

Lezione

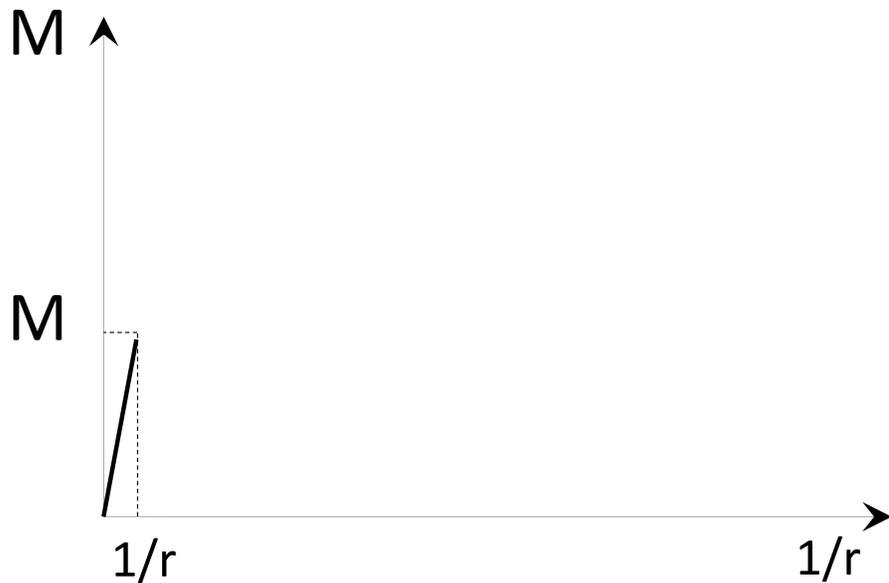
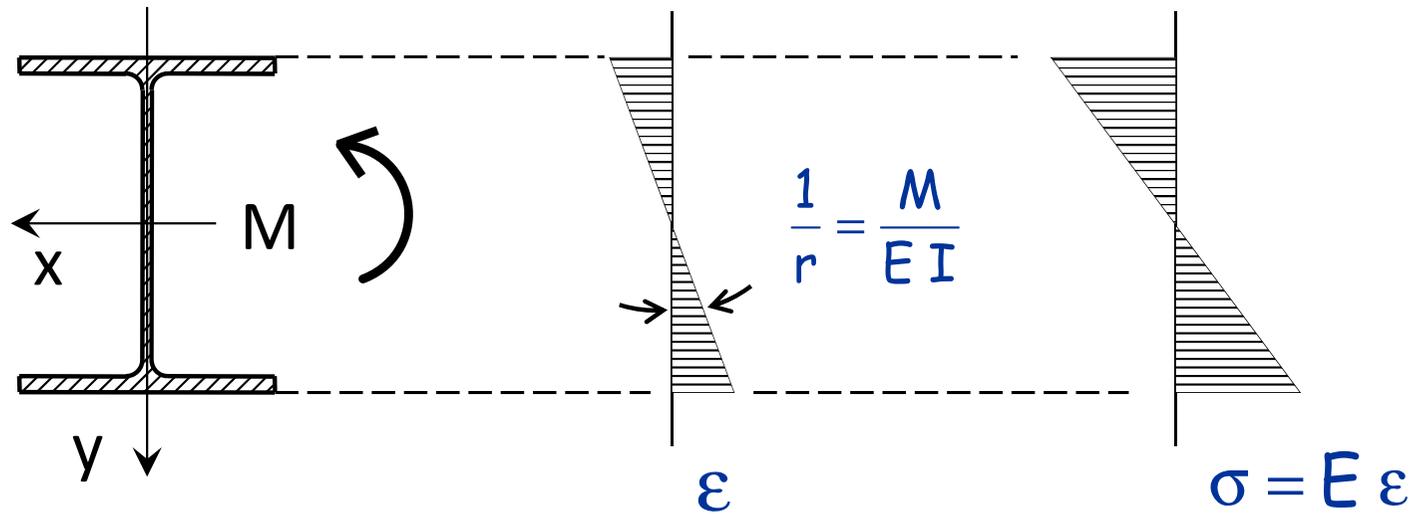
TECNICA DELLE COSTRUZIONI

Prof. Pier Paolo Rossi

Università degli Studi di Catania

Flessione

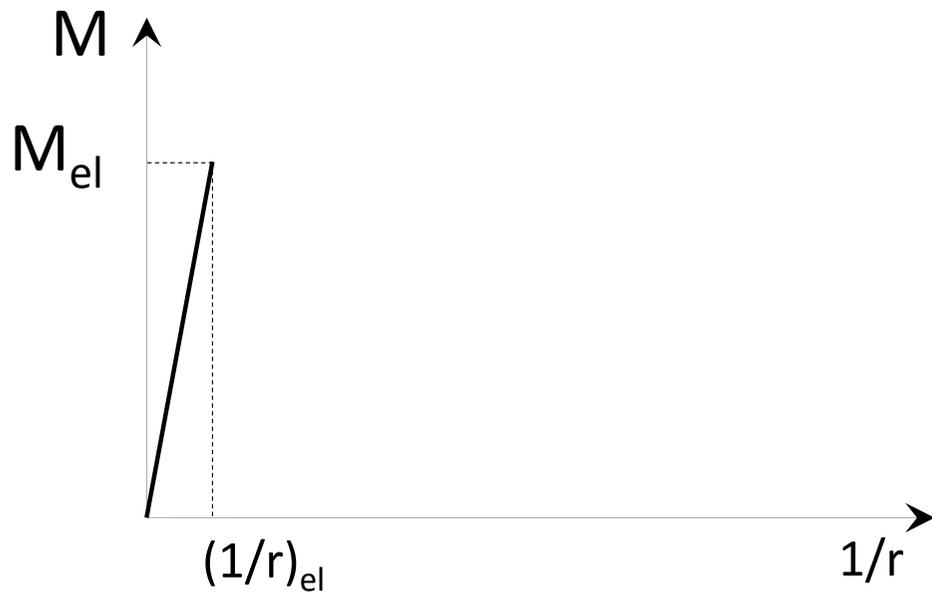
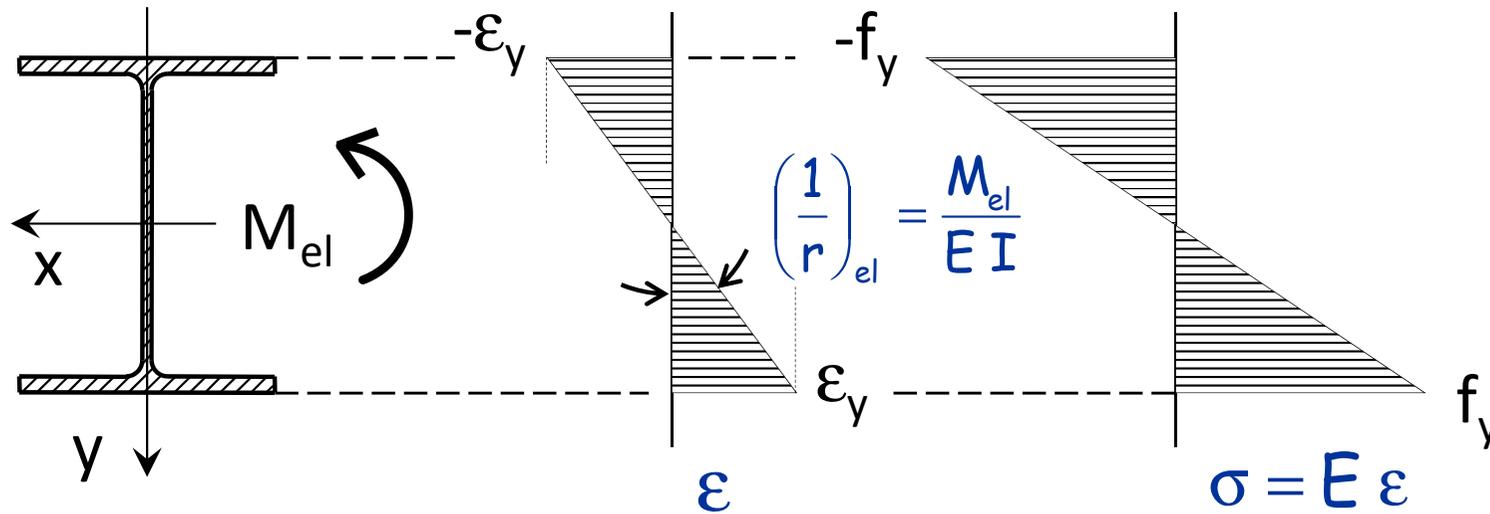
Comportamento ultimo



$$M = \int \sigma y dA = EI / r$$

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{EI}$$

Comportamento ultimo

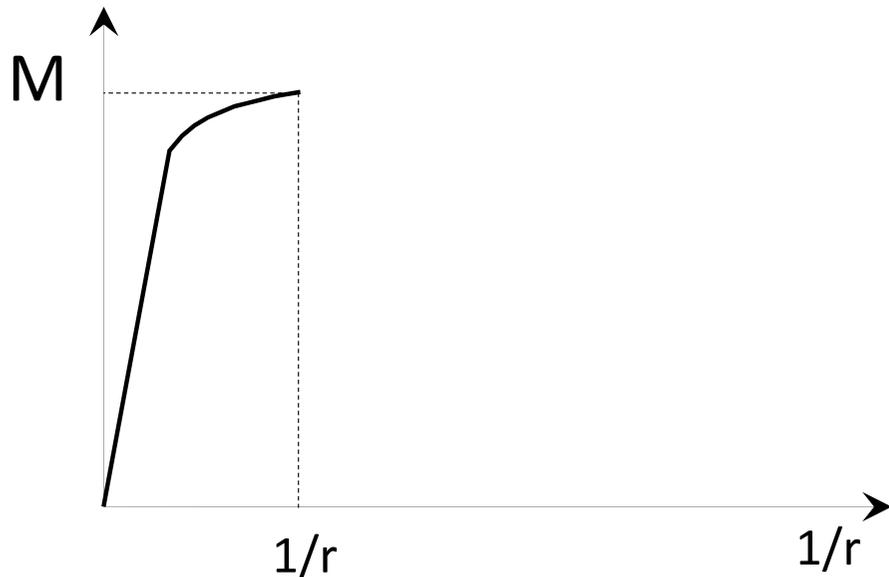
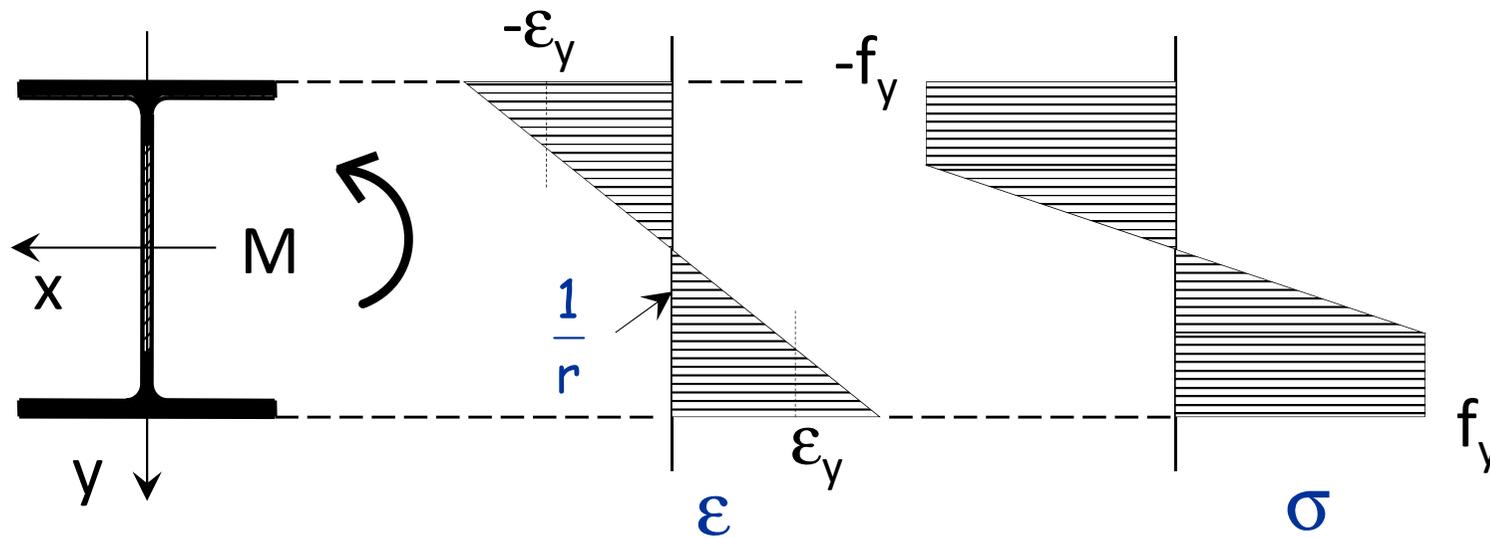


