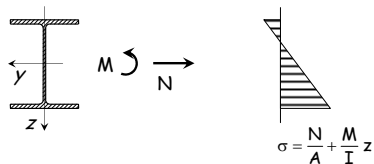
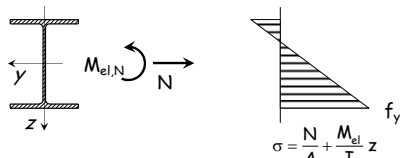


Flessione composta tensoflessione

Comportamento ultimo



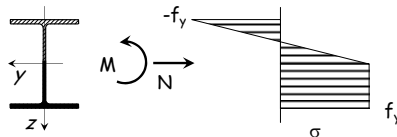
Comportamento ultimo



Per calcolare $M_{el,N}$:

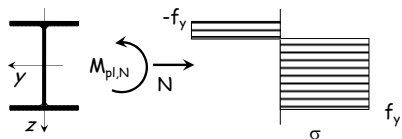
$$f_y = \frac{N}{A} + \frac{M_{el,N}}{W_{el}} \quad \Rightarrow \quad M_{el,N} = \left(f_y - \frac{N}{A} \right) W_{el}$$

Comportamento ultimo



Incrementando il momento flettente le deformazioni plastiche si propagano fino alla completa plasticizzazione della sezione

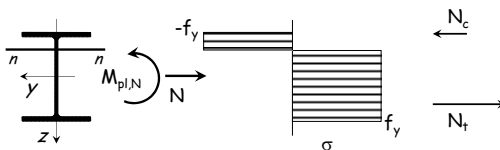
Comportamento ultimo



Per calcolare $M_{pl,N}$:

- 1 - Bisogna prima determinare la posizione dell'asse neutro;
- 2 - Imponendo l'equilibrio alla rotazione rispetto all'asse baricentrico si determina $M_{pl,N}$

Comportamento ultimo



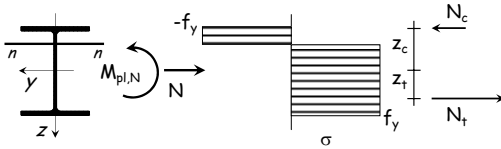
1 - Determinazione dell'asse neutro

$$N_c + N_t = N_{pl,N} \quad (\text{equilibrio alla traslazione}) \quad \Rightarrow \quad \text{Asse neutro}$$

$$N_c = -f_y A_c$$

$$N_t = f_y A_t$$

Comportamento ultimo



2 - Calcolo di $M_{pl,N}$

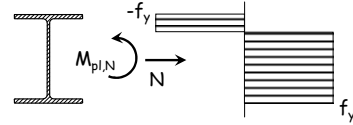
$$M_{pl,N} = N_t z_t - N_c z_c = f_y (A_t z_t - A_c z_c)$$

$$N_c = -f_y A_c$$

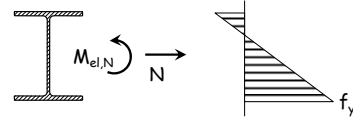
$$N_t = f_y A_t$$

Verifica - stato limite ultimo

Classe 1 e 2

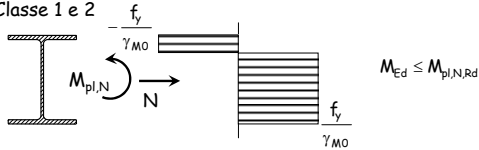


Classe 3

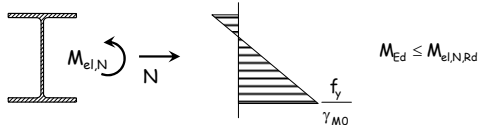


Verifica - stato limite ultimo

Classe 1 e 2



Classe 3

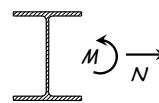


Domini di resistenza - stato limite ultimo

Dominio di resistenza, = insieme delle coppie M-N per cui si ottiene lo stato limite ultimo della sezione

Per ricavare una coppia M-N del dominio

Sezione



Si assegna una posizione dell'asse neutro

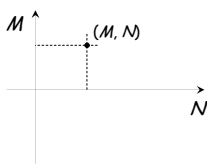
Si determina N

Si determina M ($M_{pl,N}$ o $M_{el,N}$)

Domini di resistenza - stato limite ultimo

Dominio di resistenza, = insieme delle coppie M-N per cui si ottiene lo stato limite ultimo della sezione

Per ricavare una coppia M-N del dominio



Si assegna l'asse neutro

Si determina N

Si determina M ($M_{pl,N}$ o $M_{el,N}$)

e si riporta la coppia M - N nel diagramma

Domini di resistenza - stato limite ultimo per sezioni di classe 1 e 2

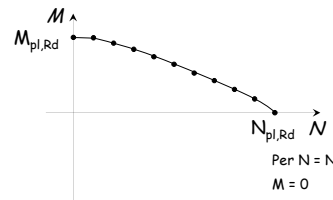


Per $N = 0$

$$M = M_{pl,Rd}$$

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

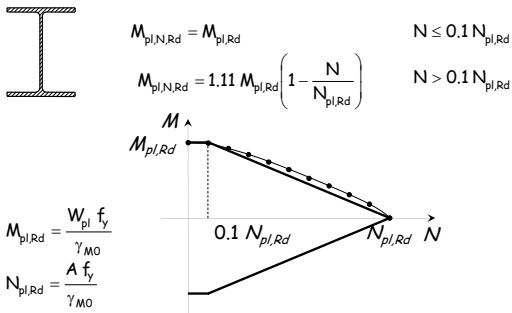
$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$



