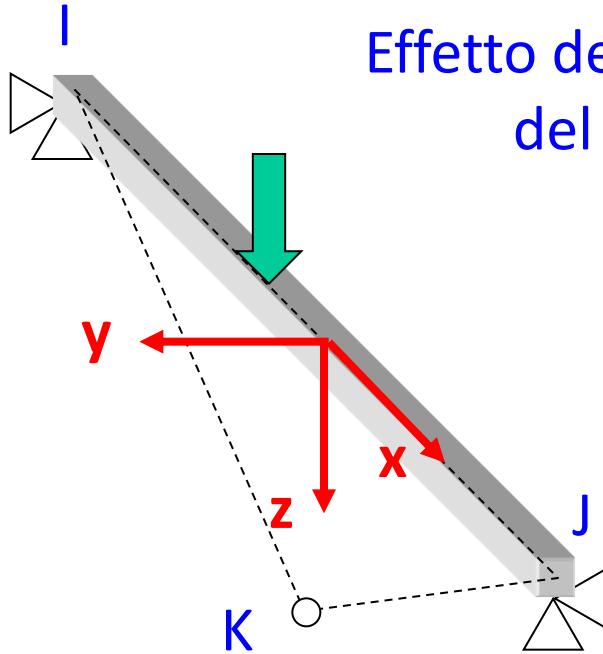
Risultanti di azioni agenti sul tratto di trave "a valle" della sezione



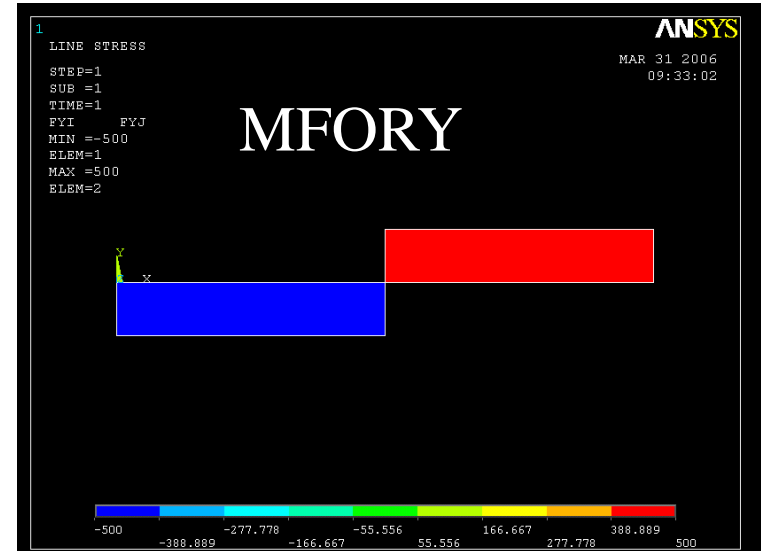
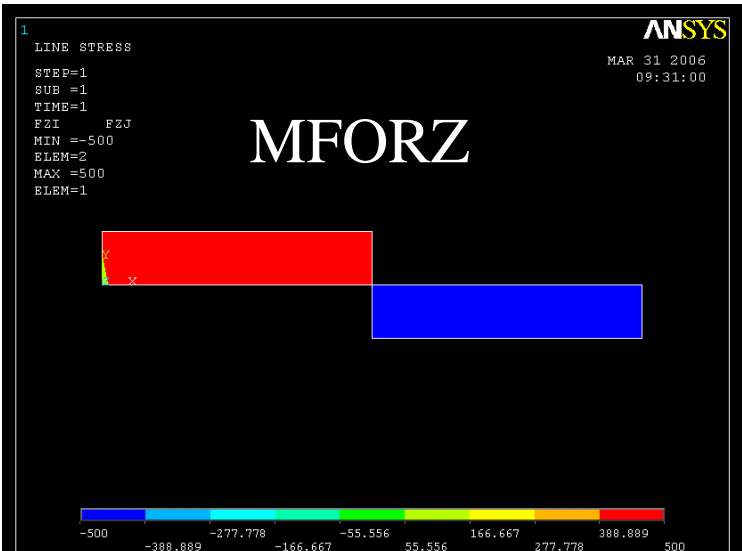


ELEMENTO TRAVE/22

Effetto della posizione del nodo K

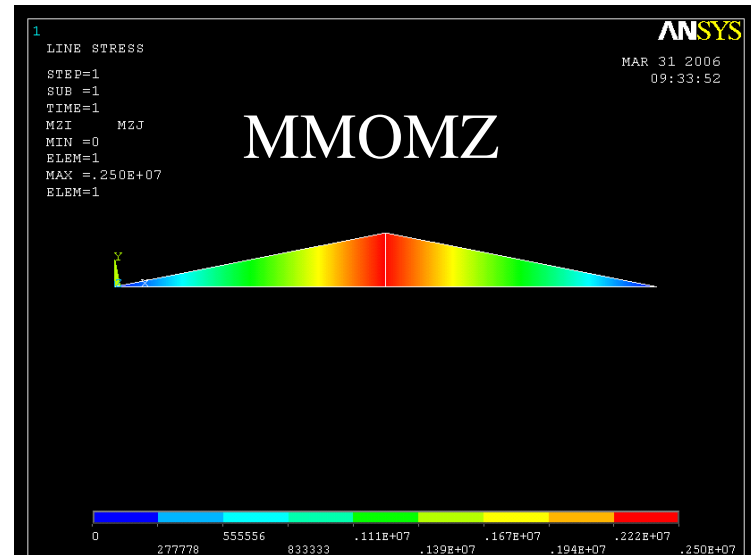
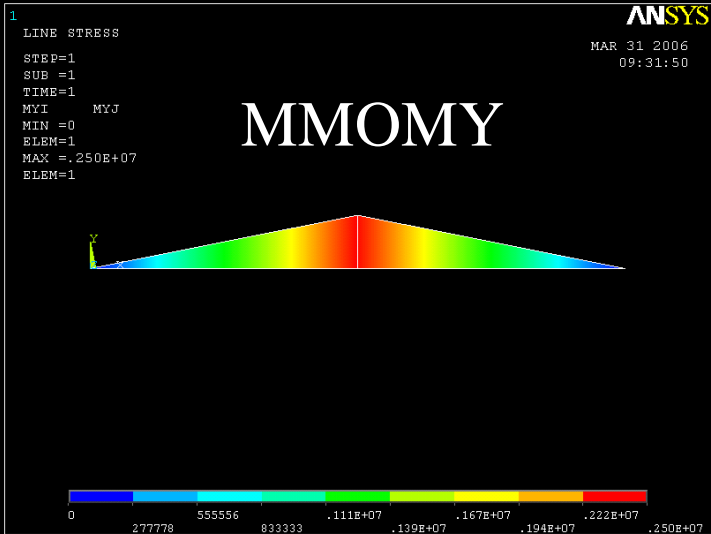
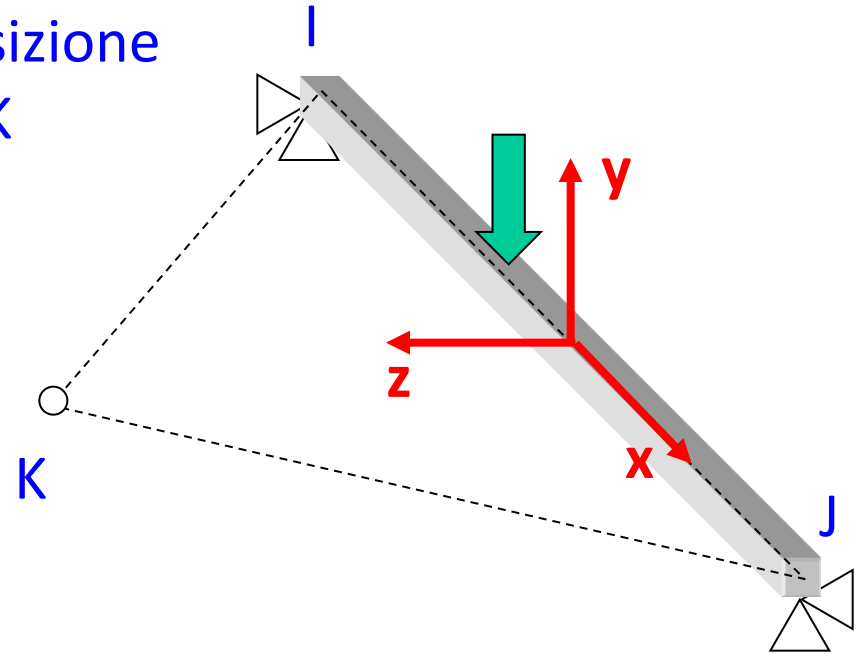
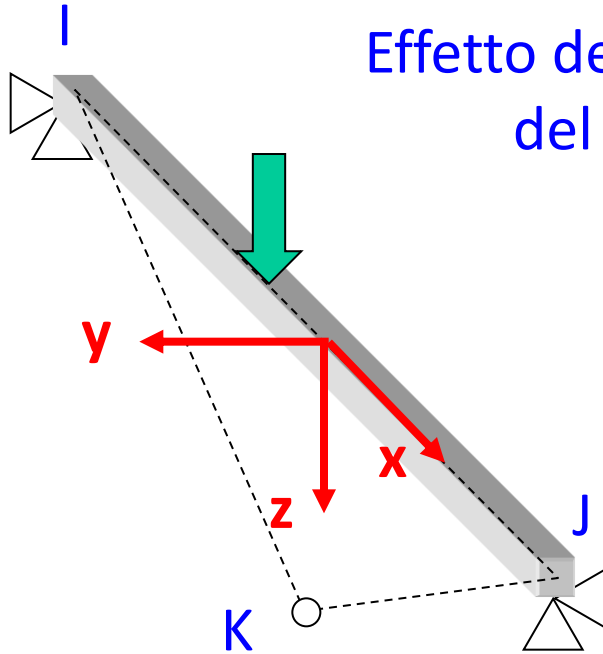


grafici
su
piano
xy



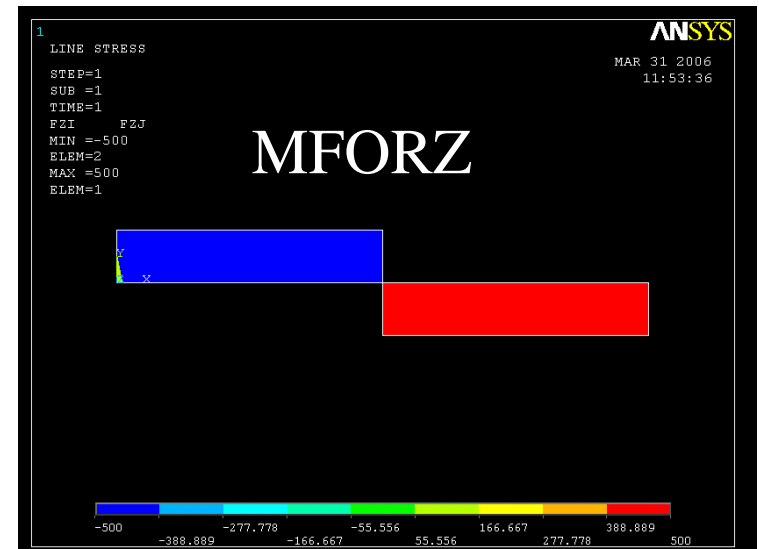
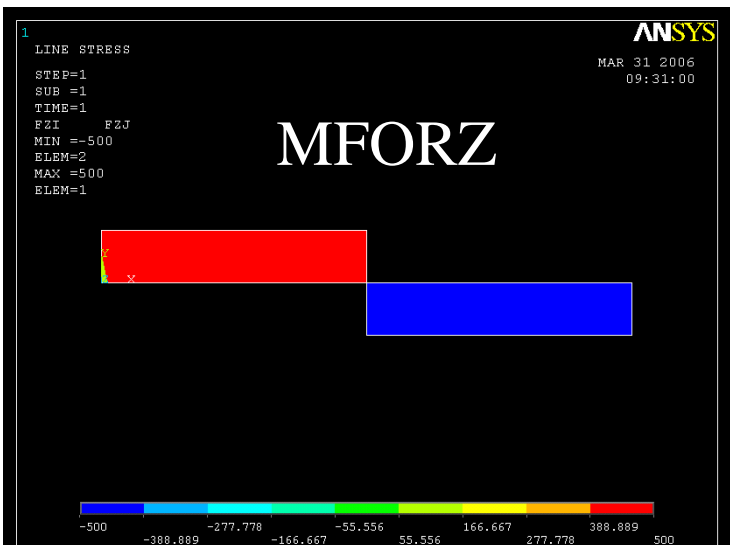
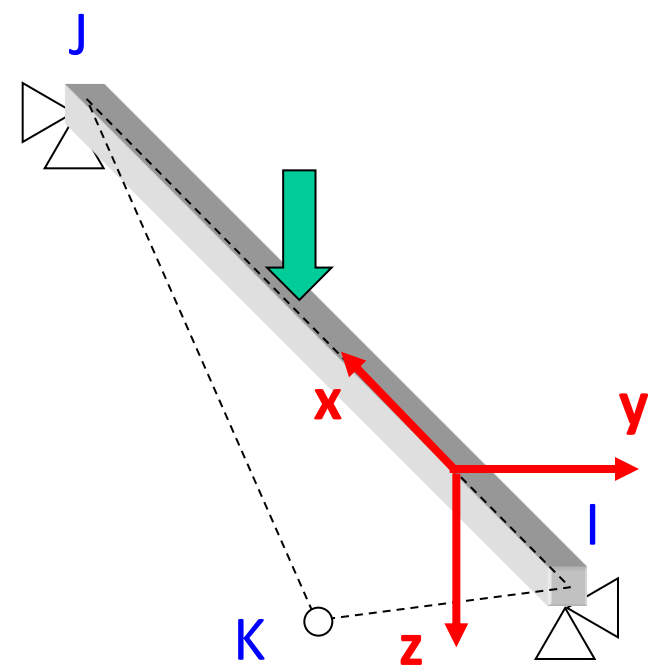
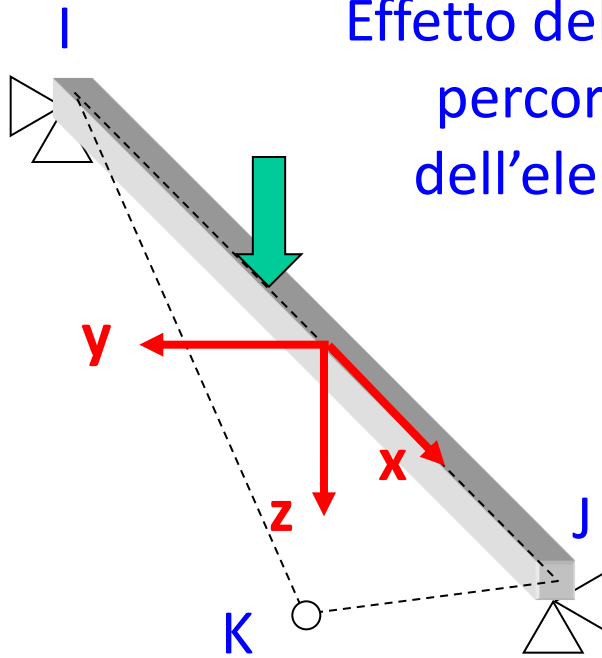
ELEMENTO TRAVE/23

