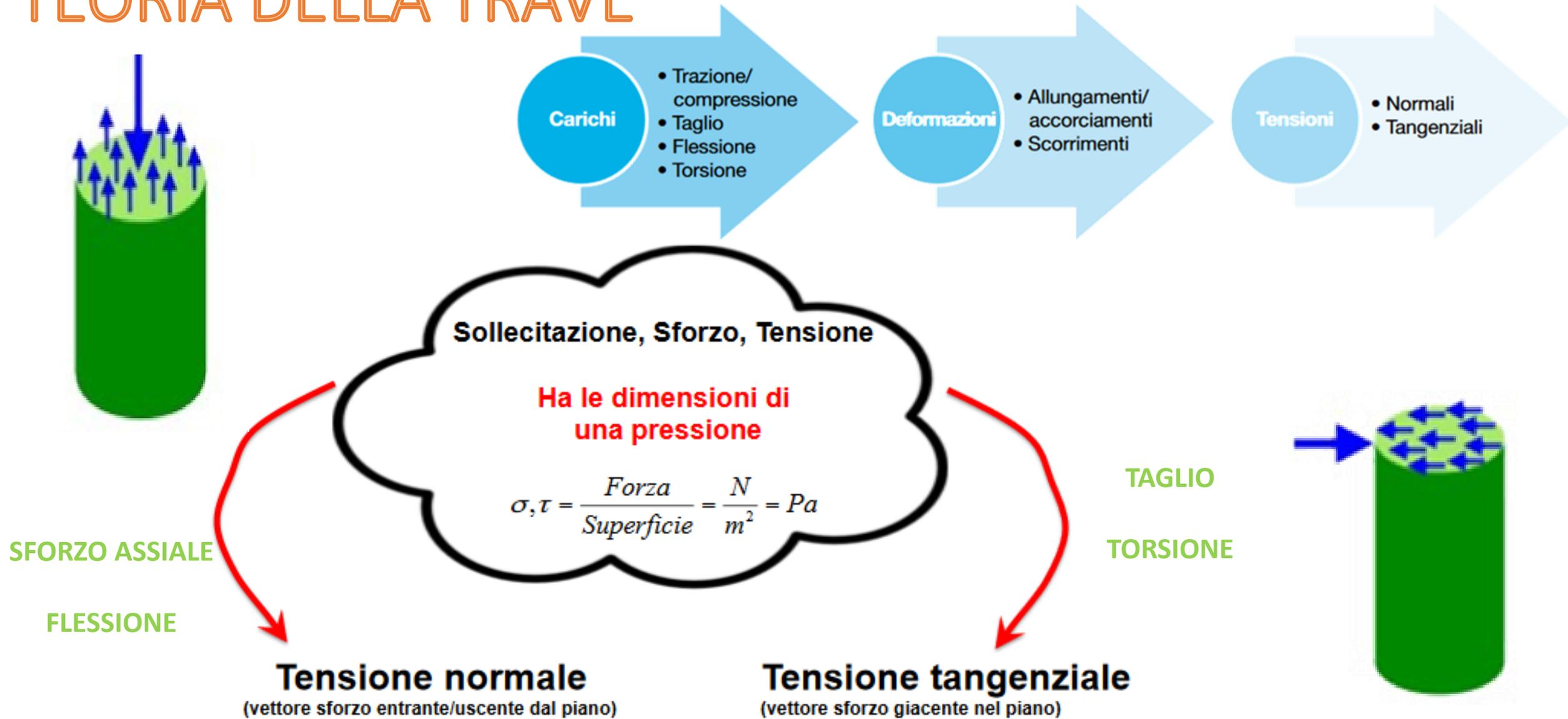


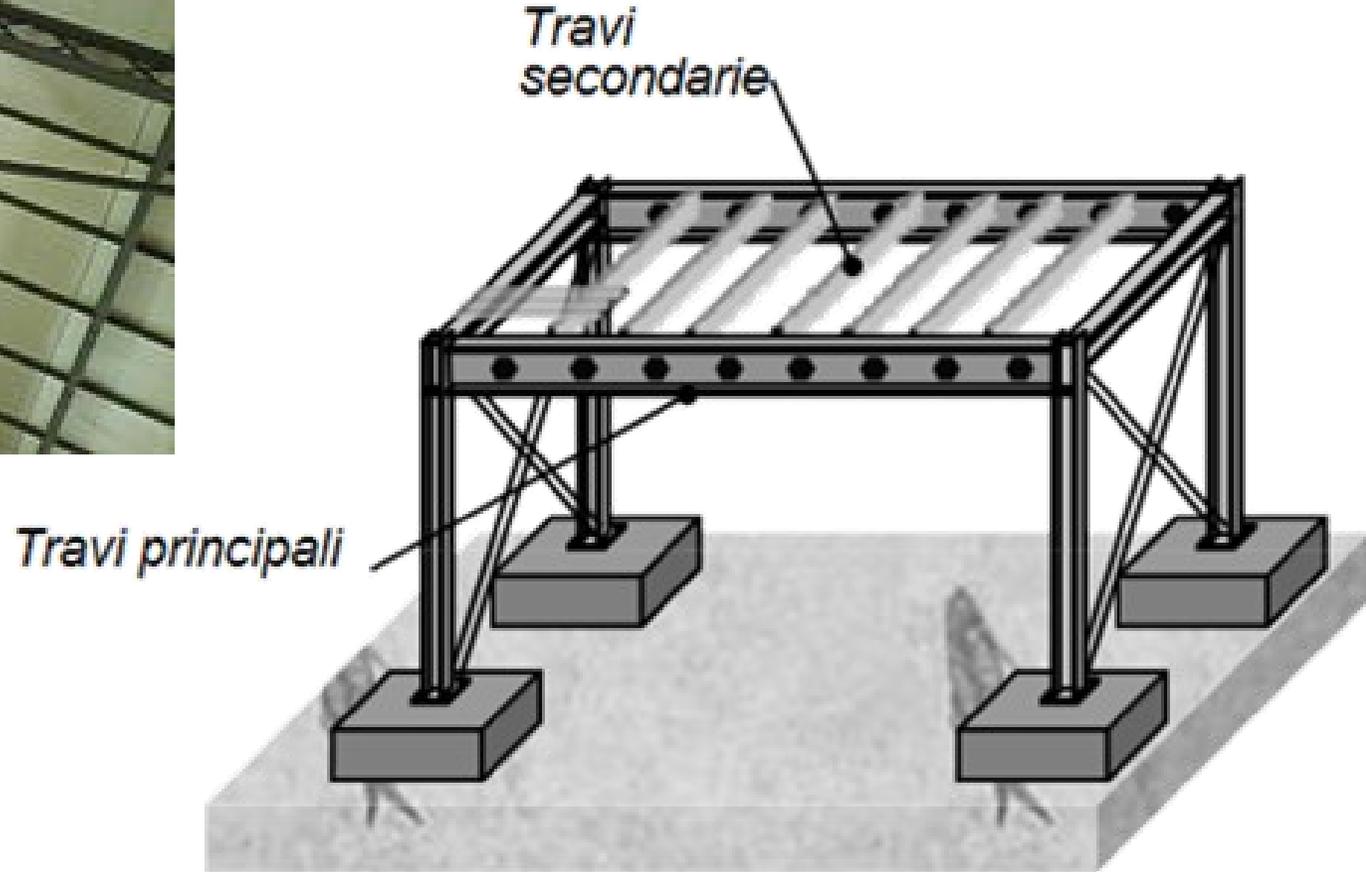
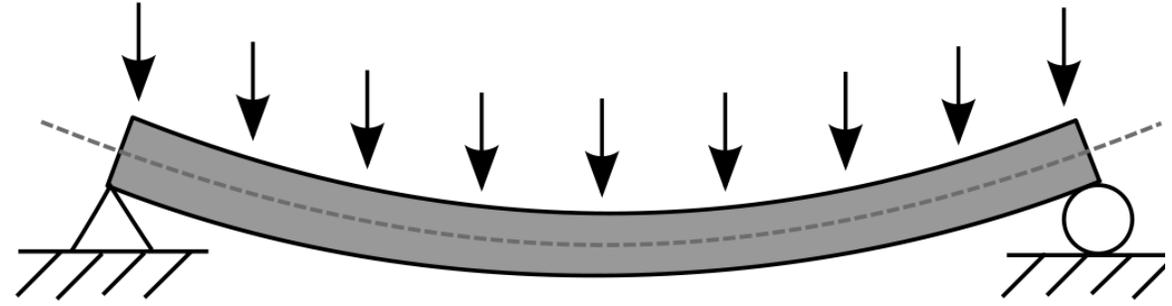
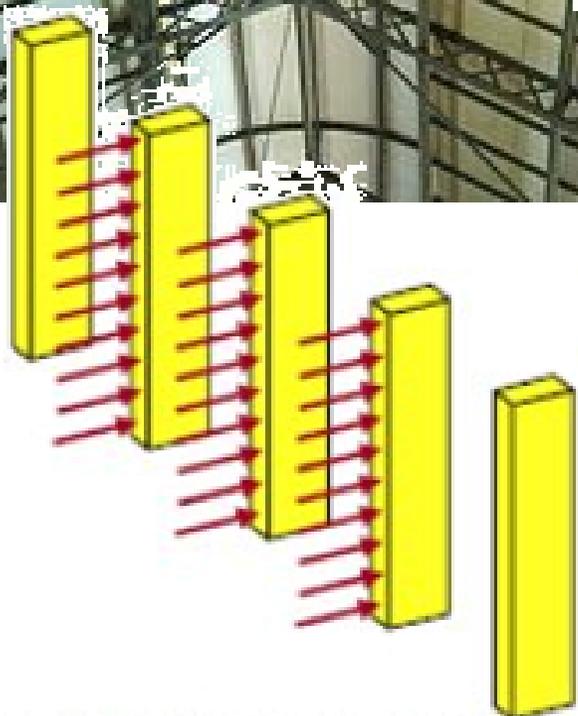


041R - ANALISI DELLE STRUTTURE

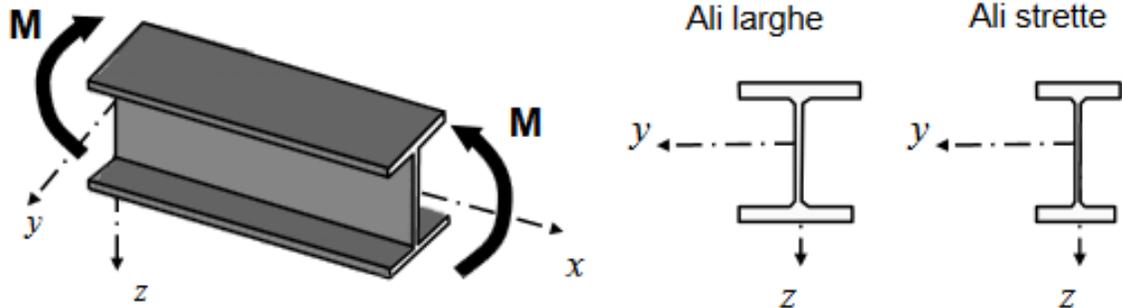
TEORIA DELLA TRAVE



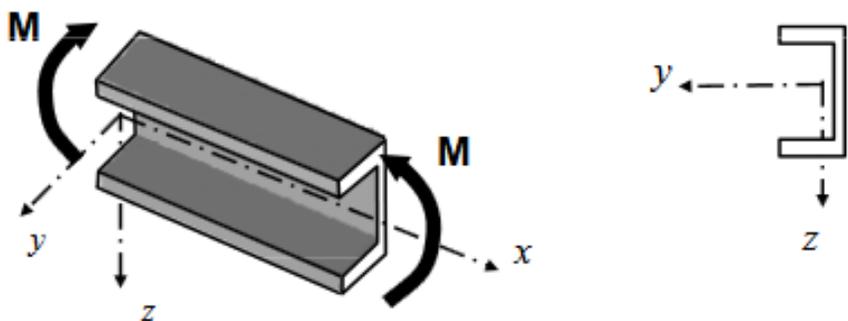
◦ FLESSIONE SEMPLICE



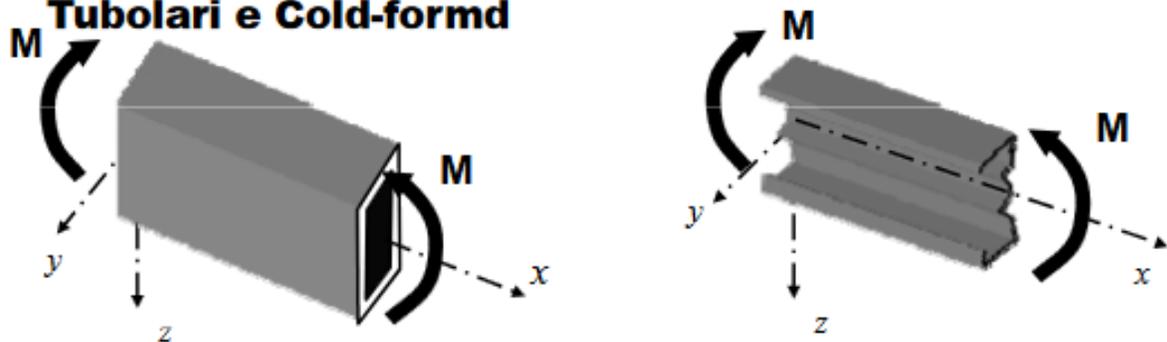
Profilati a doppio T (ad es. HE, IPE)



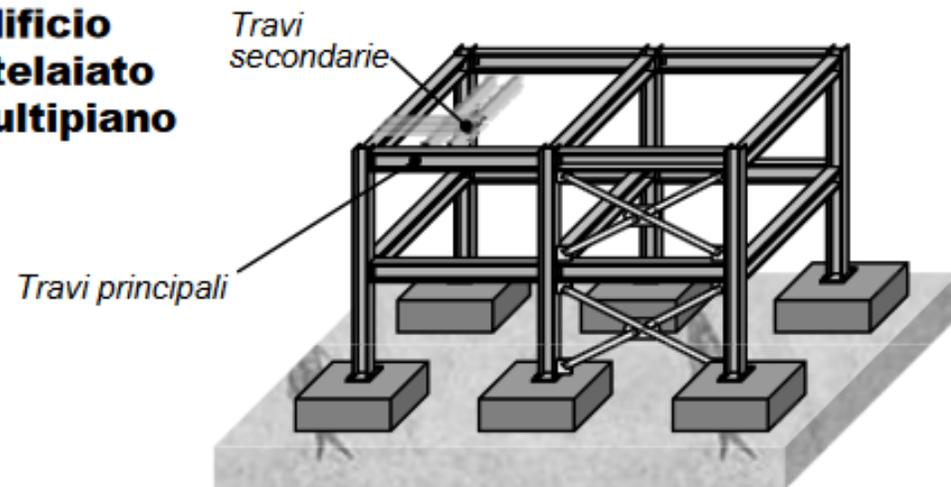
Profilati a C (UPN, UPE)



Tubolari e Cold-formed

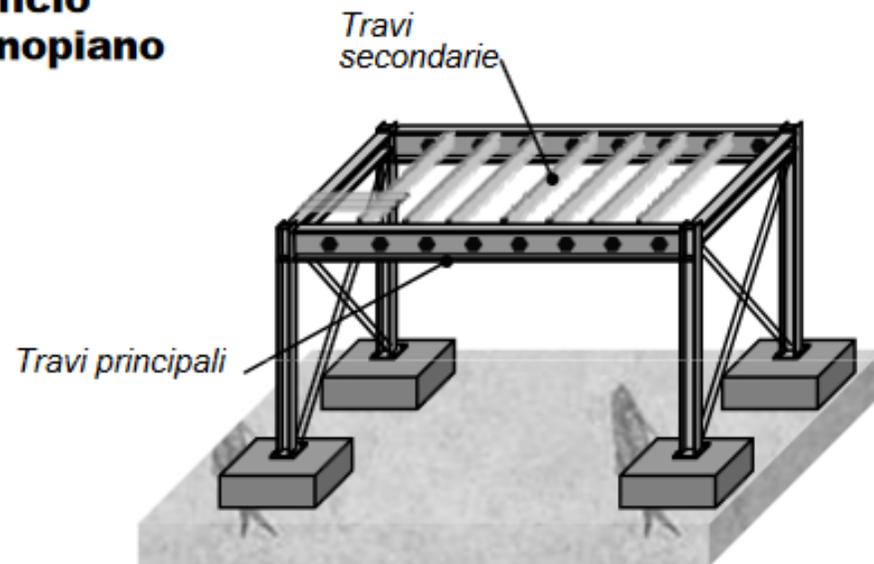


Edificio intelaiato multipiano



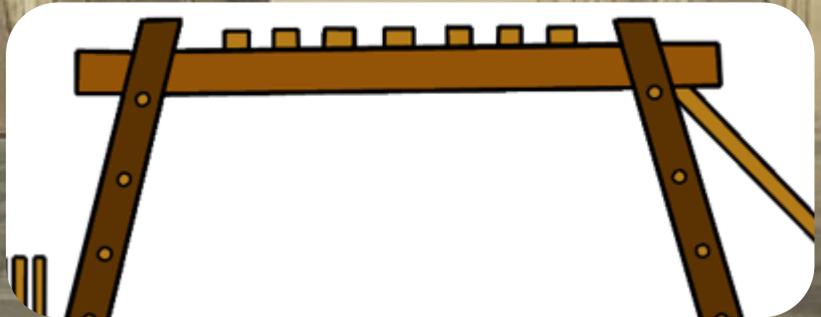
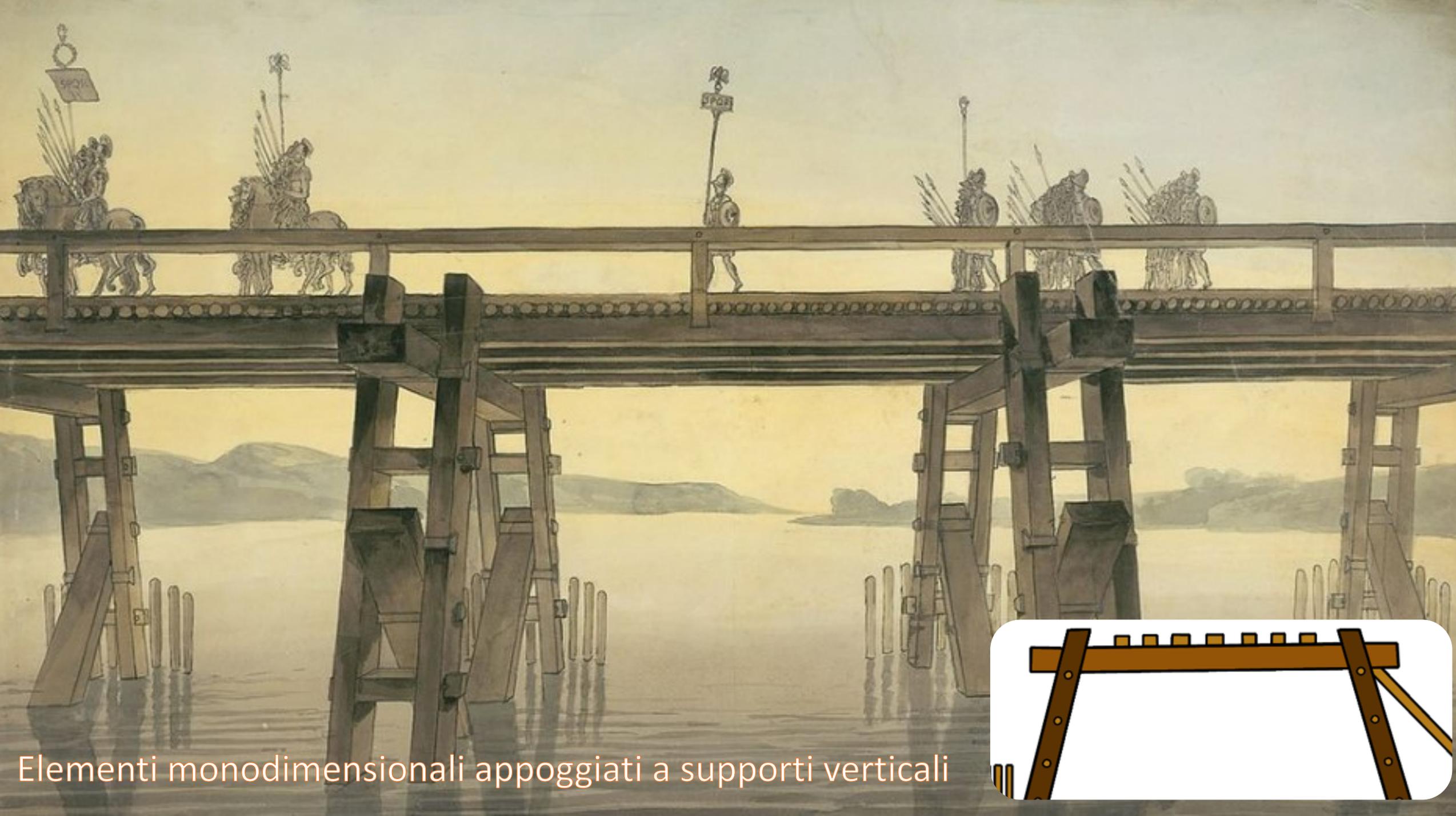
N.B. Le travi (per carichi verticali) sono soggette a flessione semplice in mezzeria

Edificio monopiano





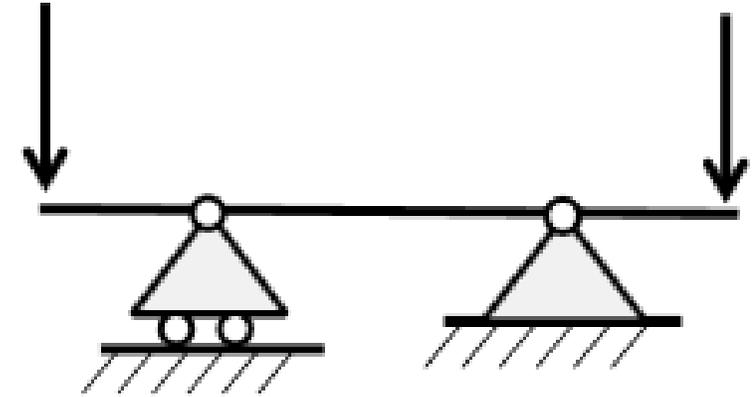
Comportamento a mensola



Elementi monodimensionali appoggiati a supporti verticali

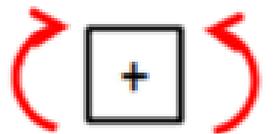
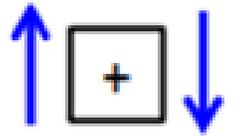
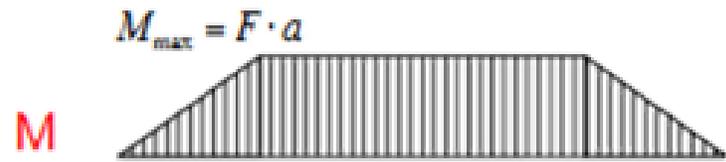
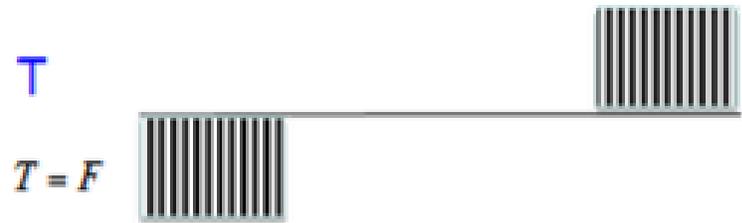
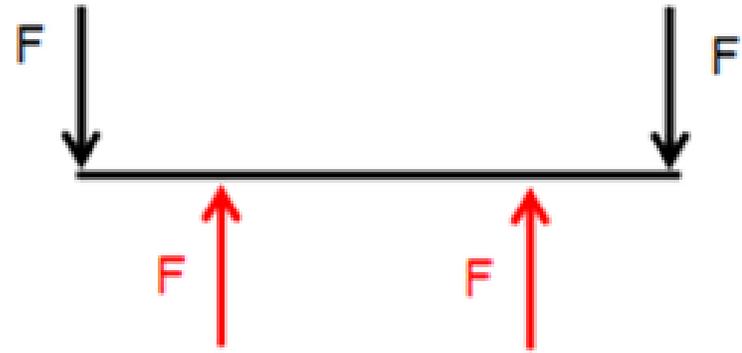
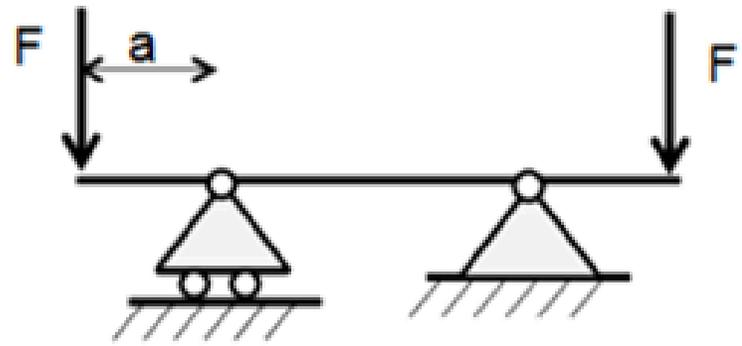
FLESSIONE SEMPLICE

Occorre sottolineare subito che nella pratica ingegneristica non è frequente incontrare casi di flessione "pura", mentre più spesso questa risulta essere accompagnata da azioni di taglio o momento torcente.



