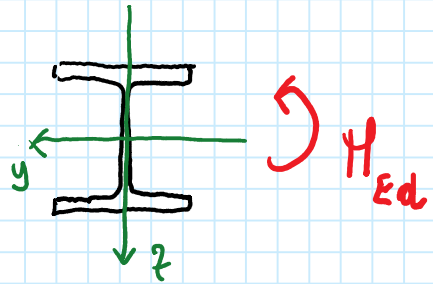
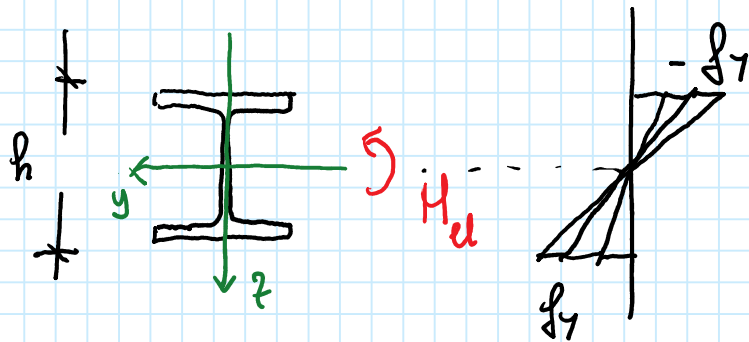


# Flessione semplice retta



$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

Seguiamo il comportamento delle sezioni fino alla SLU



$$\sigma = \frac{M}{I} z$$

$W_{el}$  = modulo di resistenza elastico

$$\sigma_y = \frac{M_{ed}}{I} \left( \frac{h}{2} \right) \Rightarrow$$

$$M_{ed} = \frac{I}{h/2} \sigma_y = W_{el} \sigma_y$$

$$M_{ed} = W_{el} \sigma_y$$

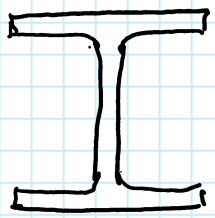
$$W_{el} = \frac{I}{h/2}$$

$$W_{el} = \frac{I}{z_{max}}$$

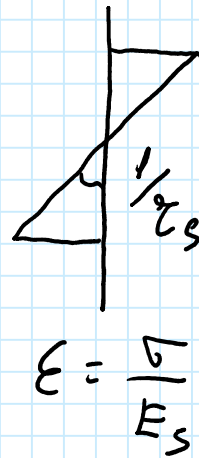
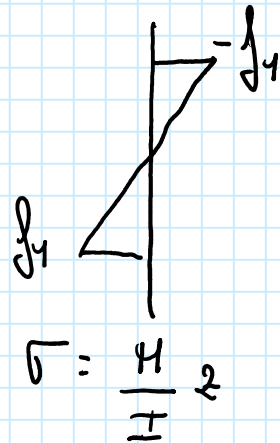
Per sezione non simmetrica

Vediamo cosa succede allo stato deformativo della sezione quando incrementiamo il momento fino al collasso.