Effetto della posizione del nodo K



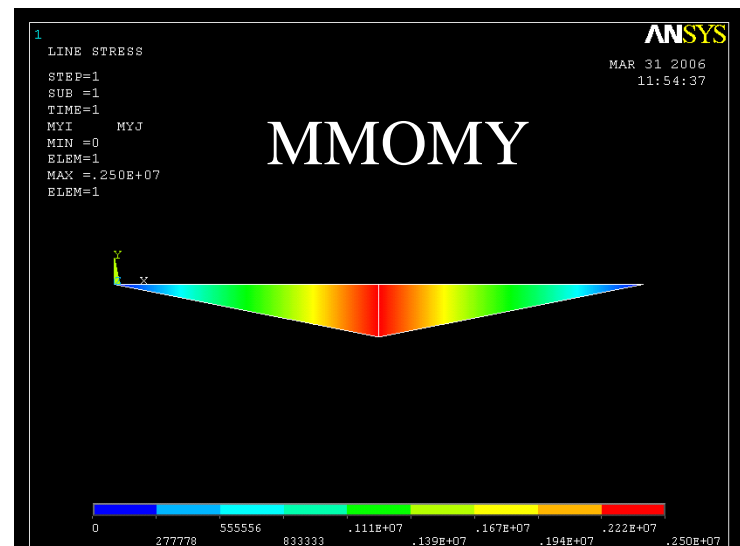
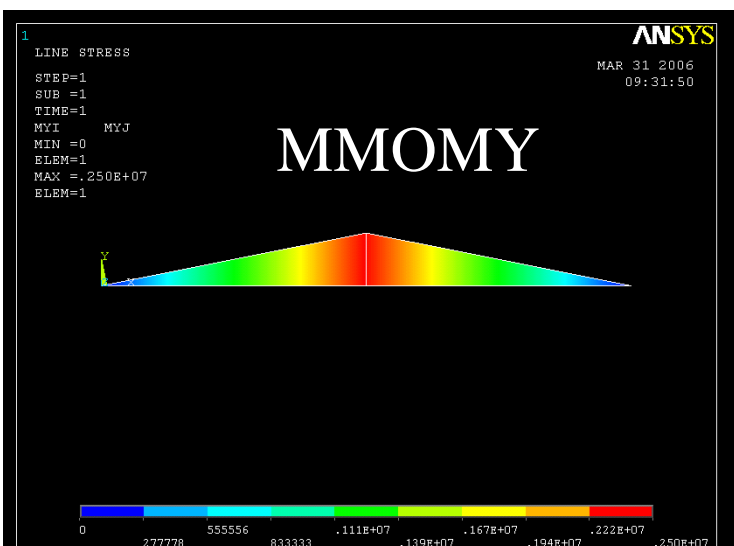
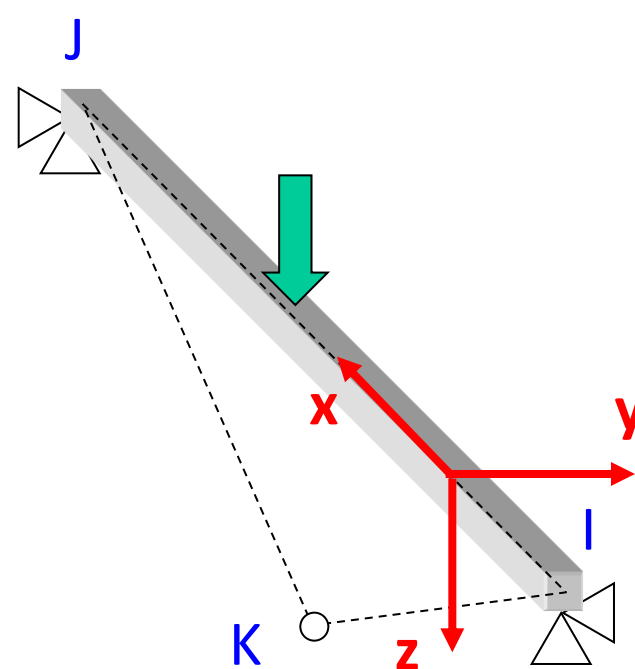
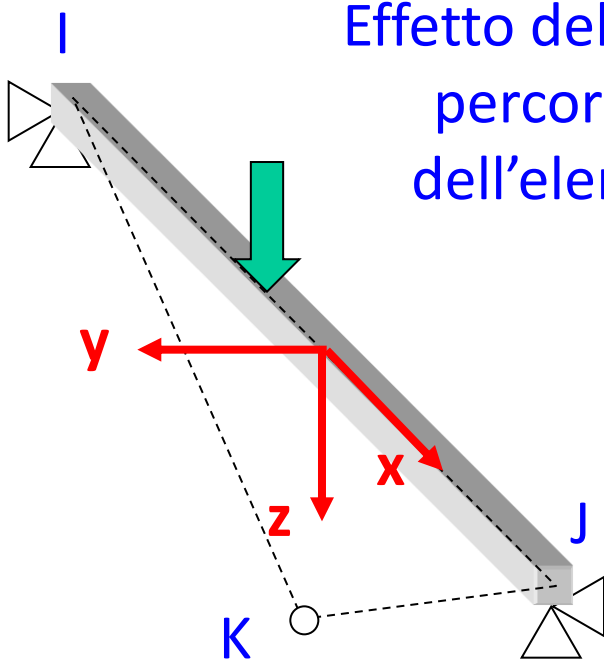
ELEMENTO TRAVE/24

Effetto del senso di percorrenza dell'elemento



ELEMENTO TRAVE/25

Effetto del senso di percorrenza dell'elemento



DEFINIZIONE ELEMENTI TRAVE/1

Introduzione proprietà Geometriche tramite **descrizione diretta** della sezione:

SECTYPE, *SECID*, *Type*, *Subtype*, *Name*

N° id.

Tipo:
BEAM
PIPE

Sottotipo :

Per Type = BEAM

- RECT Rectangle
- QUAD Quadrilateral
- CSOLID Circular solid
- CTUBE Circular tube
- CHAN Channel
- I I-shaped section
- Z Z-shaped section
- L L-shaped section
- T T-shaped section

Denom.
da utente
es. IPE160

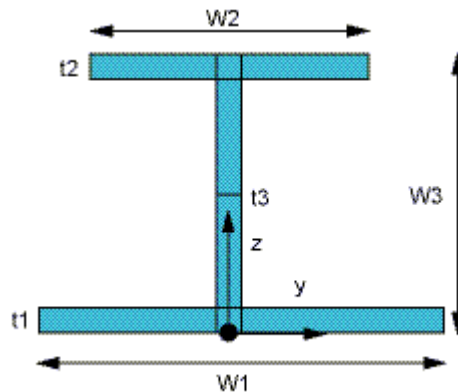
DEFINIZIONE ELEMENTI TRAVE/2

SECDATA, VAL1, VAL2, VAL3, VAL4, VAL5, VAL6, VAL7, VAL8, VAL9, VAL10

si riferisce all'ultimo SECTYPE definito

Parametri geometrici della sezione (dipendono dal tipo di sezione):

Type: BEAM, Subtype: I



Data to provide in the value fields:

$W1, W2, W3, t1, t2, t3$

DEFINIZIONE ELEMENTI TRAVE/3

Nel modello, si passa da una sezione all'altra tramite il comando:

SECNUM, **SECID**

Attiva la sezione indicata per i successivi elementi

*Puntatore all'identificatore della
sezione definita dal comando **SECTYPE***

SECTYPE, **SECID**, *Type, Subtype, Name*

DEFINIZIONE ELEMENTI TRAVE/4

Altri comandi:

SECPLOT, **SECID**, VAL1, VAL2, VAL3

Produce un disegno della sezione indicata, con i valori calcolati delle proprietà.

/ESHAPE, **SCALE**, **KEY**

*0 - mostra gli elementi beam come una linea
1 - mostra gli elementi beam come volumi, con la loro sezione*



SUDDIVISIONE IN ELEMENTI (Elementi di linea)

LATT, MAT, REAL, TYPE, --, KB, KE, SECNUM

Attribuisce alcune proprietà alle linee selezionate, che le trasferiscono agli elementi, durante la loro creazione.

LESIZE, NL1, SIZE, ANGSIZ, NDIV

Controlla il grado di infittimento

LMESH, NL1, NL2

Crea nodi ed elementi per le linee da NL1 ad NL2

ACCESSO AI RISULTATI

elemento trave 3D – Comando ETABLE

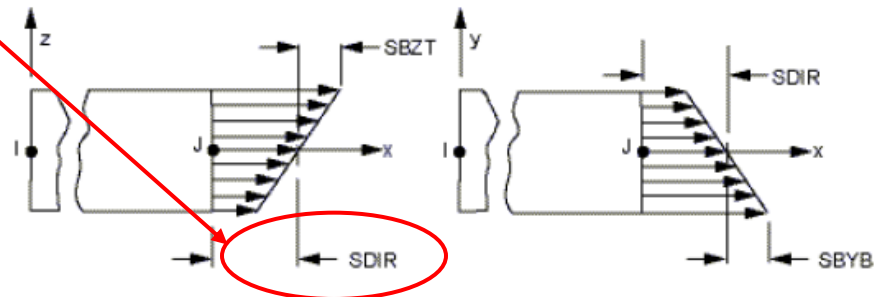
Table 188.2 BEAM188 Item and Sequence Numbers

Output Quantity Name	ETABLE and ESOL Command Input		
	Item	I	J
Fx	SMISC	1	14
SDIR	SMISC	31	36
SByT	SMISC	32	37
SByB	SMISC	33	38
SBzT	SMISC	34	39
SBzB	SMISC	35	40

Tensione fibra baricentrica

ETABLE, SZI, SMISC, 31 ! Nodo I

ETABLE, SZJ, SMISC, 36 ! Nodo J

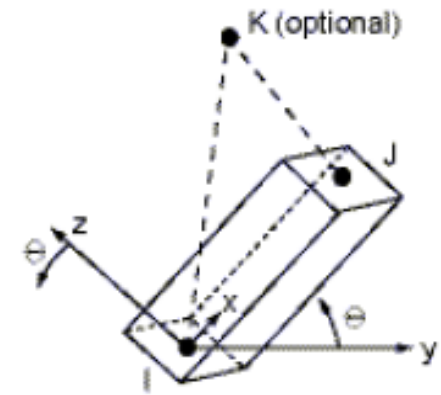


ACCESSO AI RISULTATI

elemento trave 3D – Comando ETABLE

Table 188.2 **BEAM188** Item and Sequence Numbers

Output Quantity Name	ETABLE and ESOL Command Input		
	Item	I	J
Fx	SMISC	1	14
My	SMISC	2	15
Mz	SMISC	3	16
TQ	SMISC	4	17
SFz	SMISC	5	18
SFy	SMISC	6	19
Ex	SMISC	7	20



Torsione

ETABLE, MZI, SMISC, 4 ! Nodo I

ETABLE, MZJ, SMISC, 10 ! Nodo J

Fx = Forza normale

Fy = Taglio “y”

Fz = Taglio “z”

TQ = Torsione

My = Flessione “y”

Mz = Flessione “z”