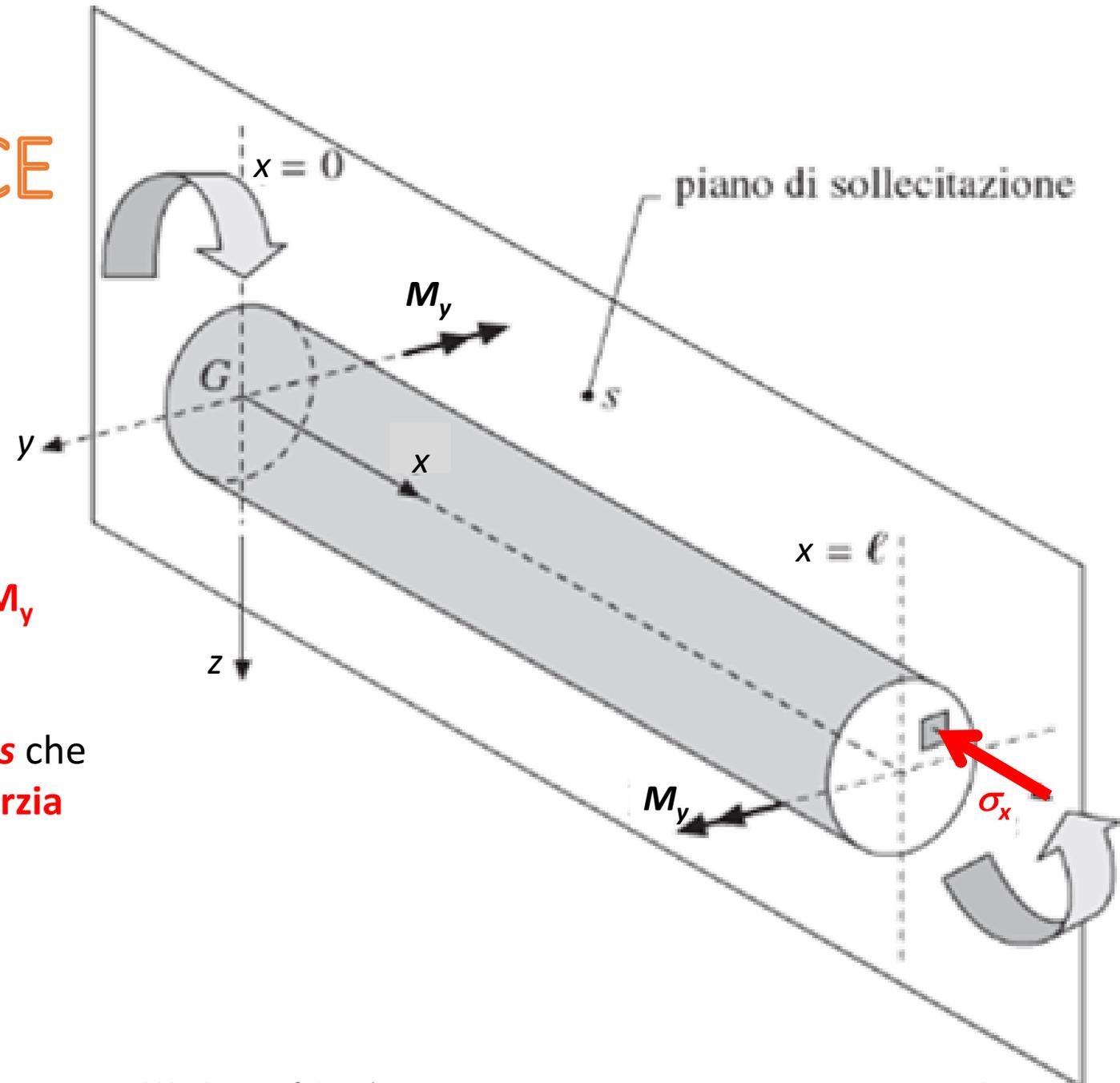
- L'atleta sostiene la barra con le mani equidistanziate rispetto alla posizione dei dischi
- **Ciò produce una flessione pura della parte centrale della barra**

◦ FLESSIONE SEMPLICE



FLESSIONE SEMPLICE

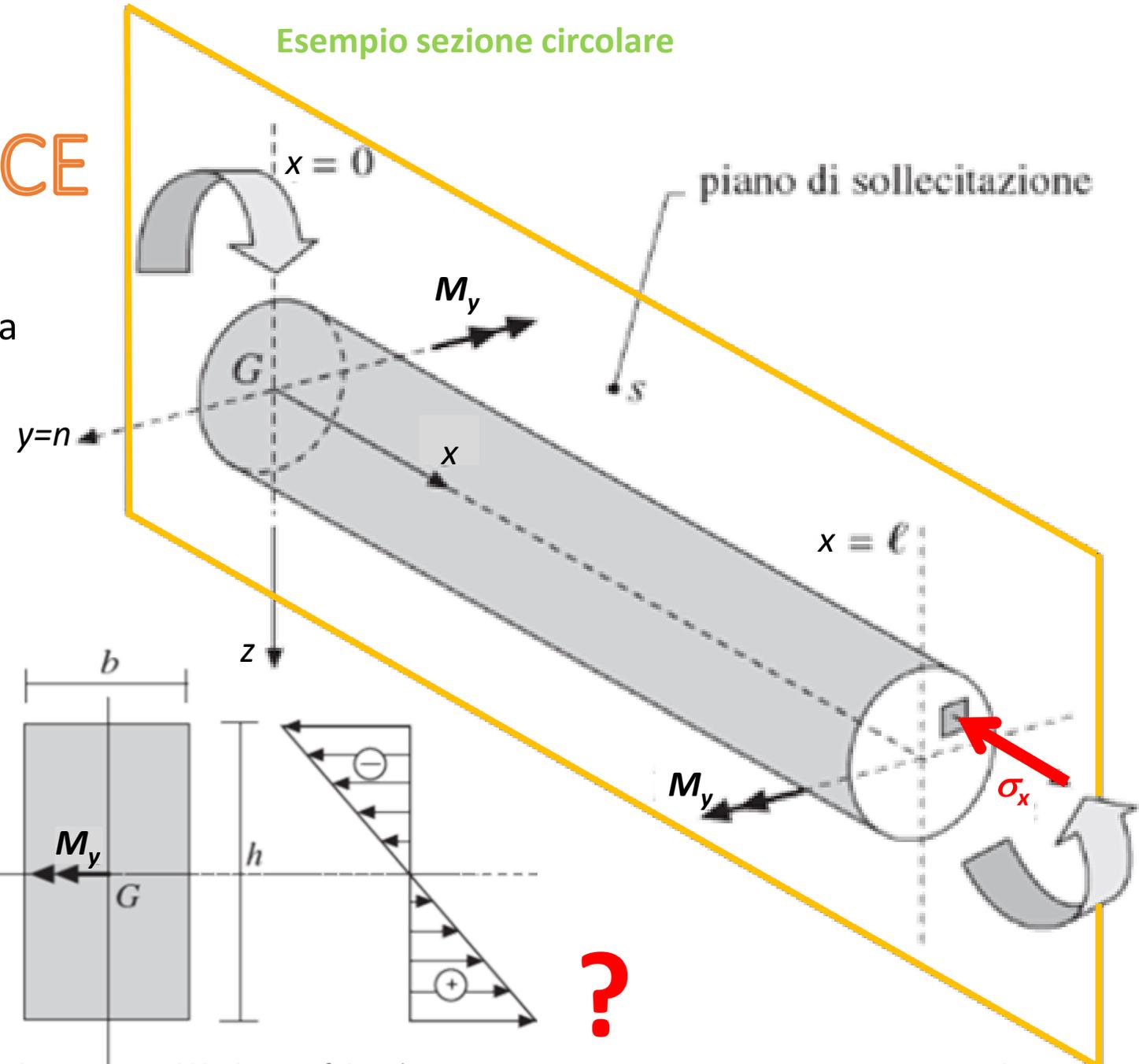
- ✓ Nell'ambito della teoria di De Saint Venant, il caso della **flessione semplice** è stato risolto per un solido (trave) caricato come in figura
- ✓ La trave, in particolare, si considera sottoposto ad una **coppia di momenti M_y** applicata alle sezioni di estremità
- ✓ M_y agisce su un **piano di sollecitazione s** che contiene una **direzione principale d'inerzia** della sezione
- ✓ In tale condizione di carico, l'unica componente di tensione non nulla è la **tensione normale $\sigma = \sigma_x$**



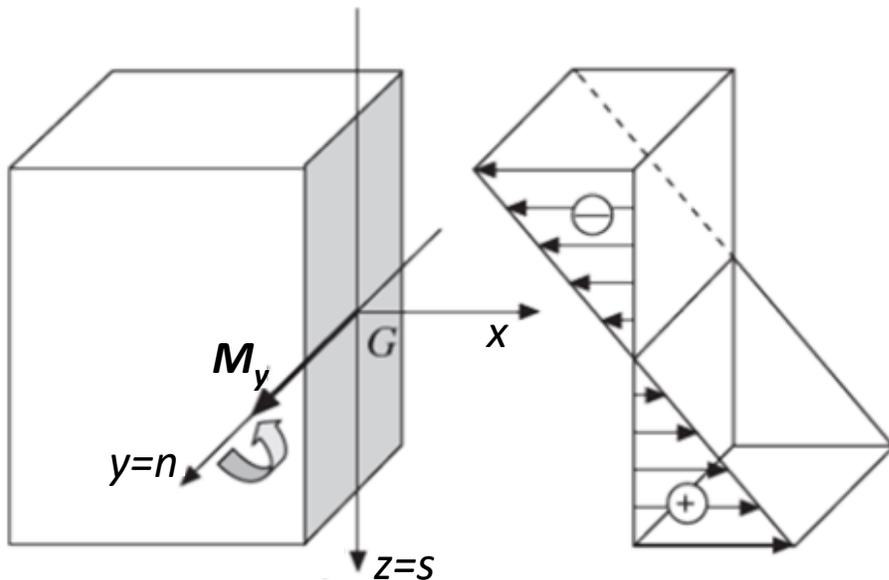
FLESSIONE SEMPLICE

- ✓ In tale condizione di carico, l'unica componente di tensione non nulla è la **tensione normale $\sigma = \sigma_x$**

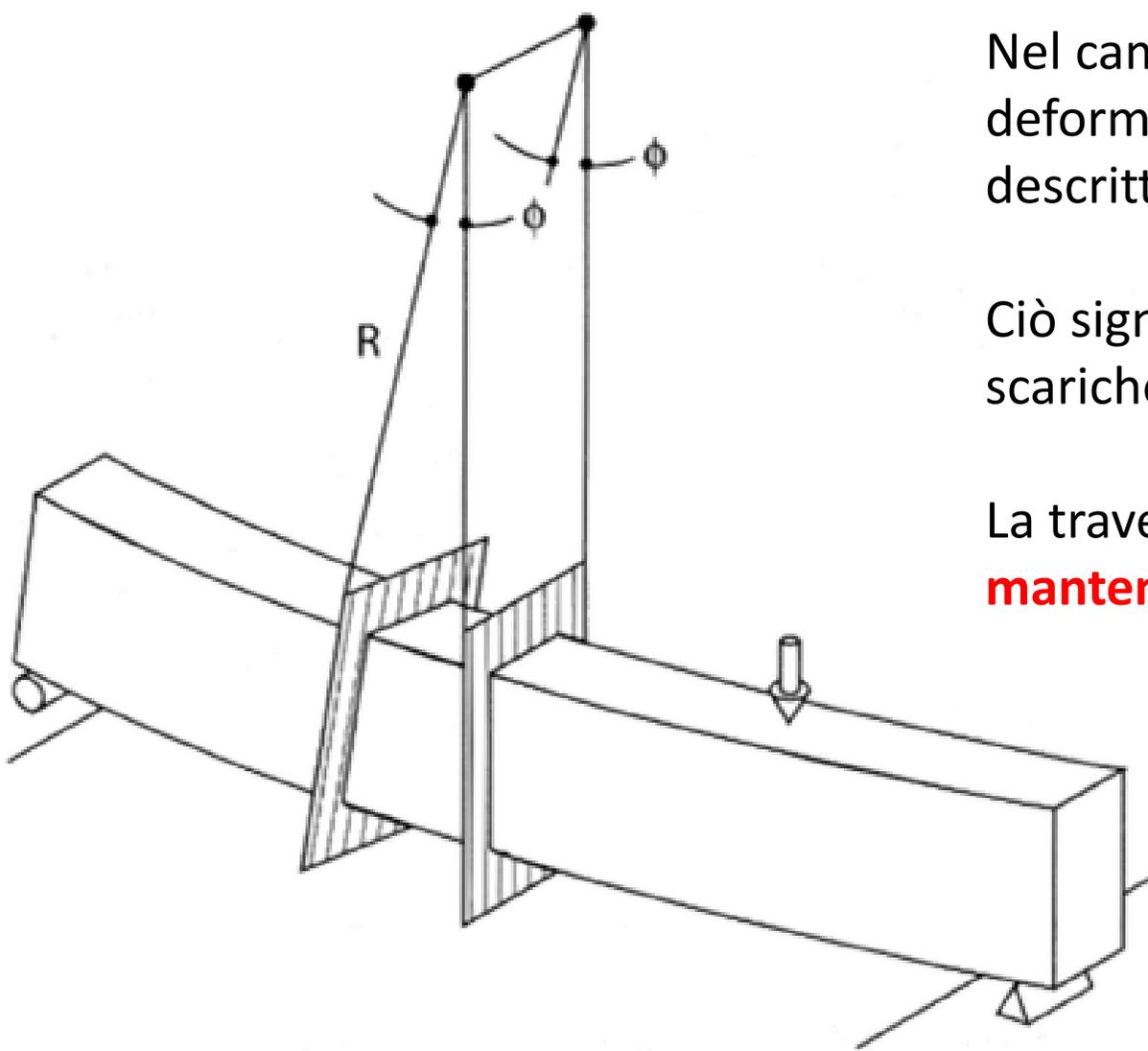
Esempio sezione circolare



Esempio sezione rettangolare



◦ FLESSIONE SEMPLICE



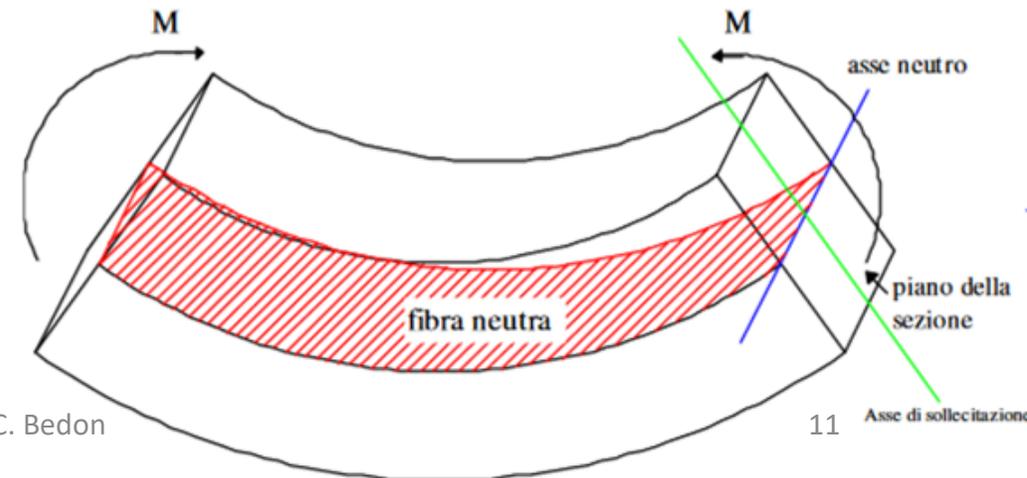
Nel campo dei piccoli spostamenti, la deformazione di una trave inflessa può essere descritta come un arco di circonferenza

Ciò significa che tutte le fibre (tese o compresse, o scariche) subiscono una curvatura costante

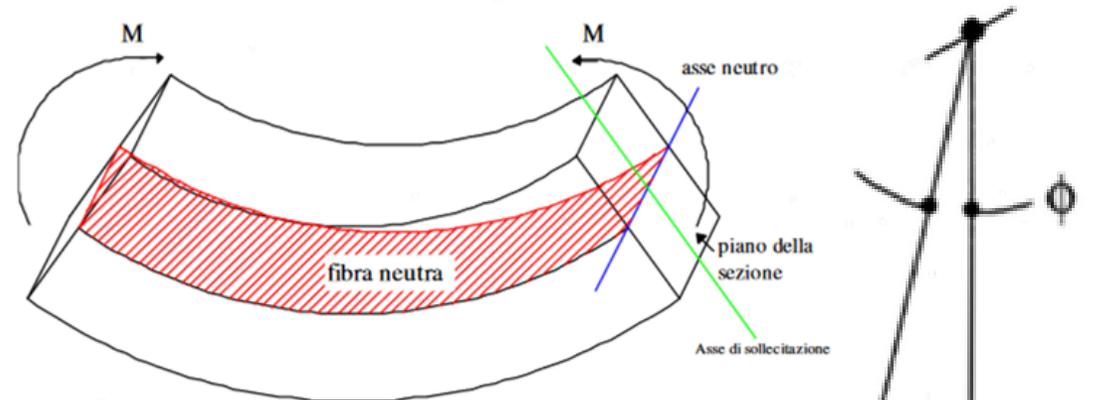
La trave si deforma infatti nell'ipotesi di **mantenimento delle sezioni piane**

Flessione SEMPLICE= la trave è soggetta a carichi esterni che giacciono in un piano di sollecitazione contenente l'asse longitudinale della struttura

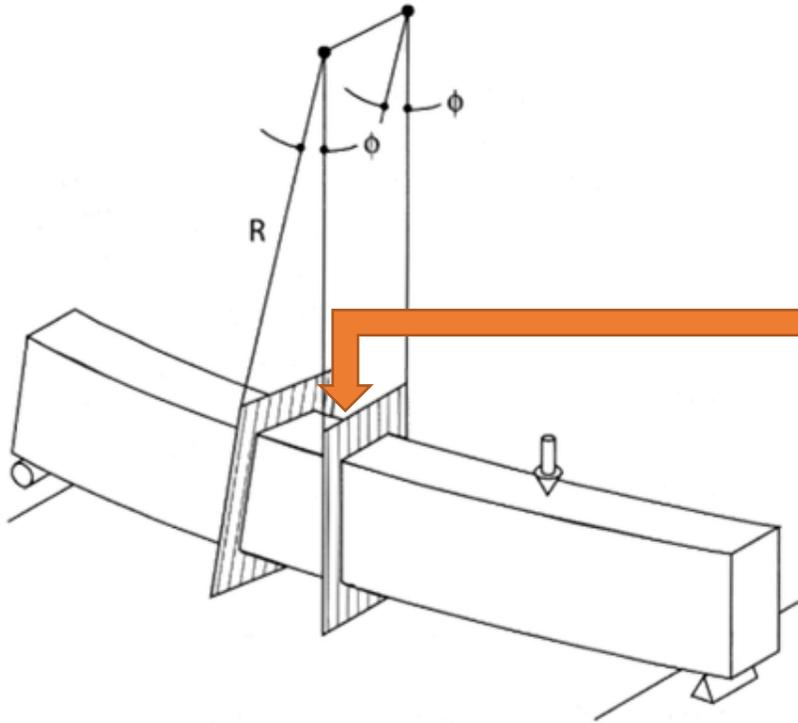
Flessione RETTA= l'asse di sollecitazione coincide con l'asse di simmetria della sezione. Asse di sollecitazione e asse neutro sono perpendicolari



La curvatura ($1/R$) sviluppata in una trave in corrispondenza di una sezione dipende direttamente dall'intensità del momento esterno presente nella sezione. Le deformazioni nella trave associate a questa curvatura variano linearmente da un allungamento, massimo sulla superficie superiore della trave, ad un accorciamento, massimo sulla faccia opposta.