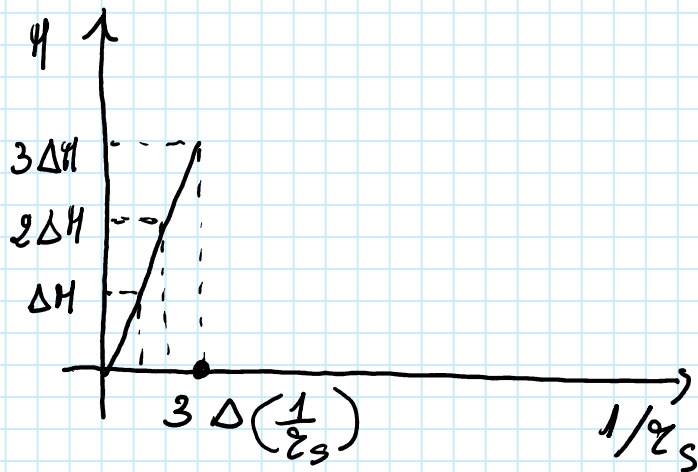
In campo elastico



$\curvearrowright M$

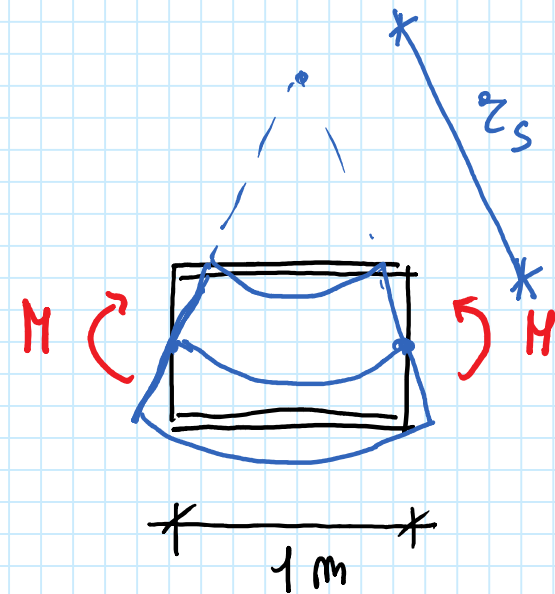


$$\frac{1}{\rho_s} = \frac{M}{E_s I}$$



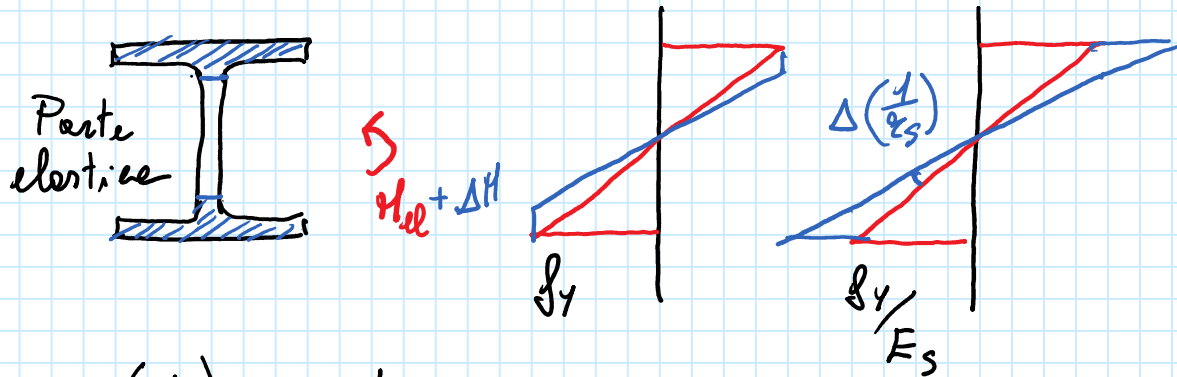
$\rho_s$  raggio di curvatura

$\frac{1}{\rho_s}$  curvatura flessionale

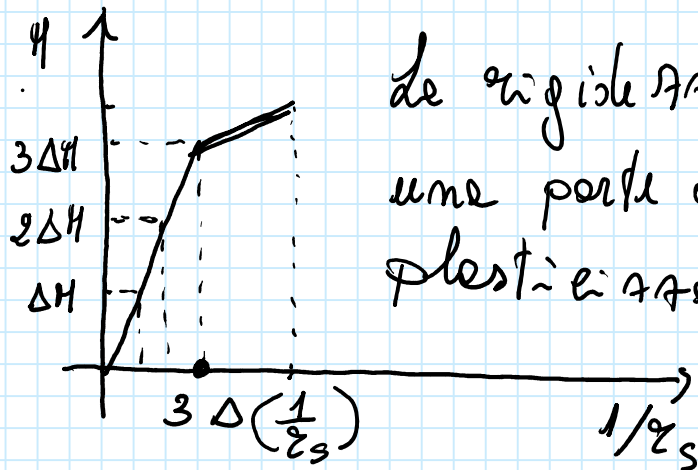


Vediamo cosa succede allo stato deformativo della sezione quando incrementiamo il momento fino al collasso.