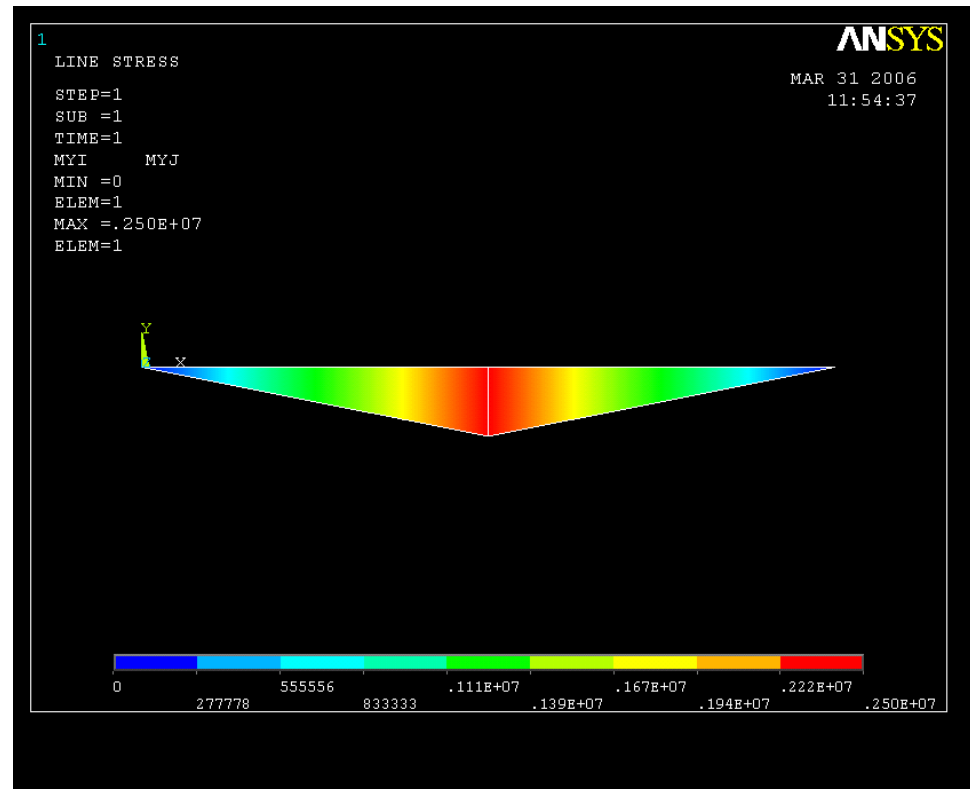
RAPPRESENTAZIONE GRAFICA RISULTATI

Comando PLLS

PLLS, *LabI*, *LabJ*, *Fact*, *KUND*

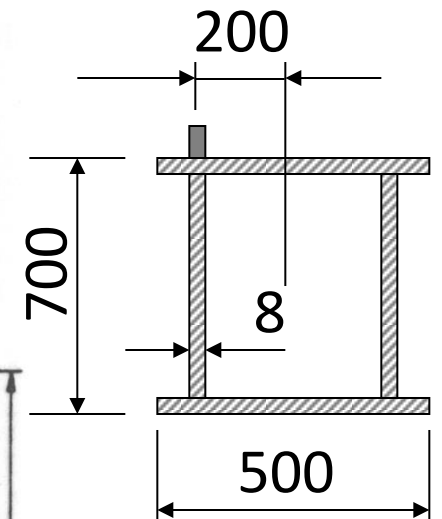
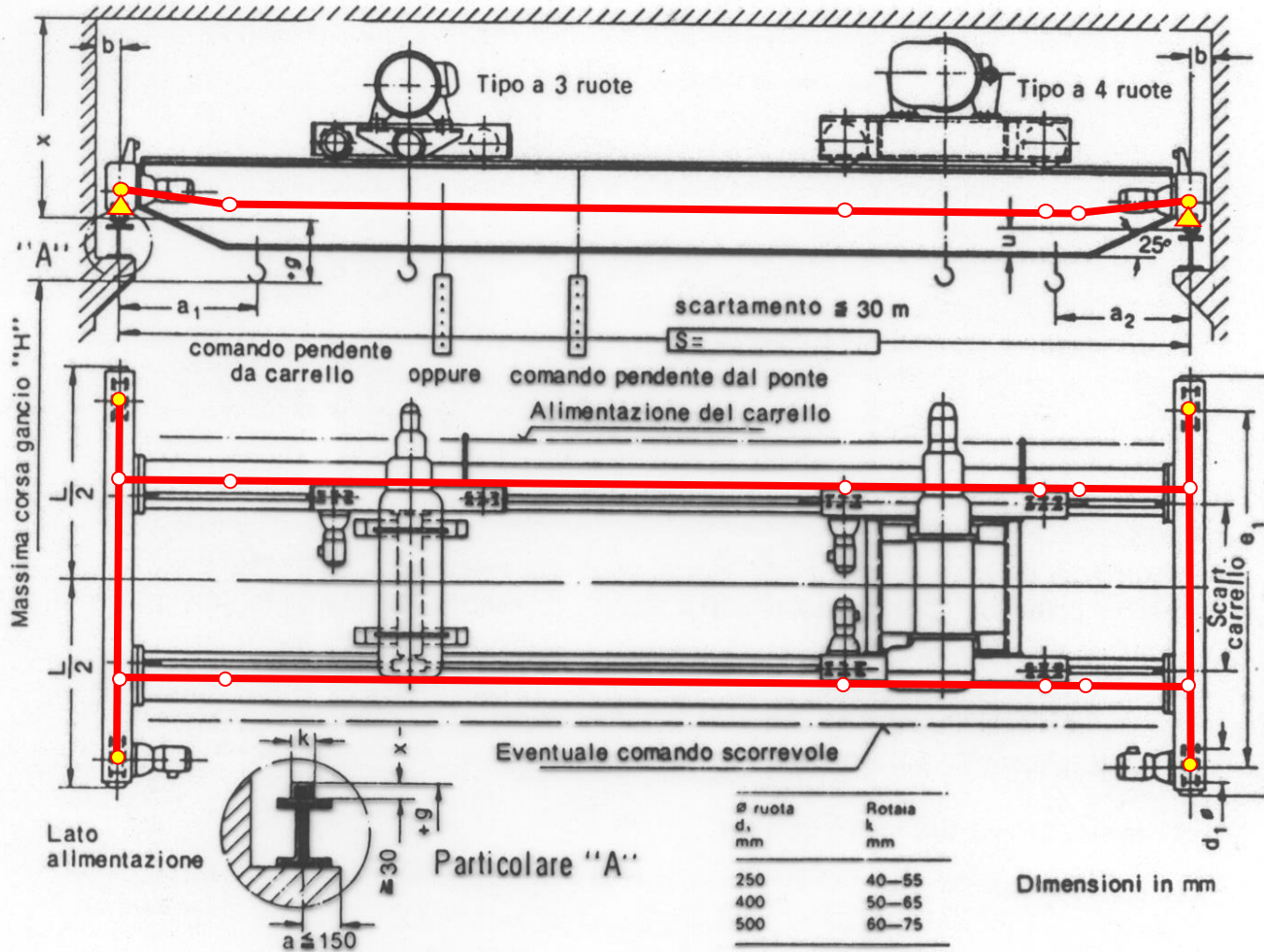
ETABLE, **MYI**, SMISC, 5
 ETABLE, **MYJ**, SMISC, 11

PLLS, **MYI** **MYJ**

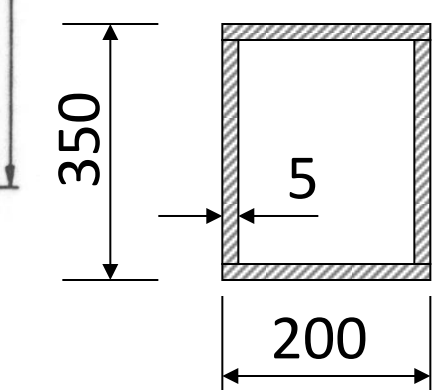


ELEMENTO TRAVE/26 – GRU A PONTE

3D



Trave principale

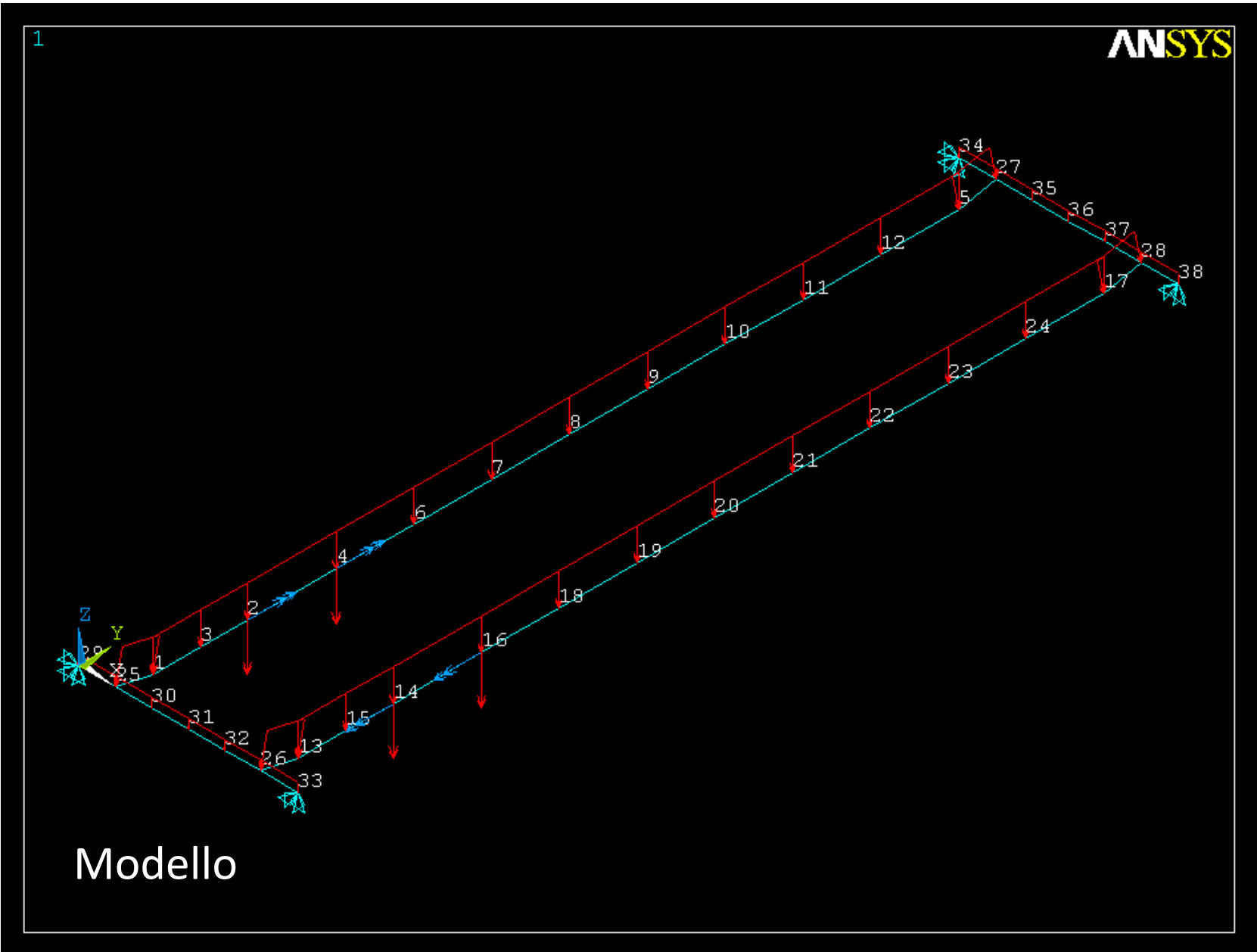


Testata

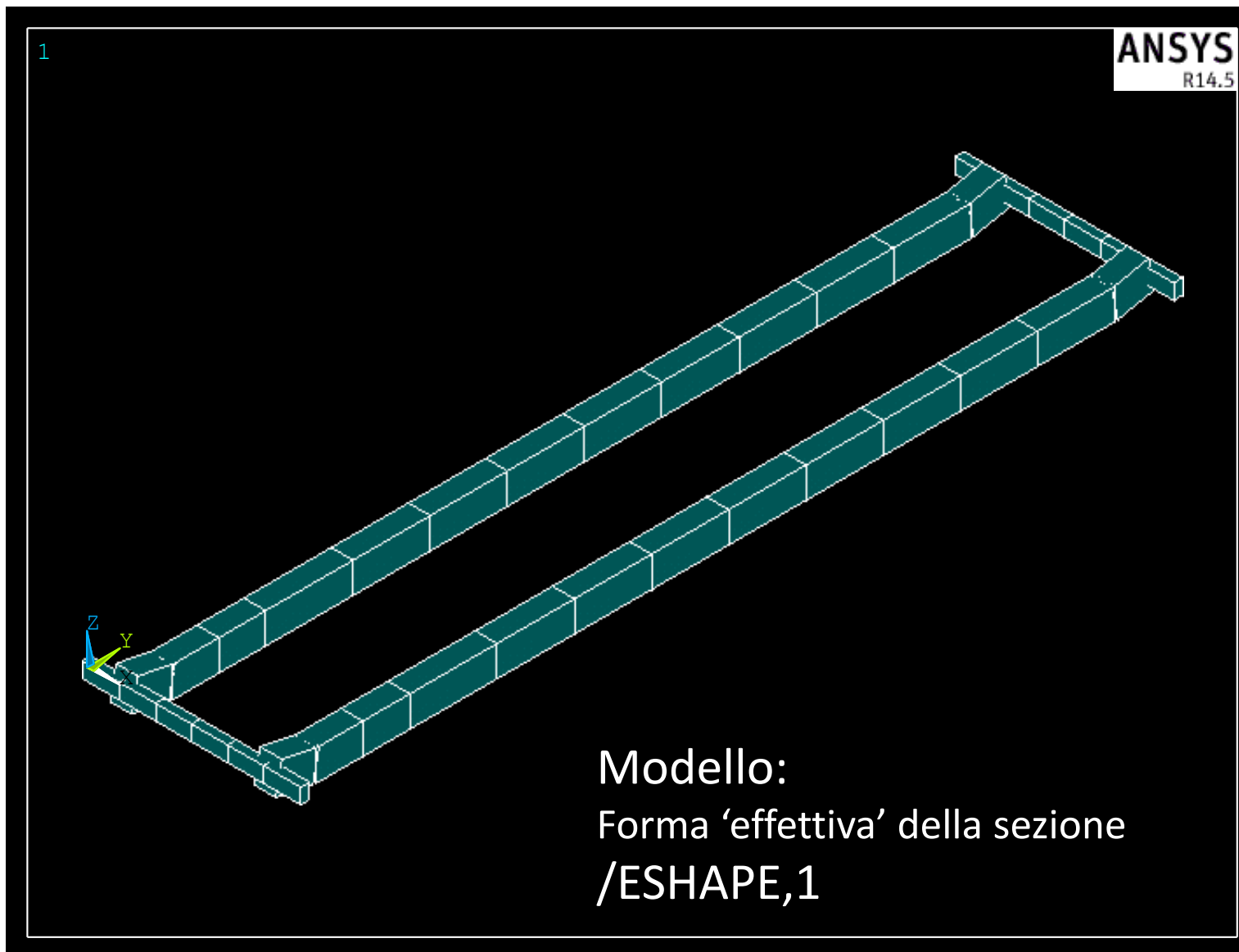
Interasse ruote testata (e_1) = 5 m
 Scartamento (S) = 20 m
 Scartamento carrello = 2.5 m