$$M_{el} = \int \sigma y dA = W_{el} f_y$$

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

h = altezza sezione

Comportamento ultimo

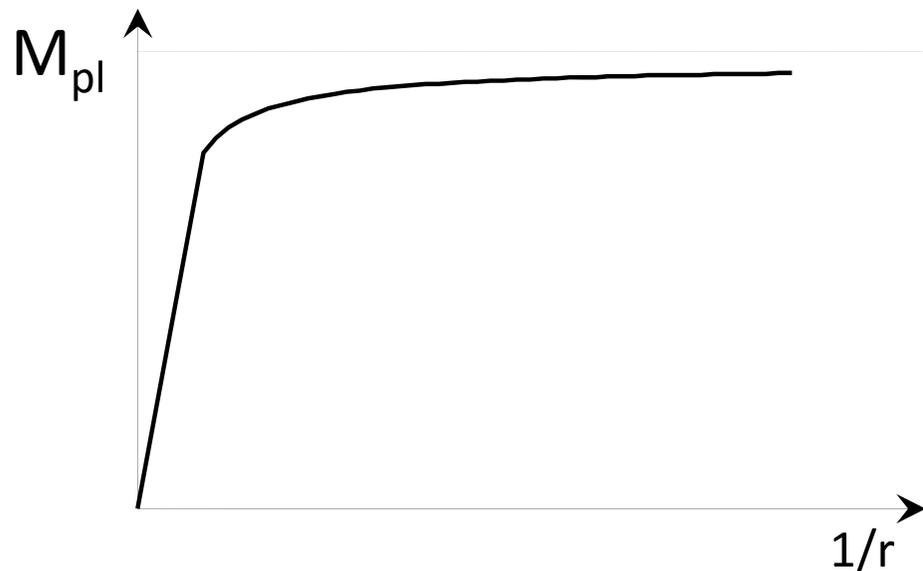


$$M = M_{el} + \Delta M$$

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_{el} + \frac{M}{EI_{el}}$$

I_{el} = nucleo elastico

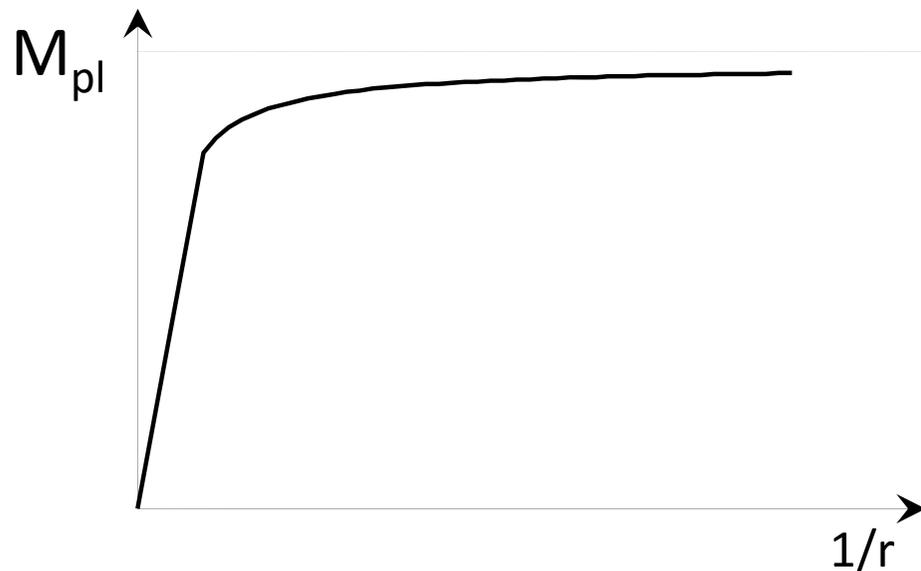
Comportamento ultimo



$$M_{pl} = \int \sigma y dA = (2 S_x) f_y$$

$S_x =$ momento statico di mezza sezione

Comportamento ultimo

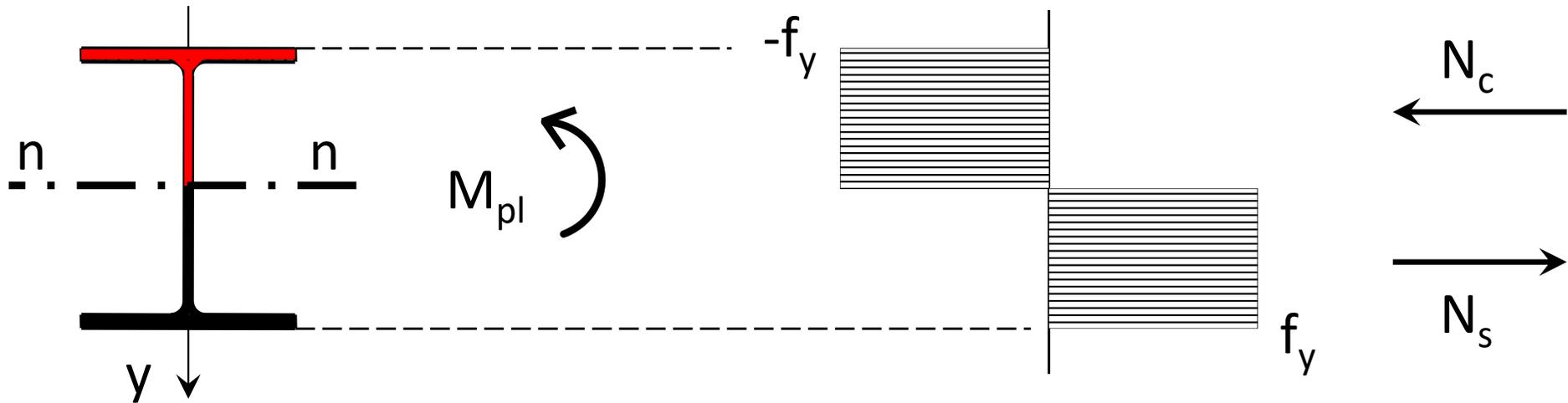


$$M_{pl} = \int \sigma y dA = W_{pl} f_y$$

$S_x =$ momento statico di
mezza sezione

$$W_{pl} = 2 S_x$$

Comportamento ultimo



Per trovare l'asse neutro:

$$N_c + N_t = 0 \quad (\text{equilibrio alla traslazione})$$

$$N_c = -f_y A_c$$

$$N_t = f_y A_t$$



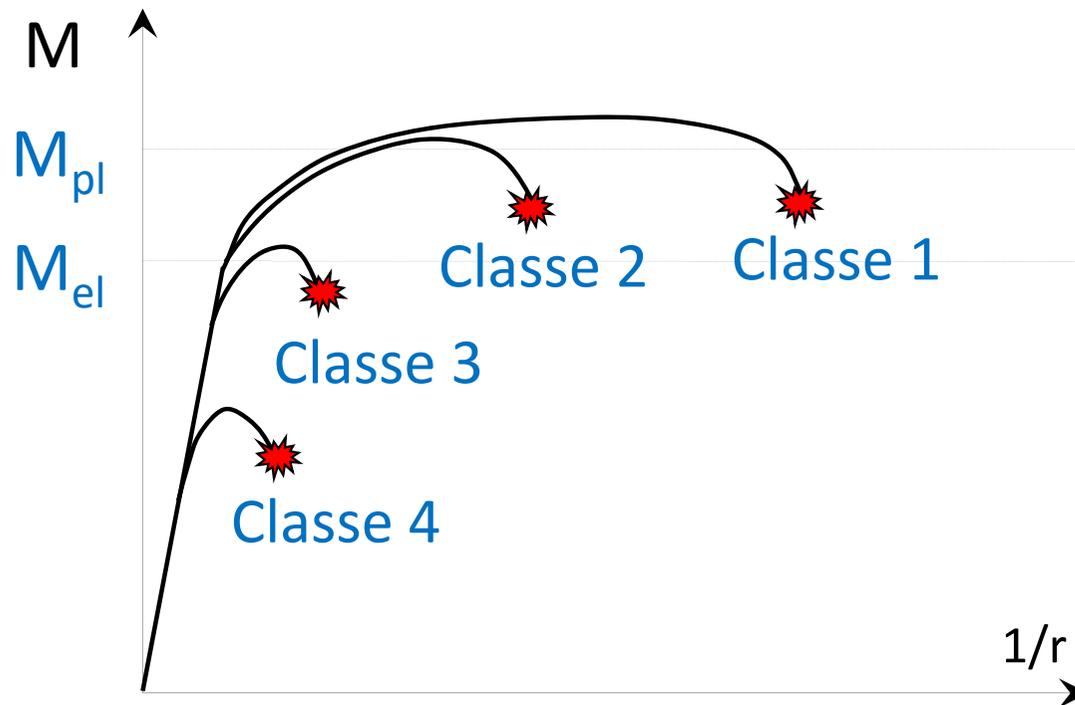
$$A_c = A_t$$

L'asse neutro divide la sezione
in due parti di area uguale

Comportamento di aste reali

Classe 1 – M supera M_{pl} e la sezione è molto duttile

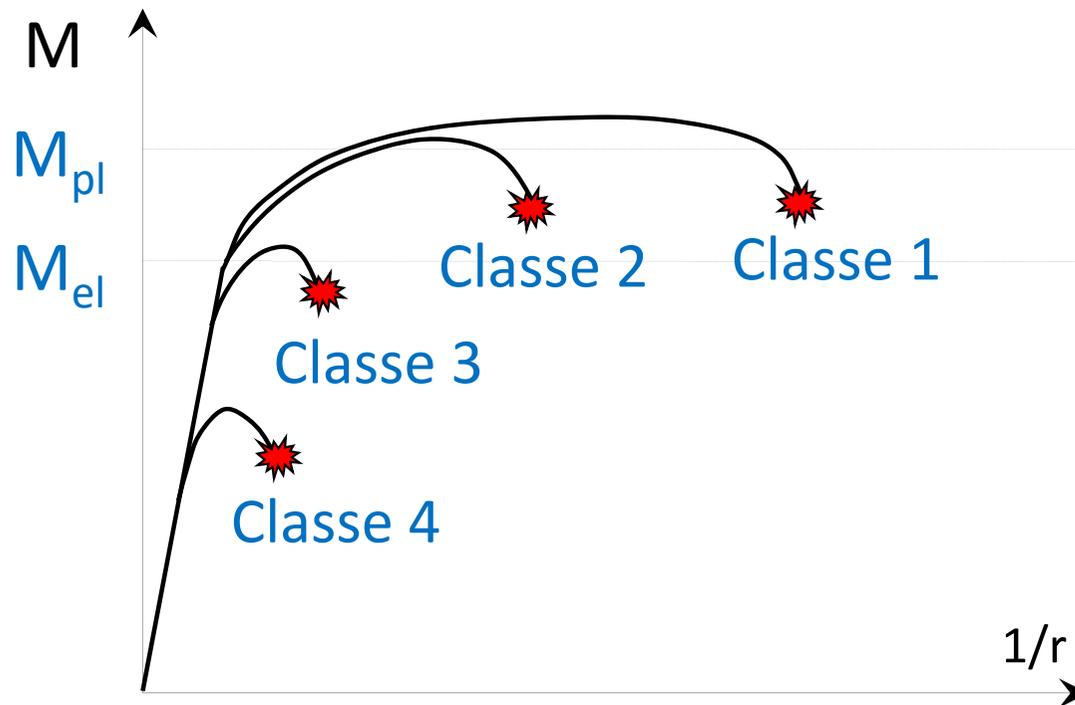
Classe 2 – M supera M_{pl} ma la sezione è meno duttile



Comportamento di aste reali

Classe 3 – La rottura avviene per $M \approx M_{el}$

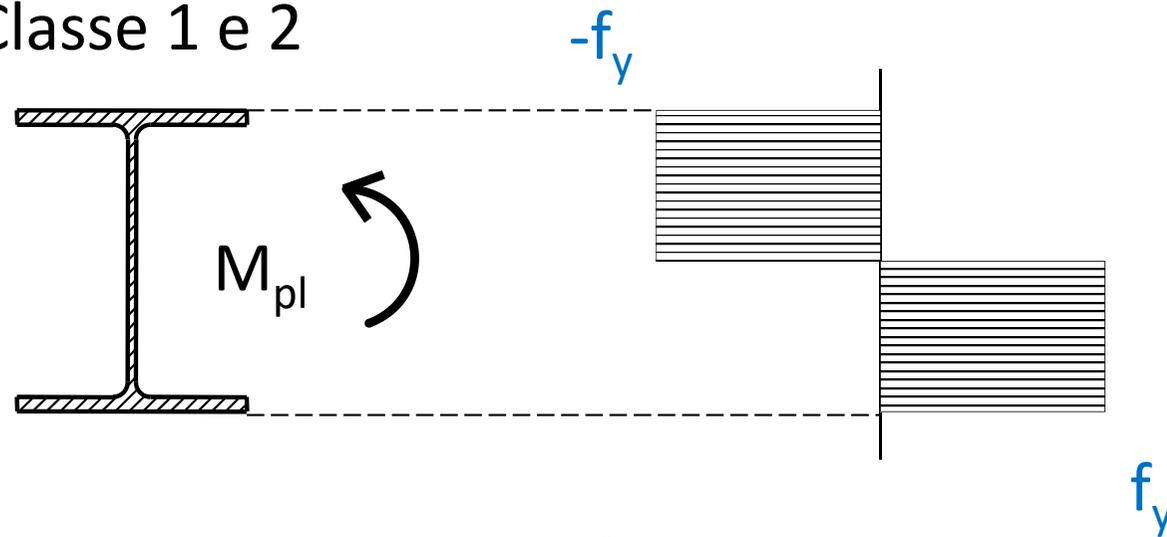
Classe 4 – La rottura avviene per $M < M_{el}$