In campo plastico



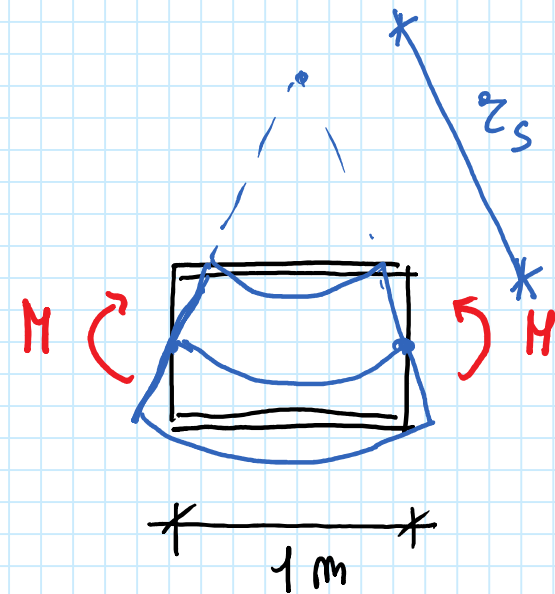
$$\Delta\left(\frac{1}{\rho_s}\right) = \frac{\Delta H}{E_s I_{el}}$$

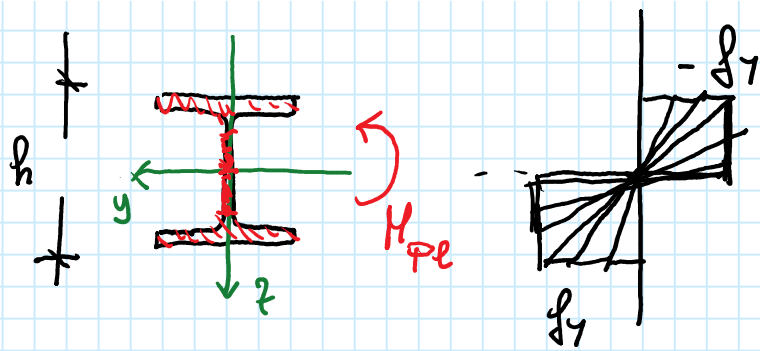


de rigidezza si è ridotta perché una parte della sezione è ormai plasticizzata

$\rho_s$  raggio di curvatura

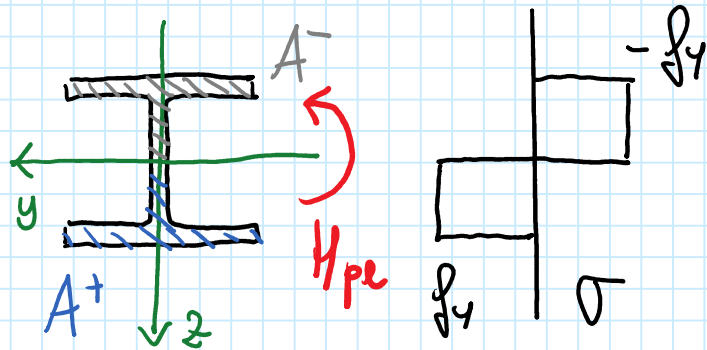
$\frac{1}{\rho_s}$  curvatura flessionale





... la sezione si plasticizza integralmente per un valore di momento che chiamiamo momento plastico  $M_{pe}$

La trave si plasticizza integralmente per un valore di momento che chiamiamo momento plastico  $M_{pe}$



$A^+$  e  $A^-$  aree delle porzioni di sezione tese e compresse

Non posso calcolare  $M_{pe}$  con Navier (la sezione non è in campo elastico) ma posso calcolarlo "momento risultante delle tensioni rispetto all'asse principale d'inertie  $y$

$$M_{pe} = \int \sigma z dA = \int_{A^+} \sigma z dA + \int_{A^-} \sigma z dA$$

Per risolvere gli integrali devo conoscere  $A^+$  e  $A^-$

Per determinare  $A^+$  e  $A^-$  calcolo  $N$  e lo pongo uguale a zero (niente nel caso delle flessioni semplici)

$$N = \int_A \sigma dA = \int_{A^+} \sigma dA + \int_{A^-} \sigma dA = (A^+ - A^-) \int_{y_0} = 0$$

da cui segue

$$(A^+ - A^-) \int_{y_0} = 0 \Rightarrow A^+ = A^-$$

L'asse neutro divide le sezioni in due parti di area uguale  $A^+ = A^- = \frac{1}{2} A$  (area di mezza sezione)

Questo vale sempre...

