

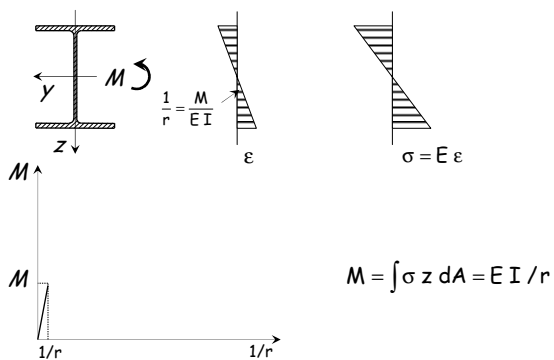
Progetto di aste e collegamenti in acciaio

5 - Flessione e taglio

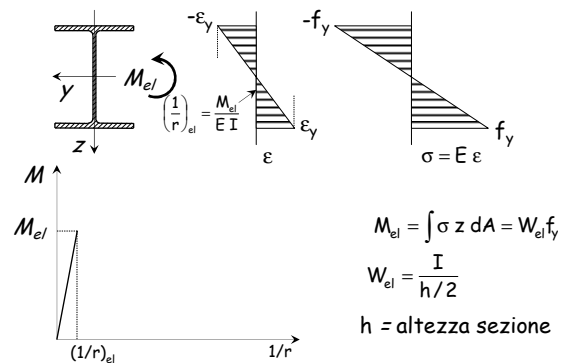
Spoletto
21-23 ottobre 2010
Aurelio Ghersi

Flessione

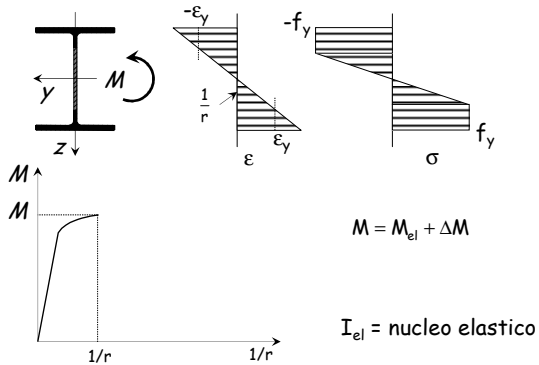
Comportamento ultimo



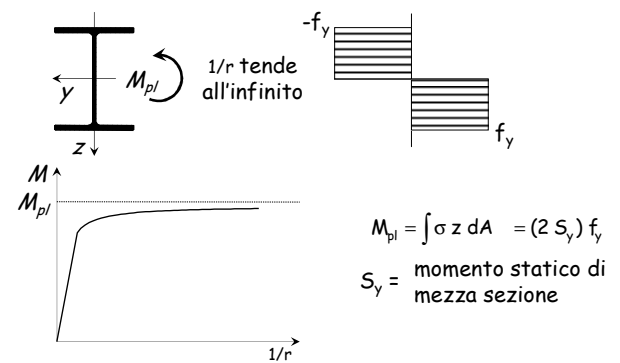
Comportamento ultimo



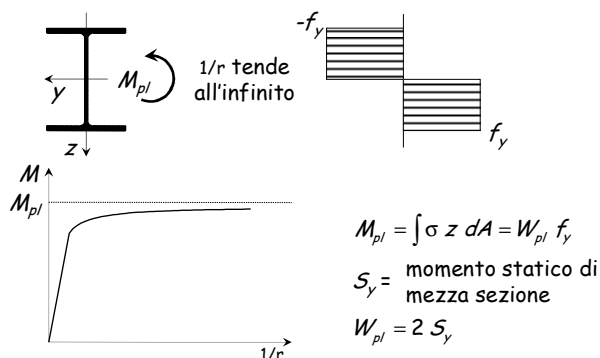
Comportamento ultimo



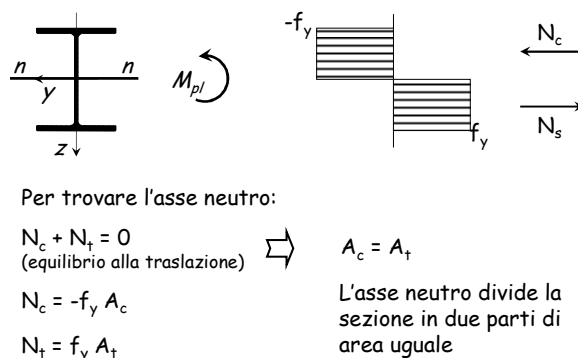
Comportamento ultimo



Comportamento ultimo

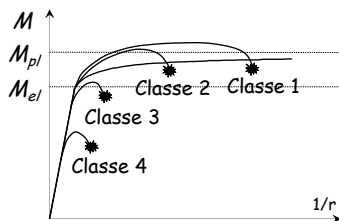


Comportamento ultimo



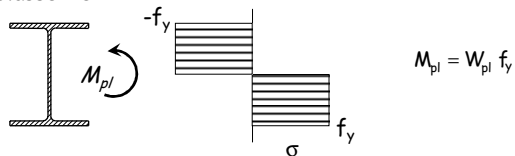
Comportamento di aste reali

- Classe 1 - M supera M_{pl} e la sezione è molto duttile
- Classe 2 - M supera M_{pl} ma la sezione è meno duttile
- Classe 3 - La rottura avviene per $M \approx M_{el}$
- Classe 4 - La rottura avviene per $M < M_{el}$