Verifica di resistenza

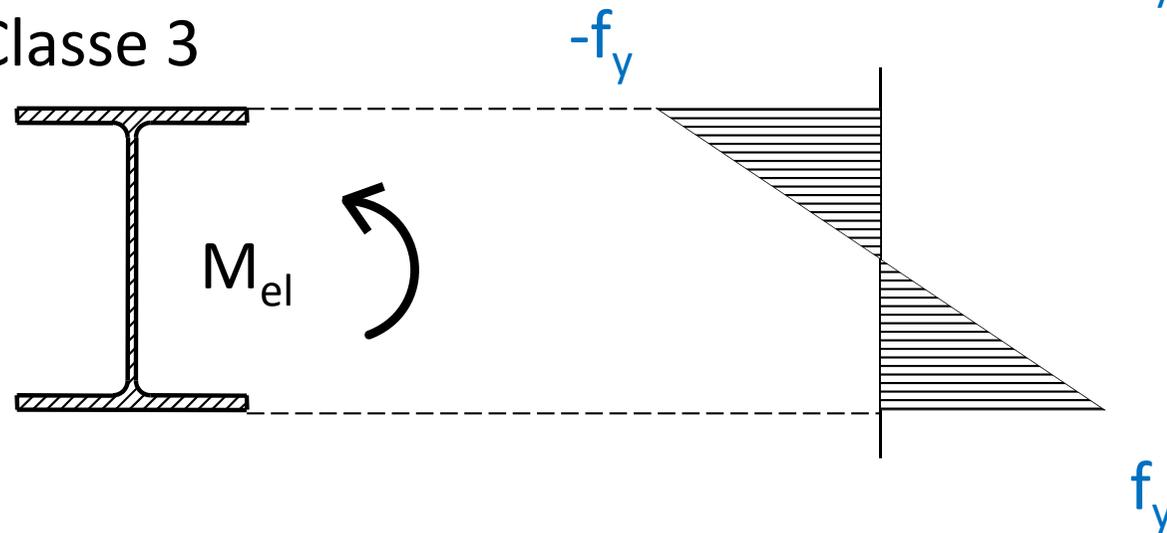
Stato limite ultimo

Classe 1 e 2



$$M_{pl} = W_{pl} f_y$$

Classe 3

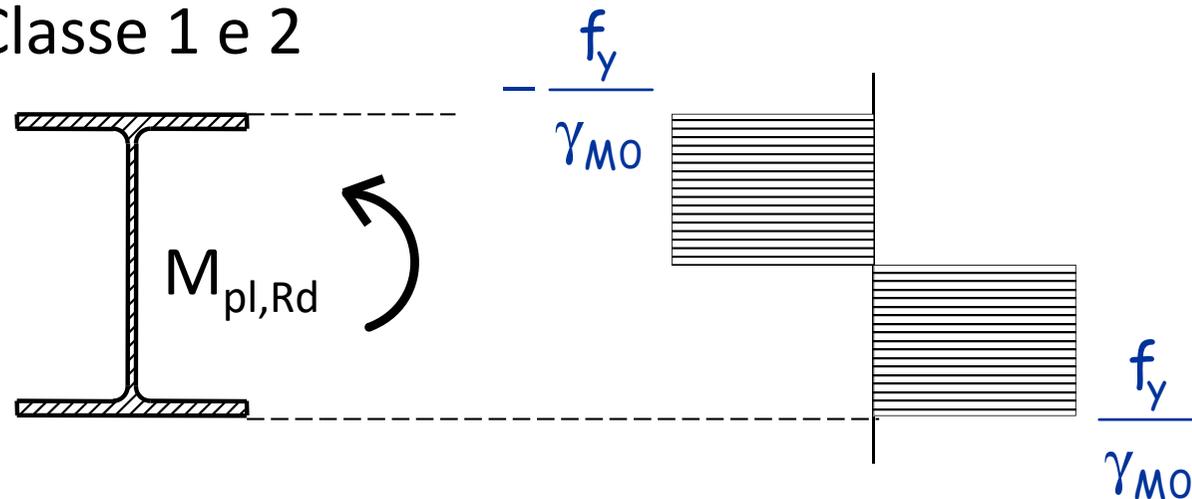


$$M_{el} = W_{el} f_y$$

Verifica di resistenza

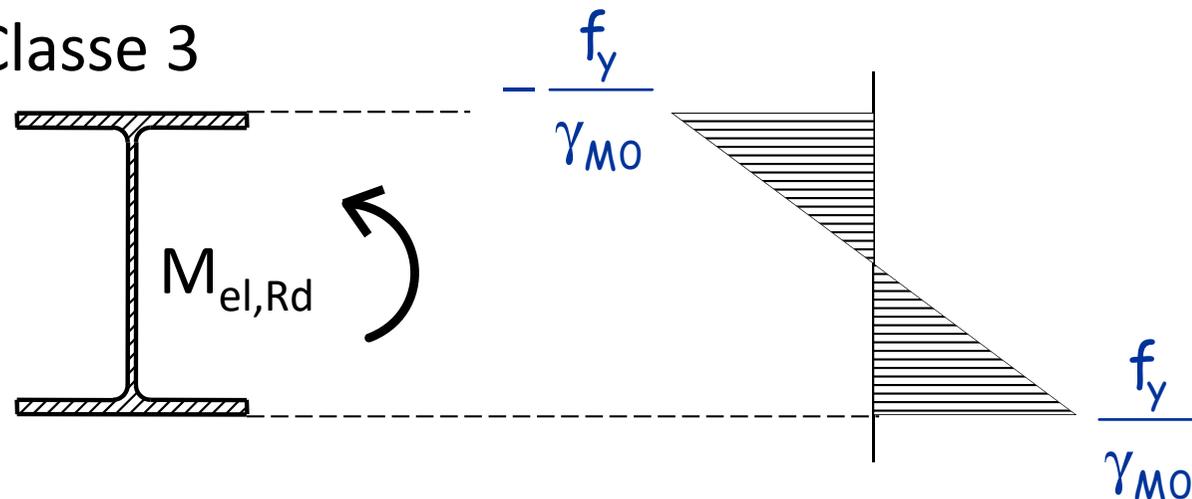
Stato limite ultimo

Classe 1 e 2



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

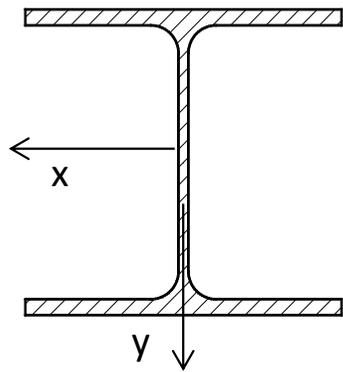
Classe 3



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

Verifica di resistenza

Esempio



HE 240 A

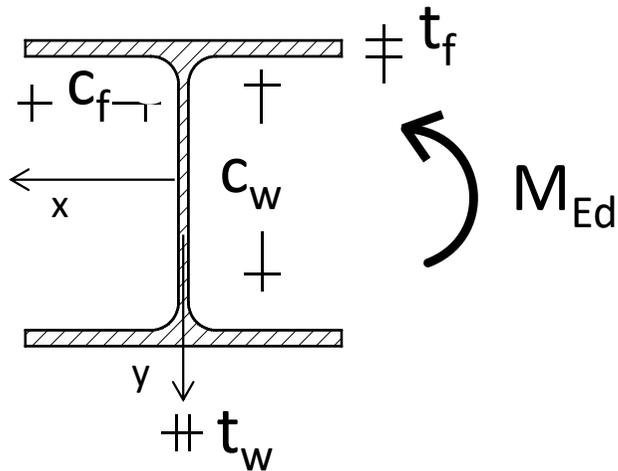
(Acciaio S235)

$$M_{Ed} = 125 \text{ kNm}$$

1. Si determina la classe del profilato (la peggiore tra quella dell'anima e della flangia).
2. Si calcola il momento resistente M_{Rd} .
3. Si verifica che $M_{Ed} < M_{Rd}$.

Verifica di resistenza

Esempio



HE 240 A

(Acciaio S235)

$M_{Ed} = 125 \text{ kNm}$

1. Classe del profilato

$$c_w = 164 \text{ mm}$$

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

$$c_f = 95.3 \text{ mm}$$

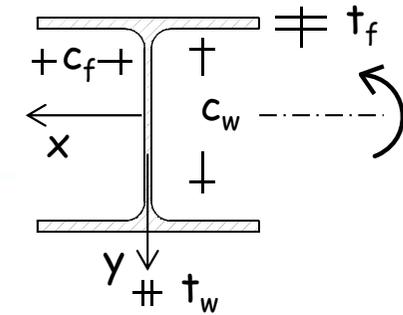
$$t_f = 12 \text{ mm}$$

Anima: $c_w/t_w = 164/7.5 = 21.9$

Flangia: $c_f/t_f = 95.3/12 = 7.9$

Parti interne compresse

$$c_w/t_w = 21.9$$

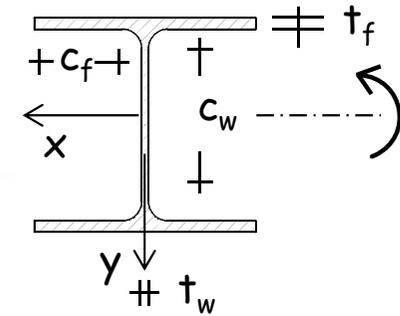


Classe	Parte soggetta a flessione	Parte soggetta a compressione	Parte soggetta a compressione e flessione			
Distribuzione delle tensioni (compres. +)						
1	$c/t \leq 72 \epsilon$	$c/t \leq 33 \epsilon$	$\alpha > 0.5 \quad c/t \leq 396\epsilon/(13\alpha - 1)$ $\alpha \leq 0.5 \quad c/t \leq 41.5\epsilon/\alpha$			
2	$c/t \leq 83 \epsilon$	$c/t \leq 38 \epsilon$	$\alpha > 0.5 \quad c/t \leq 456\epsilon/(13\alpha - 1)$ $\alpha \leq 0.5 \quad c/t \leq 41.5\epsilon/\alpha$			
Distribuzione delle tensioni (compres. +)						
3	$c/t \leq 124 \epsilon$	$c/t \leq 42 \epsilon$	$\psi \leq -1 \quad c/t \leq 42c/(0.67 + 0.33\psi)$ $\psi \leq -1^* \quad c/t \leq 62g(1 - \psi)\sqrt{-\psi}$			
$\epsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	f_{yk}	235	275	355	420	460
	ϵ	1.00	0.92	0.81	0.75	0.71

* $\psi \leq -1$ si applica se la tensione $s \leq f_{yk}$ o la deformazione a trazione $e_y > f_{yk}/E$

Parti esterne compresse

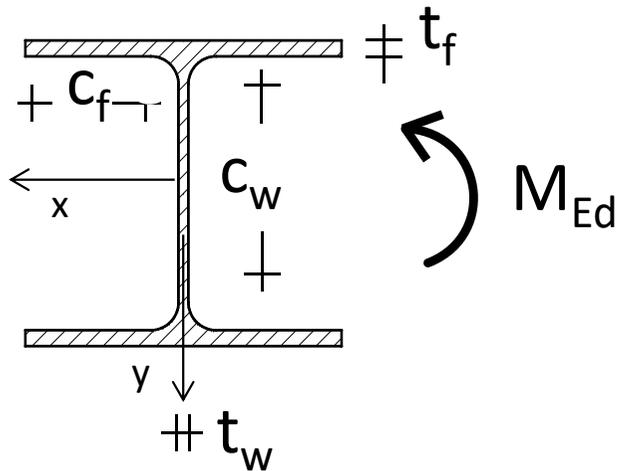
$$c_f/t_f = 7.9$$



Classe	Parte soggetta a compressione	Parte soggetta a compressione e flessione				
		Fine in compressione		Fine in trazione		
Distribuzione delle tensioni (compress. +)						
1	$c/t \leq 9 \varepsilon$	$c/t \leq 9 \varepsilon / \alpha$		$c/t \leq 9 \varepsilon / \alpha \sqrt{\alpha}$		
2	$c/t \leq 10 \varepsilon$	$c/t \leq 10 \varepsilon / \alpha$		$c/t \leq 9 \varepsilon / \alpha \sqrt{\alpha}$		
Distribuzione delle tensioni (compress. +)						
3	$c/t \leq 14 \varepsilon$	$c/t \leq 21 \varepsilon \sqrt{k_e}$				
$\varepsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	f_{yk}	235	275	355	420	460
	ε	1.00	0.92	0.81	0.75	0.71

Verifica di resistenza

Esempio



HE 240 A

(Acciaio S235)