... inoltre, se la sezione è simmetrica rispetto a  $y$ , l'asse neutro coincide con  $y$ .

Torquimento el campo  $H_{pe}$

$$H_{pe} = \int_{A^+} \sigma z dA + \int_{A^-} \sigma z dA = \oint_+ \int_{A^+} z dA - \oint_- \int_{A^-} z dA$$

$$H_{pe} = \left( \int_{A^+} z dA - \int_{A^-} z dA \right) \oint_+ = (S^+ - S^-) \oint_+$$

$$S^+ + S^- = S_y = 0 \Rightarrow S^+ = -S^-$$

$S_y = 0$  perché y passa  
per il baricentro

$$H_{pe} = z S^+ \oint_+ = -2 S^- \oint_+$$

$$S^+ = -S^- = S_{1/2}$$

$$H_{pe} = 2 S_{1/2} \oint_+$$

$$W_{pe} = 2 S_{1/2}$$

$$H_{pe} = W_{pe} \oint_+$$

Calcolo di  $M_{pe}$  in sintesi

$$M_{pe} = W_{pe} f_y$$

$W_{pe}$  = modulo di resistenza plastico delle sezioni  
lo trova sul regolamento

Se la sezione non è sul regolamento...

$$M_{pe} = W_{pe} f_y$$

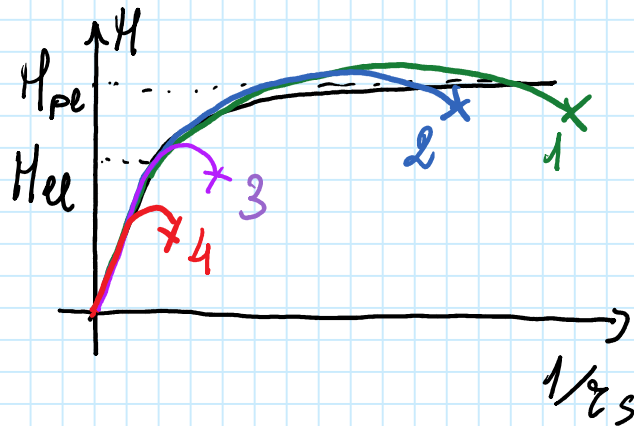
con  $W_{pe} = 2 S_{1/2}$

$S_{1/2}$  momento statico di mezza sezione rispetto a  $y$   
che devo calcolare manualmente

Dunque,  $M_{pe}$  è il momento resistente delle sezioni?