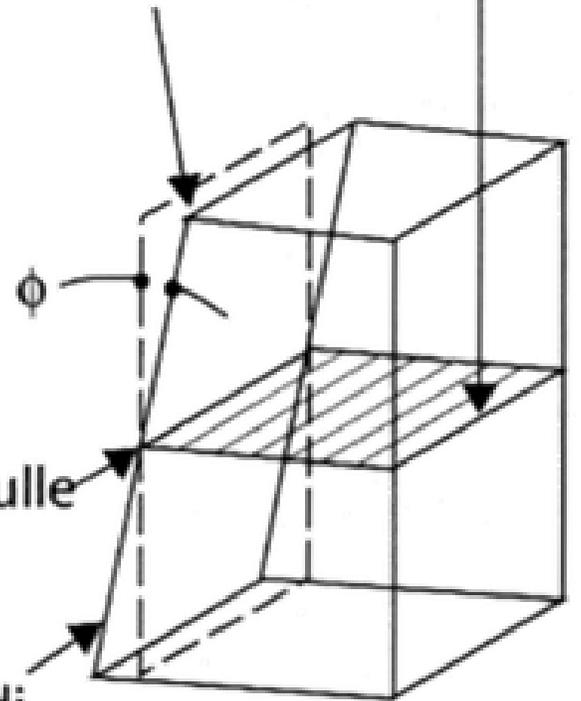


Deformazioni di compressione

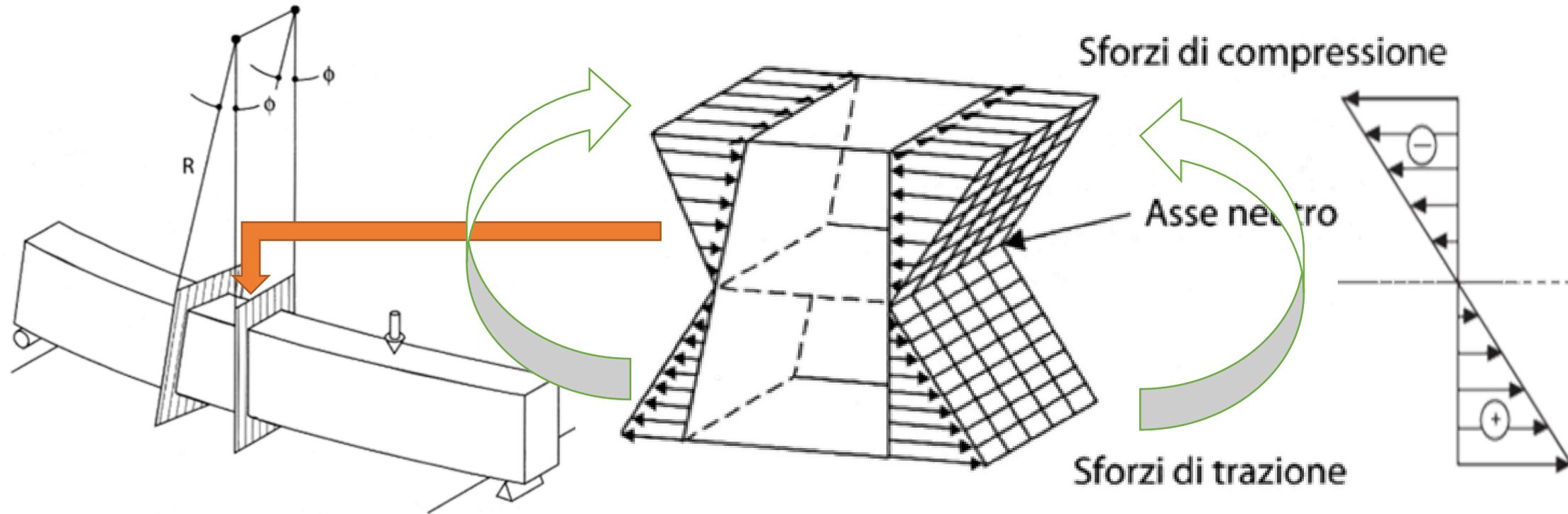


Deformazioni nulle

Deformazioni di trazione (allungamenti)



Gli sforzi che si sviluppano a causa della flessione sono, in un materiale con comportamento elastico lineare, direttamente proporzionali alla deformazione presente. La traccia sulla sezione del piano formato dalle fibre aventi sforzo nullo viene chiamata "asse neutro" della sezione.

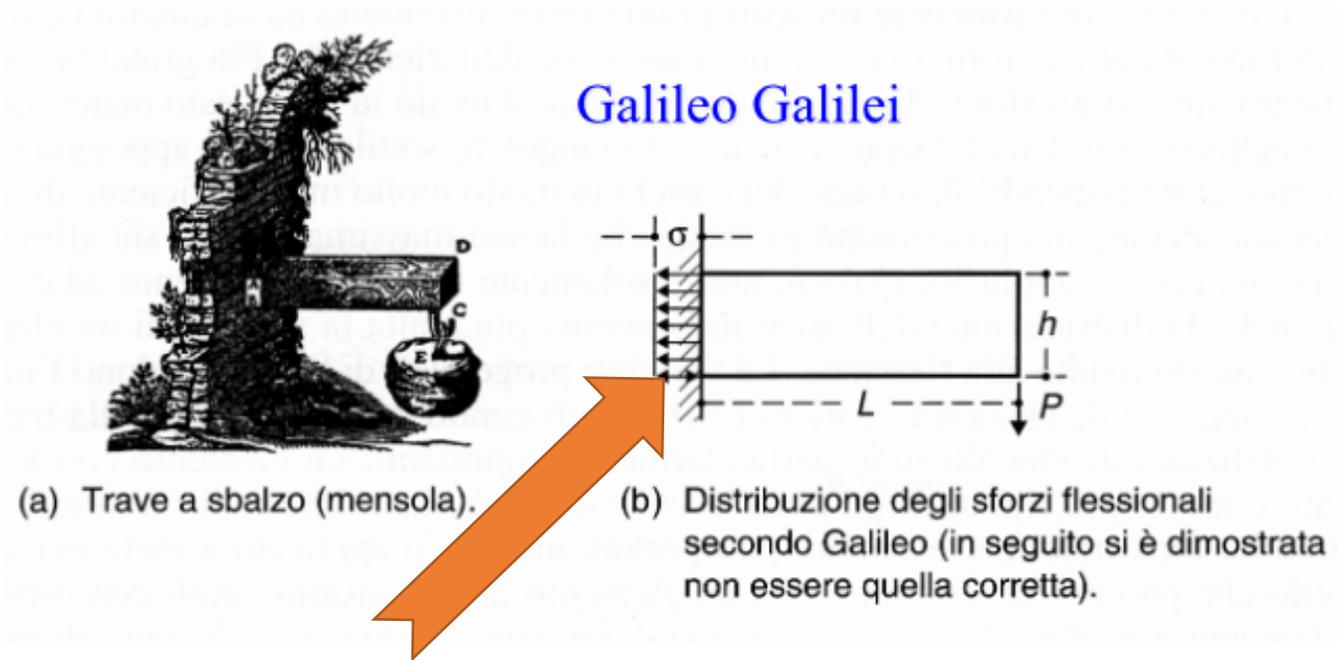


PROVA DI FLESSIONE



TRAVI

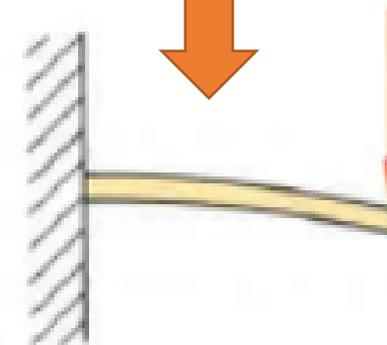
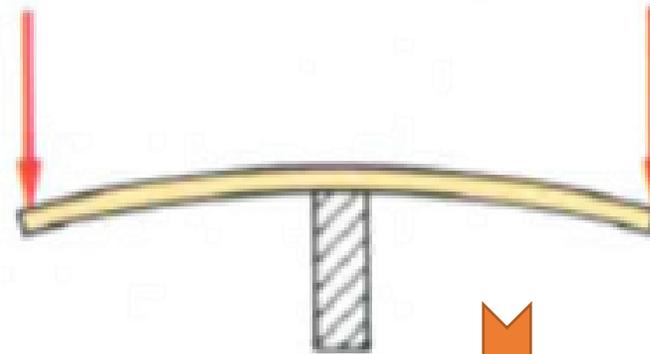
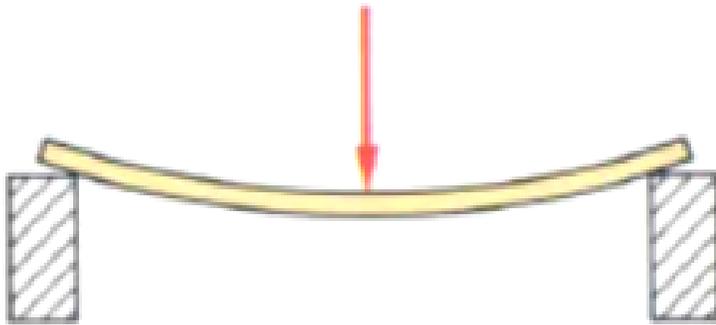
Già **Leonardo da Vinci** (1452-1519) provò a descriverne il comportamento su basi razionali.



Tuttavia, fu **Galileo Galilei** (1564-1642) il primo ad iniziare in modo sistematico lo studio del problema della flessione (anche se non ottenne il pieno successo nel risolvere il problema, la sua formulazione iniziale gettò le basi per gli studi successivi).

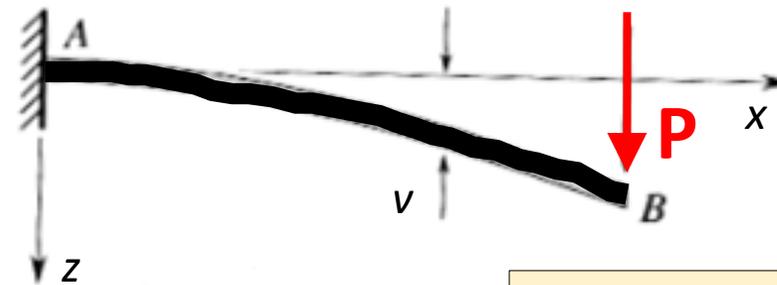
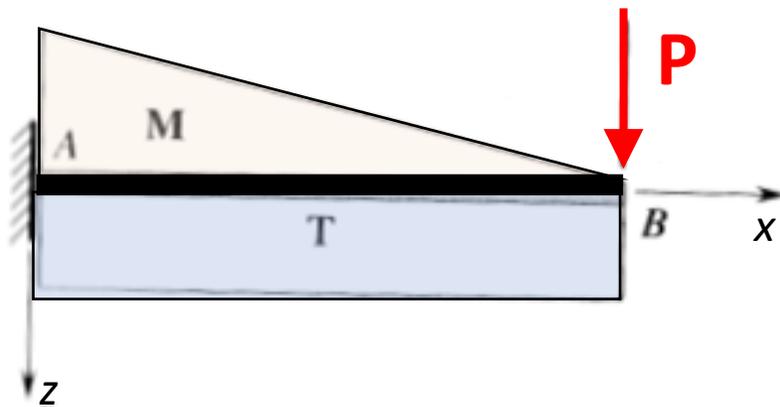
TRAVI

- ✓ Pur essendo la trave un elemento strutturale semplice, il suo comportamento flessionale è più complesso rispetto a quello delle aste sottoposte a semplice trazione o compressione
- ✓ Può essere vantaggioso, al fine di comprenderne la risposta statica, ricorrere a elementi / problemi più semplici



- ✓ Dal punto di vista statico, in particolare, una trave appoggiata sottoposta a flessione può essere considerata come assemblaggio di due mensole

FLESSIONE SEMPLICE



Si fissi come sistema di riferimento:

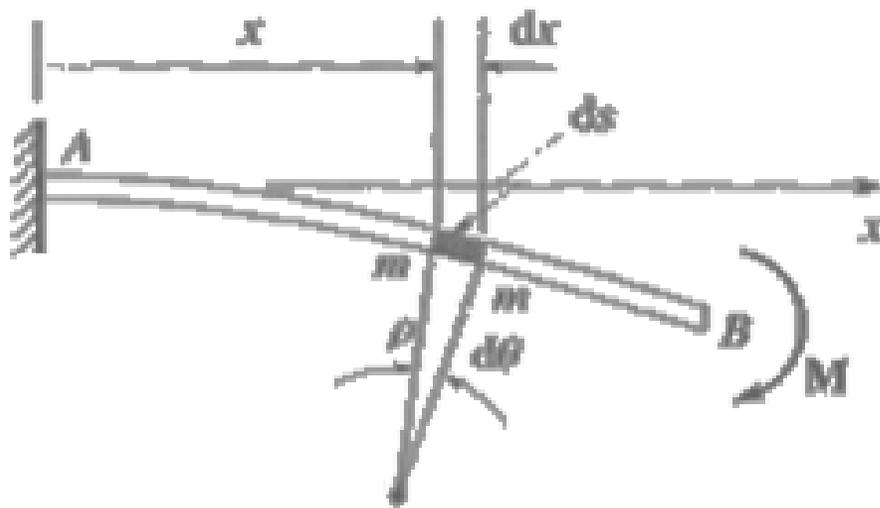
- 1) un asse x coincidente con l'asse della trave
- 2) un asse z nella cui direzione agisce il carico concentrato

- ✓ La trave AB soggetta al carico P si deforma, mantenendosi nel piano xz
- ✓ Il piano xz viene detto piano di inflessione

L'analisi delle azioni interne per questa struttura mostra che:

- Il taglio è costante lungo tutta la trave (e positivo secondo le nostre convenzioni)
- Il momento flettente varia linearmente da zero (punto di applicazione del carico) al valore massimo in corrispondenza della sezione di incastro. **Le fibre tese sono in alto**

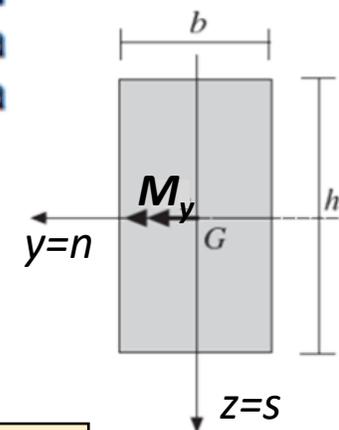
Le fibre di una trave inflessa, inizialmente rettilinee, per effetto della flessione si deformano secondo **linee curve**. È intuitivo osservare che l'entità di tale curvatura è funzione dello stato di sforzo



Si definisce **curvatura di una linea in un punto** la grandezza:

$$R = \frac{1}{\rho} \quad [m^{-1}]$$

espressione nella quale ρ rappresenta il **raggio di curvatura**, ossia il raggio della circonferenza tangente alla curva che localmente approssima meglio la curva stessa



- In funzione della loro posizione, le fibre possono allungarsi (sopra in questo caso) o accorciarsi (sotto)

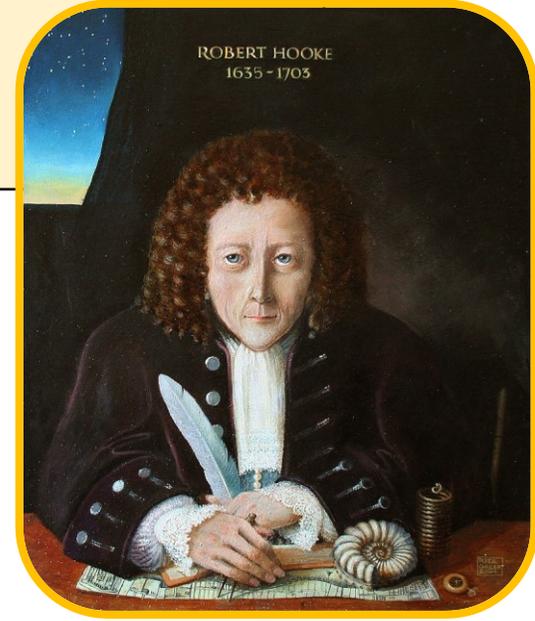
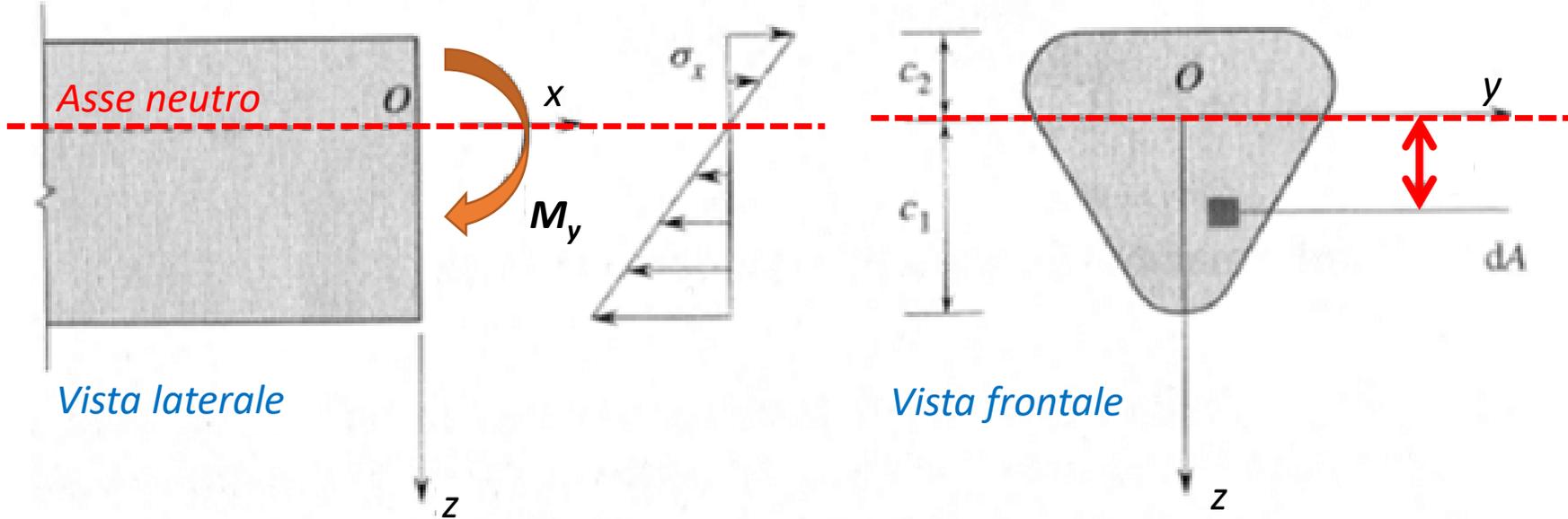
Tali deformazioni longitudinali ($\epsilon = \epsilon_x$) sono proporzionali alla distanza z delle fibre dall'asse $y=n$, detto asse neutro della sezione, che non subisce deformazioni $\Rightarrow \epsilon = R z$

FLESSIONE SEMPLICE

TENSIONI

Una volta che sono note le deformazioni, si può risalire all'entità degli sforzi introducendo il legame elastico espresso dalla legge di Hooke

$$\sigma_x = E \cdot \epsilon_x$$



Robert Hooke (1635-1703)

- E quindi, **anche gli sforzi variano linearmente con la coordinata z**, che esprime la distanza dall'asse neutro.
- Nella configurazione ipotizzata, **gli sforzi al di sopra dell'asse neutro sono di trazione**, mentre **al di sotto si osservano sforzi di compressione**
- **Gli sforzi raggiungono il massimo valore in superficie**

FLESSIONE SEMPLICE

Perchè $\varepsilon = R z$

...RICAPITOLANDO:

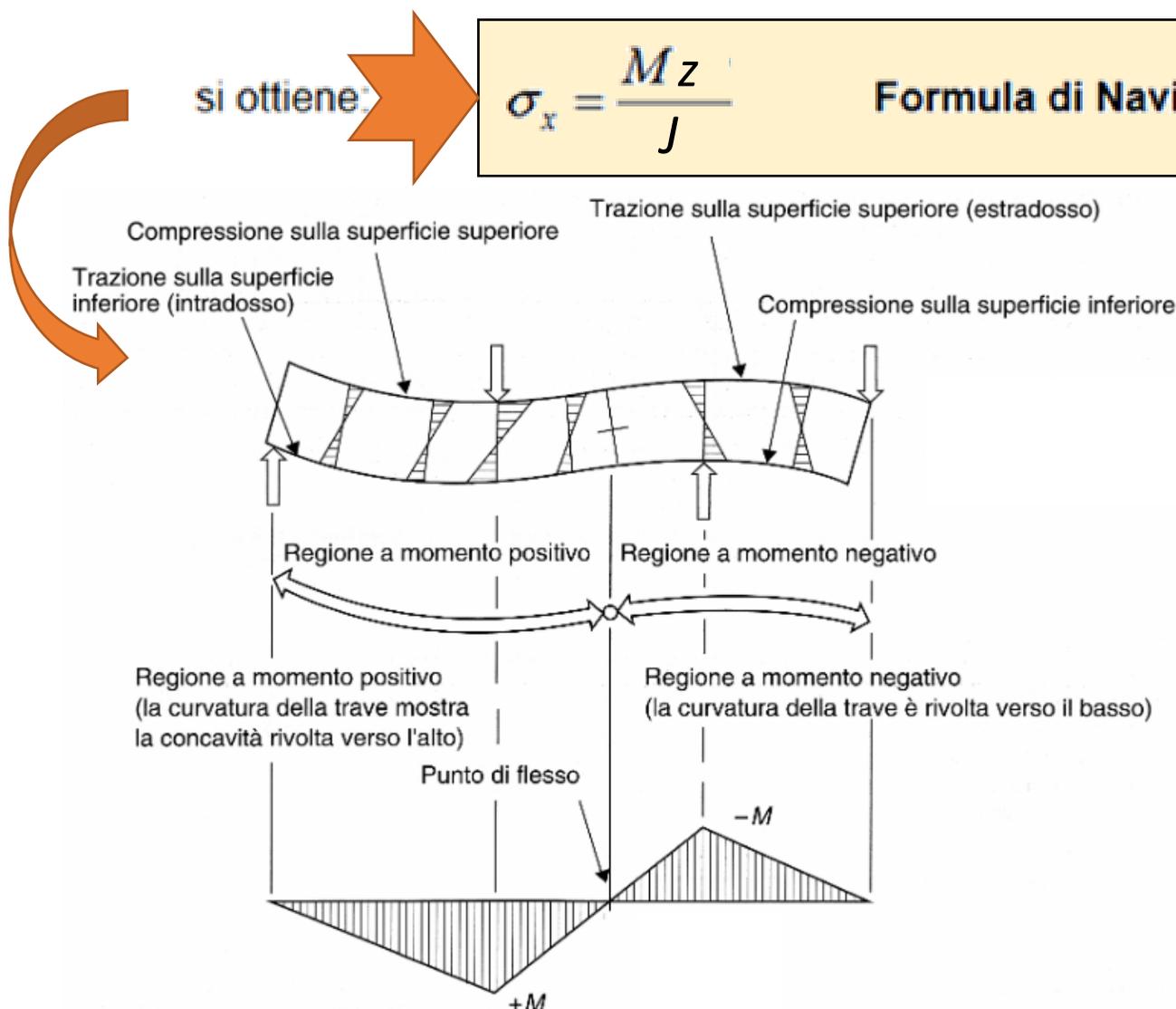
$\sigma_x = E \cdot \varepsilon_x = R E z$

ma essendo

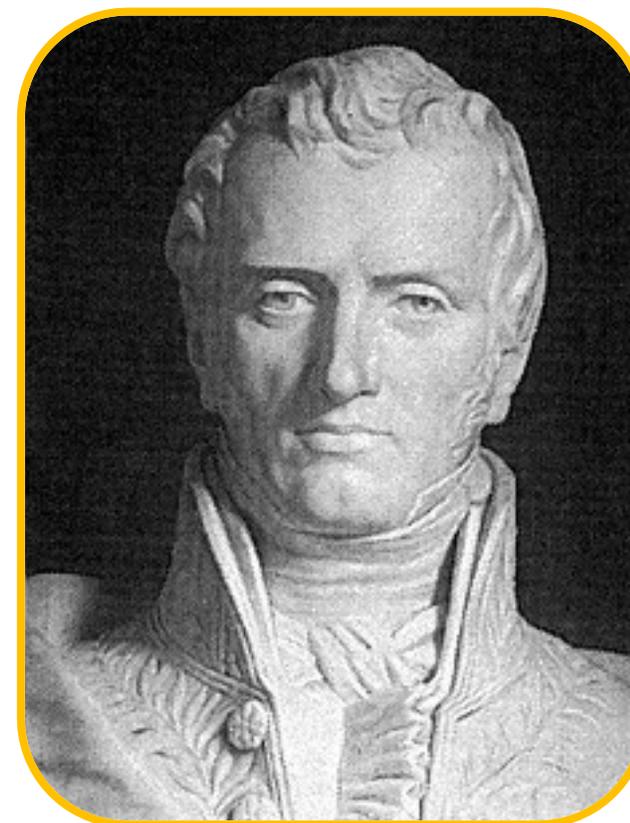
$R = \frac{M}{E \cdot J}$

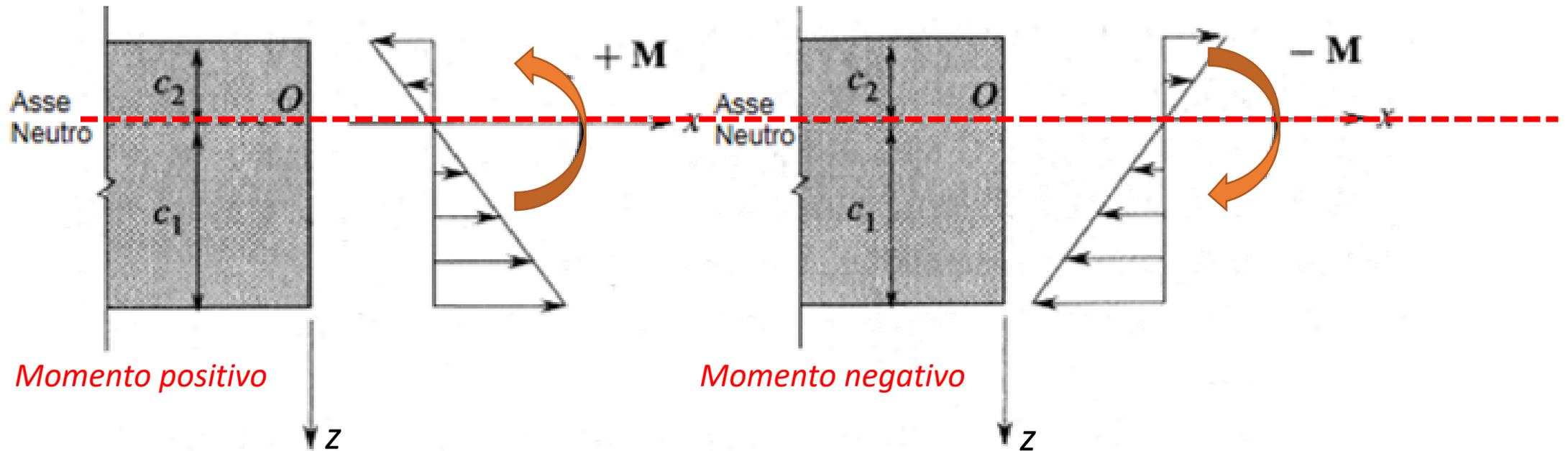
si ottiene:

$\sigma_x = \frac{M z}{J}$ Formula di Navier



Claude-Louis Navier (1785-1863)





- La relazione di Navier mostra come gli sforzi dipendano dal momento flettente applicato, dalla distanza dall'asse neutro e dal momento di inerzia J della sezione e si **distribuiscono linearmente lungo la coordinata z**
- **Il segno degli sforzi è fissato da quello del momento flettente.** Se il momento è positivo (fibre tese sotto) gli sforzi di trazione saranno dalla parte delle z positive. Se il momento è negativo, gli sforzi di trazione saranno dalla parte delle z negative

1) SEZIONE RETTANGOLARE PIENA

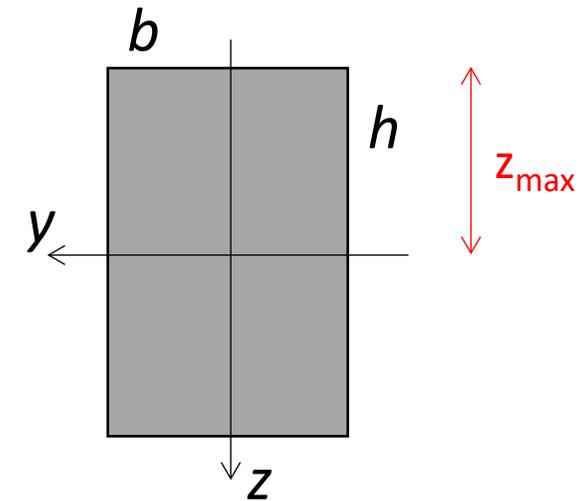
$$\sigma_x = \frac{M \cdot z}{J}$$

Il momento di inerzia vale:

$$J = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$$

Mentre z_{\max} vale $h/2$

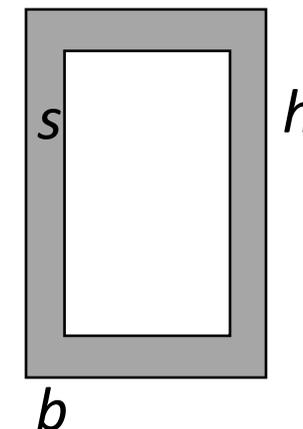
$$\sigma_x = \frac{M \cdot \frac{h}{2}}{\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = \frac{12 \cdot M \cdot h}{2 \cdot b \cdot h^3} = \frac{6 \cdot M}{b \cdot h^2}$$



2) SEZIONE RETTANGOLARE CAVA (di spessore s)

Il momento di inerzia vale: $J = J_{\text{pieno}} - J_{\text{vuoto}} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 - \frac{1}{12} (b - 2s) \cdot (h - 2s)^3$ z_{\max} vale $h/2$

$$\sigma_{\max} = \frac{M \cdot \frac{h}{2}}{J} = \frac{6 \cdot M \cdot h}{b \cdot h^3 - (b - 2s) \cdot (h - 2s)^3}$$



ALCUNE SEZIONI COMUNI

1) SEZIONE CIRCOLARE PIENA

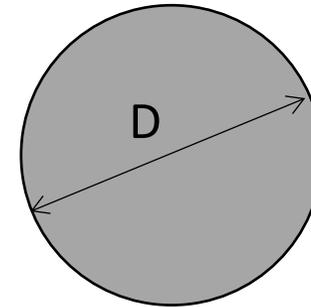
$$\sigma_x = \frac{M \cdot z}{J}$$

Il momento di inerzia vale:

$$J = \frac{\pi}{64} \cdot D^4$$

Mentre z_{\max} vale $D/2$

$$\sigma_x = \frac{M \cdot \frac{D}{2}}{\frac{\pi}{64} \cdot D^4} = \frac{64 \cdot M \cdot D}{2 \cdot \pi \cdot D^4} = \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot D^3}$$

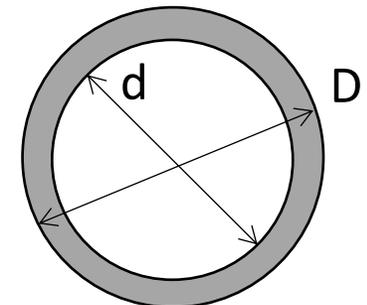


2) SEZIONE CIRCOLARE CAVA

Il momento di inerzia vale: $J = \frac{\pi}{64} \cdot D^4 - \frac{\pi}{64} \cdot d^4 = \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4)$

Mentre z_{\max} vale $D/2$

$$\sigma_x = \frac{M \cdot \frac{D}{2}}{\frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4)} = \frac{64 \cdot M \cdot D}{2 \cdot \pi \cdot (D^4 - d^4)} = \frac{32 \cdot M \cdot D}{\pi \cdot (D^4 - d^4)}$$



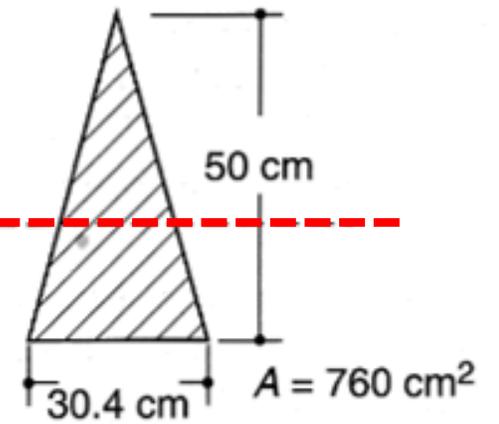
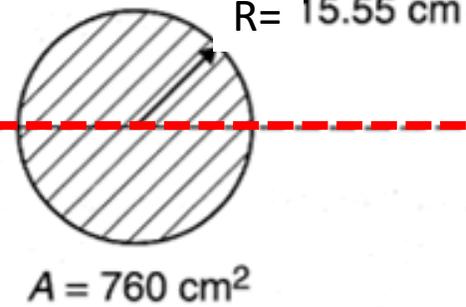
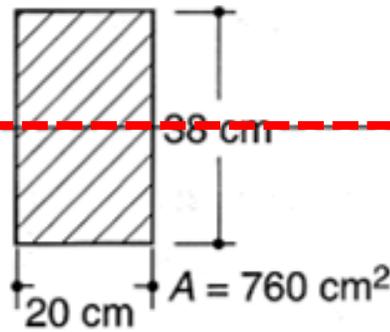
...Ciò che conta, è l'inerzia

FLESSIONE SEMPLICE

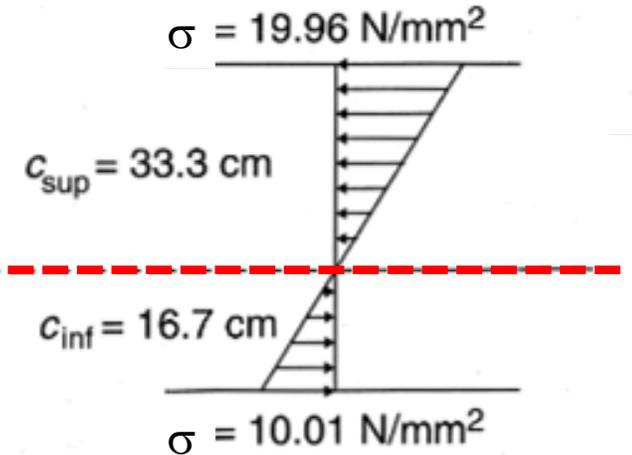
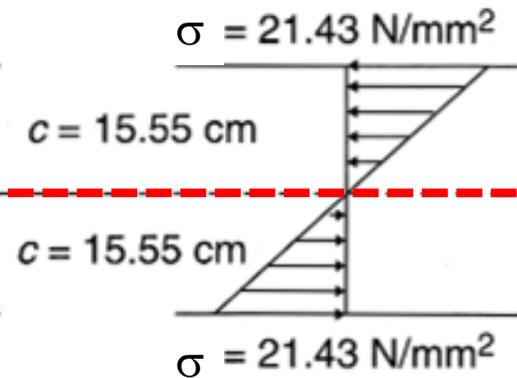
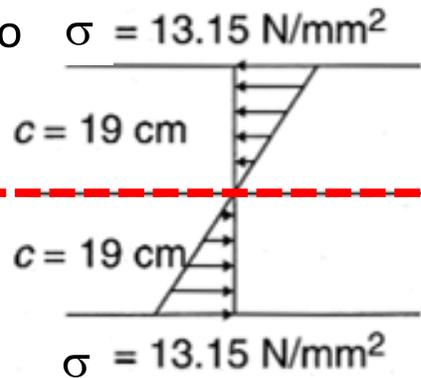
Ipotizziamo di applicare lo stesso momento flettente M alle tre sezioni in figura.

A parità di area di sezione A , la distribuzione e l'entità delle tensioni normali cambiano significativamente:

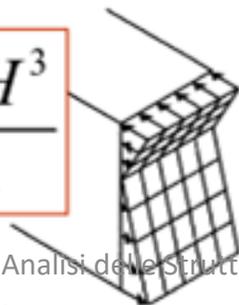
Asse neutro



Asse neutro



$$J = \frac{B \cdot H^3}{12}$$



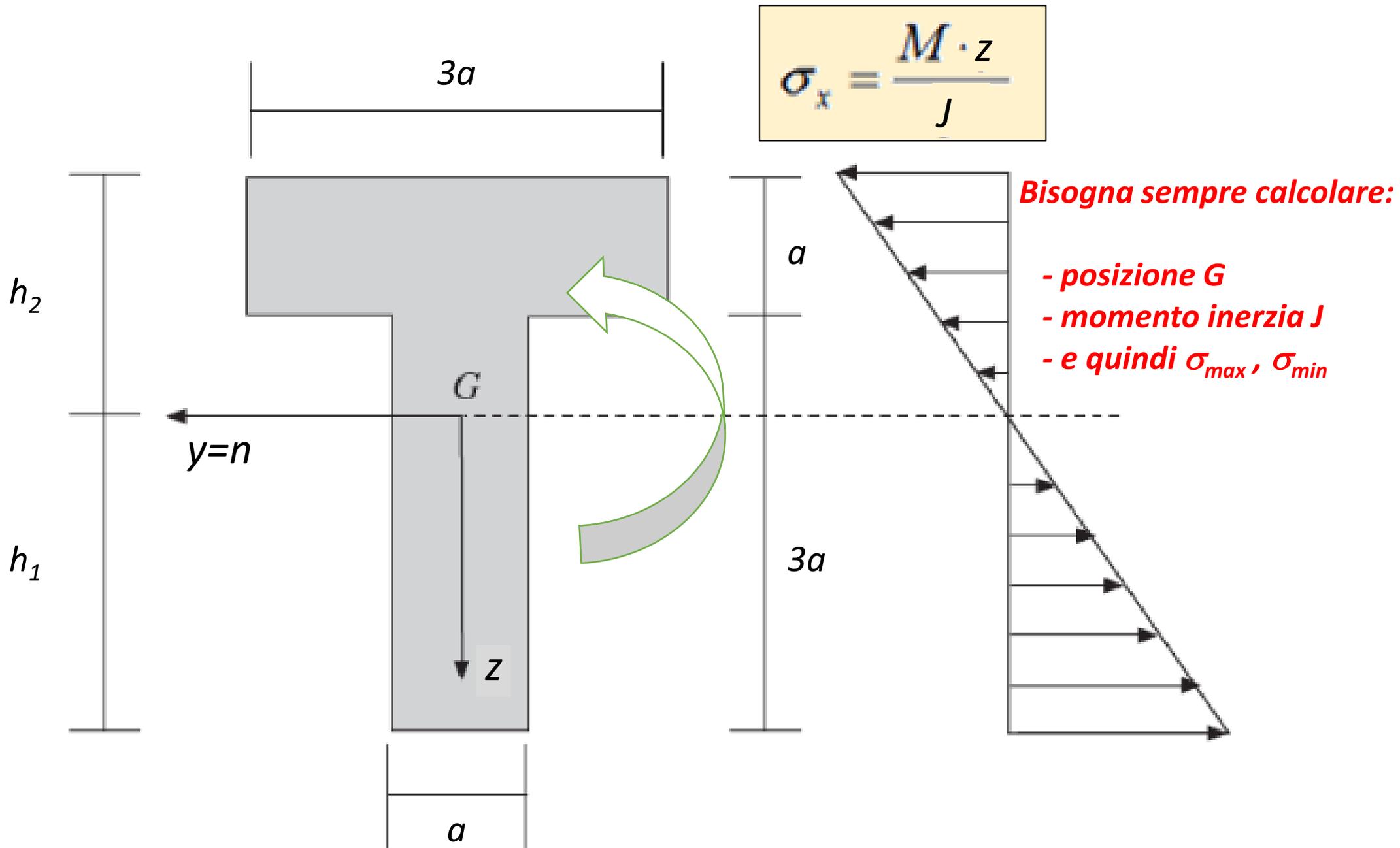
$$J = \pi \frac{R^4}{4}$$



$$J = \frac{B \cdot H^3}{36}$$



FLESSIONE SEMPLICE



...E per una sezione di forma qualsiasi?

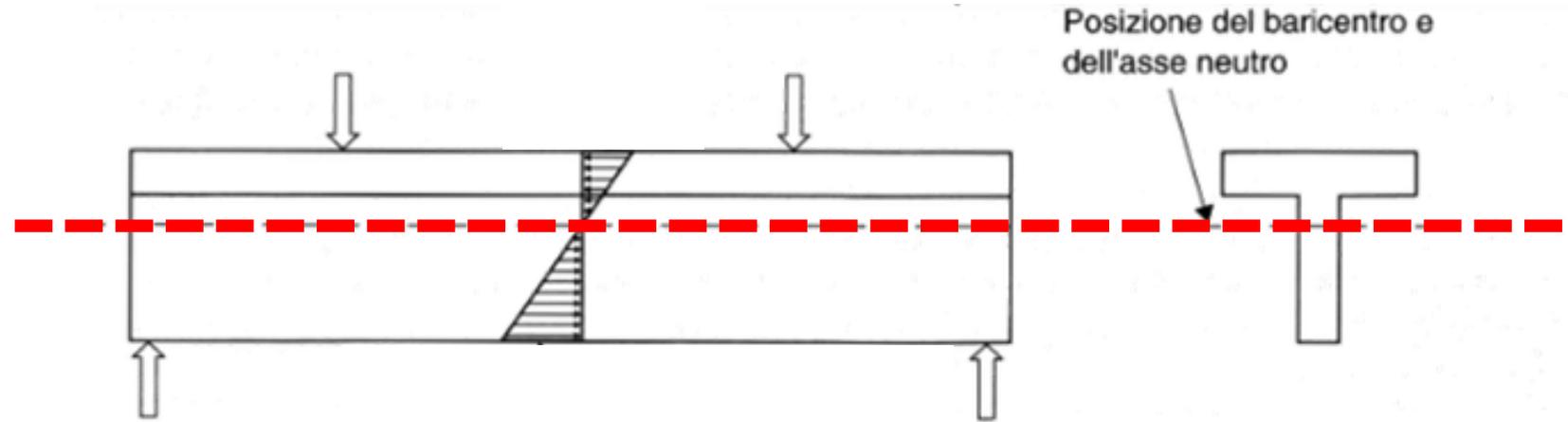
Sezioni a T

FLESSIONE SEMPLICE

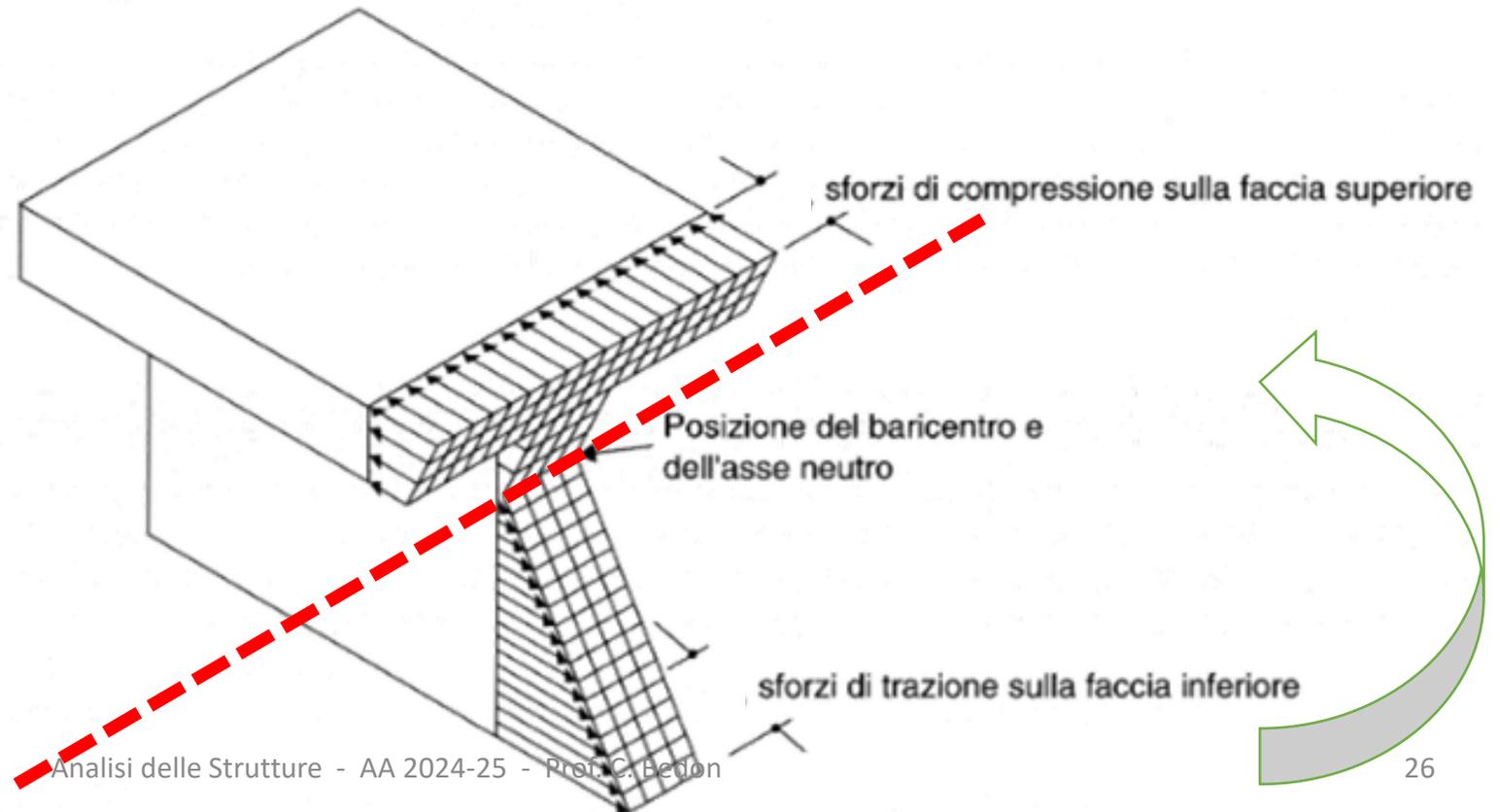
Le sezioni a T sono fortemente asimmetriche.