$M_{Ed} = 125 \text{ kNm}$

1. Classe del profilato

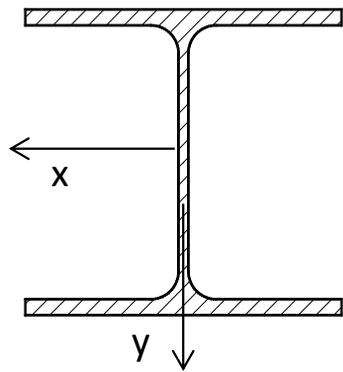
Anima: $c_w/t_w = 164/7.5 = 21.9 \leq 72\varepsilon = 72$ ($\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = 1$)

Flangia: $c_f/t_f = 95.3/12 = 7.9 \leq 9\varepsilon = 9$

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza

Esempio



HE 240 A

(Acciaio S235)

$$M_{Ed} = 125 \text{ kNm}$$

2 e 3. Momento resistente e verifica

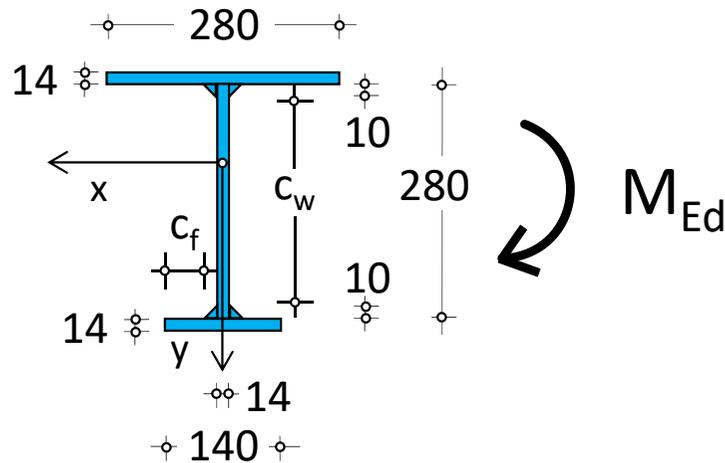
Dal sagomario: $W_{pl,x} = 744.6 \text{ cm}^3$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{744.6 \times 235}{1.05 \times 10^3} = 166.6 \text{ kNm}$$

Sezione verificata

Verifica di resistenza

Esempio sezione composta



Sezione
saldata

(Acciaio S235)

$$M_{Ed} = -250 \text{ kNm}$$

1. Classe del profilato

$$c_w = 260 \text{ mm}$$

$$t_w = 14 \text{ mm}$$

$$c_f = 53 \text{ mm}$$

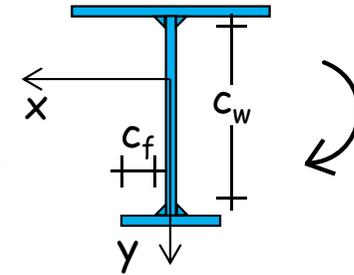
$$t_f = 14 \text{ mm}$$

Anima: $c_w/t_w = 260/14 = 18.5$

Flangia: $c_f/t_f = 53/14 = 3.8$

Parti interne compresse

$$c_w/t_w = 18.5$$



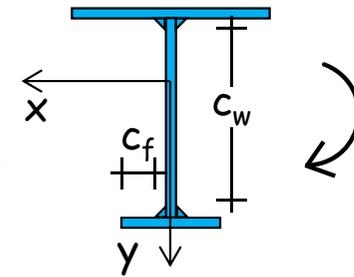
A FAVORE DI SICUREZZA

Classe	Parte soggetta a flessione	Parte soggetta a compressione	Parte soggetta a compressione e flessione			
Distribuzione delle tensioni (compres. +)						
1	$c/t \leq 72 \epsilon$	$c/t \leq 33 \epsilon$	$\alpha > 0.5 \quad c/t \leq 396\epsilon/(13\alpha - 1)$ $\alpha \leq 0.5 \quad c/t \leq 41.5\epsilon/\alpha$			
2	$c/t \leq 83 \epsilon$	$c/t \leq 38 \epsilon$	$\alpha > 0.5 \quad c/t \leq 456\epsilon/(13\alpha - 1)$ $\alpha \leq 0.5 \quad c/t \leq 41.5\epsilon/\alpha$			
Distribuzione delle tensioni (compres. +)						
3	$c/t \leq 124 \epsilon$	$c/t \leq 42 \epsilon$	$\psi \leq -1 \quad c/t \leq 42c/(0.67 + 0.33\psi)$ $\psi \leq -1^* \quad c/t \leq 62g(1 - \psi)\sqrt{-\psi}$			
$\epsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	f_{yk}	235	275	355	420	460
	ϵ	1.00	0.92	0.81	0.75	0.71

* $\psi \leq -1$ si applica se la tensione $s \leq f_{yk}$ o la deformazione a trazione $e_y > f_{yk}/E$

Parti esterne compresse

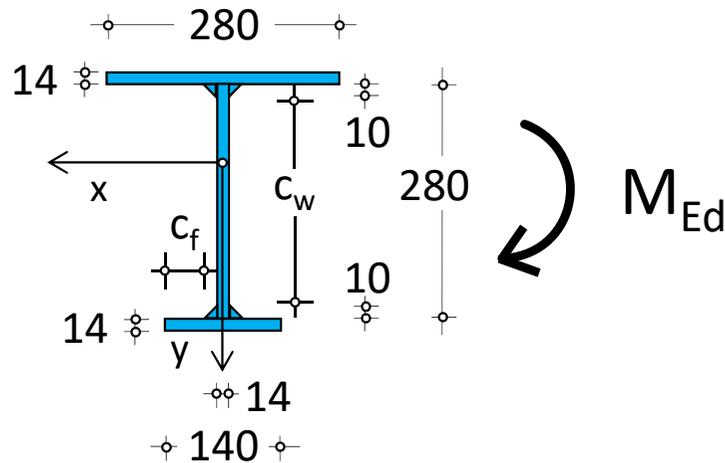
$$c_f/t_f = 3.8$$



Classe	Parte soggetta a compressione	Parte soggetta a compressione e flessione				
		Fine in compressione		Fine in trazione		
Distribuzione delle tensioni (compress. +)						
1	$c/t \leq 9 \epsilon$	$c/t \leq 9 \epsilon/\alpha$	$c/t \leq 9 \epsilon/\alpha$	$c/t \leq 9 \epsilon/\alpha \sqrt{\alpha}$	$c/t \leq 9 \epsilon/\alpha \sqrt{\alpha}$	
2	$c/t \leq 10 \epsilon$	$c/t \leq 10 \epsilon/\alpha$	$c/t \leq 10 \epsilon/\alpha$	$c/t \leq 9 \epsilon/\alpha \sqrt{\alpha}$	$c/t \leq 9 \epsilon/\alpha \sqrt{\alpha}$	
Distribuzione delle tensioni (compress. +)						
3	$c/t \leq 14 \epsilon$	$c/t \leq 21 \epsilon \sqrt{k_e}$				
$\epsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	f_{yk}	235	275	355	420	460
	ϵ	1.00	0.92	0.81	0.75	0.71

Verifica di resistenza

Esempio sezione composta



Sezione
saldata

(Acciaio S235)

$$M_{Ed} = -250 \text{ kNm}$$

1. Classe del profilato

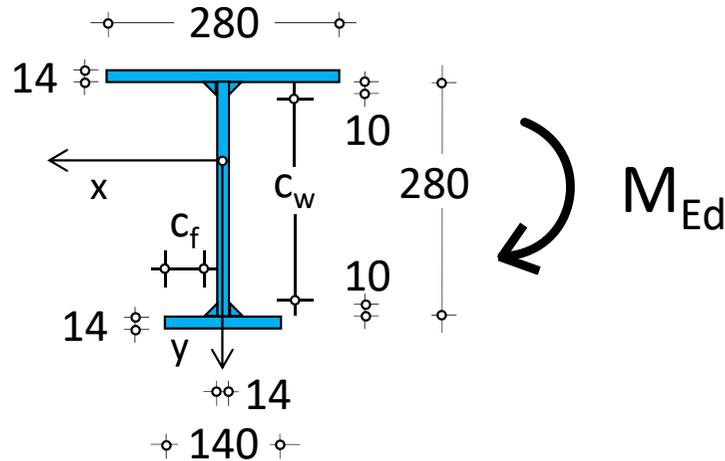
Anima: $c_w/t_w = 260/14 = 18.5 < 33\varepsilon = 33$ ($\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = 1$)

Flangia: $c_f/t_f = 53/14 = 3.8 < 9\varepsilon = 9$

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza

Esempio sezione composta



Sezione
saldata (Acciaio S235)

$$M_{Ed} = -250 \text{ kNm}$$

2. Momento resistente

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

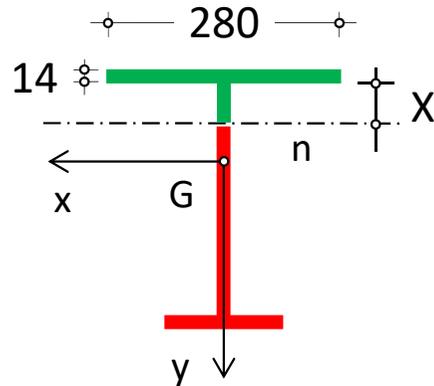
$$W_{pl} = 2 S_x$$

$S_x =$ momento statico di mezza sezione
(parte tesa o compressa)

Bisogna trovare l'asse neutro ed il baricentro

Verifica di resistenza

Esempio sezione composta



Sezione
saldata

(Acciaio S235)

$$M_{Ed} = -250 \text{ kNm}$$

2.1 Asse neutro (per la sezione tutta plasticizzata)

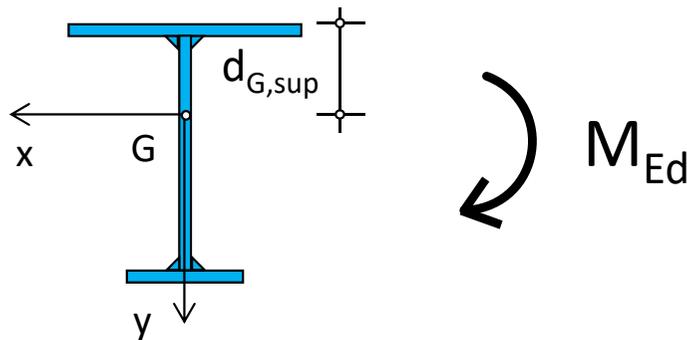
La sezione è divisa in due parti di area uguale

$$A = 9800 \text{ mm}^2$$

$$A_t = 14 \times 280 + 14 \times X = \frac{A}{2} \quad \Rightarrow \quad X = 70 \text{ mm}$$

Verifica di resistenza

Esempio sezione composta



Sezione
saldata (Acciaio S235)

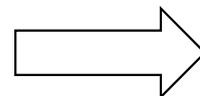
$$M_{Ed} = -250 \text{ kNm}$$

2.2 Baricentro

Momento statico della sezione rispetto al bordo sup.

$$S_{sup} = 1221080 \text{ mm}^3$$

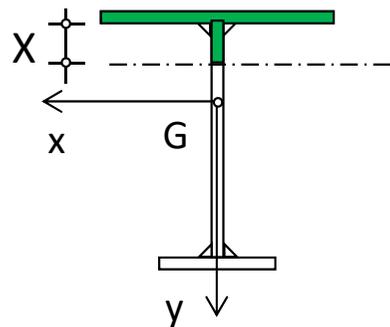
$$S_{sup} = A d_{G,sup}$$



$$d_{G,sup} = 124.7 \text{ mm}$$

Verifica di resistenza

Esempio sezione composta



Sezione
saldata

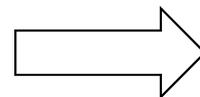
(Acciaio S235)

$$M_{Ed} = -250 \text{ kNm}$$

2.3 Modulo di resistenza

Calcolo il momento statico della parte tesa o della parte compressa rispetto all'asse baricentrico x

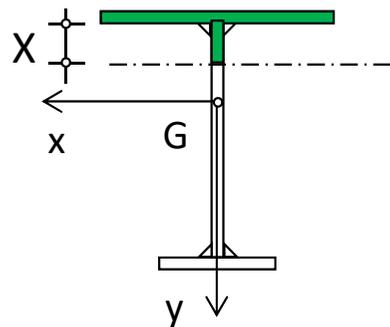
$$S_x = 535.1 \text{ cm}^2$$



$$W_{pl} = 2 S_x = 1070.2$$

Verifica di resistenza

Esempio sezione composta



Sezione
saldata

(Acciaio S235)

$$M_{Ed} = -250 \text{ kNm}$$

2.4 e 3 Momento resistenza e verifica

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1070.2 \times 235}{1.05 \times 10^3} = 239.5 \text{ kNm}$$

La sezione non è verificata

Progetto per flessione

Stato limite ultimo

1. Si assume la classe della sezione (1, 2 o 3).
2. Invertendo l'espressione di verifica si ottiene la formula di progetto della sezione.