ELEMENTO TRAVE/27 – GRU A PONTE

File di comandi : GRU_A_PONTE.txt

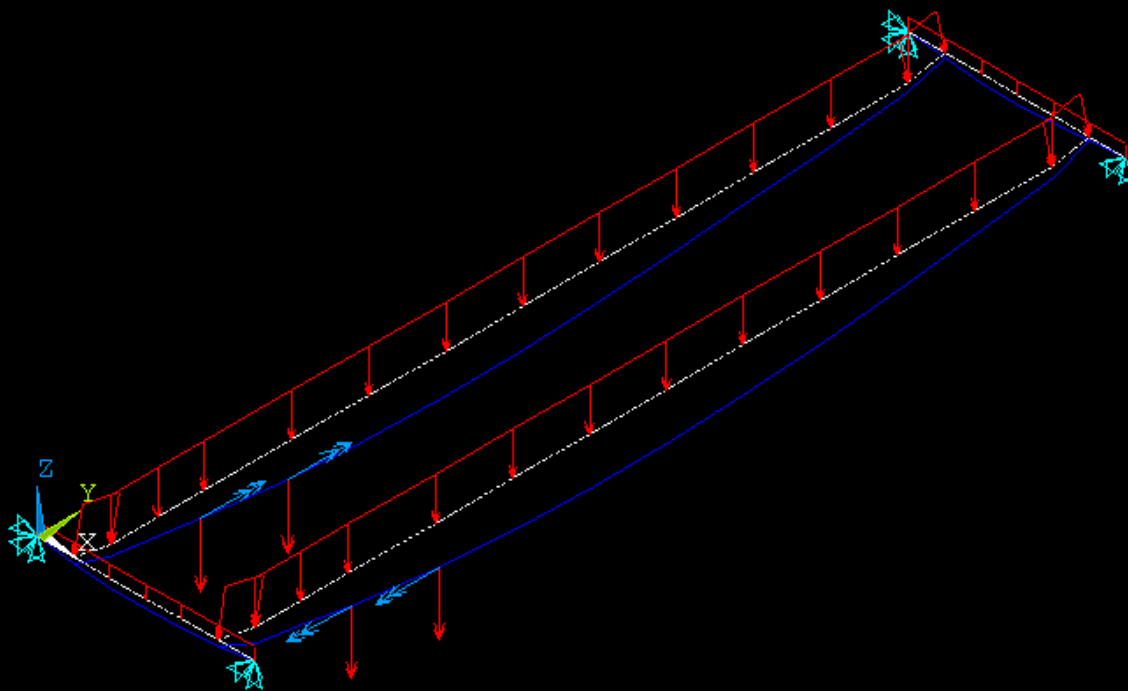


ELEMENTO TRAVE/28 – GRU A PONTE



ELEMENTO TRAVE/29 – GRU A PONTE

1



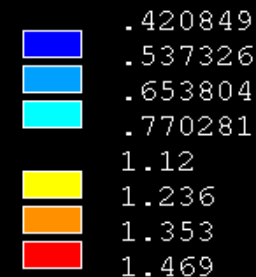
Deformata

```

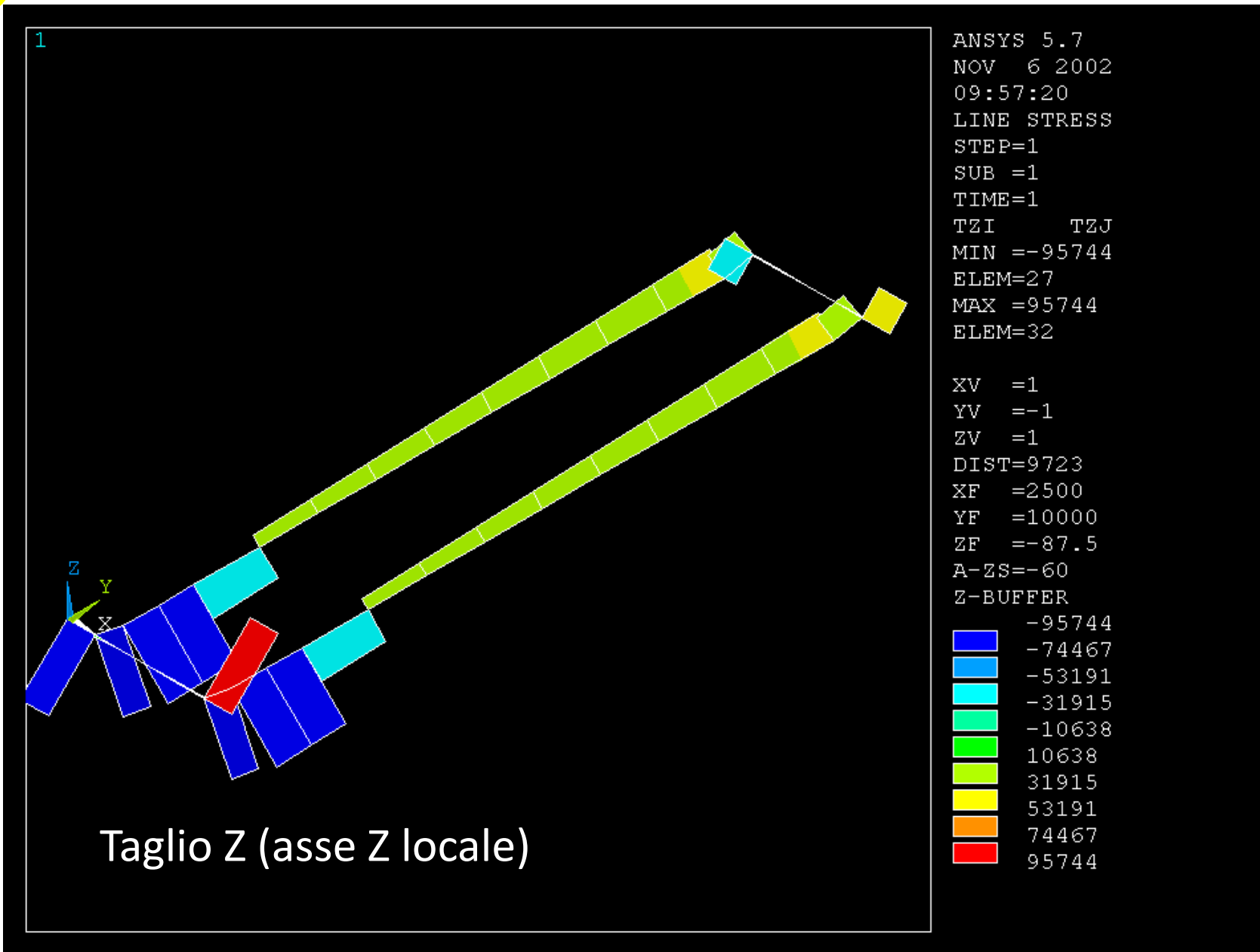
ANSYS 5.7
NOV 6 2002
09:56:33
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =1
TIME=1
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =48.486
U
F
M
    
```

```

DSCA=20.624
XV =1
YV =-1
ZV =1
DIST=9723
XF =2500
YF =10000
ZF =-584.594
A-ZS=-60
Z-BUFFER
PRES-NORM
    
```