Risultano pertanto poco vantaggiose nei casi in cui sia previsto:

- ✓ uso di materiali con comportamento (resistenza) non simmetrico
- ✓ strutture nelle quali è prevista inversione di carico (momento flettente)

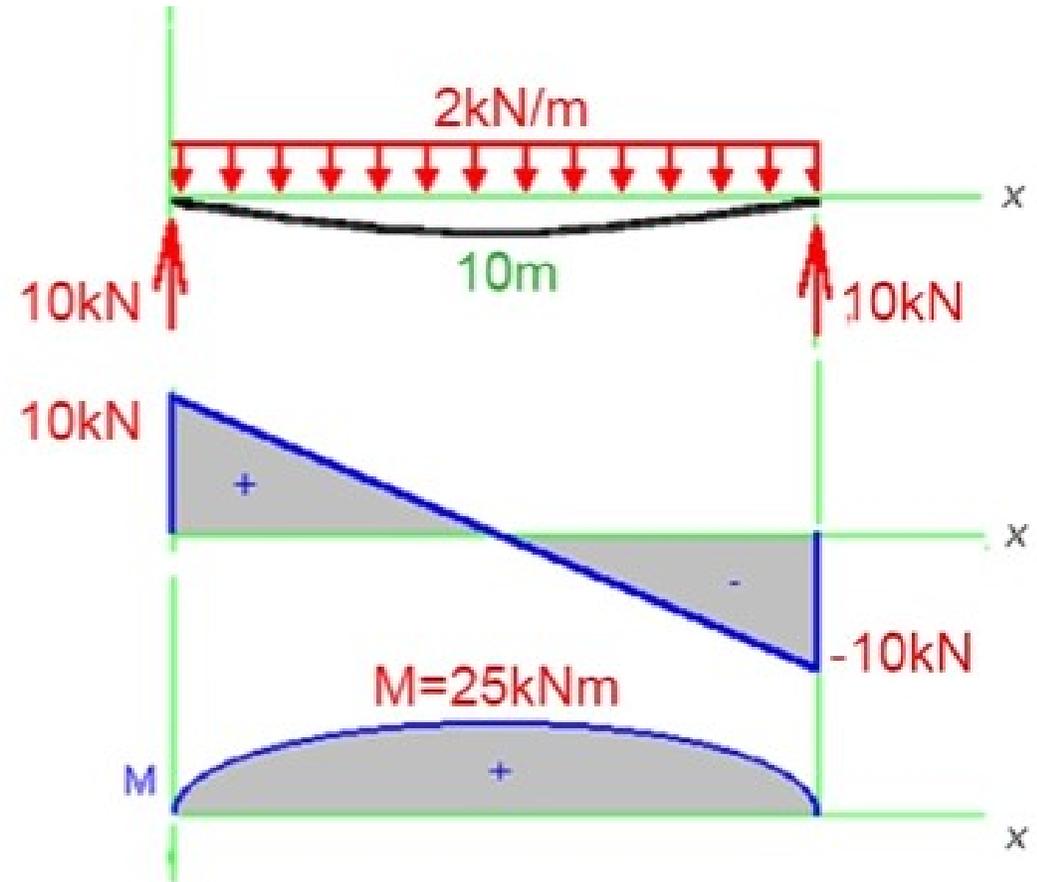
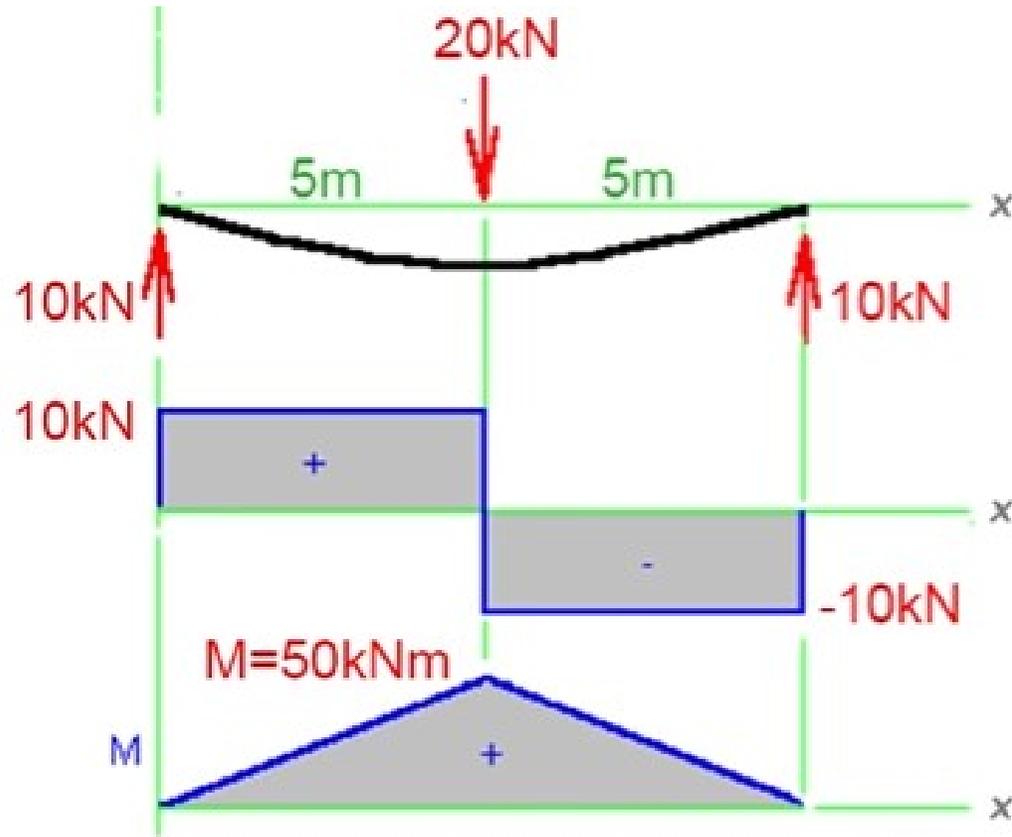


Trave a T, con carichi applicati.



Meglio un carico concentrato o distribuito?

FLESSIONE SEMPLICE

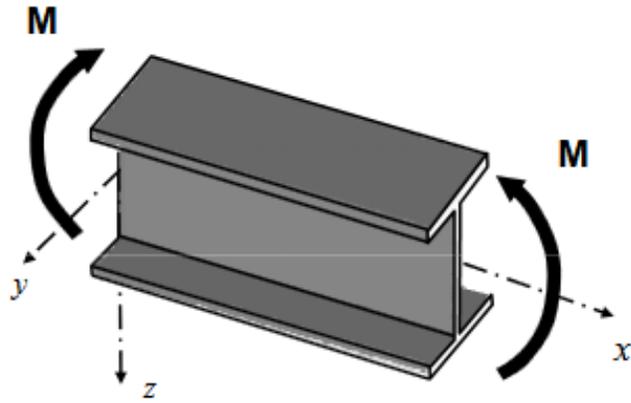


A parità di risultante del carico esterno imposto alla trave (20kN), la presenza di un carico uniformemente distribuito è associata a minori sollecitazioni nella trave. Ciascuna sezione resistente, in particolare, risulta sottoposta ad un momento flettente massimo che è pari alla metà del caso di carico concentrato

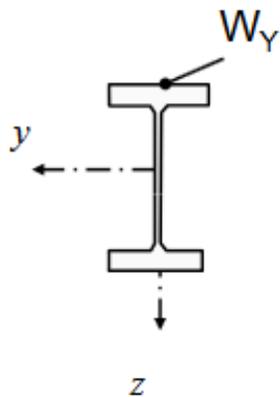
Dalla formulazione di Navier,...

....si può ottenere un rapido dimensionamento di massima

FLESSIONE SEMPLICE



Modulo di resistenza elastico teorico



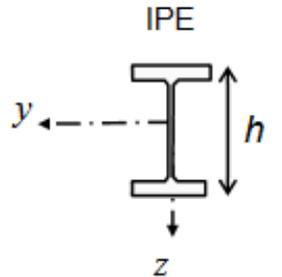
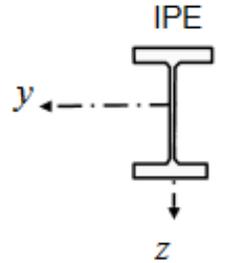
$$W^* = \frac{M_{max}}{f_d}$$

dove:

M_{max} è il max momento sollecitante
 f_d è la tensione di progetto

Fasi Operative

- 1 Scelta una tipologia di sezione
Ad esempio IPE
- 2 Scelta del tipo di acciaio
Ad esempio acciaio S275
- 3 Calcolo del momento flettente massimo
- 4 Calcolo dell' modulo di resistenza W^* elastico teorico
- 5 Scelta della sezione dal sagomario con W maggiore di quello teorico
Ad esempio altezza



Perfiles H de alas anchas

Dim.: HE A, HE B y HE M 100 - 1000 conforme a la norma anterior EU 53-62; HE 1000 con $G_{40} > G_{40k}$ conforme a ASTM A 6/A 6M - 07
 HE C conforme a PN-H-93452: 2005; HE AA 100-1000 conforme a la norma de fábrica
 Tolerancias: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M
 ASTM A 6/A 6M - 07 HE 1000 with $G_{40} > G_{40k}$
 Estado de la superficie: conforme a norma EN 10163-3: 2004, clase C, subclase 1

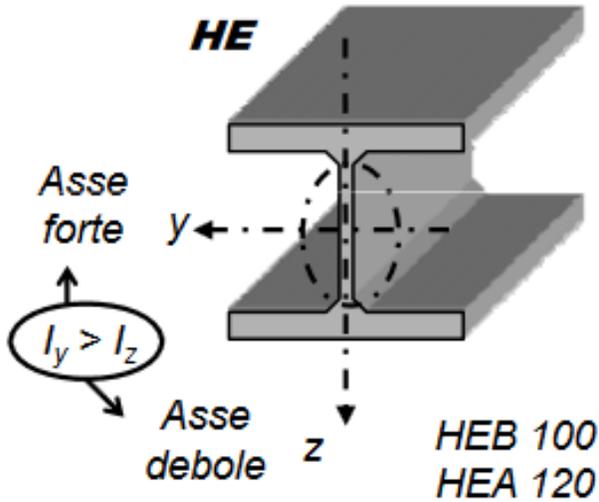
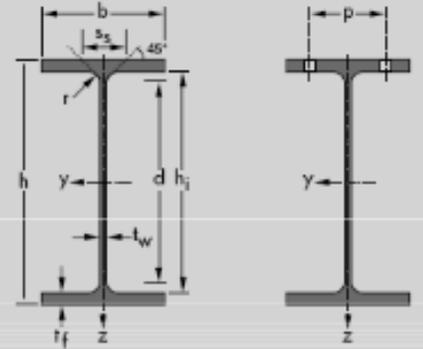
European wide flange beams

Dim.: HE A, HE B and HE M 100 - 1000 in accordance with former standard EU 53-62; HE 1000 with $G_{40} > G_{40k}$ in accordance with ASTM A 6/A 6M - 07
 HE C in accordance with PN-H-93452: 2005; HE AA 100-1000 in accordance with mill standard
 Tolerances: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M
 ASTM A 6/A 6M - 07 HE 1000 with $G_{40} > G_{40k}$
 Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Profili H ad ali larghe

Dim.: HE A, HE B and HE M 100 - 1000 secondo il vecchio standard EU 53-62; HE 1000 con $G_{40} > G_{40k}$ secondo ASTM A 6/A 6M - 07
 HE C secondo PN-H-93452: 2005; HE AA 100-1000 secondo lo standard dell'acciaieria
 Tolleranze: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M
 ASTM A 6/A 6M - 07 HE 1000 con $G_{40} > G_{40k}$
 Condizioni di superficie: secondo EN 10163-3: 2004, classe C, sottoclasse 1

HE



Denominación Designation Designazione	Propiedades del perfil / Section properties / Proprietà geometriche del profilo											
	eje fuerte y-y strong axis y-y asse forte y-y						eje débil z-z weak axis z-z asse debole z-z					
	G	I _y	W _{ey}	W _{ey} *	I _y	A _e	I _z	W _{ez}	W _{ez} *	I _z	s _x	I _z
Pag. 2	kg/m	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm ² x10 ²	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm	mm ⁴ x10 ⁴
HE 100 AA	12,2	236,5	51,98	58,36	3,89	6,15	92,06	18,41	28,44	2,43	29,26	2,51
HE 100 A	16,7	349,2	72,76	83,01	4,06	7,56	133,8	26,76	41,14	2,51	35,06	5,24
HE 100 B	20,4	449,5	89,91	104,2	4,16	9,04	167,3	33,45	51,42	2,53	40,06	9,25
HE 100 C	30,9	758,7	137,9	165,8	4,39	13,39	274,4	53,28	82,08	2,64	53,06	29,30
HE 100 M	41,8	1143	190,4	235,8	4,63	18,04	399,2	75,31	116,3	2,74	66,06	68,21

$W_{min} = M_{max} / \sigma$

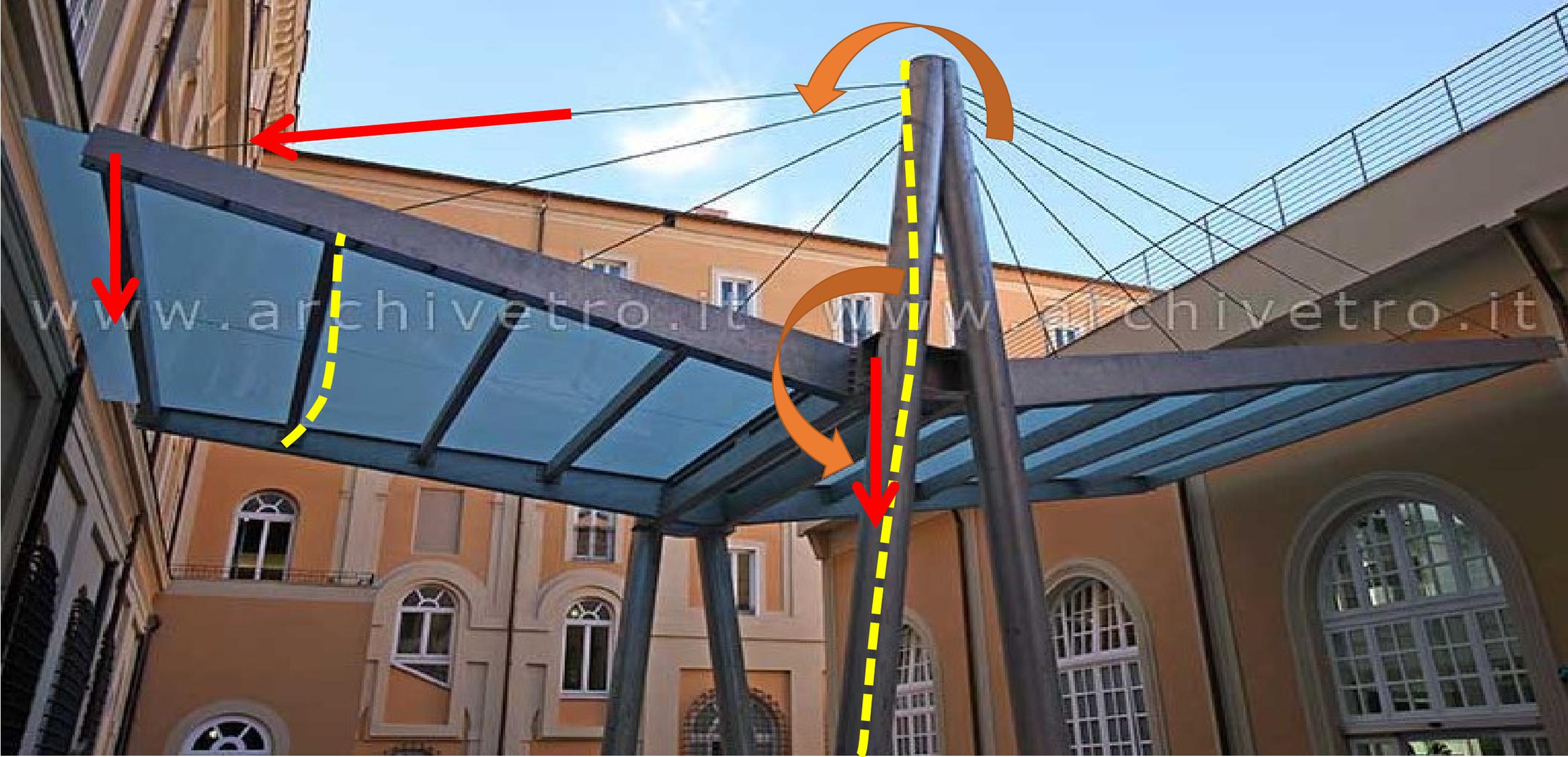


CASI PARTICOLARI DI INTERESSE PRATICO

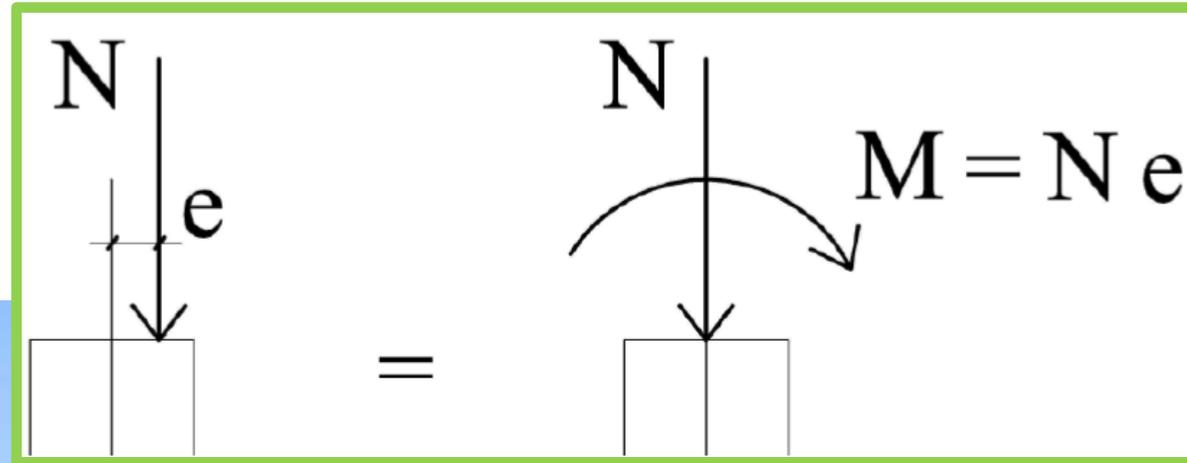
PRESSO(TENSO)-FLESSIONE



PRESSO(TENSO)-FLESSIONE



PRESSO(TENSO)-FLESSIONE

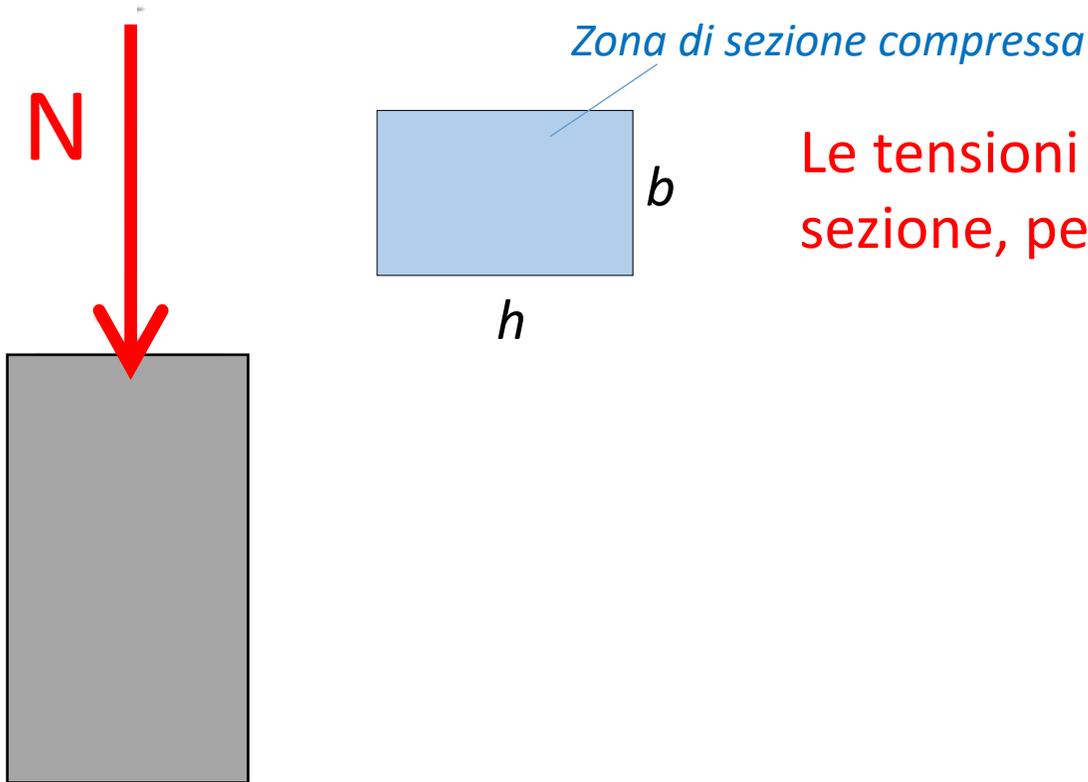


Nella pratica costruttiva, sono molto frequenti i casi in cui gli elementi strutturali sono sottoposti a stati di sollecitazione composta, ottenuta dalla combinazione di più stati elementari

Grazie al principio di sovrapposizione degli effetti, le membrature possono essere dimensionate e verificate tenendo opportunamente in conto il loro effettivo stato di sollecitazione

Caso limite: $e=0$

In questo caso non possiamo parlare di “pressoflessione” ma di “Sforzo normale Centrato”.

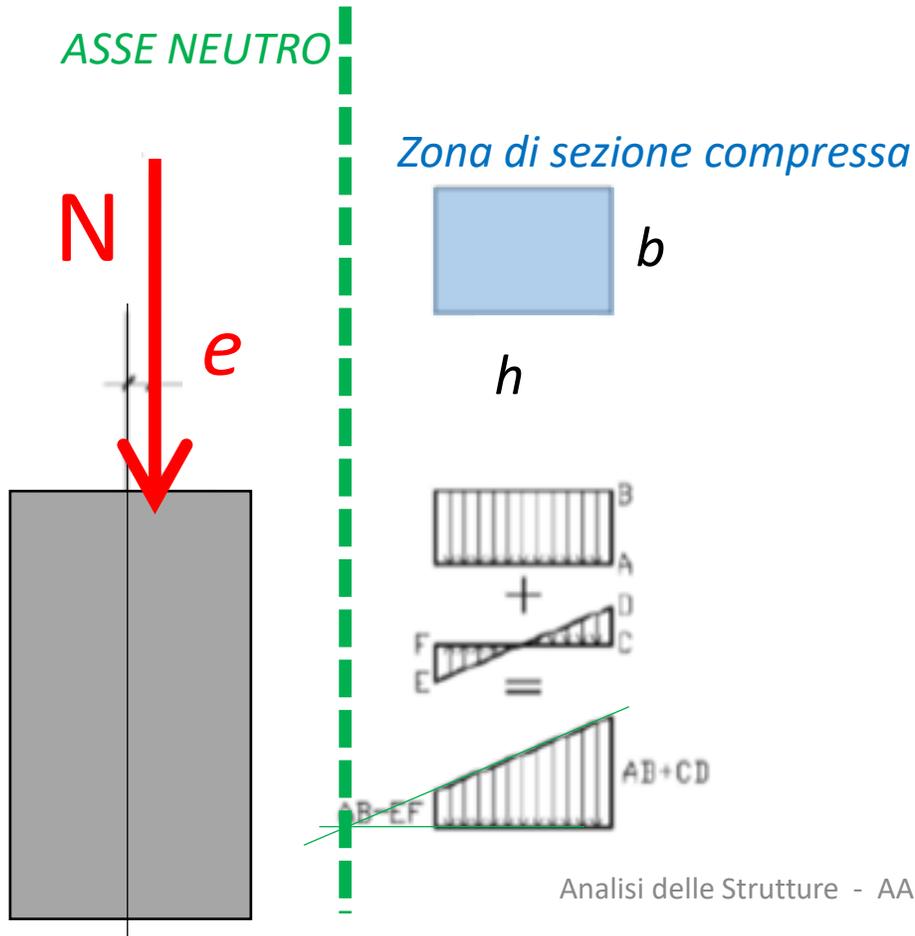


Le tensioni normali σ sono uniformi su tutta la sezione, pertanto ciascun punto è sottoposto a:

$$\sigma = \frac{N}{A}$$

Caso 1: piccola eccentricità

In questo le tensioni σ nella sezione non sono più costanti, come il caso precedente ma variano, pur restando sempre di compressione. Il diagramma risulta essere a forma di trapezio con un valore massimo e minimo della σ . Questo perchè il segmento AB ($=N/A$) è maggiore al segmento CD (M/W).