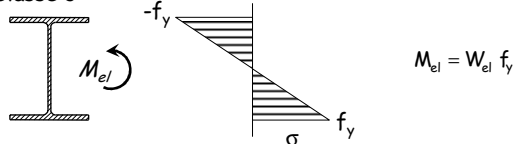


Verifica - stato limite ultimo

Classe 1 e 2

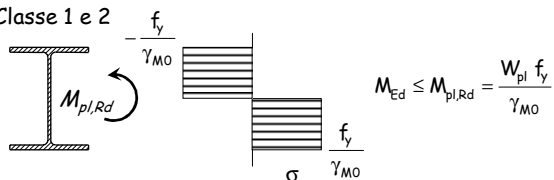


Classe 3

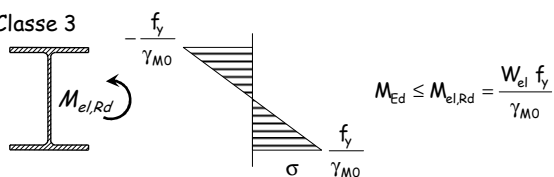


Verifica - stato limite ultimo

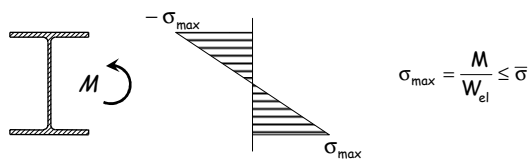
Classe 1 e 2



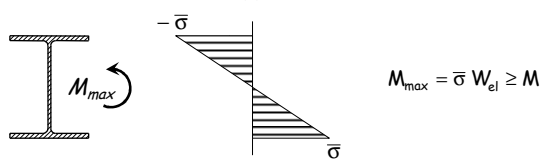
Classe 3



Verifica - tensioni ammissibili



oppure



Verifica - confronto

	Classe 1 e 2	Classe 3
TA	$M_{\max} = \sigma W_{el}$	$M_{\max} = \sigma W_{el}$
	Per sezioni a doppi T $W_{pl} \approx 1.15 W_{el}$	160 $160 \times 1.4 = 224$
SLU	$M_{pl,Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} W_{pl}$	$M_{el,Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} W_{el}$
		$235 / 1.05 = 224$

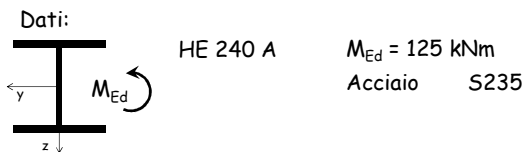
Acciaio Fe 360

Verifica - commento

Tenendo conto delle differenze tra i carichi agenti, la resistenza a flessione valutata allo stato limite ultimo è:

- Circa il 15% maggiore per sezioni di classe 1 e 2;
- Sostanzialmente simile per sezioni di classe 3.

Esempio



Il profilo è di classe 2

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

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

Sezione verificata

Progetto - 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.

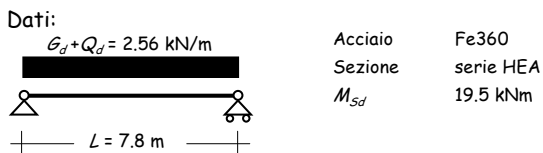
Classe 1 e 2: $M_{Ed} \leq M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow W_{pl} = \frac{M_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}$

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 il profilato.

4 - Si verifica la classe del profilato.

Esempio



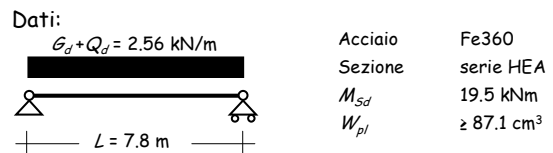
1 - Classe della sezione.

Suppongo che la sezione appartenga alla classe 1 o 2.

2 - Determinazione del modulo plastico.

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

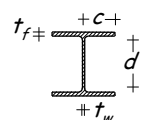
Esempio



3 - Scelta della sezione.