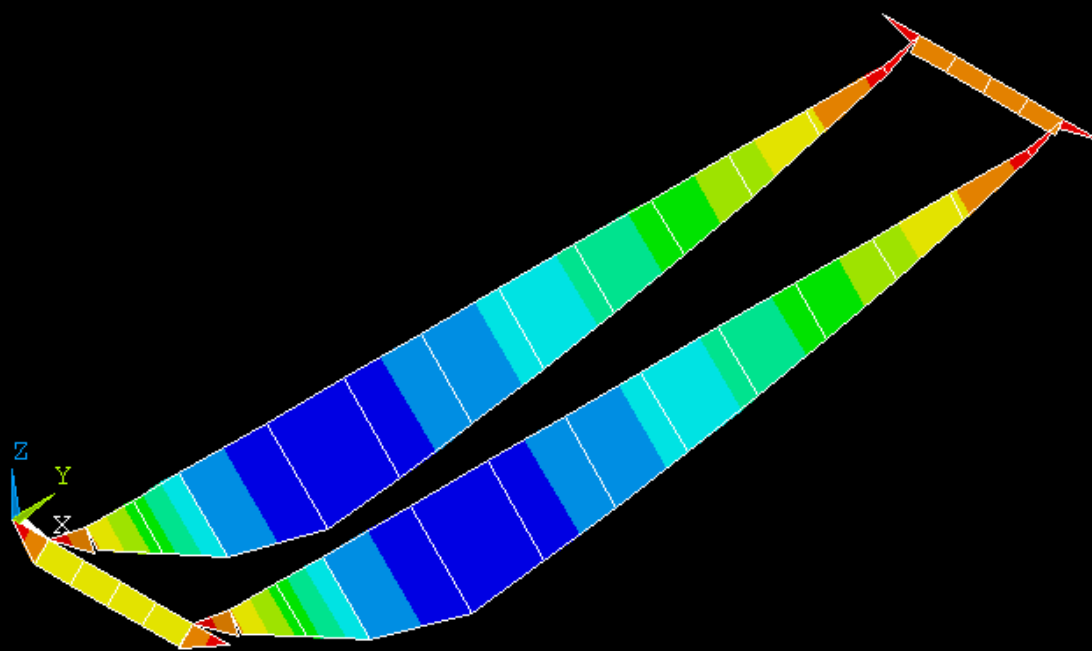


ELEMENTO TRAVE/30 – GRU A PONTE



ELEMENTO TRAVE/31 – GRU A PONTE

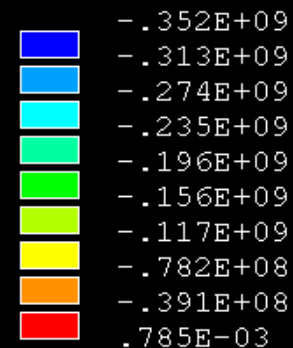
1



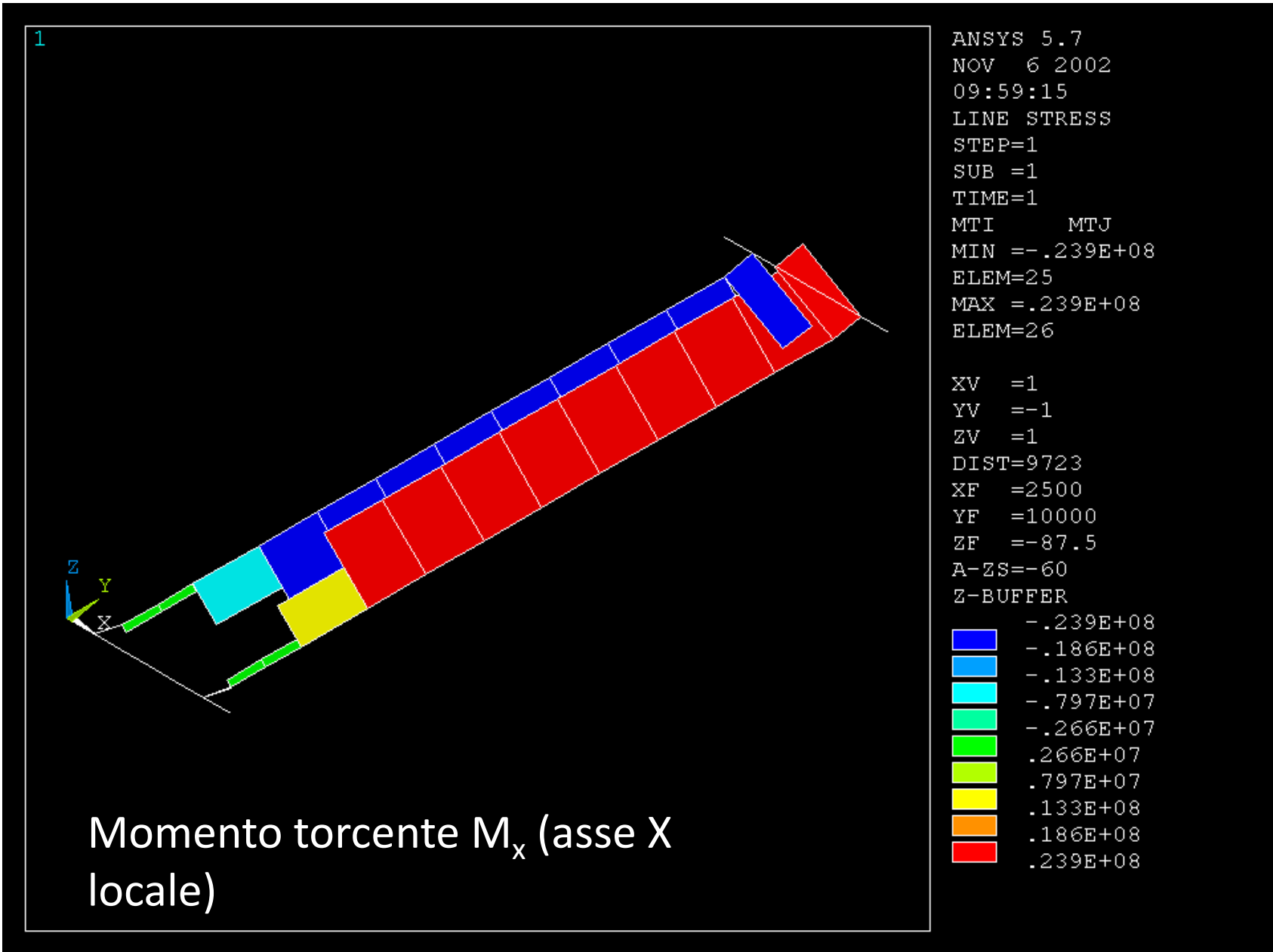
Momento flettente M_y (asse Y locale)

```
ANSYS 5.7
NOV  6 2002
09:58:51
LINE STRESS
STEP=1
SUB  =1
TIME=1
MYI      MYJ
MIN  =-.352E+09
ELEM=14
MAX  =.785E-03
ELEM=26
```

```
XV  =1
YV  =-1
ZV  =1
DIST=9723
XF  =2500
YF  =10000
ZF  =-87.5
A-ZS=-60
Z-BUFFER
```



ELEMENTO TRAVE/32 – GRU A PONTE





ELEMENTI “PIPE”/1

Serie di elementi per lo studio di sistemi di tubazioni (“piping”) in 2 o 3 dimensioni

- **tubo rettilineo (pipe288,289):** *elemento simile al BEAM188, basato sulla teoria delle travi di Timoshenko, si tiene conto della deformazione a taglio del 1° ordine (deformazione a taglio costante nella sezione, ipotesi sezioni piane)*
- **tubo curvilineo (elbow290):** *elemento trave con una speciale definizione della matrice di rigidezza, che tiene conto del basso rapporto tra raggio di curvatura e diametro e quindi della distorsione della sezione comunemente osservata in tubi curvi*

ELEMENTI "PIPE"/2

PIPE288 Input Summary

Nodes

I, J, K (an optional orientation node)

Degrees of Freedom

UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ

Section Information

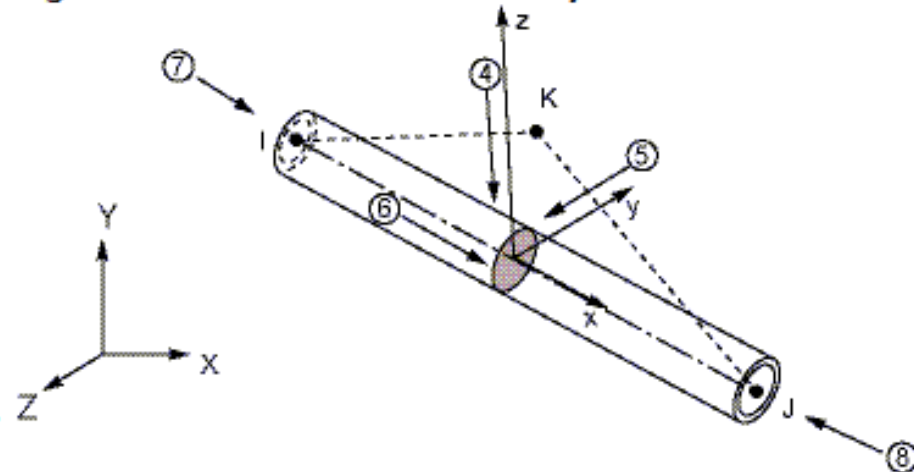
Accessed via [SECTYPE](#), PIPE and [SECDATA](#) commands.

Material Properties

[TB](#) command: See [Element Support for Material Models](#) for this element.

[MP](#) command: EX, EY, EZ, PRXY, PRYZ, PRXZ (or NUXY, NUYZ, NUXZ), ALPX, ALPY, ALPZ (or CTEX, CTEY, CTEZ or THSX, THSY, THSZ), DENS, GXY, GYZ, GXZ, ALPD, BETD

Figure 288.1: PIPE288 Geometry



- L'elemento è monodimensionale, descritto da 2 nodi (3° opzionale)
- I dati della sezione sono forniti mediante i comandi SECTYPE,,PIPE e SECADATA

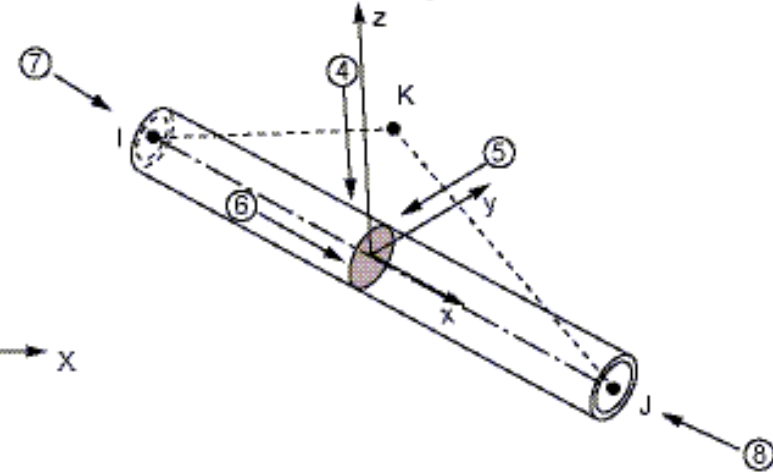
Le funzioni di forma variano lungo l'asse x locale in base alla KOP3:

- *KOP3=0 Funzione di forma lineare*
- *KOP3=2 Funzione di forma quadratica*
- *KOP3=3 Funzione di forma cubica*



ELEMENTI "PIPE"/3

Figure 288.1: PIPE288 Geometry



PIPE288 Input Summary

Surface Loads

Pressure --

- face 1 - Internal pressure
- face 2 - External pressure

- face 3 - Z coordinate of free surface of fluid on inside
- face 4 (I-J) (-z normal direction)
- face 5 (I-J) (-y normal direction)
- face 6 (I-J) (+x tangential direction)
- face 7 (I) (+x axial direction)
- face 8 (J) (-x axial direction)

I and J denote end nodes.

Use a negative value for loading in the opposite direction.

Input pressure values for faces 1, 2, and 3 via the [SFE](#) command. Input pressure values for faces 4 through 8 via the [SFBEAM](#) command.

For faces 4, 5, and 6, offsets apply only if you are using the cubic option (KEYOPT(3) = 3).

≠ beam

Body Loads

Temperatures --

- TOUT(I), TIN(I), TOUT(J), TIN(J) if KEYOPT(1) = 0.
- TAVG(I), T_y(I), T_z(I), TAVG(J), T_y(J), T_z(J) if KEYOPT(1) = 1.

ELEMENTI “PIPE”/4

SECDATA

Type: PIPE

Pipe sections are referenced by the [PIPE288](#), [PIPE289](#), and [ELBOW290](#) elements.

Data to provide in the value fields:

$$D_o, T_w, N_c, S_s, N_t, M_{int}, M_{ins}, T_{ins}$$

where

D_o = Outside diameter of pipe. Does not include T_{ins} .

T_w = Wall thickness (defaults to $D_o / 2$, or “solid” pipe)

N_c = Number of cells along the circumference ($8 \leq N_c \leq 120$, where a greater value improves accuracy slightly; default = 8)

S_s = Section number of the shell representing the pipe wall. Valid with [ELBOW290](#) only.

N_t = Number of cells through the pipe wall. Valid values are 1 (default), 3, 5, 7, and 9. Cells are graded such that they are thinner on the inner and outer surfaces. Valid with [PIPE288](#) and [PIPE289](#) only.

M_{int} = Material number of fluid inside of the pipe. The default value is 0 (no fluid). This value is used to input the density of the internal fluid.

Valid with [PIPE288](#) and [PIPE289](#) only. The fluid inside the pipe element is ignored unless the free surface in a global X-Y plane is added as face 3 ([SFE](#)) and is high enough to include at least one end node of the element.

M_{ins} = Material number of material external to the pipe (such as insulation, biofouling, or armoring). The default value is 0 (no external material). This value is used to input the density of the external material. Valid with [PIPE288](#) and [PIPE289](#) only.

T_{ins} = Thickness of material external to the pipe, such as insulation. The default value is 0 (no external material). Valid with [PIPE288](#) and [PIPE289](#) only.



ELEMENTI “PIPE”/5

Tubo curvilineo:

ELBOW290 Input Summary

Nodes

I, J, K, and L (the optional orientation node)

Degrees of Freedom

UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ

Section Information

Accessed via [SECTYPE](#), PIPE and [SECDATA](#) commands.

Material Properties

[TB](#) command: See [Element Support for Material Models](#) for this element.

[MP](#) command: EX, EY, EZ, (PRXY, PRYZ, PRXZ, or NUXY, NUYZ, NUXZ), ALPX, ALPY, ALPZ (or CTEX, CTEY, CTEZ or THSX, THSY, THSZ), DENS, GXY, GYZ, GXZ, ALP

Specify BETD only once for the element. (Issue the [MAT](#) command to assign the material property set.) REFT may be specified once for the element, or it may be as layer basis.

Surface Loads

Pressure --

Internal pressure

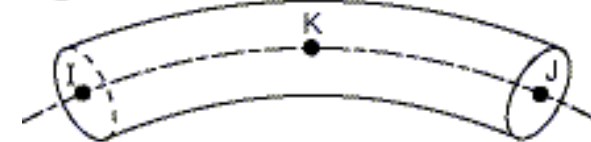
External pressure

Body Loads

Temperatures --

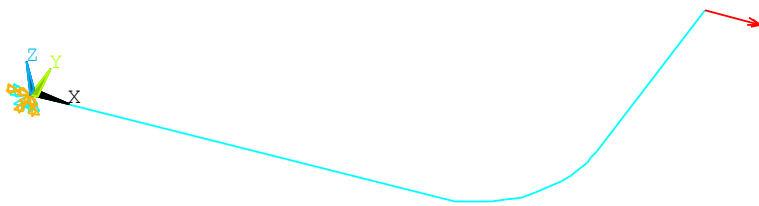
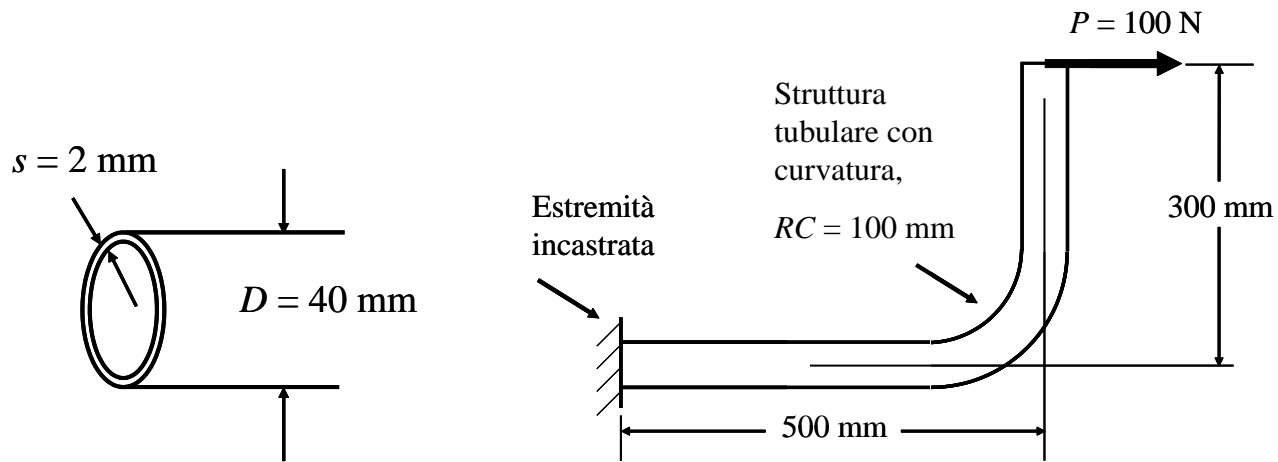
For KEYOPT(1) = 0 -- T1, T2 (at bottom of layer 1), T3, T4 (between layers 1-2); similarly for between next layers, ending with temperatures at top of layer *NL* maximum).