Si ottiene questo legame Momento-Curvature

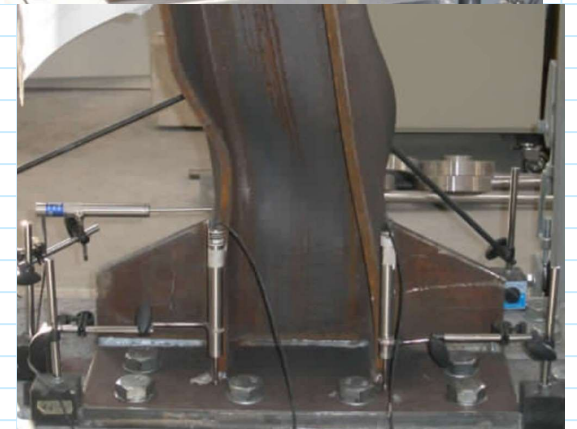


Ma il comportamento reale è diverso e cede

- dell'incrudimento
- dell'instabilità locale

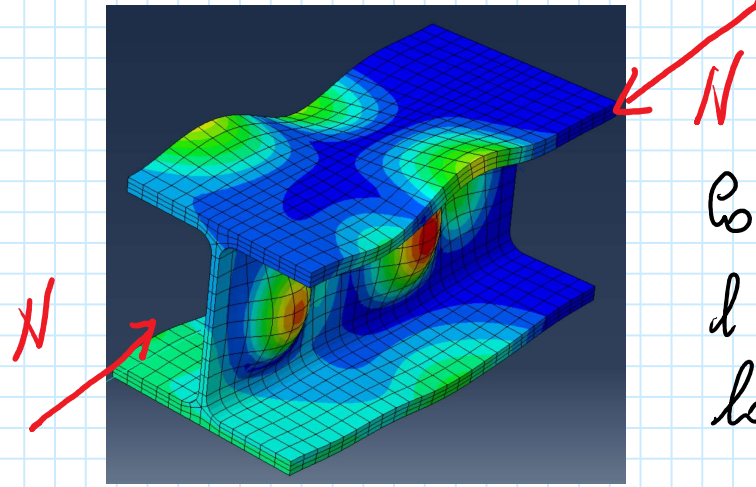
Si distinguono quattro diversi tipi di comportamento che corrispondono a quattro diverse classi di reazione

- 1 } raggiungono  $M_{pe}$
- 2 }
- 3 si fermano a  $M_{el}$
- 4 non raggiungono  $M_{el}$

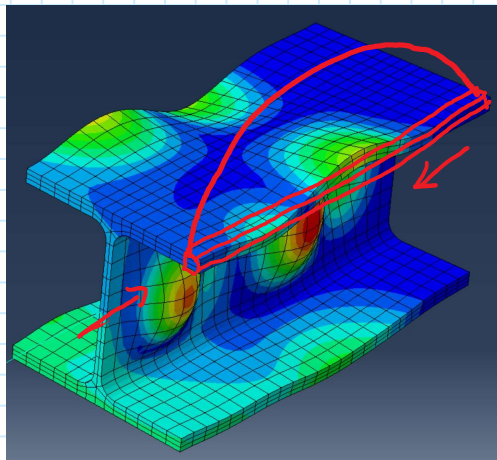


# Instabilità locale

Le porti composte delle  
navi possono  
instabilizzarsi...



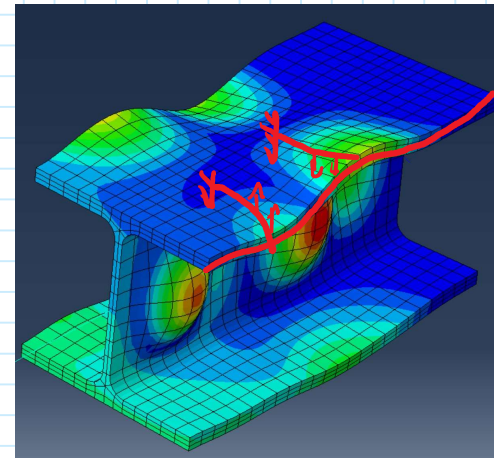
Cosa controllare  
d'instabilità  
locale?



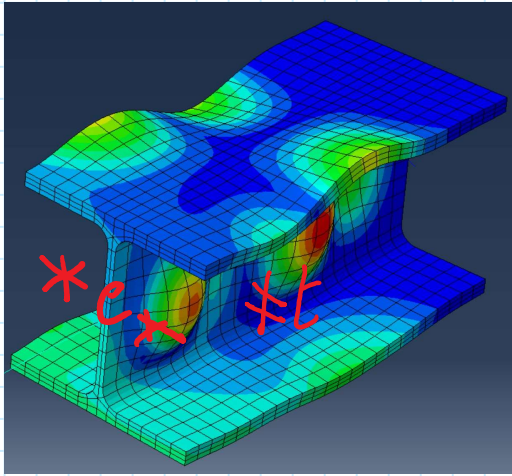
Con queste deformate  
critiche, la forza che  
provoca l'instabilità  
sarebbe bassissima...