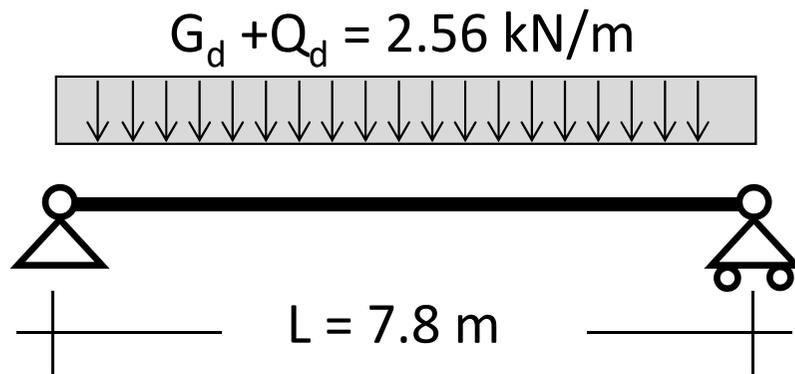
Classe 1 e 2: $M_{Ed} \leq M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}$ \Rightarrow $W_{pl} = \frac{M_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}$

Classe 3: $M_{Ed} \leq M_{el,Rd} = \frac{W_{el} f_y}{\gamma_{M0}}$ \Rightarrow $W_{el} = \frac{M_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}$

3. Si sceglie la sezione.
4. Si verifica la classe della sezione.

Progetto per flessione

Esempio



Sezione HEA (S235)

$M_{ed} = 19.5 \text{ kNm}$

1. Classe della sezione.

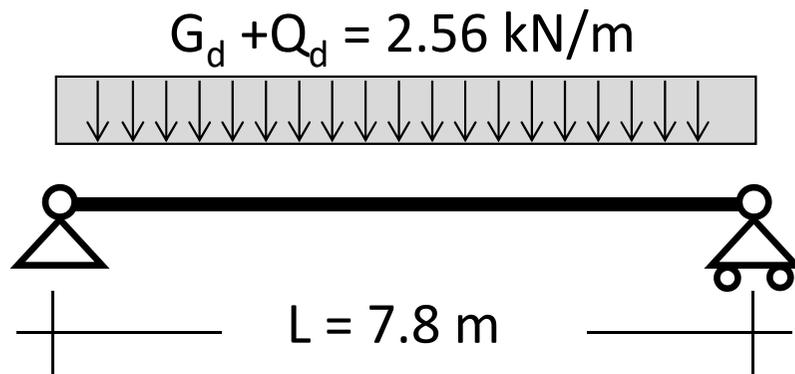
Suppongo che la sezione appartenga alla classe 1 o 2.

2. Determinazione del modulo plastico minimo.

$$W_{pl,min} = \frac{M_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} = \frac{19.5 \times 10^3}{235 / 1.05} = 87.1 \text{ cm}^3$$

Progetto per flessione

Esempio



Sezione HEA (S235)

$$M_{ed} = 19.5 \text{ kNm}$$

$$W_{pl} \geq 87.1 \text{ cm}^3$$

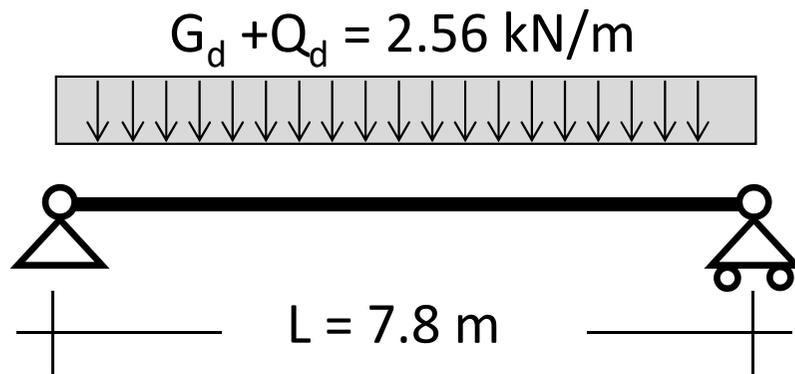
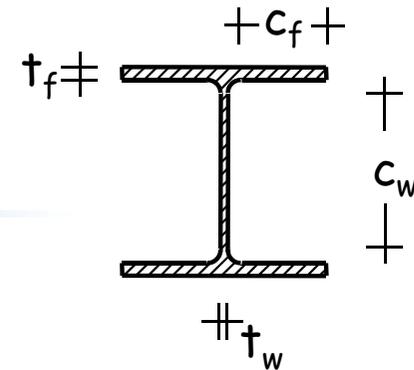
3. Scelta della sezione.

Si potrebbe usare un **HE 120 A**

$$W_{pl} = 119.4 \text{ cm}^3$$

Progetto per flessione

Esempio



Sezione HEA 120

(S235)

$$c_w = 74 \text{ mm}$$

$$t_w = 5 \text{ mm}$$

$$c_f = 60 \text{ mm}$$

$$t_f = 8 \text{ mm}$$

4. Determinazione della classe della sezione.

Anima: $c/t_w = 74/5 = 14.8 \leq 72\varepsilon = 72$ ($\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = 1$)

Flangia: $c/t_f = 40.5/8 = 5.1 \leq 9\varepsilon = 9$

La sezione è realmente di classe 1

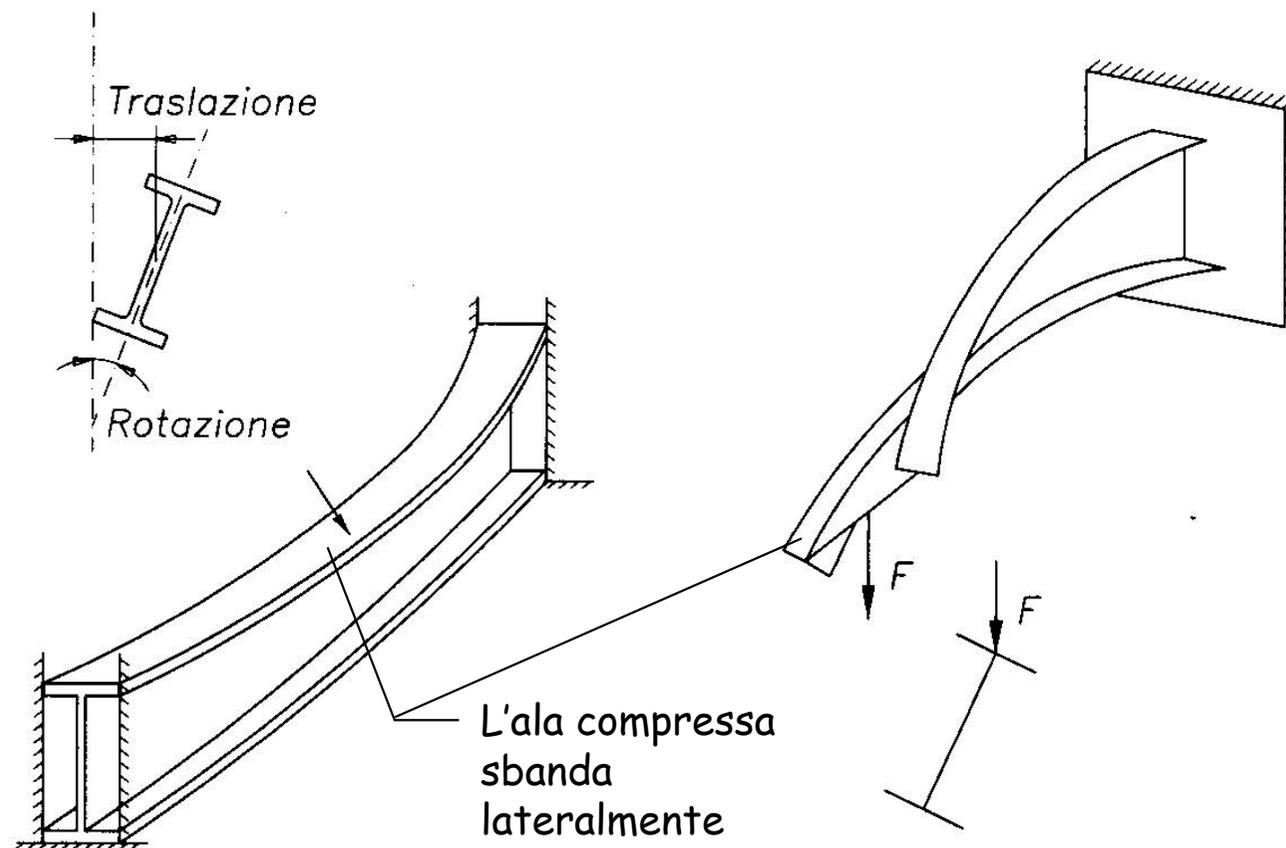
Progetto per flessione

Esempio

- Si deve verificare anche lo stato limite di esercizio
- Si può dimostrare che, a causa della deformabilità, è necessaria una sezione più grande (HE 160 A, HE 140 B, IPE 180)
- Si consiglia di procedere sempre effettuando contemporaneamente le due verifiche (o meglio usando le due condizioni per il progetto)

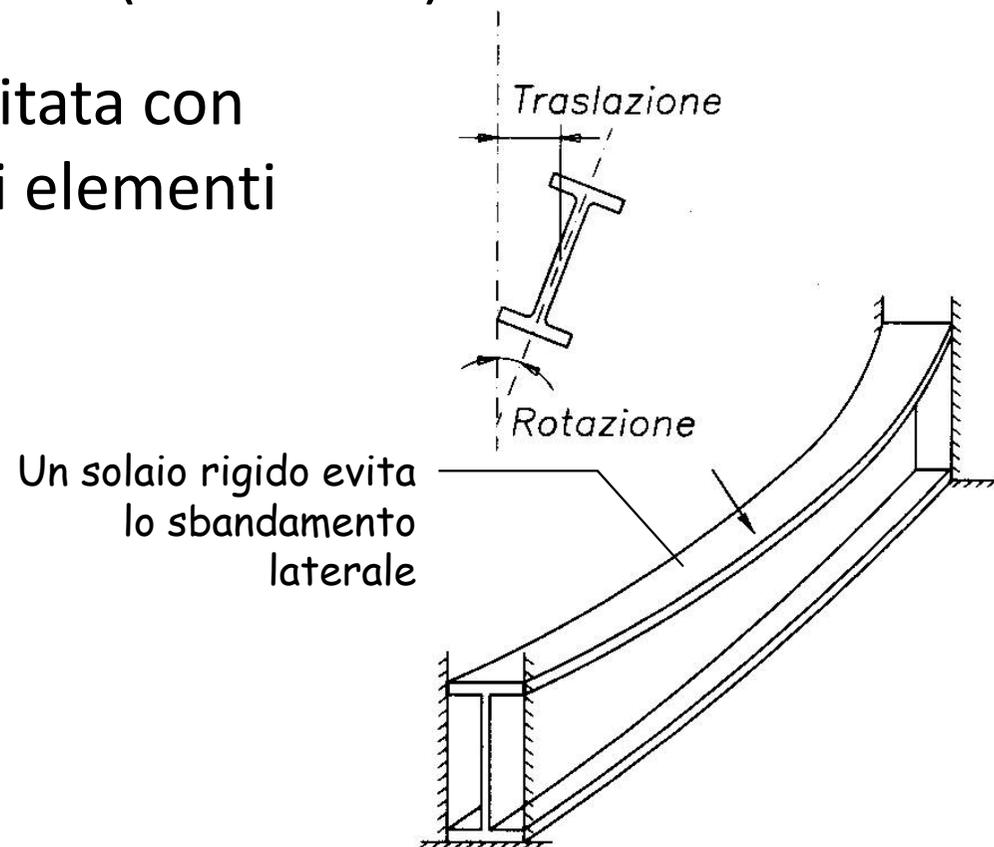
Instabilità flessio-torsionale

- Le travi inflesse possono sbandare trasversalmente, con rotazione intorno al loro asse (torsionale)



Instabilità flessio-torsionale

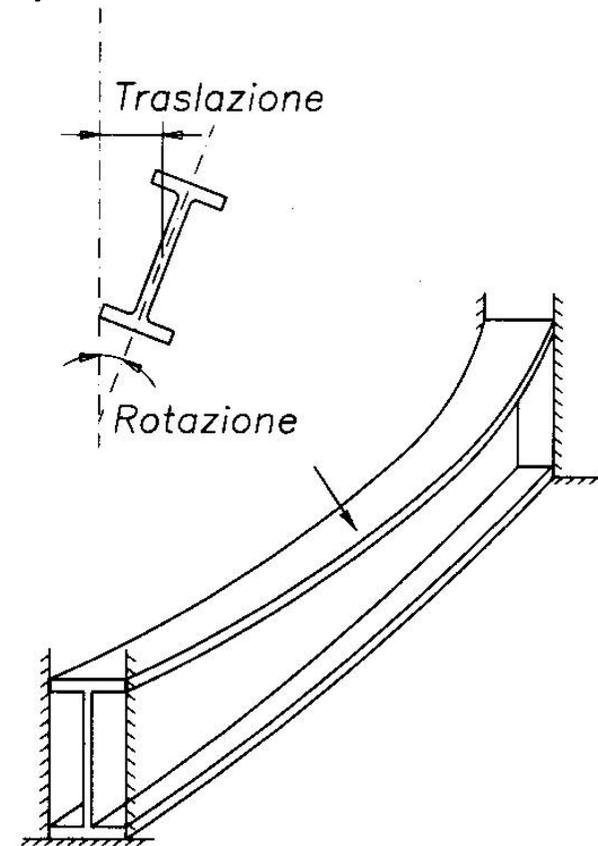
- Le travi inflesse possono sbandare trasversalmente, con rotazione intorno al loro asse (torsionale)
- L'instabilità può essere evitata con opportuna disposizione di elementi strutturali