Figure 290.1: ELBOW290 Geometry

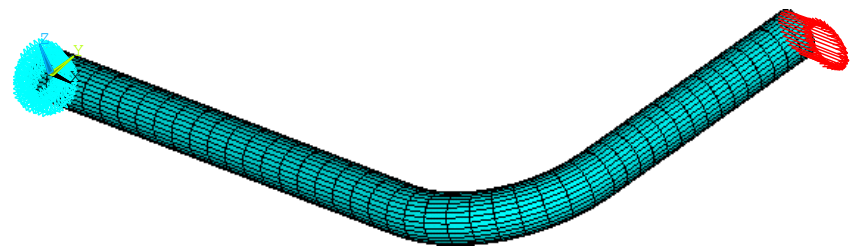


- L'elemento è monodimensionale, l'arco descritto da 3 nodi (l'angolo sotteso non dovrebbe superare i 45°)
- I dati della sezione sono forniti mediante i comandi SECTYPE,,PIPE e SECADATA

ELEMENTI "PIPE"/7



Modello con elementi "Pipe" e "Beam"



Modello 3D (shell)

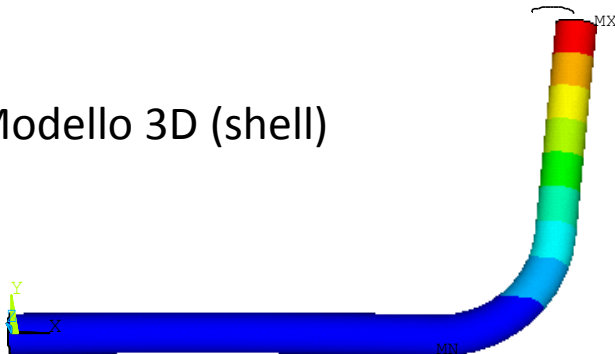
ELEMENTI "PIPE"/8

Risultato di "riferimento" (Modello 3D)

```

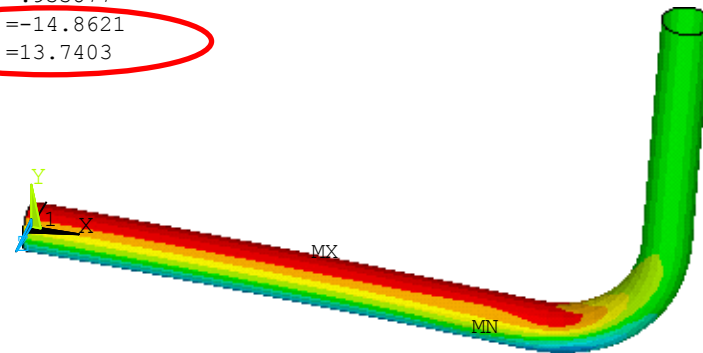
TIME=1
UX      (AVG)
RSYS=0
DMX = .899508
SMN = -.025122
SMX = .748652
    
```

Ux – Modello 3D (shell)



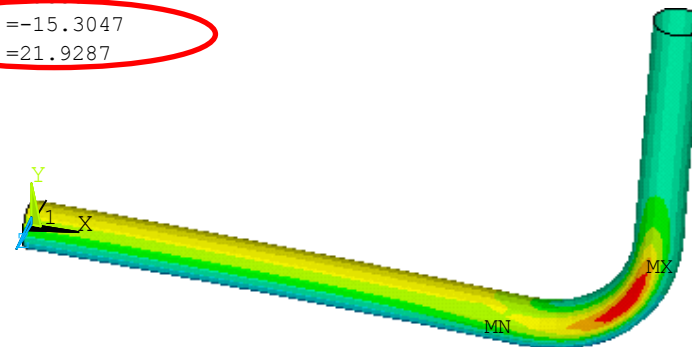
```

SX      (AVG)
MIDDLE
RSYS=0
DMX = .933877
SMN = -14.8621
SMX = 13.7403
    
```



```

SX      (AVG)
BOTTOM
RSYS=0
DMX = .933877
SMN = -15.3047
SMX = 21.9287
    
```



Nota: la tensione massima è la somma del contributo membranale e flessionale

ELEMENTI "PIPE"/9

Risultato di "riferimento":

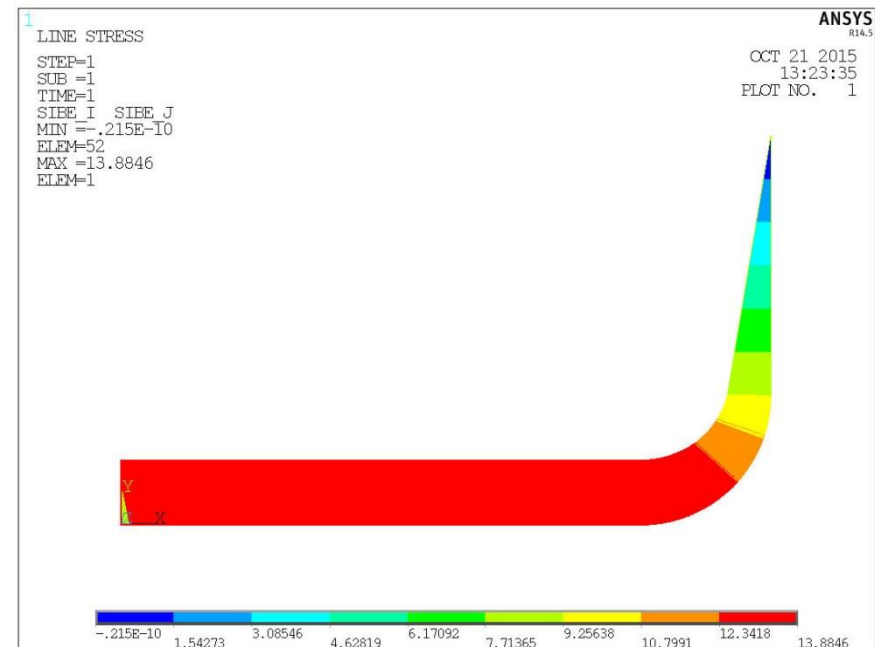
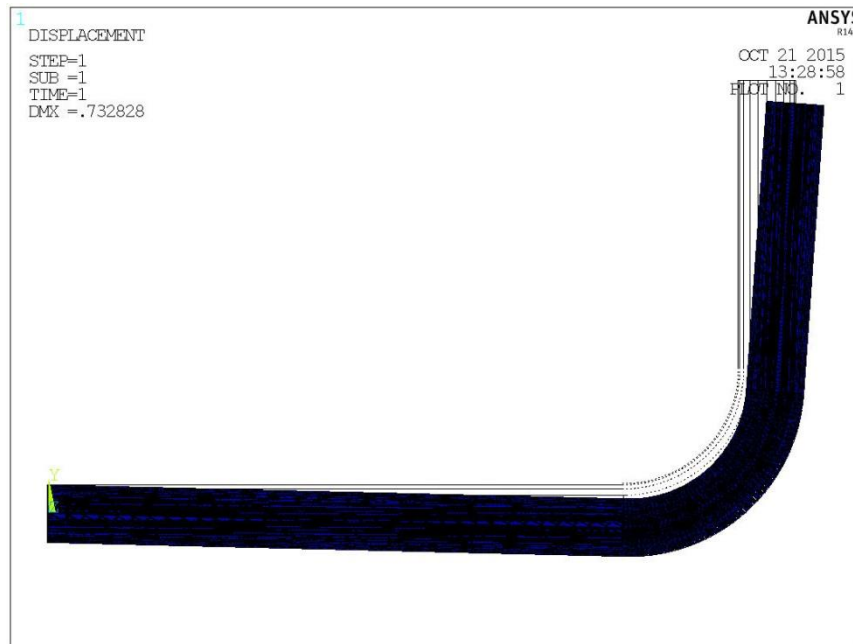
Spost. max.= 0.8995 mm

Tensione max. = 20.74 MPa

Beam 188 – 50 elementi in tratto curvo

Spost. max. = 0.7328 mm

Tensione max. = 13.88 MPa



Nota: la tensione è confrontabile con la tensione membranale



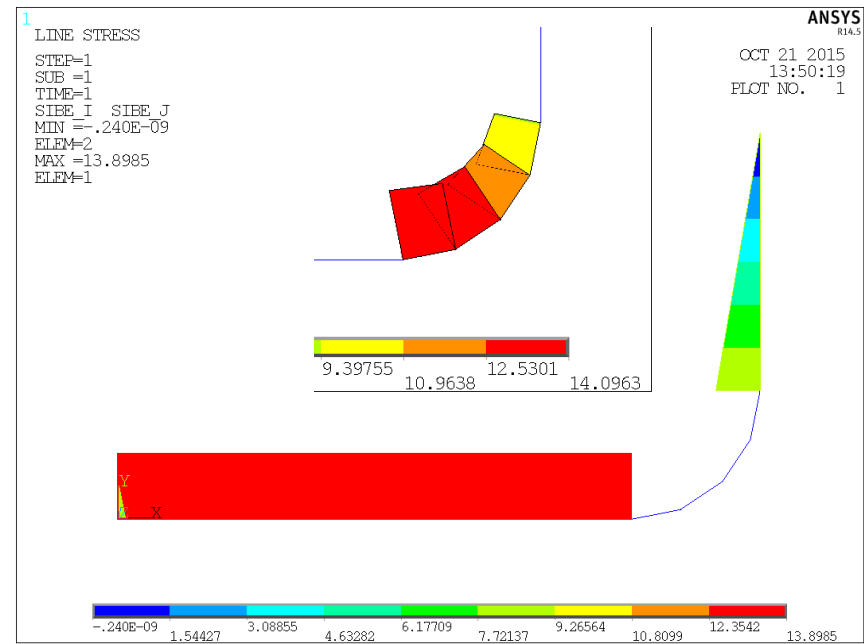
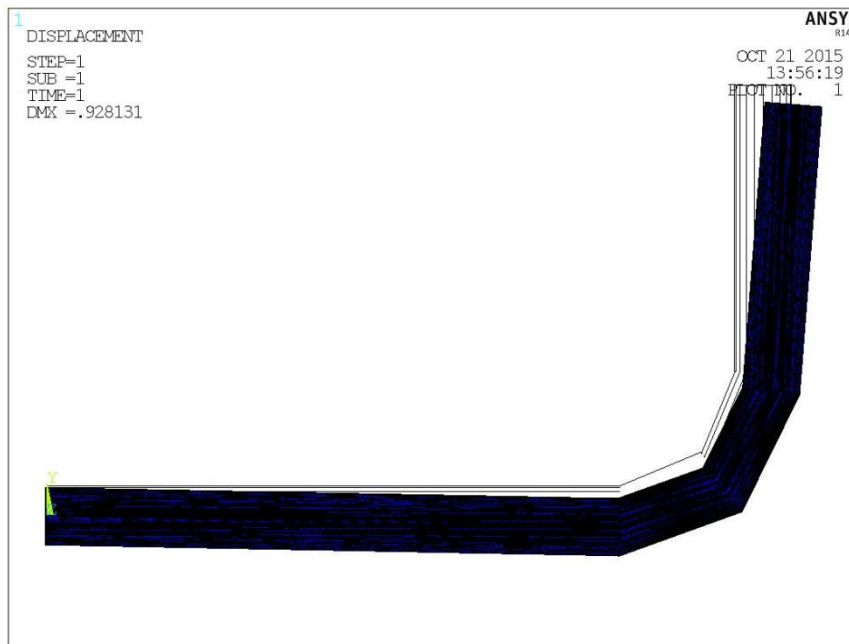
ELEMENTI “PIPE”/10

Risultato di “riferimento”:

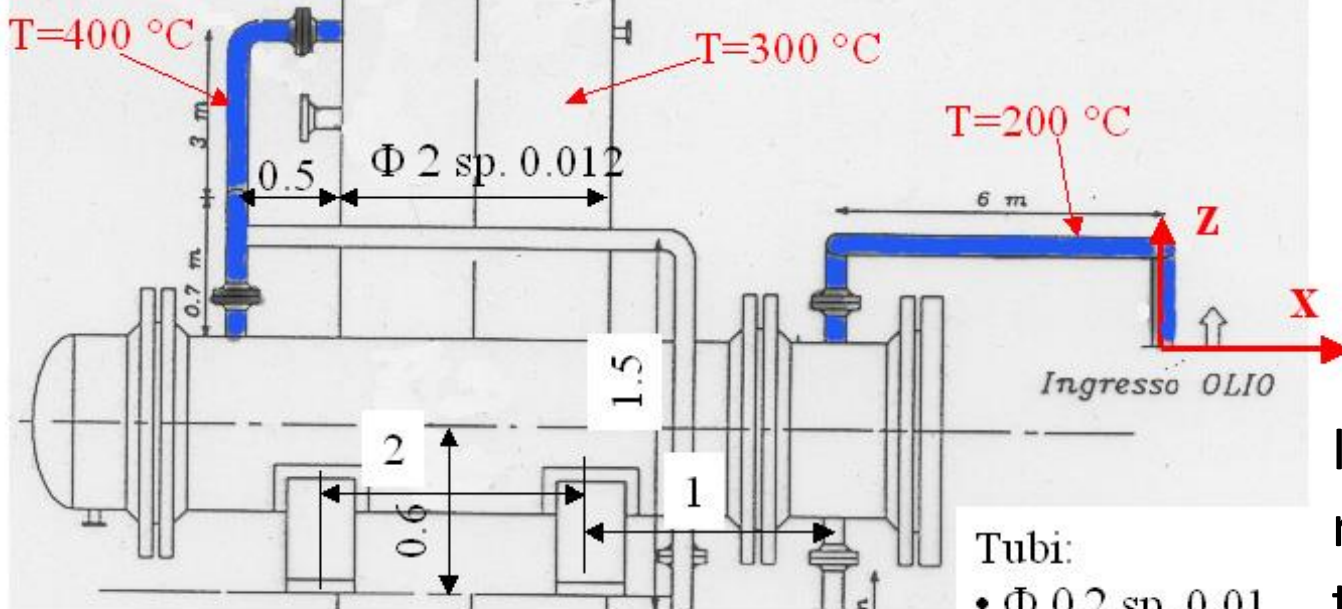
Spost. max.= 0.8995 mm
Tensione max. = 20.74 MPa