... ma ci sono  
anche le fibre  
trasversali  $\Rightarrow$

Considerando le singole  
fibre longitudinali  
compresse, può instabilizzarsi.



Le fibre trasversali:  
1. Trattiamo quelle longitudinali  
2. Contrastiamo l'instabilità locale



Il profilo è tanto più suscettibile al fenomeno dell'instabilità locale quanto più:

- $\frac{c}{t}$  è grande (le fibre trasversali sono più flessibili e meno efficaci)
- $f_y$  è grande

Secondo le NTC18  $\Rightarrow$  i valori limite dipendono da  $f_y$

$\frac{c}{t} \leq \text{Vol. lim. 1}$	Classe 1
$\frac{c}{t} \leq \text{Vol. lim. 2}$	Classe 2
$\frac{c}{t} \leq \text{Vol. lim. 3}$	Classe 3
$\frac{c}{t} > \text{Vol. lim. 3}$	Classe 4

Momento resistente delle sezioni in acciaio

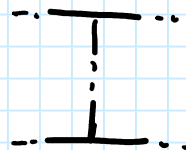
$$M_{Rd} = M_{pe,Rd} = W_{pe} f_y / \gamma_{M0} \quad \text{Classe 1 e 2}$$

$$W_{pe} = 2 S_{1/2}$$

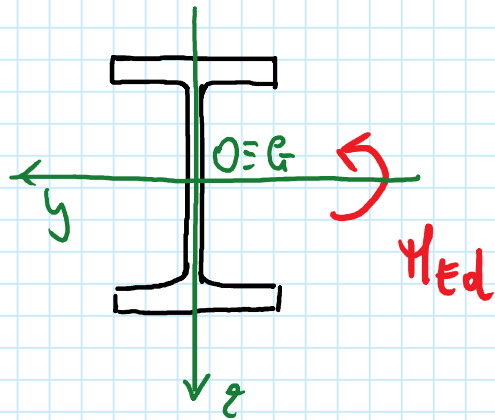
$$M_{Rd} = M_{el,Rd} = W_{el} f_y / \gamma_{M0} \quad \text{Classe 3}$$

$$W_{el} = \frac{I}{z_{max}}$$

$$M_{Rd} = M_{eff} = W_{eff} f_y / \gamma_{M0} < M_{el} \quad \text{Classe 4}$$



$W_{eff}$  = modulo di resistenza delle sezioni efficaci



IPE 240

S 235

$$M_{Ed} = 75 \text{ kNm}$$

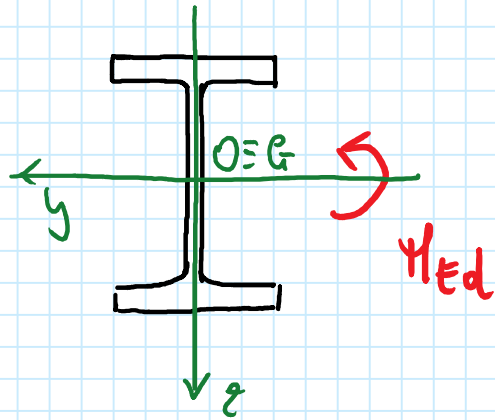
Classe 1 0 2

$$M_{Ed} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$W_{pl} = 366,6 \text{ cm}^3$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{366,6 \times 235}{1,05} \times \frac{10^3}{10^3 \times 10^3} = 82,0 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 75 \text{ kNm} < M_{pl,Rd} = 82,0 \text{ kNm} \quad \text{OK!}$$



IPE 240

S 235

$$M_{Ed} = 75 \text{ kNm}$$

Classe 3

$$M_{Rd} = M_{el,Rd} = W_{el} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$W_{el} = 324,3 \text{ cm}^3$$

$$M_{el,Rd} = 324,3 \times \frac{235}{1,05} \times \frac{1}{10^3} = 72,6 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 75 \text{ kNm} < M_{Rd} = M_{el,Rd} = 72,6 \text{ kNm} \quad \text{NO}$$