Instabilità flessio-torsionale

- Le travi inflesse possono sbandare trasversalmente, con rotazione intorno al loro asse (torsionale)
- L'instabilità può essere evitata con opportuna disposizione di elementi strutturali
- Se non può essere evitata, bisogna ridurre il momento resistente

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M1}}$$



Instabilità flessio-torsionale

- Le travi inflesse possono sbandare trasversalmente, con rotazione intorno al loro asse (torsionale)
- L'instabilità può essere evitata con opportuna disposizione di elementi strutturali
- Se non può essere evitata, bisogna ridurre il momento resistente

Espressioni simili a quelle dell'instabilità Euleriana

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

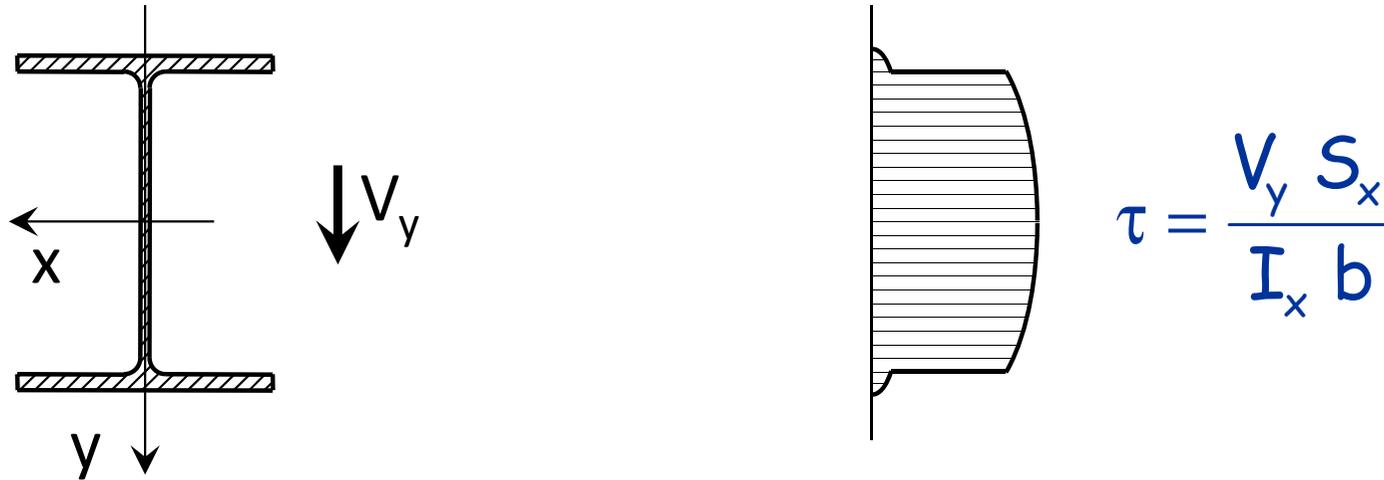
$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

Ulteriori fattori intervengono per distribuzioni di momento non uniforme e per sezioni non compatte

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$

Taglio

Comportamento ultimo



In campo lineare ...

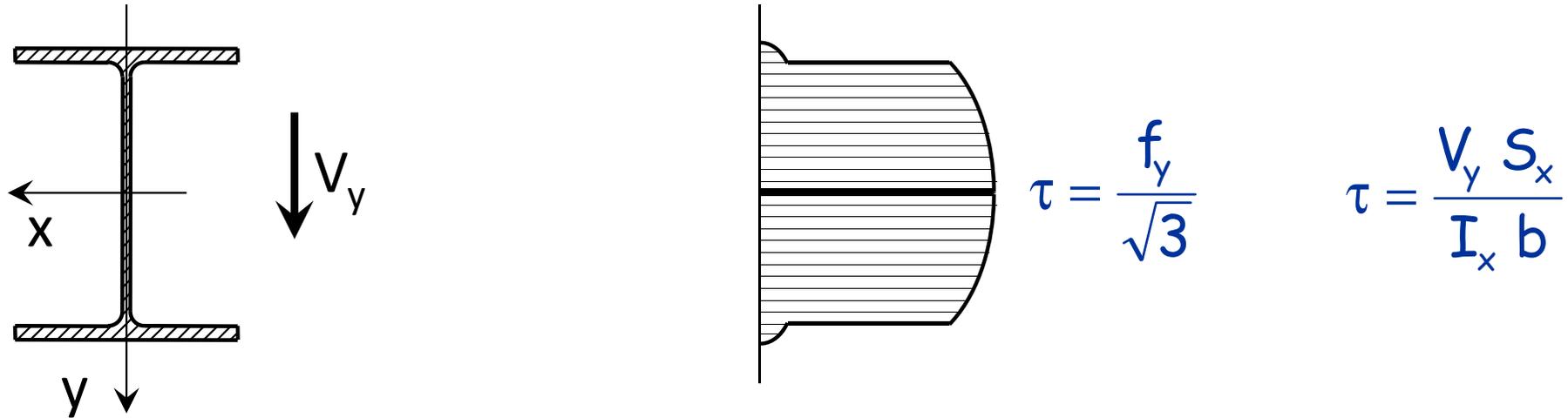
le tensioni si valutano con la formula di Jouraski:

S_x momento statico della sezione al di sopra (o al di sotto) della corda rispetto all'asse baricentrico;

I_x momento d'inerzia della sezione rispetto all'asse baricentrico;

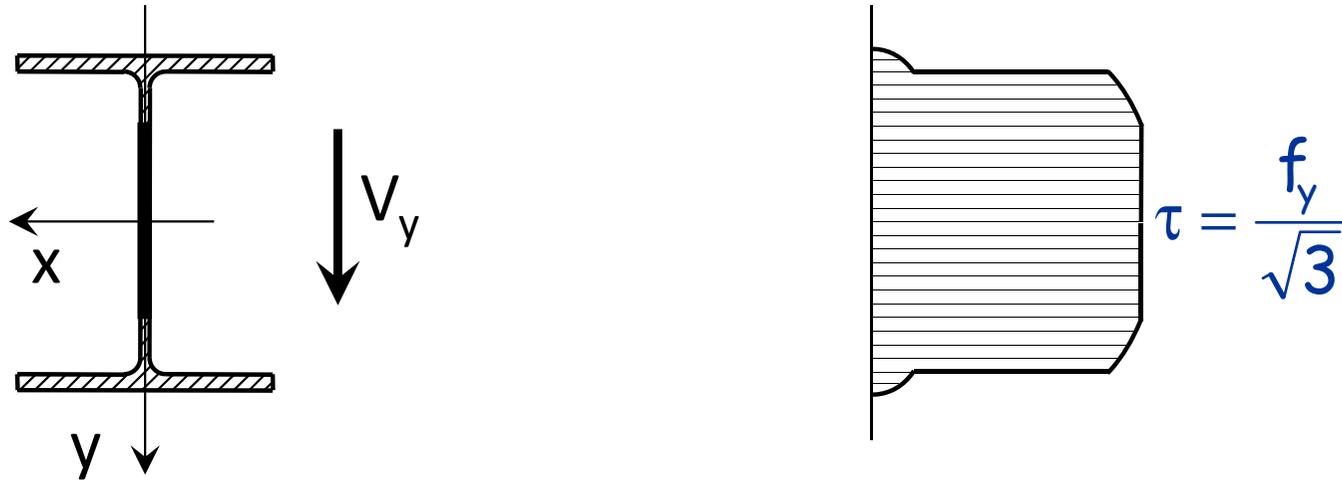
b ampiezza della corda.

Comportamento ultimo



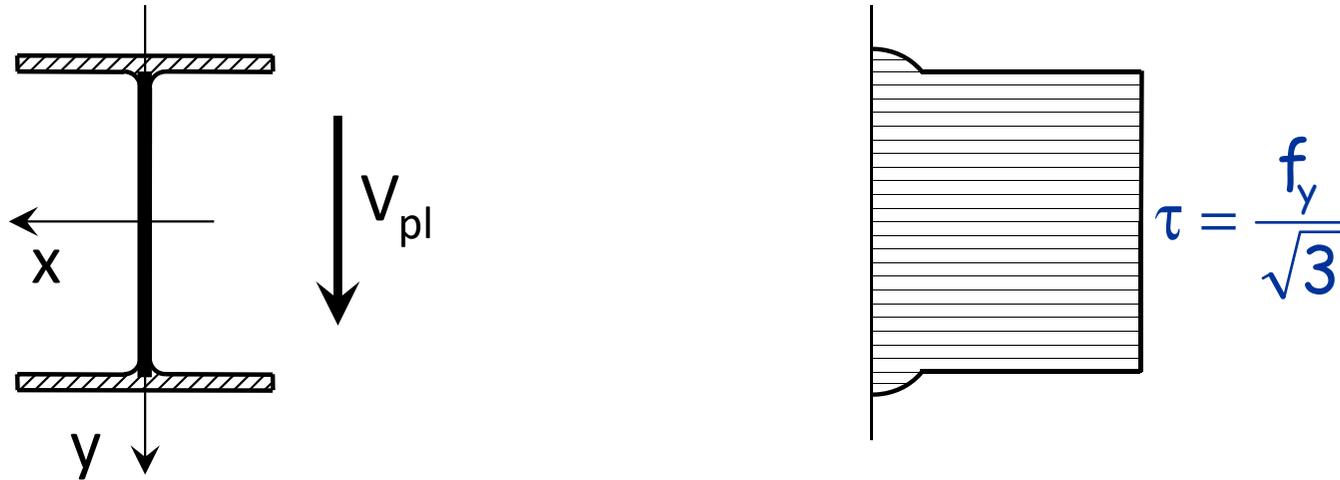
Facendo crescere il taglio ...
la fibra che sta sull'asse baricentrico
(la più sollecitata) si plasticizza.

Comportamento ultimo



La plasticizzazione si propaga fino a che ...

Comportamento ultimo



... si plasticizza tutta l'anima.

$$V_{pl} = A_{anima} \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

per sezioni a doppio T

$$V_{pl} = A_v \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

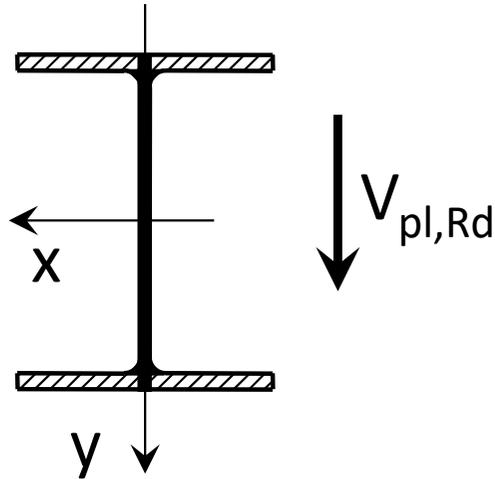
in generale

dove ...

A_v è l'area resistente a taglio

Verifica di resistenza

Stato limite ultimo



Per profili a doppio T
si plasticizza tutta l'anima
ed i raccordi circolari

Taglio resistente secondo l'Eurocodice 3

$$V_{pl,Rd} = A_v \frac{f_y / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}}$$

A_v area resistente a taglio

Area resistente a taglio

- Precedenti versioni suggerivano di valutare l'area resistente a taglio in maniera approssimata

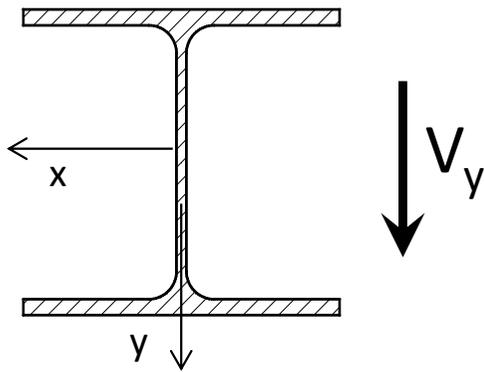
$$A_v = 1.04 h t_w$$

- Ora sono suggerite formule più dettagliate:
per travi a doppio T, caricate nel piano dell'anima

$$A_v = A - 2 b t_f + (t_w + 2 r) t_f$$

Verifica di resistenza

Esempio



Sezione HEA 120

(S235)

$V_{Ed} = 10 \text{ kN}$

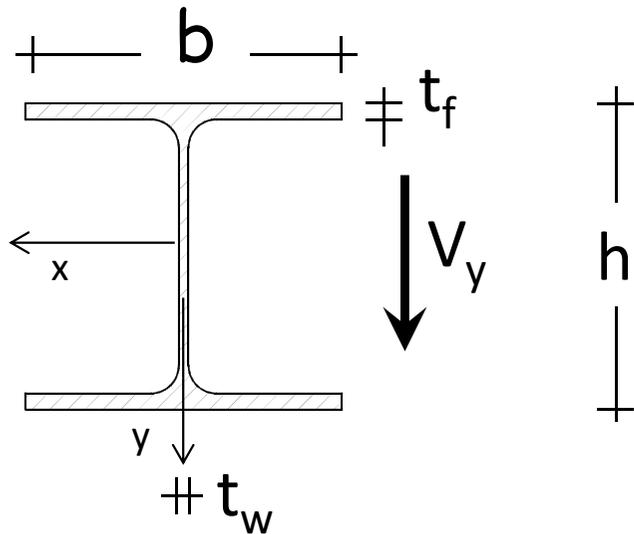
(dalla trave progettata)

Procedura

1. Si determina l'area resistente a taglio A_v
2. Si calcola il taglio resistente $V_{pl,Rd}$.
3. Si verifica che $V_{Ed} < V_{pl,Rd}$.