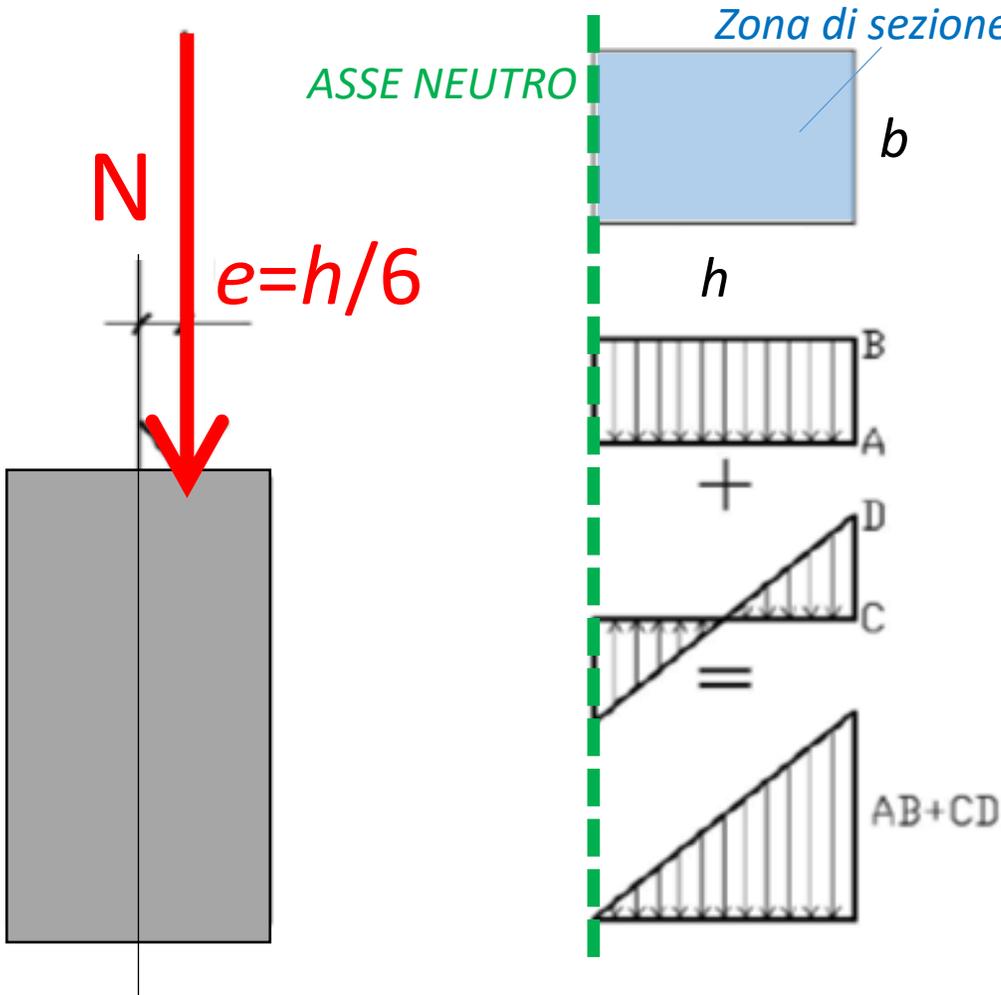
Possiamo calcolare il valore massimo e minimo delle σ con le formule:

$$\sigma_{massima} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = AB + CD$$

$$\sigma_{minima} = \frac{N}{A} - \frac{M}{W} = AB - EF$$

Caso 2: eccentricità limite

Questo caso consente di definire l'eccentricità limite ad di sotto della quale tutta la sezione è compressa.



$$\frac{M}{W} - \frac{N}{A} = 0$$

Sostituendo W e A

$$\frac{6 * N * e}{(b * h^2)} = \frac{N}{(b * h)}$$

Semplificando

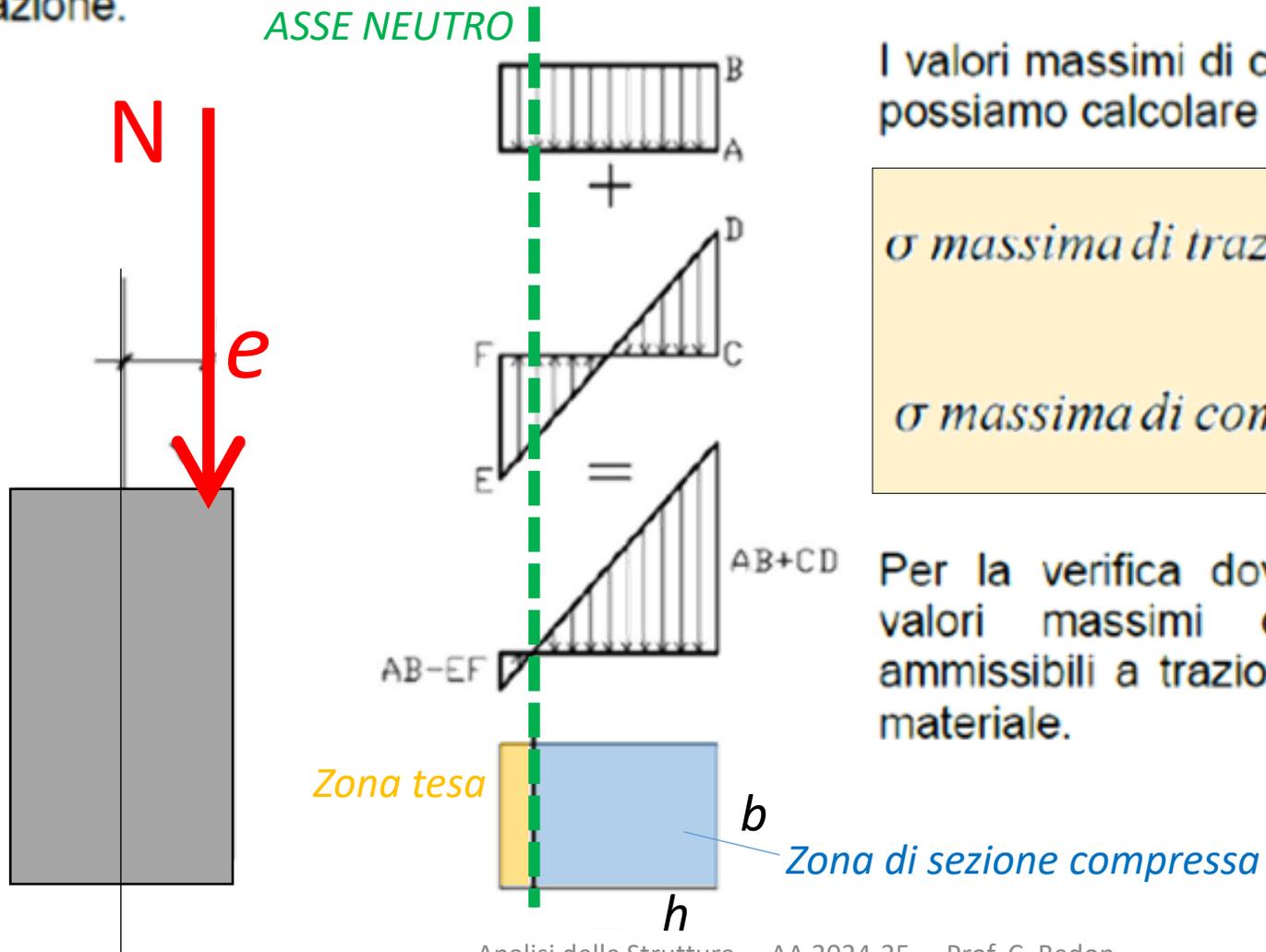
$$\frac{6 * e}{h} = 1$$

Da cui si ricava

$$e = \frac{h}{6}$$

Caso 3: grande eccentricità

Se il materiale resiste anche a trazione (Acciaio e legno), può succedere per grandi eccentricità che il rapporto M/W sia superiore al rapporto N/A . In questo caso avremo all'interno della sezione un asse neutro che divide una zona di compressione ed una zona di trazione.



I valori massimi di compressione e trazione di possiamo calcolare con queste formule:

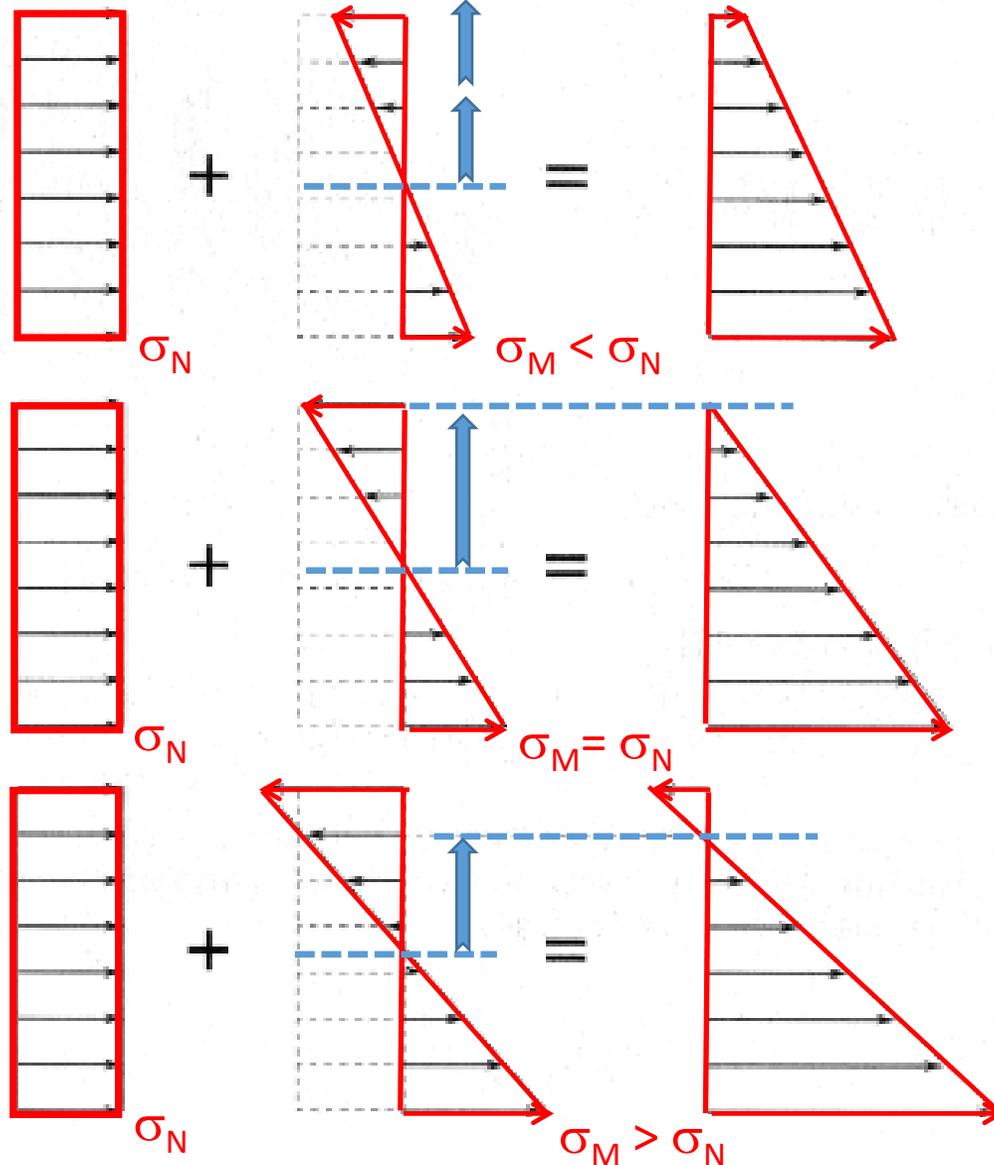
$$\sigma_{\text{massima di trazione}} = \frac{M}{W} - \frac{N}{A} = AB - EF$$

$$\sigma_{\text{massima di compressione}} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = AB + CD$$

Per la verifica dovremo confrontare i due valori massimi con i rispettivi valori ammissibili a trazione e a compressione del materiale.

Sono possibili varie situazioni, a prescindere dall'entità dell'eccentricità di carico e

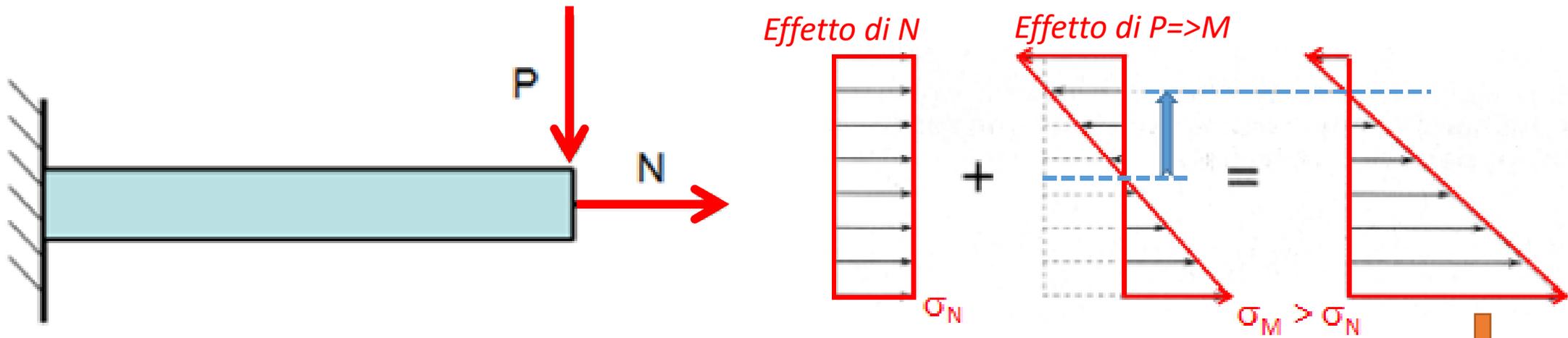
• PRESSO(TENSO)-FLESSIONE



➤ L'intera sezione è soggetta a sforzi dello stesso segno (asse neutro esterno alla sezione)

➤ Lo sforzo si annulla ad uno degli estremi (asse neutro sul bordo esterno della sezione)

➤ Lo sforzo cambia segno ma l'asse neutro non è baricentrico



Quando una trave è soggetta contemporaneamente ad un momento flettente M e ad un carico assiale N , lo stato di sforzo si ottiene dalla sovrapposizione degli sforzi calcolati per le singole azioni

$$\sigma_x = \sigma_N + \sigma_M = \frac{N}{A} + \frac{M \cdot z}{J}$$

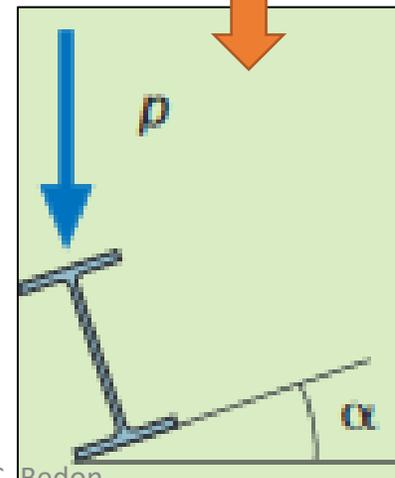
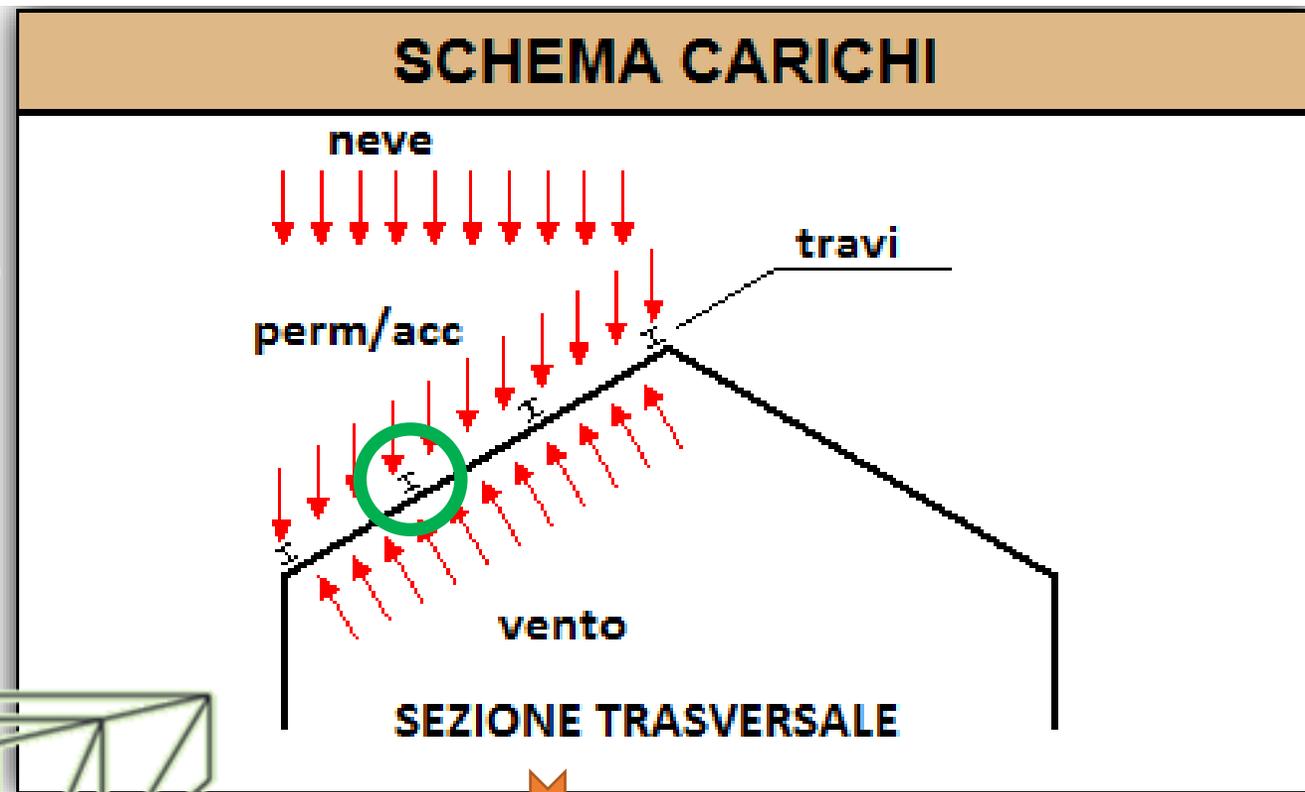
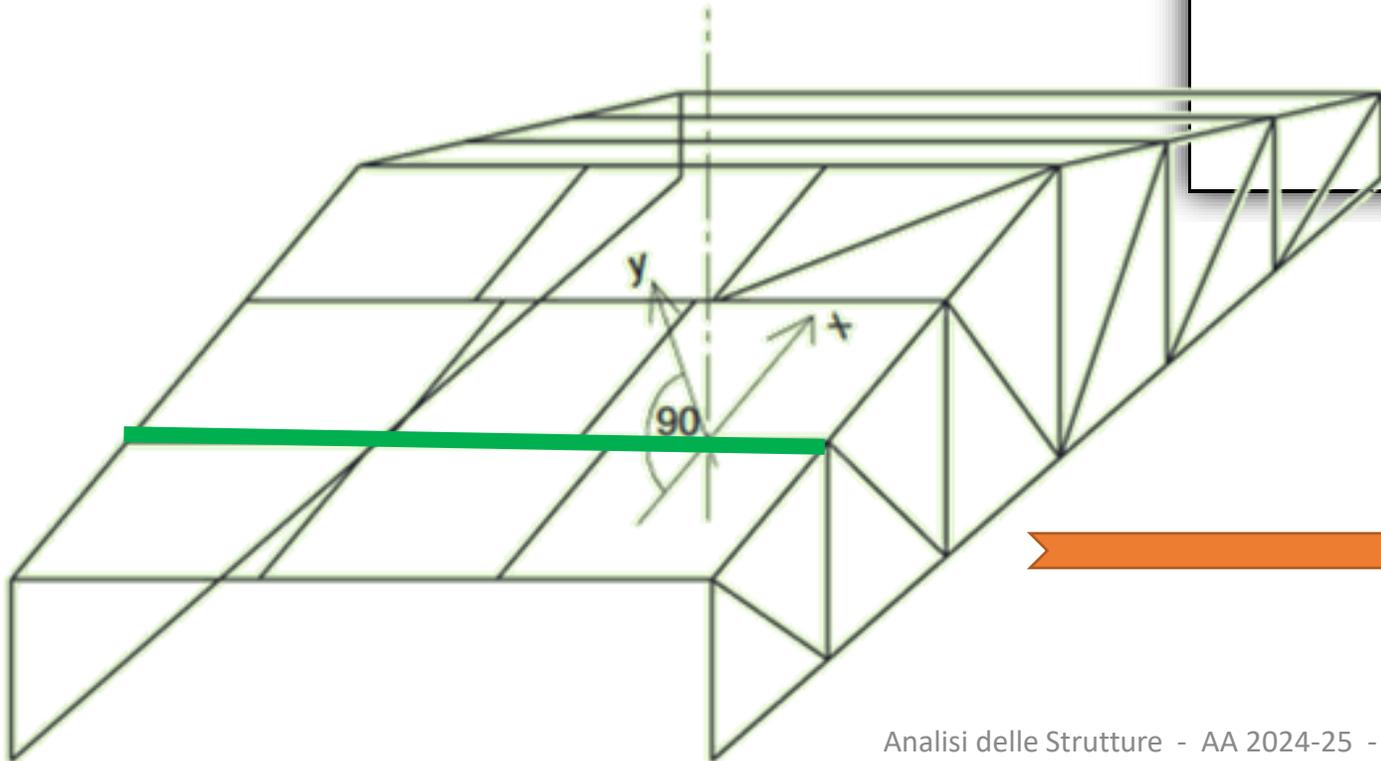
Tensione normale risultante

A seconda del rapporto tra le sollecitazioni massime di flessione e quelle dovute alla trazione o alla compressione, la posizione dell'asse neutro varia rispetto al caso della sola flessione.

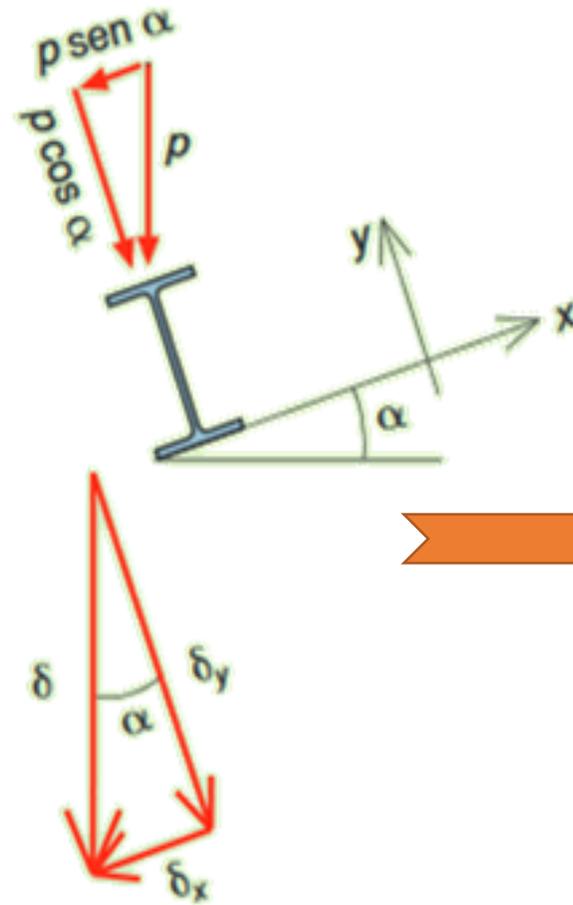
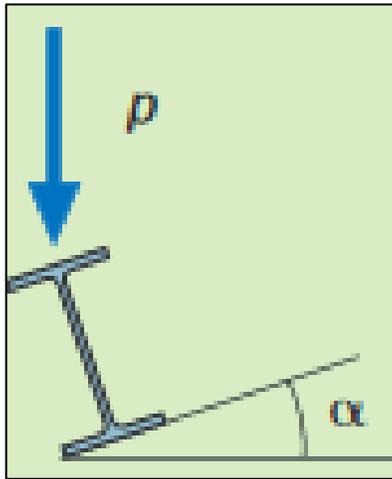
FLESSIONE DEVIATA

Gli arcarecci di copertura rappresentano il tipico esempio di flessione deviata nelle costruzioni.