Si potrebbe usare un **HE 120 A**

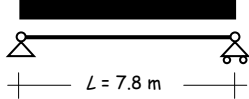
$S_y = 59.7 \text{ cm}^3$ $W_{pl} = 119.4 \text{ cm}^3$
 $d = 74 \text{ mm}$ $t_w = 5 \text{ mm}$
 $c = 60 \text{ mm}$ $t_f = 8 \text{ mm}$



Esempio

Dati:

$$G_d + Q_d = 2.56 \text{ kN/m}$$



Acciaio	Fe360
Sezione	serie HEA
M_{Sd}	19.5 kNm
W_{pl}	$\geq 87.1 \text{ cm}^3$

4 - Determinazione della classe della sezione.

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

Flangia: $\frac{c}{t_f} = \frac{40.5}{8} = 5.1 \leq 9 \epsilon = 9$

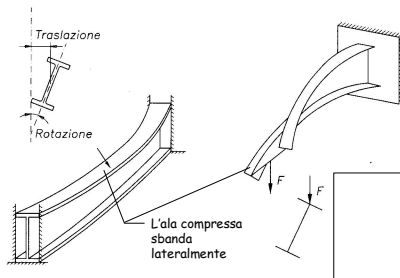
La sezione è realmente di classe 1

Esempio

- Si deve però verificare anche lo stato limite di esercizio
- Il calcolo è stato fatto in un esempio precedente (SLE)
- Si è visto che è necessaria una sezione parecchio 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)

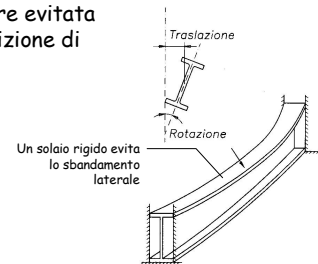
Instabilità flessio-torsionale

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



Instabilità flessio-torsionale

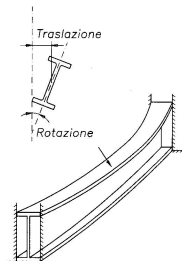
- Le travi inflesse possono sbandare trasversalmente, con rotazione intorno al loro asse (torsionale)
- L'instabilità può essere evitata con opportuna disposizione di elementi strutturali



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

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

$$\Phi_{LT} = 0.5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

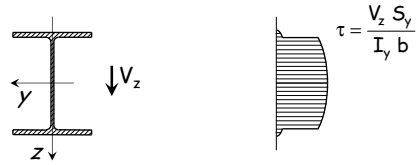
$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M1}}$$

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

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

Taglio

Comportamento ultimo



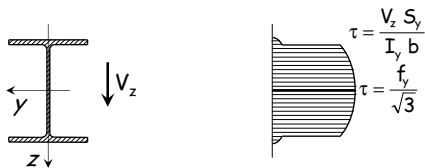
In campo lineare le tensioni si valutano con la formula di Jouraski:

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

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

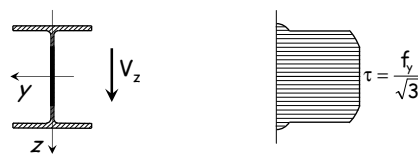
b ampiezza della corda.

Comportamento ultimo



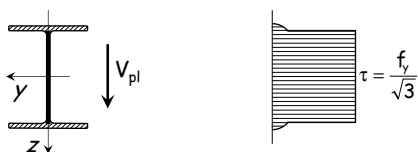
Facendo crescere il taglio, la fibra che sta sull'asse baricentrico (la più sollecitata) si plasticizza.

Comportamento ultimo



La plasticizzazione si propaga fino a che ...

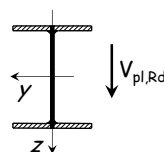
Comportamento ultimo



... 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
 A_v area resistente a taglio

Verifica - 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

$$A_v = 1.04 h t_w$$

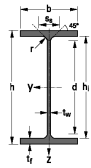
- Ora sono suggerite formule più dettagliate: per travi a doppio T, caricate nel piano dell'anima

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

Area resistente a taglio

- Profilo IPE 240, soggetto a flessione e taglio

$$\begin{aligned} b &= 120 \text{ mm} & t_f &= 9.8 \text{ mm} \\ h &= 240 \text{ mm} & t_w &= 6.2 \text{ mm} \\ r &= 15 \text{ mm} & A &= 3912 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



Formula "vecchia"

$$A_v = 1.04 \times 240 \times 6.2 = 1548 \text{ cm}^2$$

Formula "nuova"

$$A_v = 3912 - 2 \times 120 \times 9.8 + (6.2 + 2 \times 15) \times 9.8 = 1915 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{1915 \times 235 / \sqrt{3}}{1.05} \times 10^{-3} = 247.4 \text{ kN}$$

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
- 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

Flessione e taglio

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

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

Questo è il W_{pl} dell'anima

con

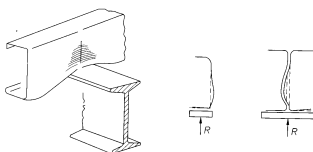
$$\rho = \left(\frac{2 V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad A_w = h t_w$$

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



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

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).