Verifica di resistenza

Esempio



Sezione HEA 120

(S235)

$V_{Ed} = 10 \text{ kN}$

(dalla trave progettata)

1. Area resistente a taglio A_v

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$$

$$b = 120 \text{ mm}$$

$$t_f = 8 \text{ mm}$$

$$h = 114 \text{ mm}$$

$$t_w = 5 \text{ mm}$$

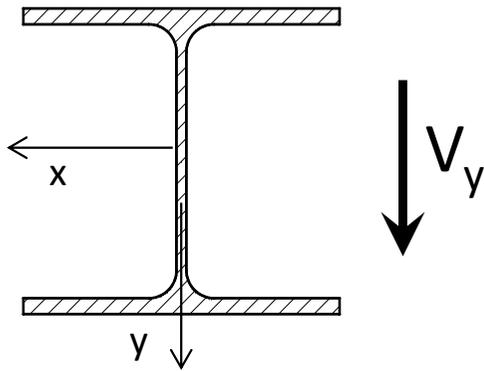
$$r = 12 \text{ mm}$$

$$A = 2534 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 2534 - 2 \times 120 \times 8 + (5 + 2 \times 12) \times 8 = 846 \text{ mm}^2$$

Verifica di resistenza

Esempio



Sezione HEA 120

(S235)

$V_{Ed} = 10 \text{ kN}$

(dalla trave progettata)

2. e 3. Taglio resistente e verifica

$$V_{pl,Rd} = A_v \left(f_y / \sqrt{3} \right) / \gamma_{M0}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{846 \times 235 / \sqrt{3}}{1.05} \times 10^{-3} = 109.3 \text{ kN}$$

Sezione verificata

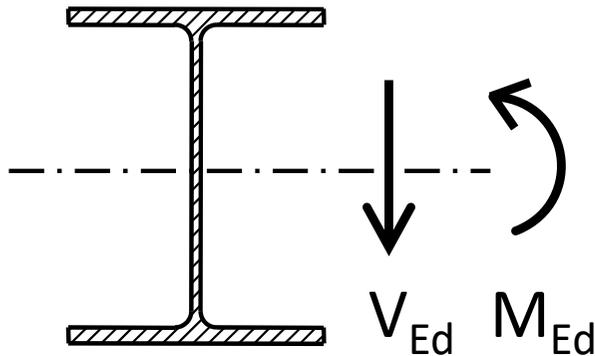
Taglio

Considerazioni

- In genere i profilati sono tali da avere una resistenza a taglio più che sufficiente
- Procedimento usuale:
progettare a flessione – verificare a taglio

Interazione Taglio - Momento

Stato limite ultimo



La sezione impegna parte delle sue risorse per portare il taglio

Il momento resistente risulterà ridotto rispetto al valore di progetto in assenza di taglio e pari a $M_{V,Rd}$

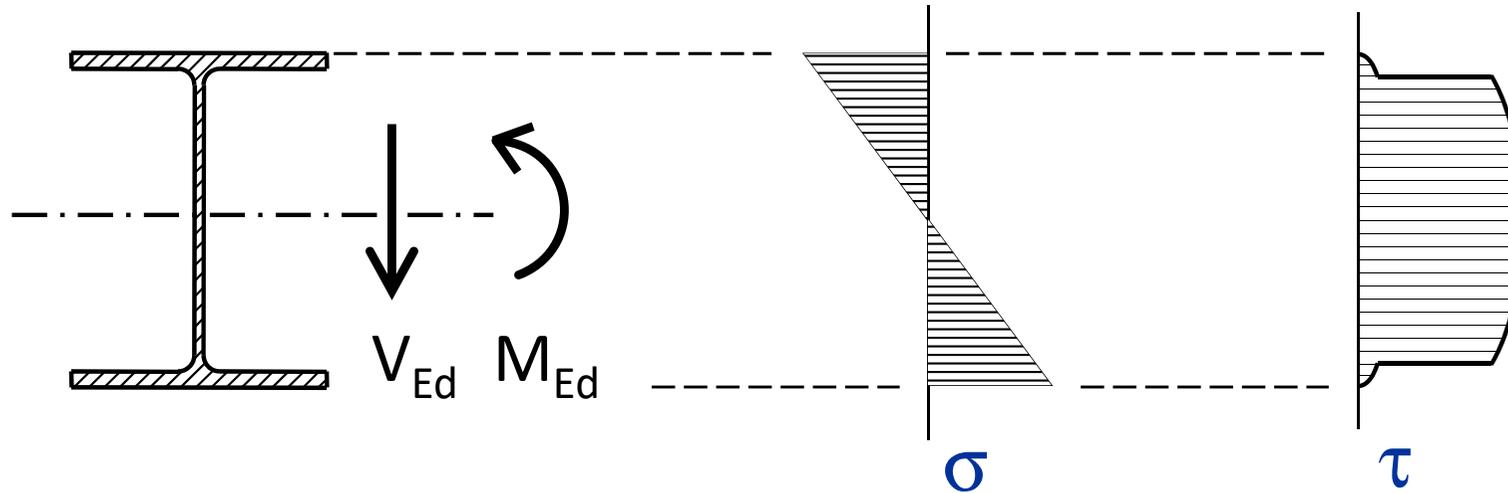
Pertanto, si dovrà verificare che ...

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

Ma come calcolare $M_{V,Rd}$?

Momento resistente ridotto

Stato limite ultimo

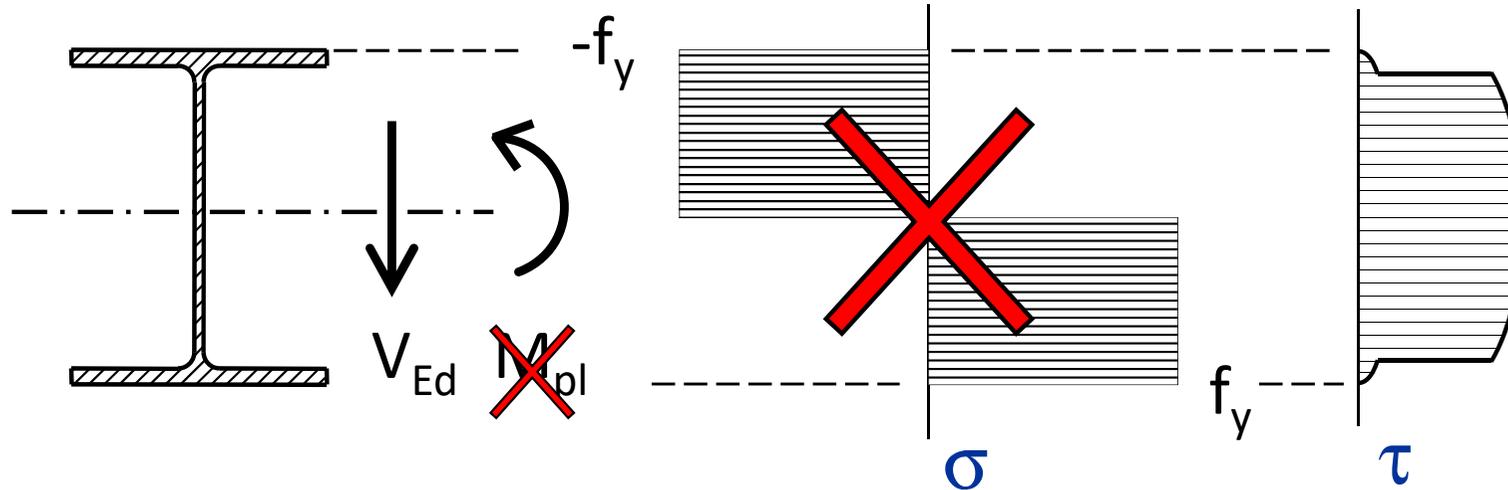


Faccio crescere il momento fino al collasso della sezione

(Se la sezione è di classe 1 o 2, il momento considerato corrisponde alla completa plasticizzazione della sezione)

Momento resistente ridotto

Stato limite ultimo



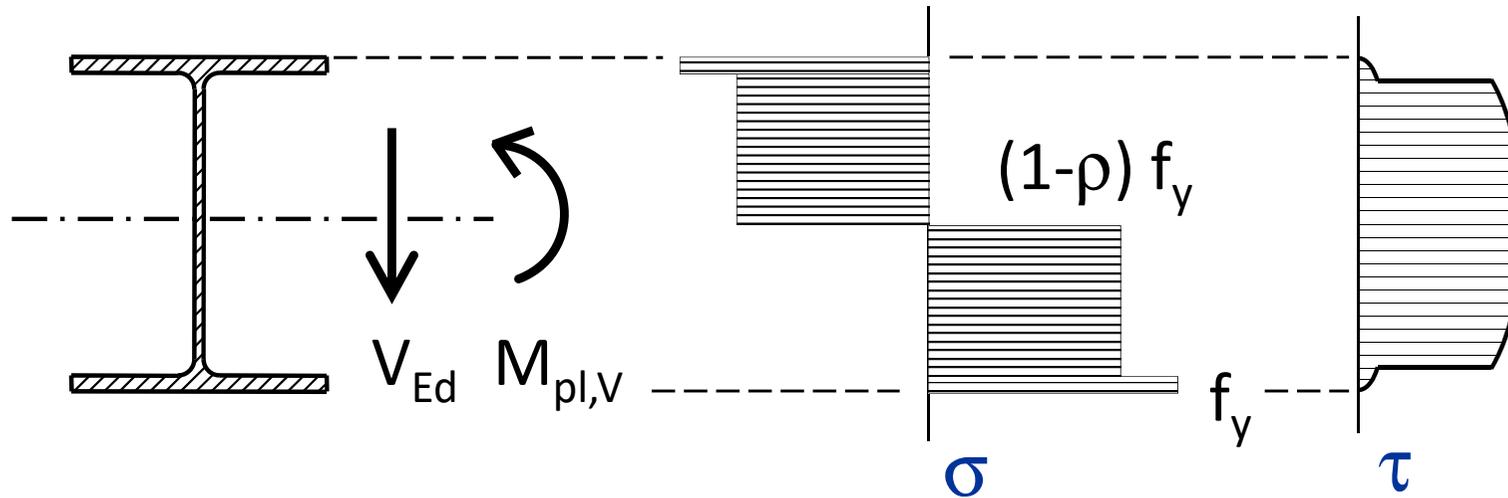
È possibile ottenere questo diagramma delle σ ?