Ciascun elemento, con comportamento a trave, è infatti sollecitato come in figura:



FLESSIONE DEVIATA



$$\sigma_{max} = \frac{M \cos \alpha}{W_x} + \frac{M \sin \alpha}{W_y}$$

Lo stato tensionale della membratura in acciaio sottoposta a flessione deviata viene svolta scomponendo le azioni di progetto

Per sovrapposizione degli effetti, si determinano quindi le tensioni normali massime

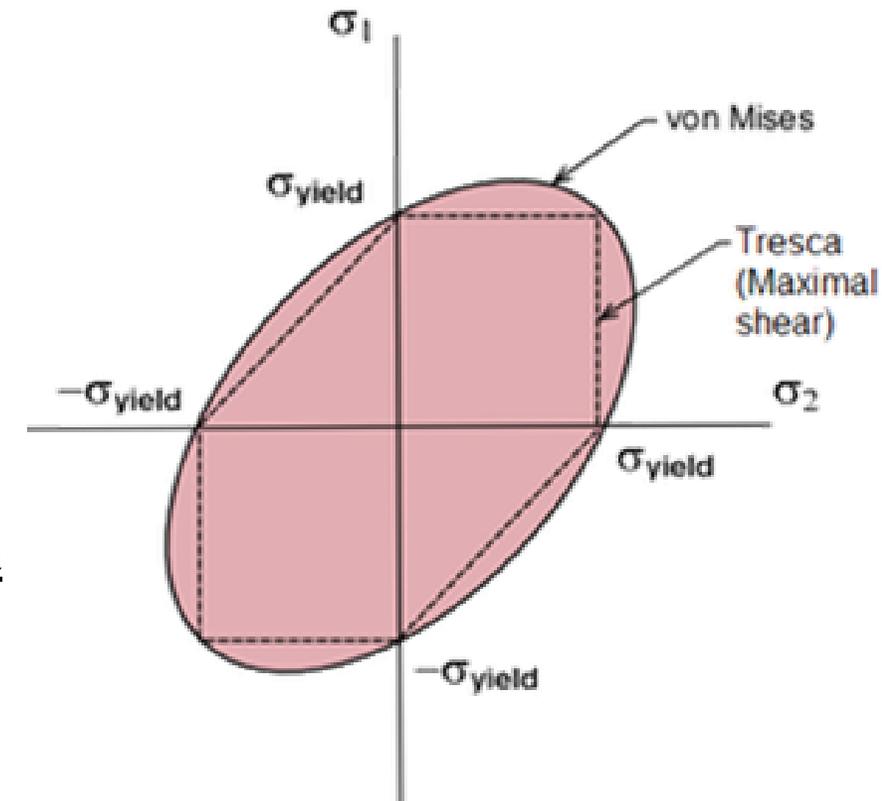
CRITERI DI RESISTENZA

CRITERI DI RESISTENZA

La verifica di resistenza ha lo scopo di stabilire se lo stato tensionale dell'elemento strutturale analizzato è tale da provocarne il cedimento inteso come rottura o snervamento.

A questo scopo, in base all'osservazione sperimentale del meccanismo fisico con cui il materiale giunge allo stato limite, sono state sviluppate diverse teorie che prendono il nome di *criteri di resistenza*. In particolare, i criteri di resistenza forniscono combinazioni delle tensioni effettivamente agenti (principali o cartesiane), dette *tensioni equivalenti*,

- ✓ Esistono in letteratura numerosi criteri di resistenza
- ✓ Ciascuno di essi è stato sviluppato per tenere conto delle caratteristiche meccaniche di **diversi materiali** da costruzione
- ✓ Il criterio di Von Mises è relativo a **materiali duttili** (è quindi un criterio di snervamento), **isotropi, con uguale resistenza a trazione e a compressione**



CRITERI DI RESISTENZA

di HUBER - HENCKY - VON MISES (VON MISES)

La formulazione di Von Mises si riduce nel caso di **stato piano di tensione** a:

Tensione ideale (equivalente)

Sforzo assiale / flessione

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2}$$

Taglio / torsione

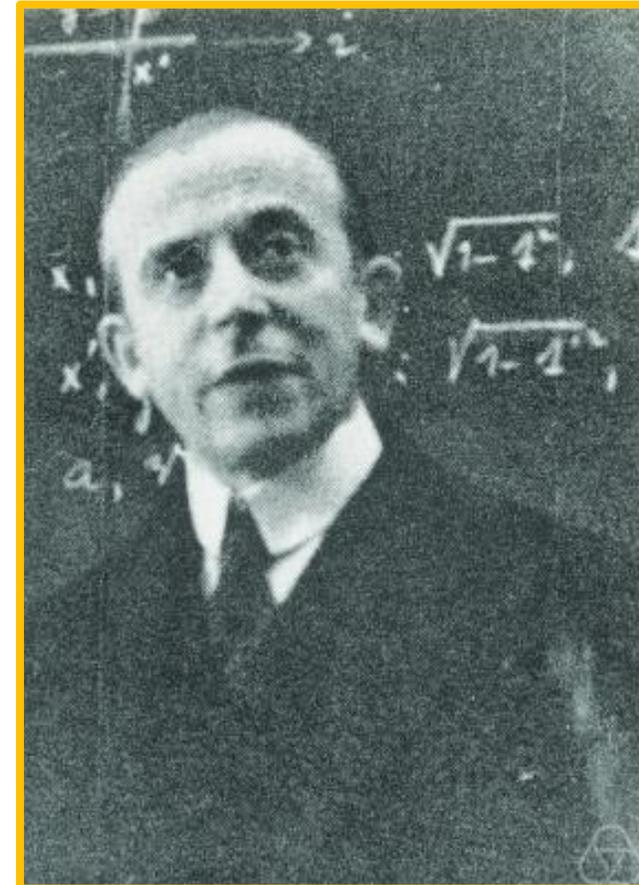
Ai fini della verifica di resistenza, la tensione ideale così calcolata deve essere quindi confrontata con la tensione di snervamento del materiale (acciaio):

*Tensione di snervamento
(RESISTENZA)*

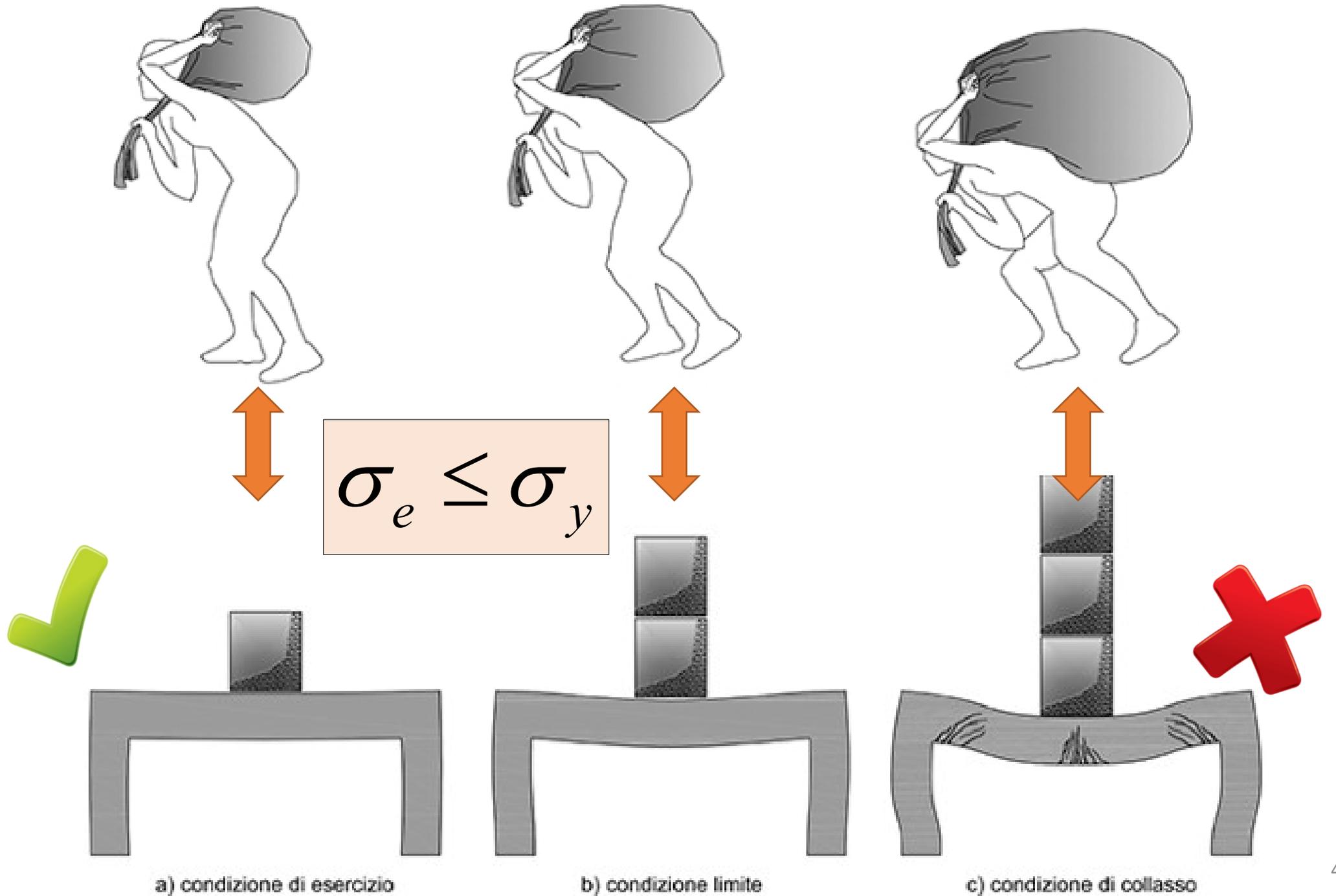
*Tensione ideale (equivalente)
(SOLLECITAZIONE)*

$$\sigma_e \leq \sigma_y$$

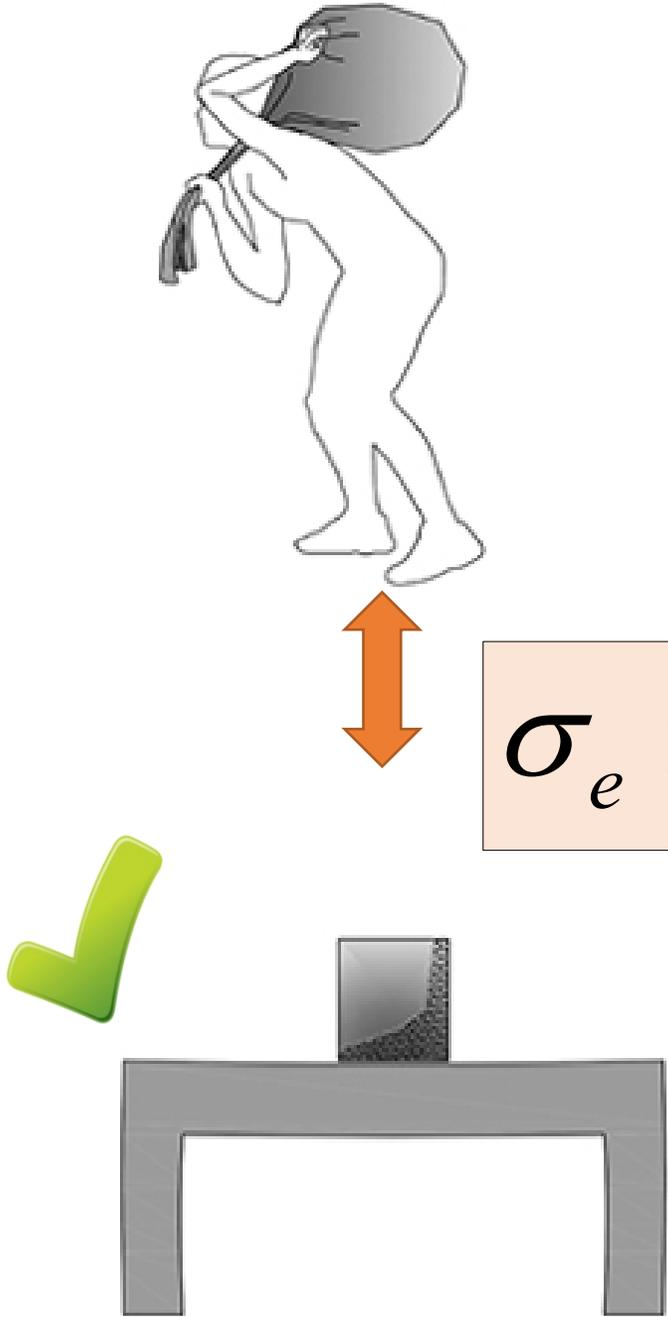
*Richard Von Mises
(1883-1953)*



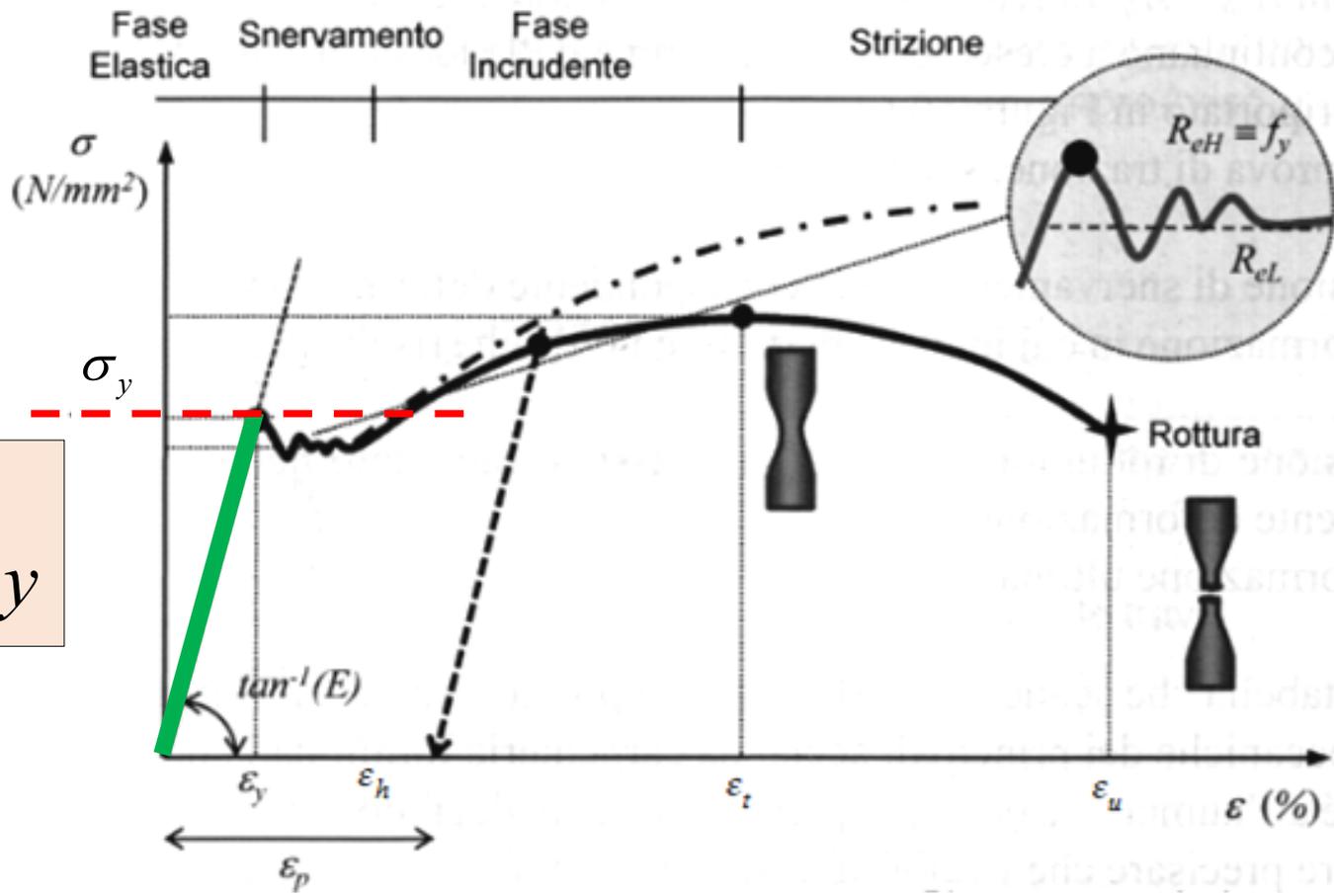
CRITERI DI RESISTENZA



CRITERI DI RESISTENZA



$$\sigma_e \leq \sigma_y$$



a) condizione di esercizio

.....RICAPITOLANDO:

TRAZIONE E COMPRESSIONE SEMPLICE (N)

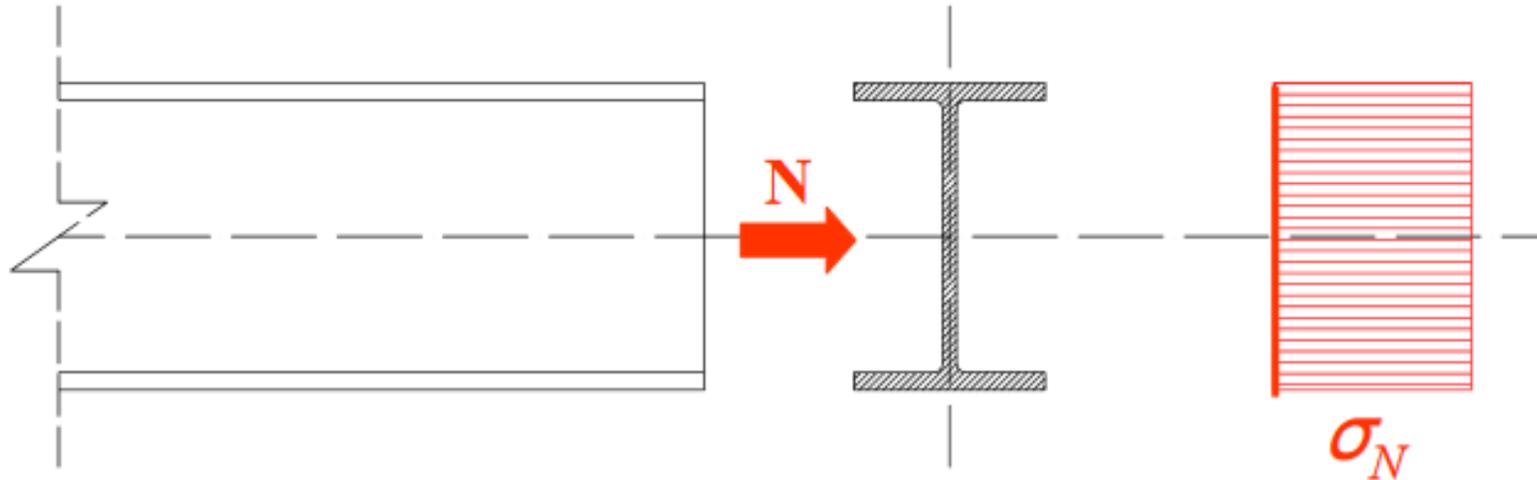
TENSIONE NORMALE
GENERATA NELLA SEZIONE
DALLO SFORZO NORMALE

$$\sigma_N \leq \sigma_y$$

COME CALCOLO σ_N ?

$$\sigma_N = \frac{N}{A}$$

AREA NETTA DELLA
SEZIONE



.....RICAPITOLANDO:

FLESSIONE SEMPLICE (M)

TENSIONE NORMALE
GENERATA NELLA SEZIONE
DAL MOMENTO FLETTENTE

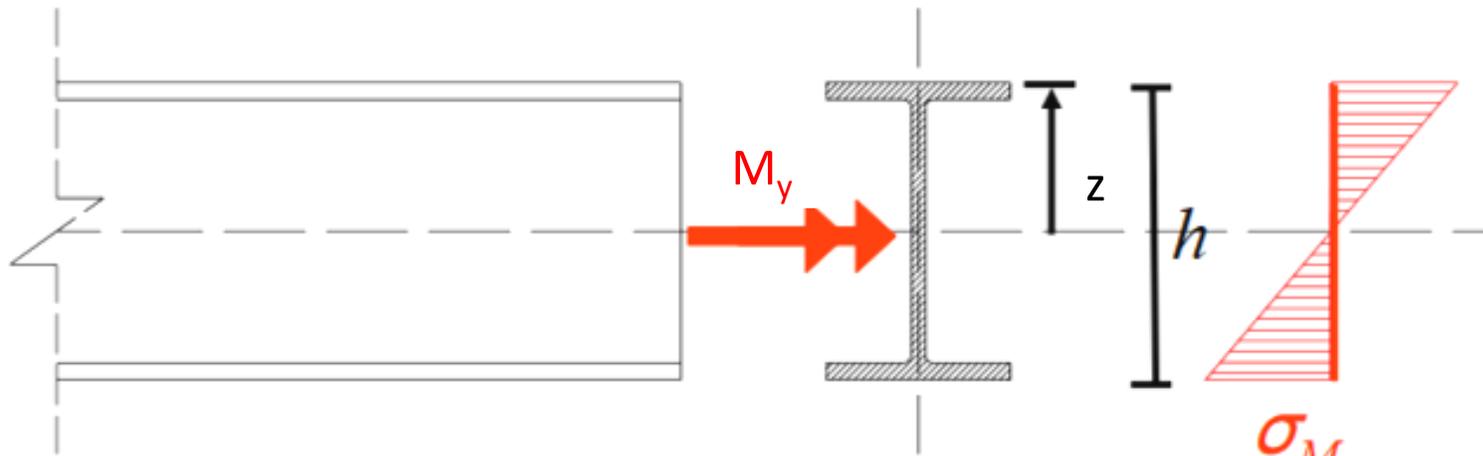
$$\sigma_M \leq \sigma_y$$

COME CALCOLO σ_M ?

$$\sigma_M = \frac{M_y}{J_y} z$$

DISTANZA DA ASSE

MOMENTO D'INERZIA
NETTO DELLA SEZIONE



$$\sigma_M^{\max} = \frac{M_y}{J_y} \frac{h}{2}$$

$$\sigma_M^{\max} = \frac{M_y}{W_y}$$

MODULO DI RESISTENZA
DELLA SEZIONE

.....RICAPITOLANDO:

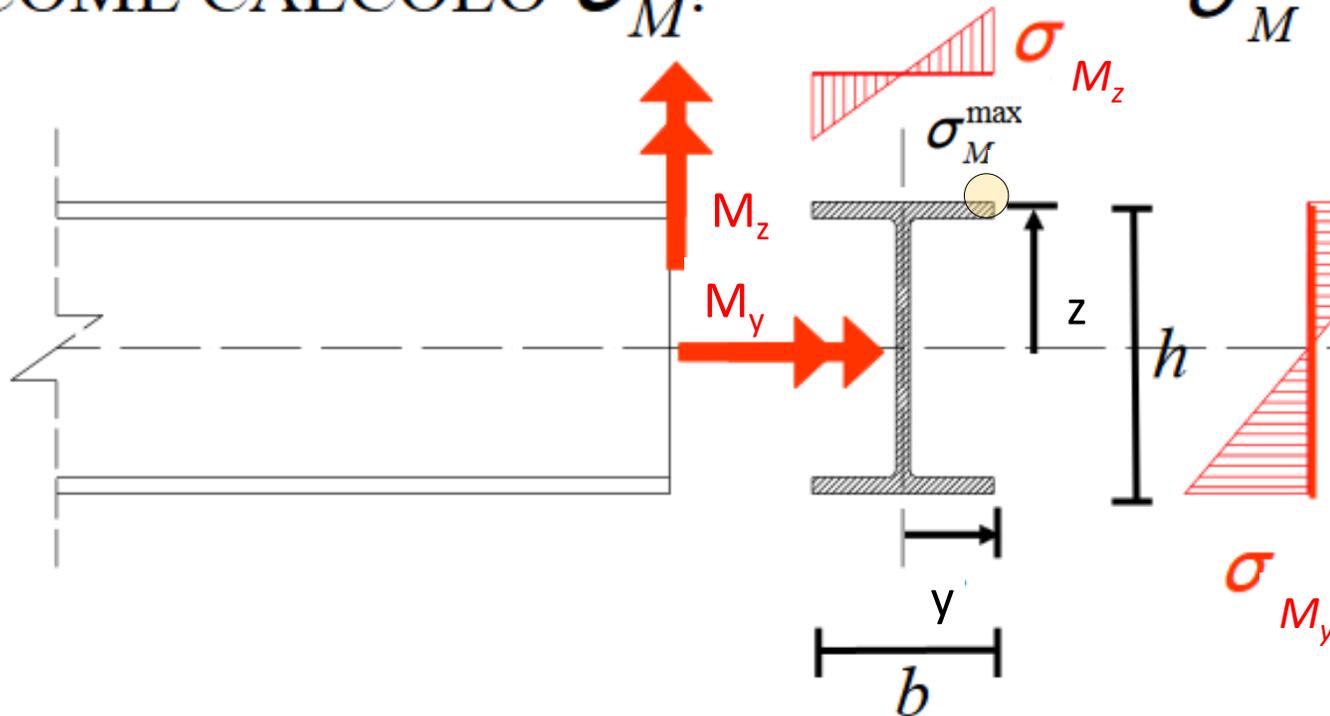
FLESSIONE DEVIATA (M)

TENSIONE NORMALE
GENERATA NELLA SEZIONE
DAL MOMENTO FLETTENTE

$$\sigma_M \leq \sigma_y$$

Tensione normale in una fibra generica della sezione:

COME CALCOLO σ_M ?



$$\sigma_M = \frac{M_y}{J_y} z + \frac{M_z}{J_z} y$$

$$\sigma_M^{\max} = \frac{M_y}{W_y} + \frac{M_z}{W_z}$$

.....RICAPITOLANDO:

SOLLECITAZIONI COMPOSTE

La verifica di resistenza di un'asta in acciaio sottoposta ad una generica condizione di carico si esegue confrontando gli effetti massimi della sollecitazione imposta con la resistenza del materiale in uso:

- **STATI PLURIASSIALI (STATI DI SFORZO PIANI)**

TENSIONE IDEALE — $\sigma_e \leq \sigma_y$

CRITERIO DI RESISTENZA

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$$



CASO TIPICO

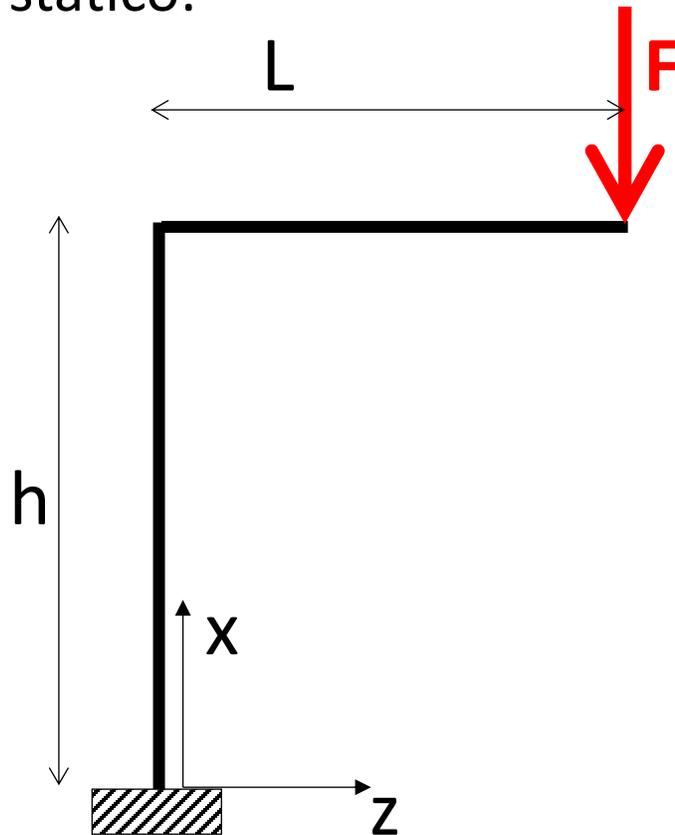
$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2}$$

ESEMPIO (PARZIALE)

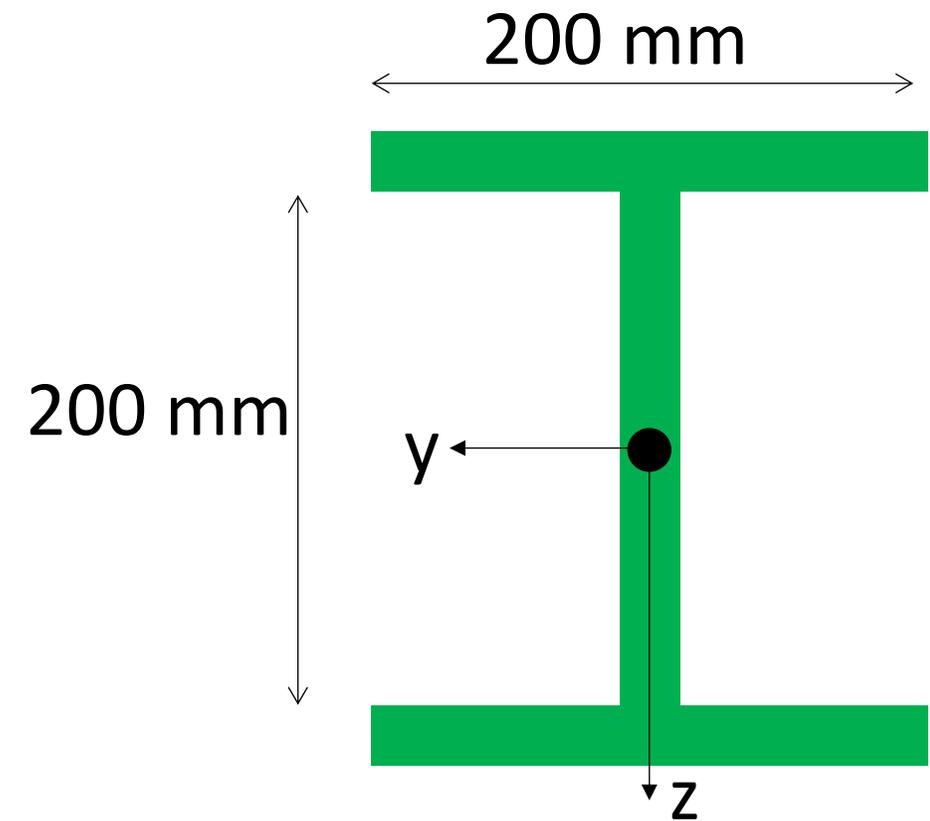
ESEMPIO

DATI $F = 100\text{ kN}$
 $L = 1.5\text{ m}$
Acciaio S275

Schema statico:



Sezione resistente:



Spessore uniforme (20 mm)

ESEMPIO

Alcuni suggerimenti per i passaggi da seguire in fase di risoluzione:

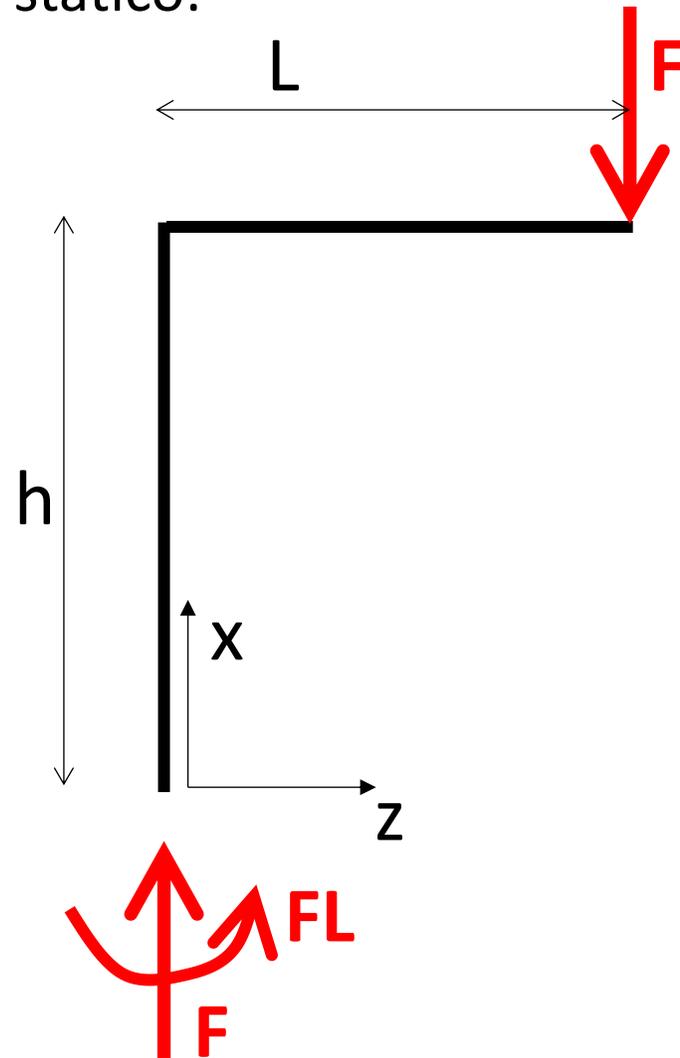
- 1) calcolare le reazioni vincolari
- 2) determinare le proprietà inerziali della sezione resistente
- 3) definire le caratteristiche della sollecitazione
- 4) calcolare le tensioni massime
- 5) eseguire le verifiche di resistenza
- 6) ecc.



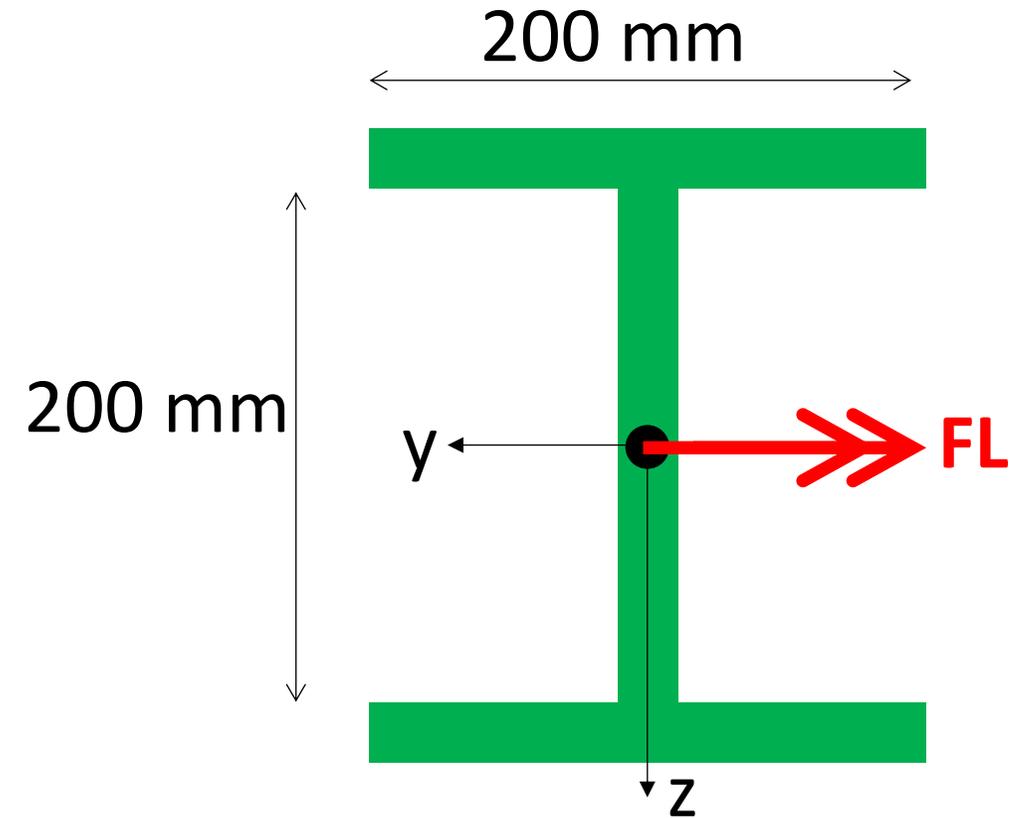
SOLUZIONE

DATI $F = 100\text{ kN}$
 $L = 1.5\text{ m}$
Acciaio S275

Schema statico:



Sezione resistente:

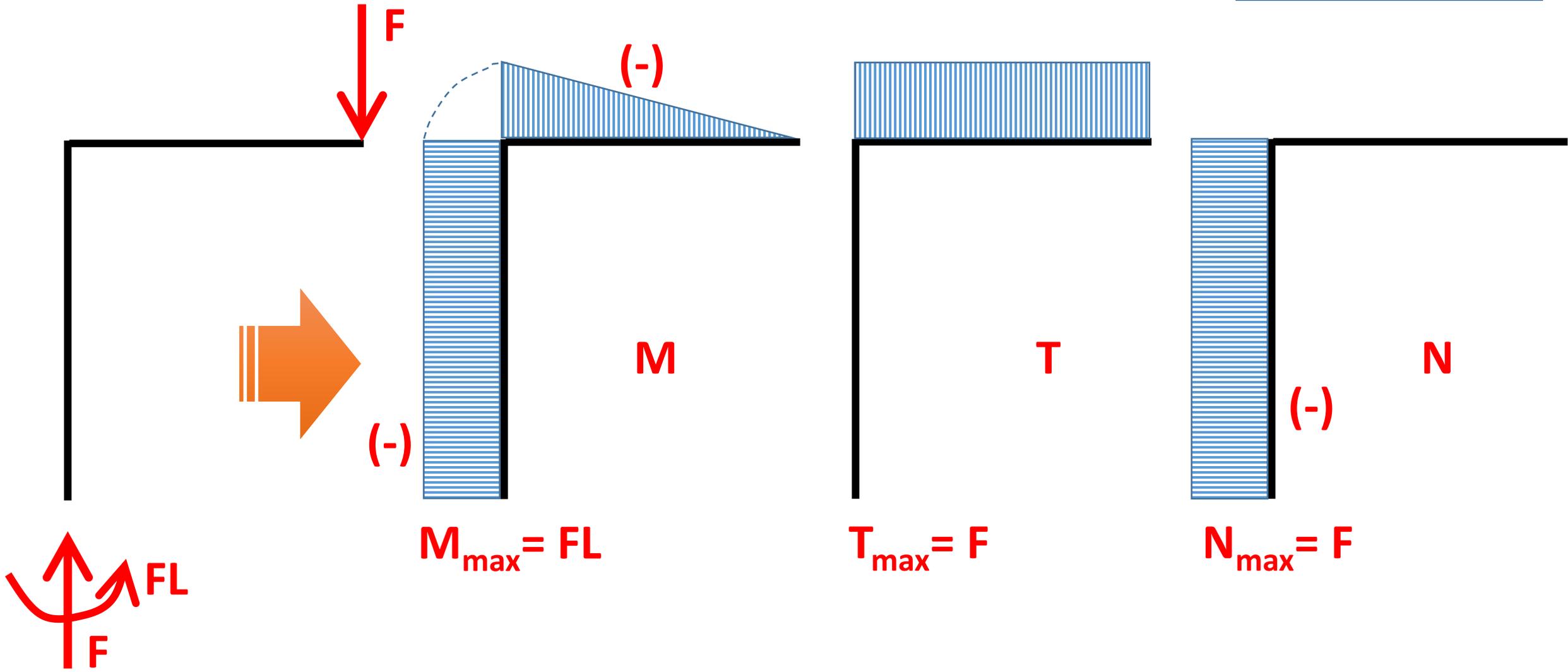


Spessore uniforme (20 mm)

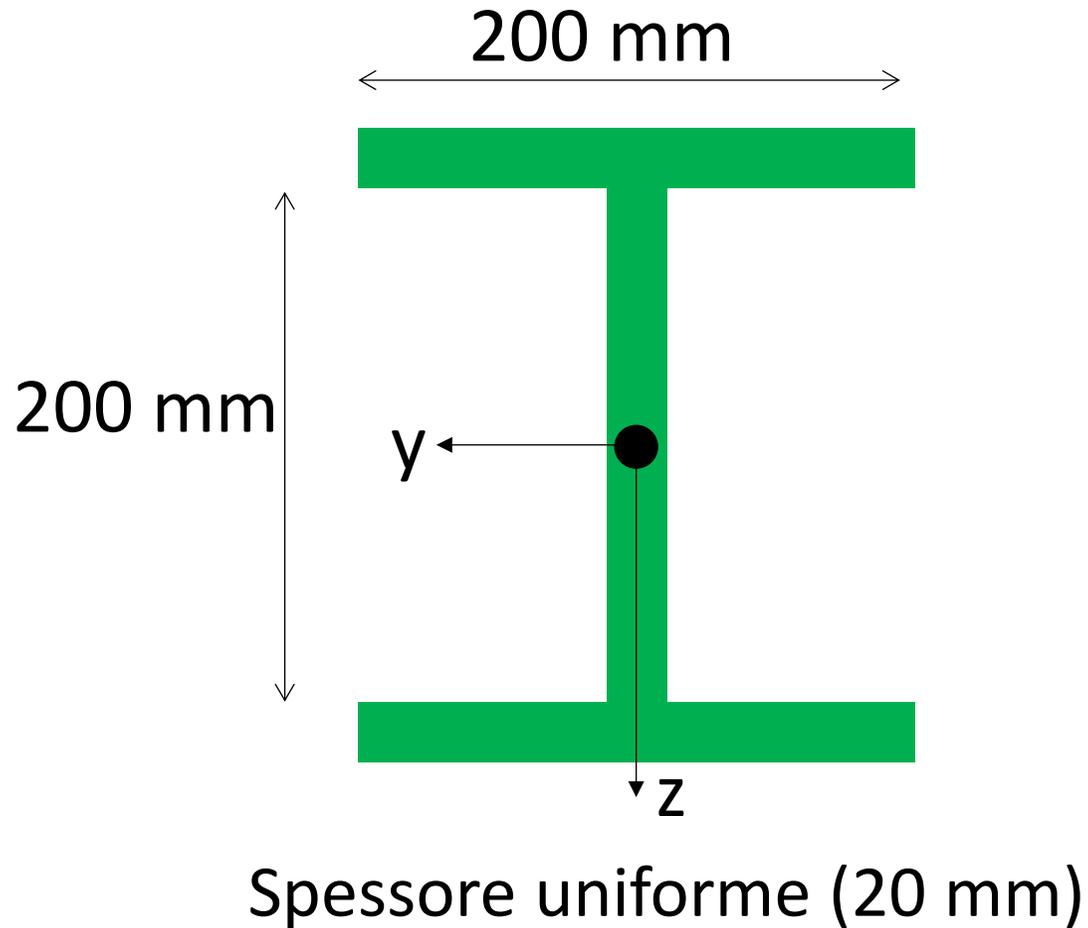
SOLUZIONE

Caratteristiche della sollecitazione:

DATI $F = 100\text{kN}$
 $L = 1.5\text{m}$
Acciaio S275



SOLUZIONE



- Sezione doppiamente simmetrica
- Sezione a spessore costante

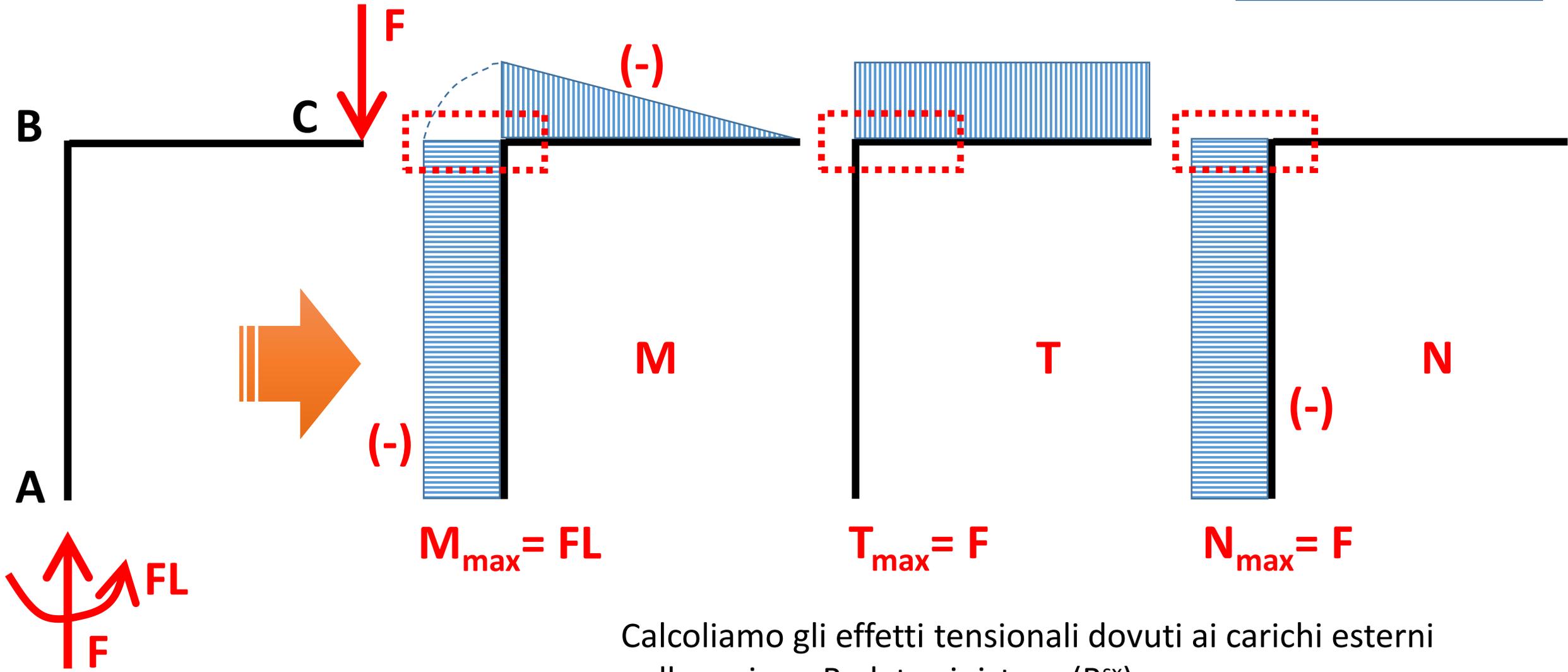
$$A = 12 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

$$J_y = 110.4 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

SOLUZIONE

Sezione maggiormente sollecitata?

DATI $F = 100\text{kN}$
 $L = 1.5\text{m}$
Acciaio S275



Calcoliamo gli effetti tensionali dovuti ai carichi esterni nella sezione B «lato sinistro» (B^{sx})

SOLUZIONE