Pipe288/290– 2 elementi in tratto curvo

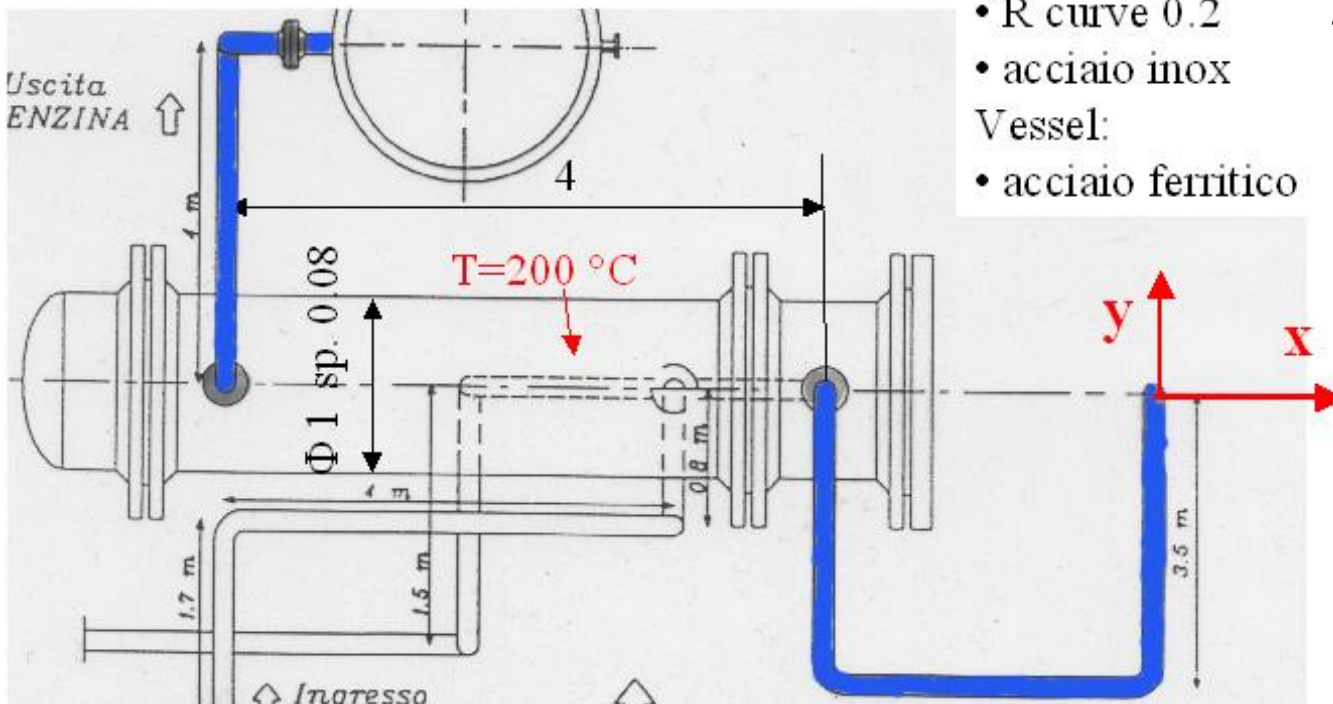
Spost. max. = 0.9281 mm
Tensione max. = 14.10 MPa



Nota: la tensione è confrontabile con la tensione membranale



- Tubi:
- Φ 0.2 sp. 0.01
 - R curve 0.2
 - acciaio inox
- Vessel:
- acciaio ferritico



Dimensioni espresse in metri

Il modello rappresenta i tratti di tubazione di colore blu ed i 2 vessel

File comandi: "PIPING.txt"