NO! Dove le τ sono elevate lo snervamento avverrà per valori di σ più bassi e pari a:

$$\sigma = (1-\rho) f_y \quad \text{con } \rho < 1$$

Momento resistente ridotto

Stato limite ultimo

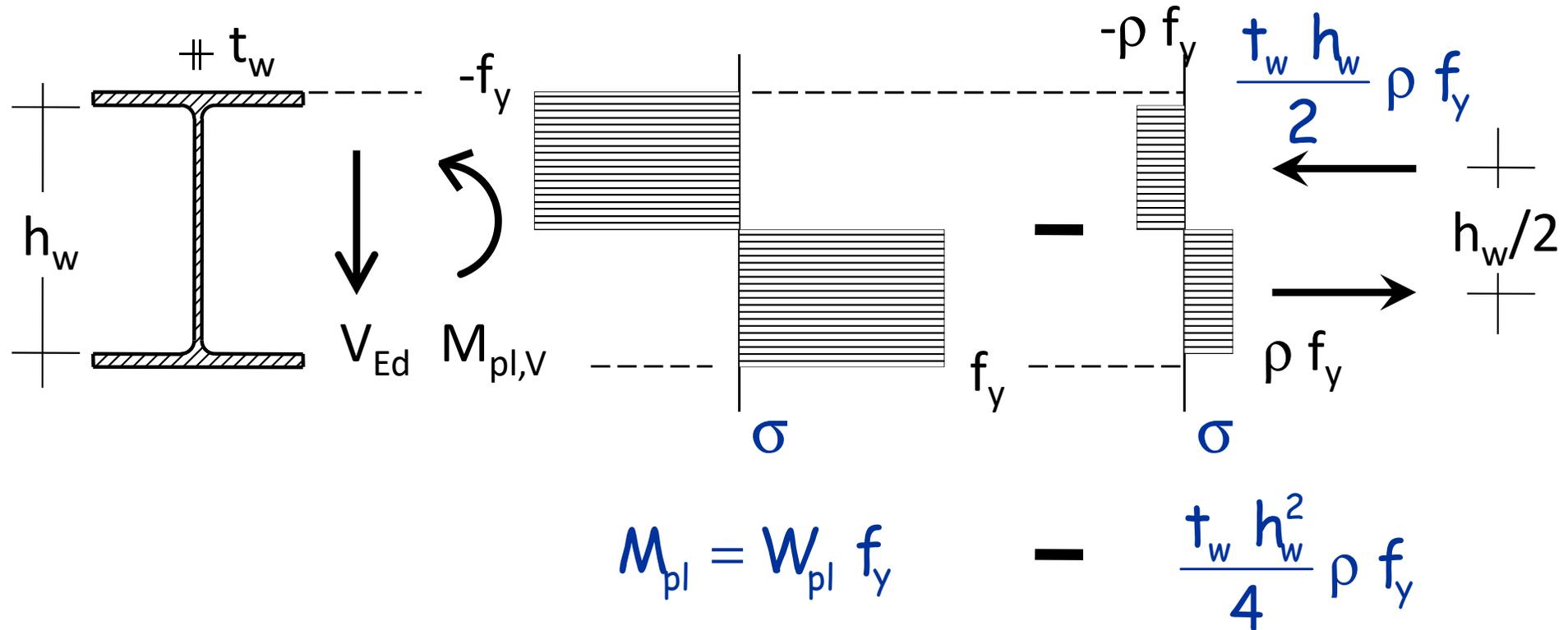


Per una sezione a doppio T
la tensione verrà ridotta nell'anima?

$$M_{pl,V} = \int \sigma y dA$$

Momento resistente ridotto

Stato limite ultimo

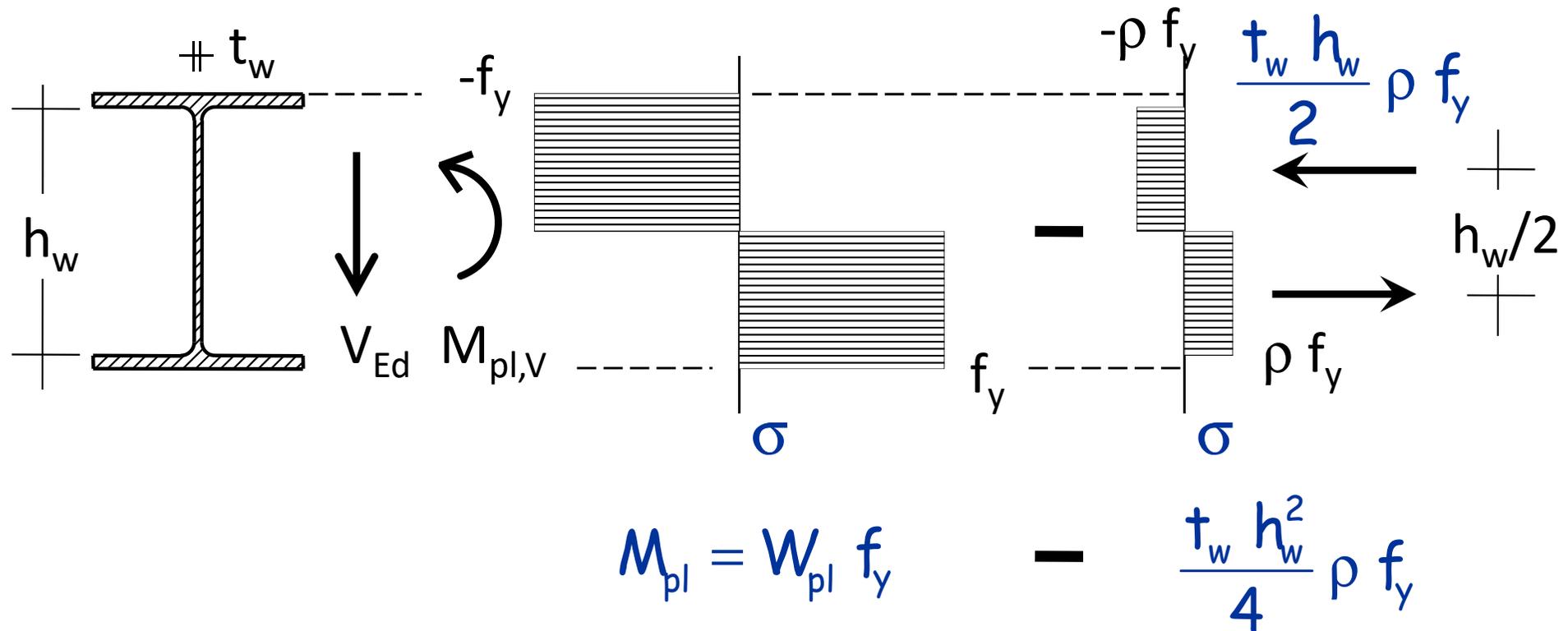


$$M_{pl,V} = \left(W_{pl} - \rho \frac{t_w h_w^2}{4} \right) f_y$$

se si considera che $h_w t_w \approx A_V \dots$

Momento resistente ridotto

Stato limite ultimo



se si considera che $h_w t_w \approx A_v \dots$

$$M_{pl,V} = \left(W_{pl} - \rho \frac{A_v^2}{4 t_w} \right) f_y$$

Questo è il W_{pl}
dell'anima

Taglio

Considerazioni

- Finché il taglio sollecitante è piccolo rispetto a quello resistente (meno della metà) non c'è problema di interazione flessione-taglio
- Se il taglio è più grande occorre ridurre la resistenza a flessione

Interazione Taglio – Momento

Prescrizioni di normativa

Quando $V_{Ed} > 0.5 V_{pl,Rd}$

Questo è il W_{pl}
dell'anima

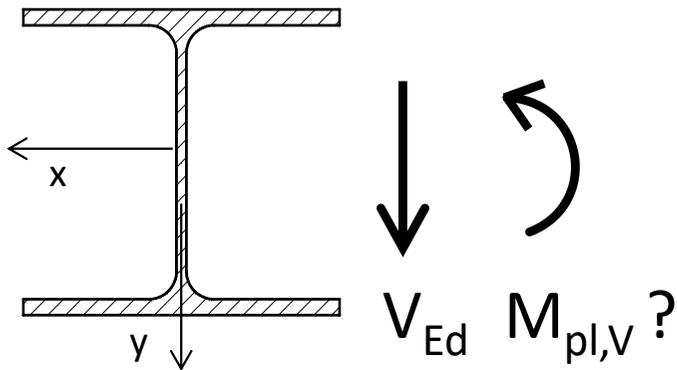
$$M_{V,Rd} = \frac{\left(W_{pl} - \rho \frac{A_v^2}{4t_w} \right) f_y}{\gamma_{M0}}$$

con
$$\rho = \left(\frac{2 V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$

e $A_v = \text{Area resistente a taglio}$

Verifica a taglio e momento

Esempio



Sezione HEA 120 (S235)

$$V_{Ed} = V_{pl,Rd} = 109.3 \text{ kN}$$

(dalla trave progettata)

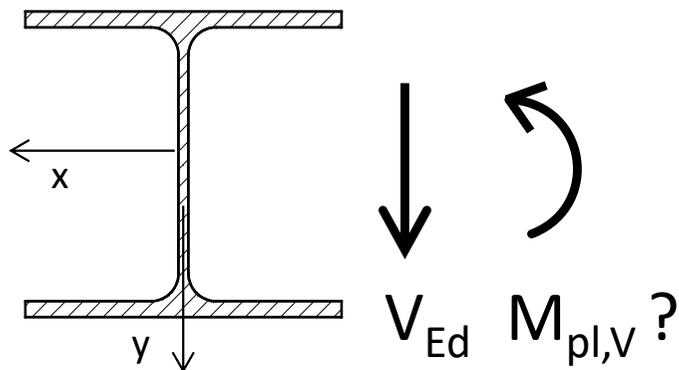
$$t_w = 5 \text{ mm} \quad A_V = 8.46 \text{ cm}^2 \quad W_{pl} = 119.4 \text{ cm}^3$$

$$\rho = \left(\frac{2 V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left(\frac{2 \times 109.3}{109.3} - 1 \right)^2 = 1$$

$$M_{V,Rd} = \frac{\left(W_{pl} - \frac{\rho A_V^2}{4 t_w} \right) f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{\left(119.4 - \frac{1 \times 8.46^2}{4 \times 0.5} \right) \times \frac{235}{10^3}}{1.05} = 18.7 \text{ kNm}$$

Verifica a taglio e momento

Esempio



Sezione HEA 120 (S235)

$$V_{Ed} = V_{pl,Rd} = 109.3 \text{ kN}$$

(dalla trave progettata)

$$t_w = 5 \text{ mm} \quad A_v = 8.46 \text{ cm}^2 \quad W_{pl} = 119.4 \text{ cm}^3$$

$$M_{V,Rd} = \frac{\left(W_{pl} - \frac{\rho A_v^2}{4 t_w} \right) f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{\left(119.4 - \frac{1 \times 8.46^2}{4 \times 0.5} \right) \times \frac{235}{10^3}}{1.05} = 18.7 \text{ kNm}$$

Solo flessione

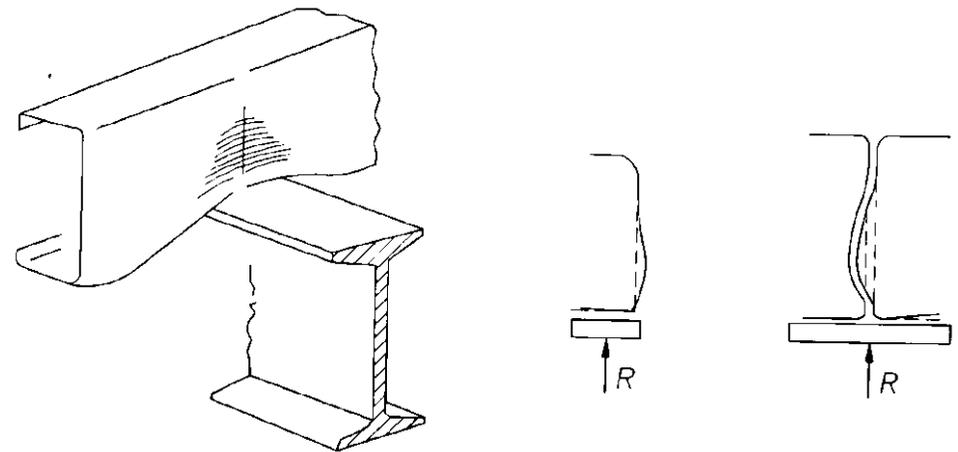
$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{119.4 \times 235}{1.05 \times 10^3} = 26.7 \text{ kNm}$$

Taglio

Resistenza dell'anima ad azioni locali

In presenza di azioni concentrate o di taglio molto elevato si può avere:

- Schiacciamento dell'anima in prossimità della piattabanda caricata
- Imbozzamento dell'anima sotto forma di instabilità localizzata e schiacciamento dell'anima in prossimità della piattabanda caricata

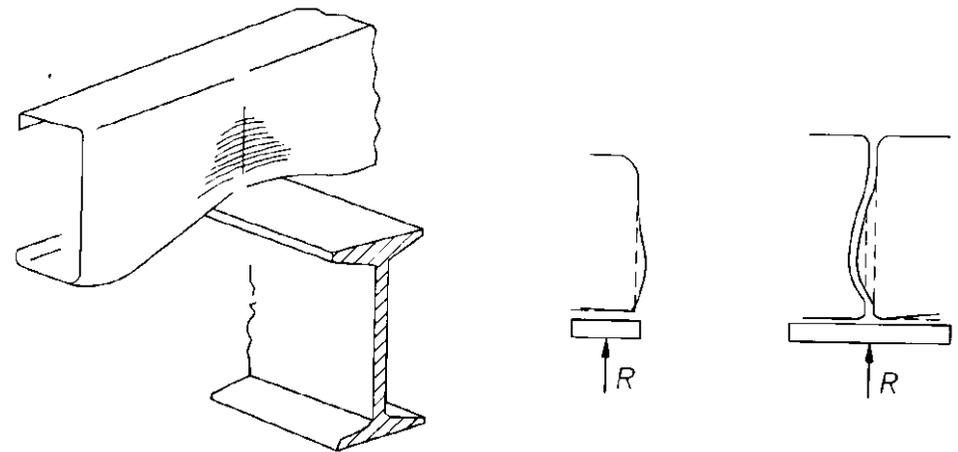


Taglio

Resistenza dell'anima ad azioni locali

In presenza di azioni concentrate o di taglio molto elevato si può avere:

- Instabilità dell'anima estesa a gran parte dell'altezza della membratura



Taglio

Resistenza dell'anima ad azioni locali

Il problema si può risolvere disponendo costole di irrigidimento in corrispondenza dell'applicazione del carico o degli appoggi

La necessità cresce all'aumentare del taglio e della snellezza dell'anima

In alternativa, occorre verificare la trave nei confronti dei fenomeni innanzi citati (vedere Eurocodice 3, parte 1-5).

FINE