ELEMENTI “PIPE”/12

Esempio di struttura tubolare complessa soggetta a carichi termici

ASPETTI PARTICOLARI DEL MODELLO

COEFFICIENTE DI DILATAZIONE TERMICA

C***

C*** MATERIALE

C***

C*** acciaio inox

C***

MP,EX,1,200*10**9

MP,ALPX,1,0.000018 ! coefficiente di dilatazione termica

C***

C*** acciaio ferritico

C***

MP,EX,2,210*10**9

MP,ALPX,2,0.000012 ! coefficiente di dilatazione termica



ELEMENTI “PIPE”/13

Esempio di struttura tubolare complessa soggetta a carichi termici

ASPETTI PARTICOLARI DEL MODELLO

CARICHI DOVUTI A VARIAZIONI DI TEMPERATURA

C***

C*** CARICHI

C***

C*** tubazione olio

C***

TREF,20

! temperatura di montaggio

NSEL,,NODE,,1,10

BF,ALL,TEMP,200

! temperatura di lavoro

C***

C*** tubazione benzina

C***

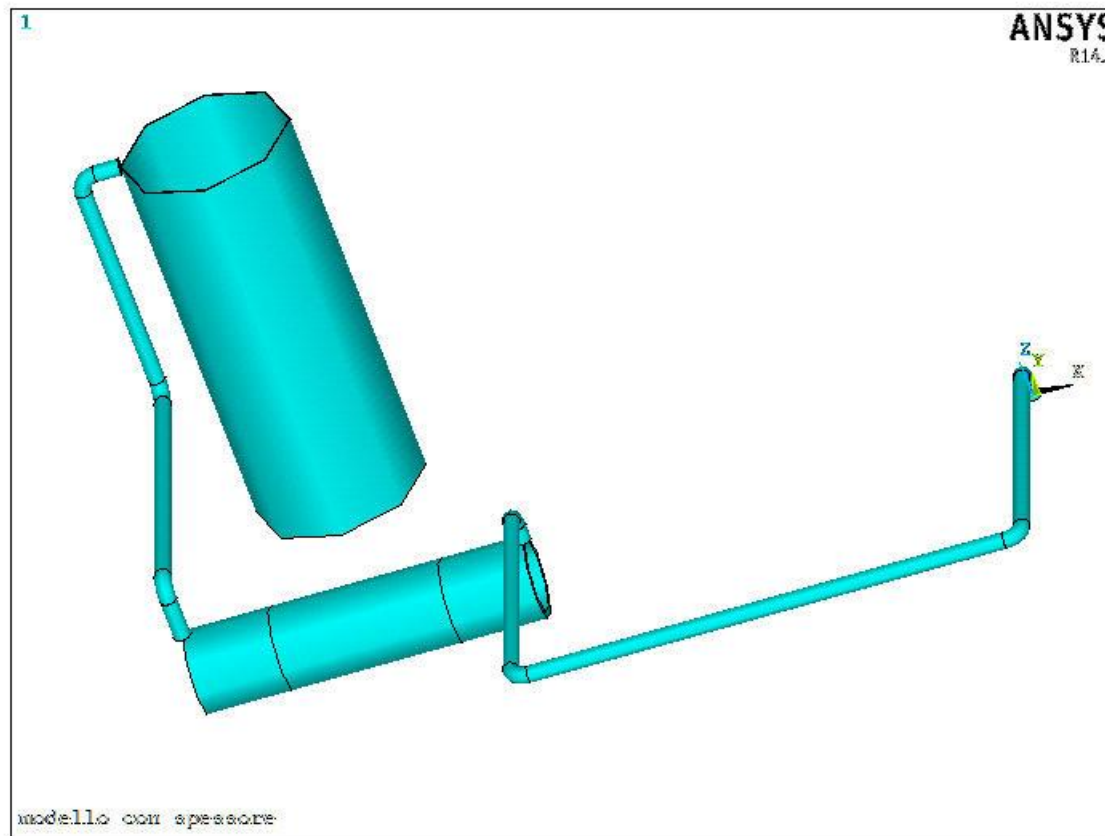
NSEL,,NODE,,11,18

BF,ALL,TEMP,400

! temperatura di lavoro

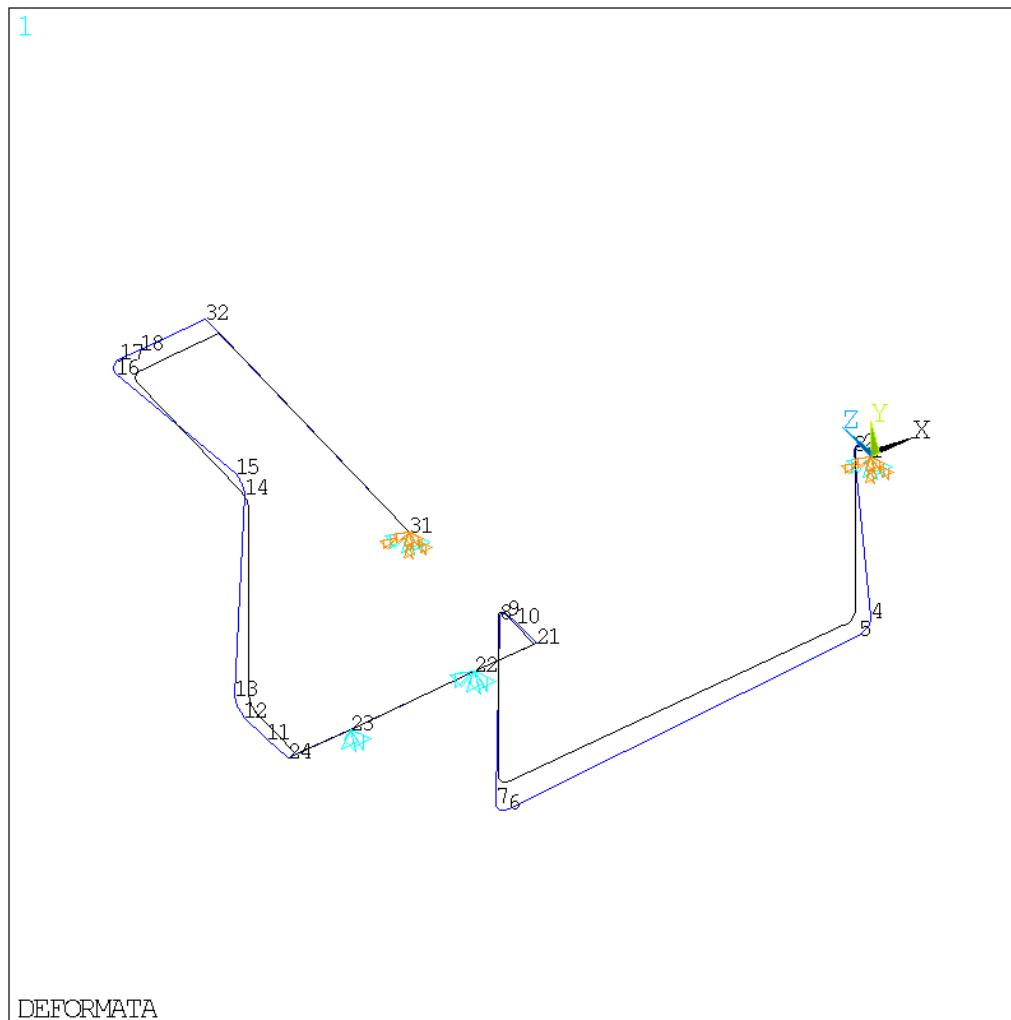
ELEMENTI “PIPE”/14

Esempio di struttura tubolare complessa soggetta a carichi termici



ELEMENTI “PIPE”/15

Esempio di struttura tubolare complessa soggetta a carichi termici



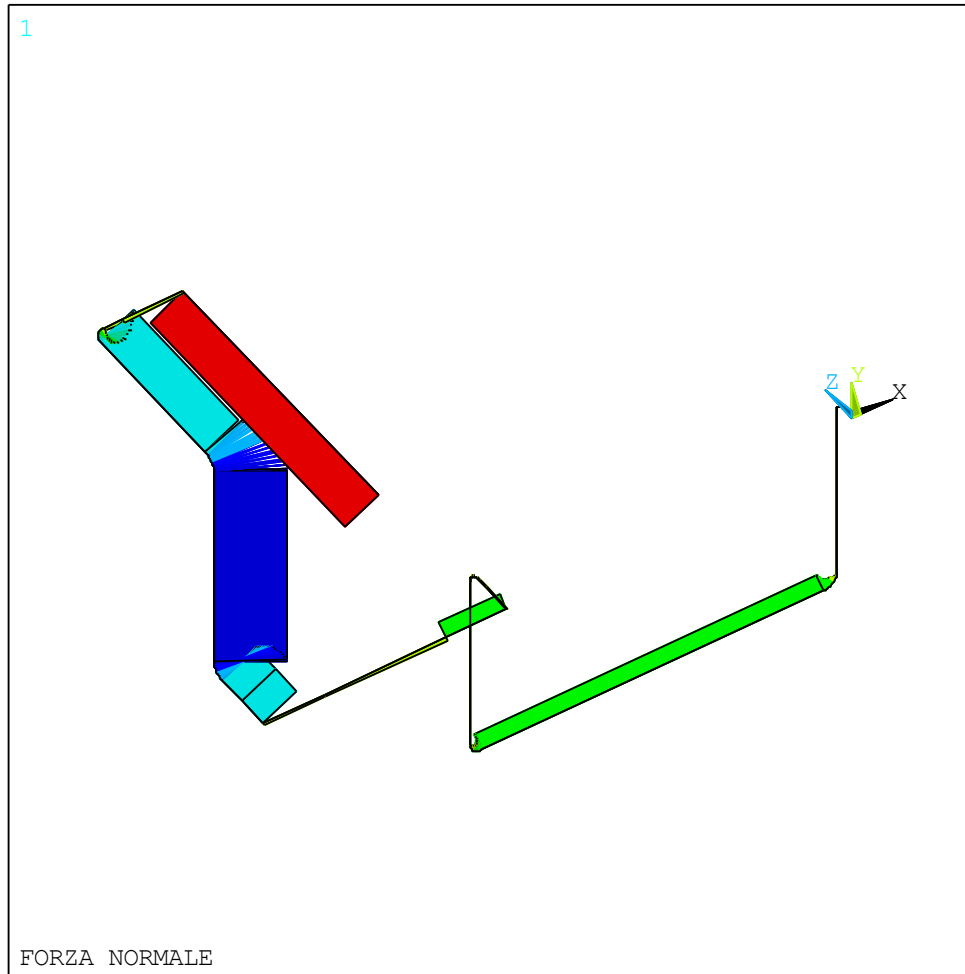
ANSYS 14.5
 OCT 21 2015
 15:53:02
 PLOT NO. 1
 DISPLACEMENT
 STEP=1
 SUB =1
 TIME=1
 PowerGraphics
 EFACET=1
 AVRES=Mat
 DMX =.02324
 U
 ROT

DSCA=21.5146
 XV =.4
 YV =-.7
 ZV =.6
 DIST=7.12773
 XF =-4.9626
 YF =.322783
 ZF =1.47392
 Z-BUFFER



ELEMENTI "PIPE"/16

Esempio di struttura tubolare complessa soggetta a carichi termici



ANSYS Release 19.1

Build 19.1

OCT 18 2018

21:11:13

LINE STRESS

STEP=1

SUB =1

TIME=1

NI NJ

MIN =-13359.2

ELEM=7

MAX =8340.88

ELEM=20

-13359.2

-10948.1

-8536.95

-6125.83

-3714.71

-1303.59

1107.53

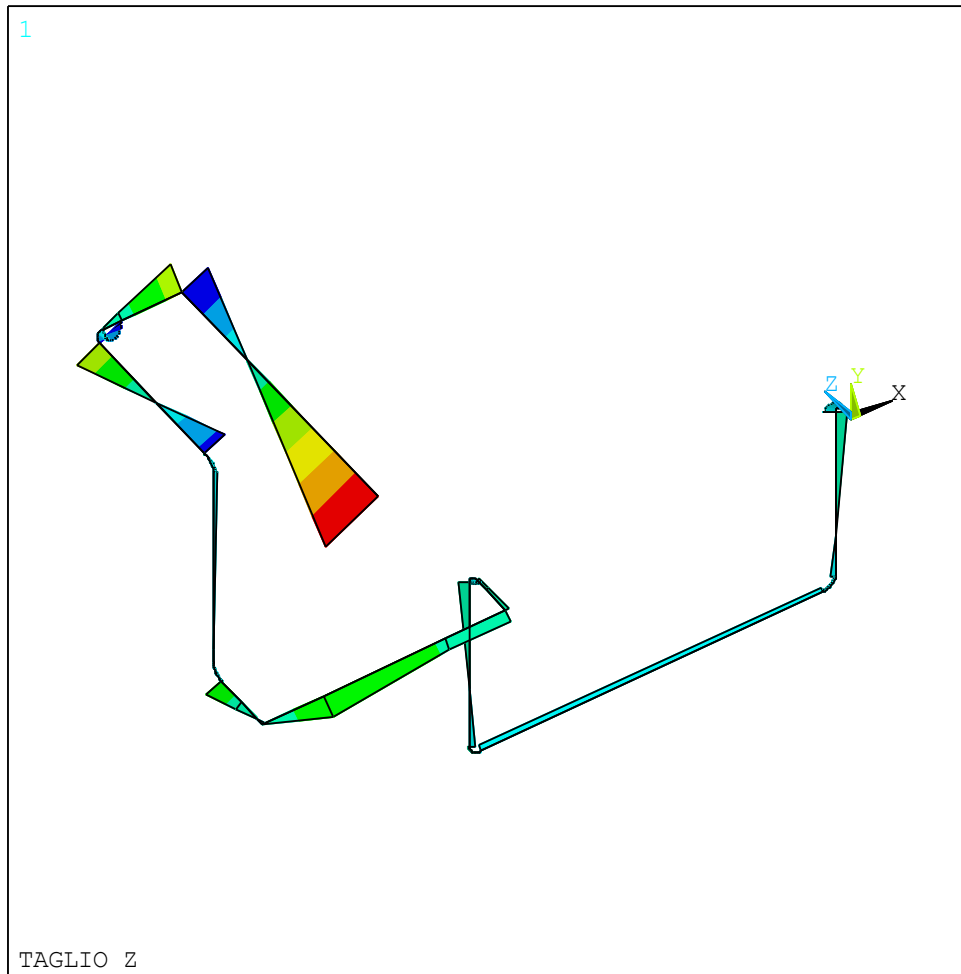
3518.65

5929.77

8340.88

ELEMENTI "PIPE"/17

Esempio di struttura tubolare complessa soggetta a carichi termici



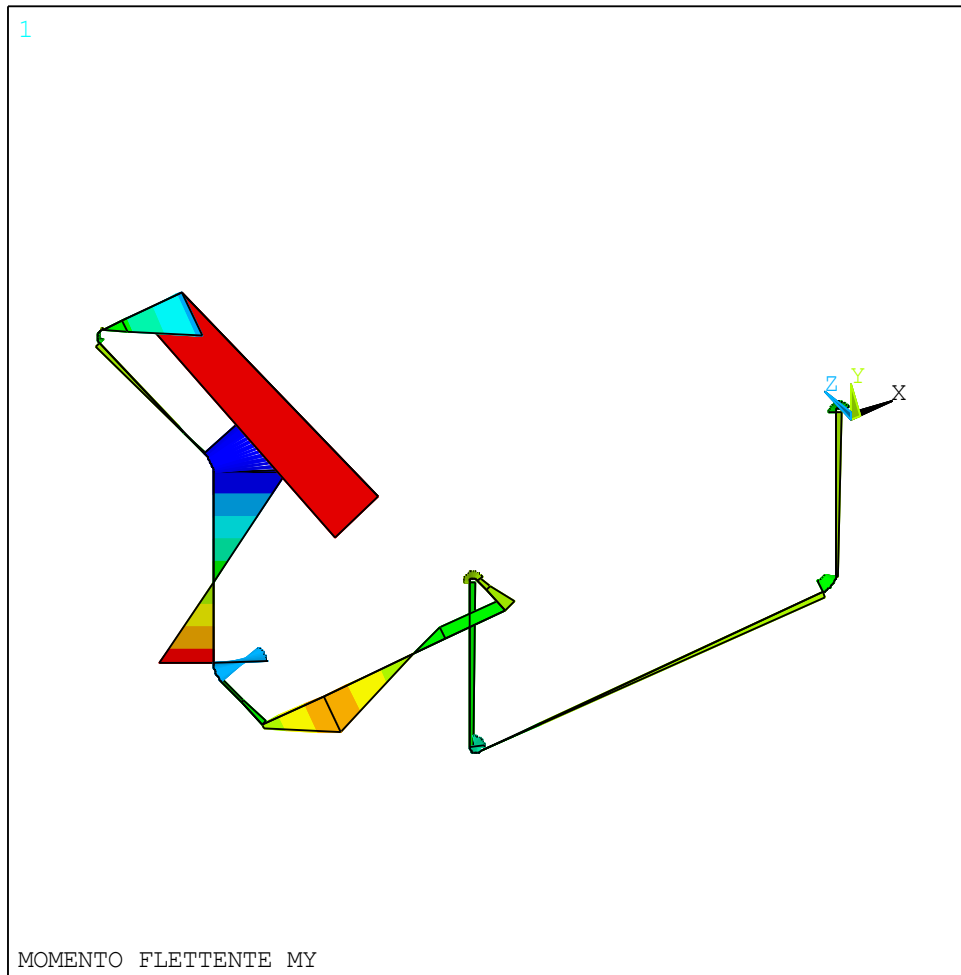
ANSYS Release 19.1
Build 19.1
OCT 18 2018
21:11:55
LINE STRESS
STEP=1
SUB =1
TIME=1
TZI TZJ
MIN =-21094.8
ELEM=20
MAX =43029.2
ELEM=20

	-21094.8
	-13969.9
	-6845.04
	279.855
	7404.75
	14529.7
	21654.5
	28779.4
	35904.3
	43029.2



ELEMENTI "PIPE"/18

Esempio di struttura tubolare complessa soggetta a carichi termici



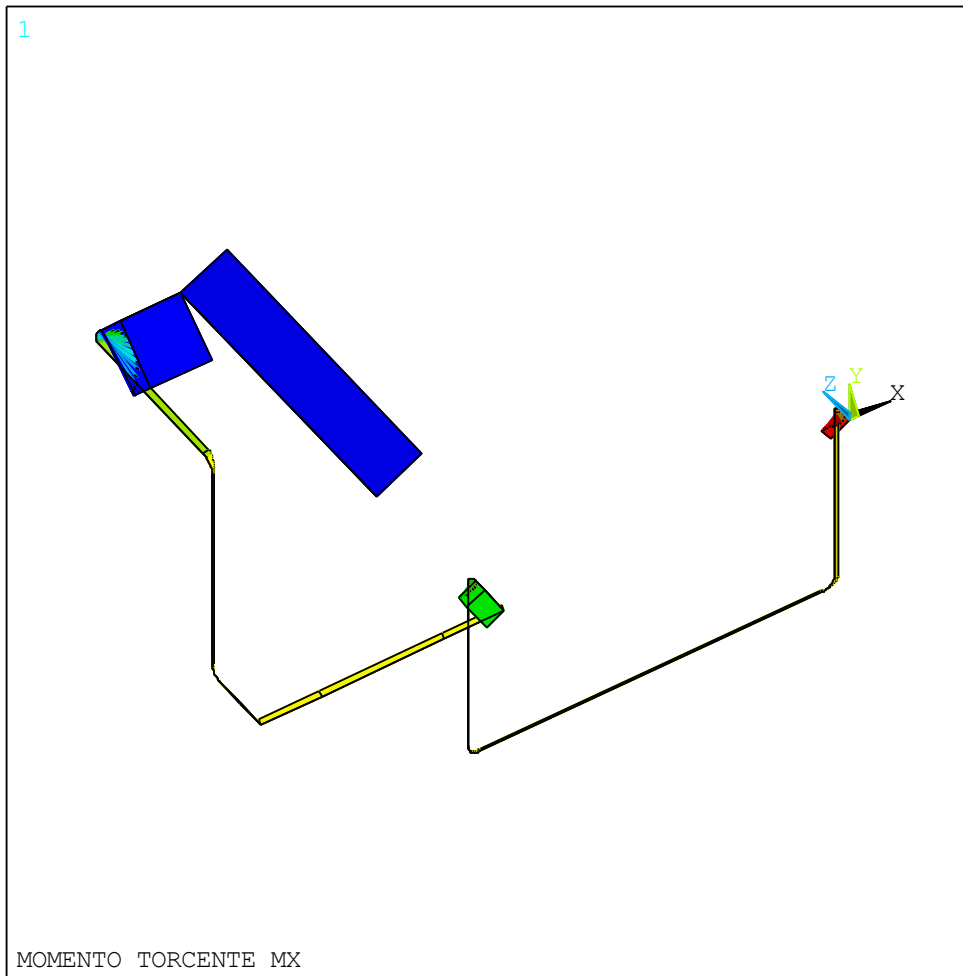
ANSYS Release 19.1
 Build 19.1
 OCT 18 2018
 21:12:43
 LINE STRESS
 STEP=1
 SUB =1
 TIME=1
 MYI MYJ
 MIN =-17314.5
 ELEM=7
 MAX =14001.8
 ELEM=20

Blue	-17314.5
Light Blue	-13834.9
Cyan	-10355.3
Green	-6875.75
Light Green	-3396.16
Yellow-Green	83.4341
Yellow	3563.03
Orange	7042.62
Red-Orange	10522.2
Red	14001.8



ELEMENTI "PIPE"/20

Esempio di struttura tubolare complessa soggetta a carichi termici



ANSYS Release 19.1
 Build 19.1
 OCT 18 2018
 21:13:19
 LINE STRESS
 STEP=1
 SUB =1
 TIME=1
 MTI MTJ
 MIN =-21094.8
 ELEM=9
 MAX =7971.59
 ELEM=1

■	-21094.8
■	-17865.2
■	-14635.6
■	-11406
■	-8176.43
■	-4946.82
■	-1717.22
■	1512.38
■	4741.98
■	7971.59