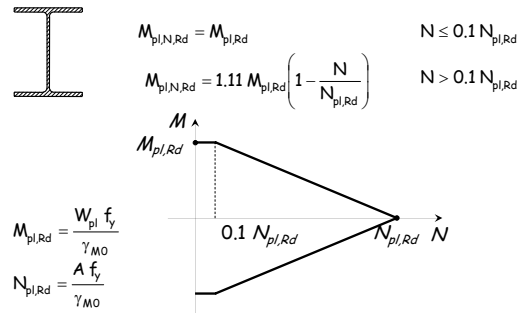
Per $N = N_{pl,Rd}$
 $M = 0$

Vedere anche foglio Excel "Domini MN"

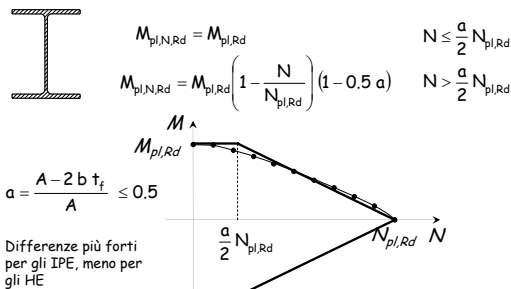
Domini di resistenza - stato limite ultimo per sezioni di classe 1 e 2



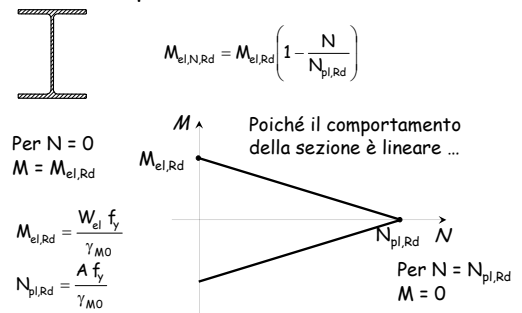
Domini di resistenza - stato limite ultimo per sezioni di classe 1 e 2



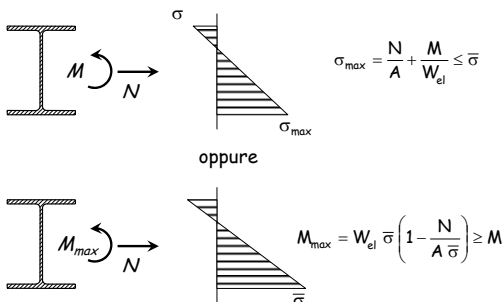
Domini di resistenza - stato limite ultimo più preciso, meno cautelativo



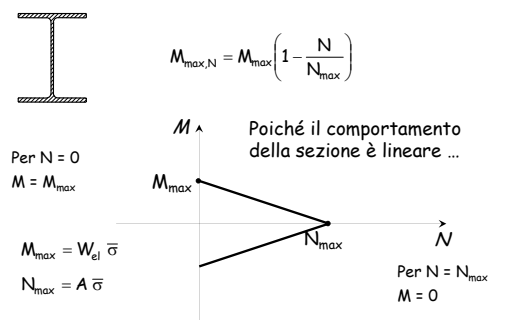
Domini di resistenza - stato limite ultimo per sezioni di classe 3



Verifica - tensioni ammissibili



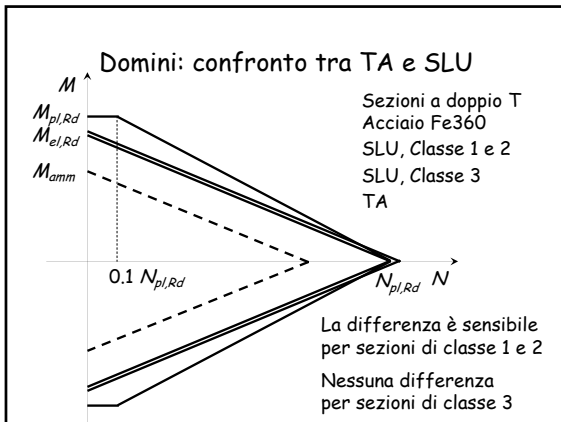
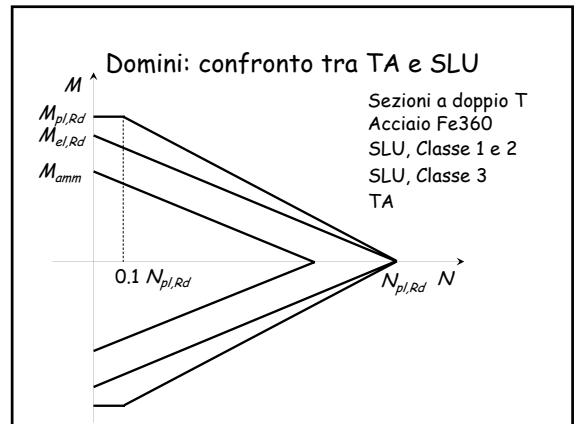
Domini di resistenza - tensioni ammissibili



Domini: confronto tra TA e SLU

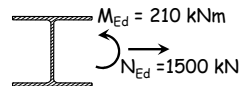
Il confronto può essere effettuato sovrapponendo i domini ricavati per TA e SLU

Poiché i carichi allo SLU sono maggiori (di $1.4 \div 1.5$) di quelli alle TA, il dominio relativo alle TA deve essere opportunamente scalato (ad esempio $\times 1,45$)



Esempio

Dati:



Sezione	HEB300
A	149 cm ²
W _{pl}	1868 cm ³
Acciaio	Fe360

1 - Classe della sezione

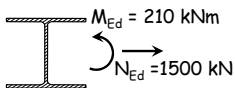
$$\text{Anima: } \frac{d}{t_w} = \frac{208}{11} = 19 \leq 144 \varepsilon = 144$$

$$\text{Flangia: } \frac{c}{t_f} = \frac{150}{19} = 7.9 \leq 10 \varepsilon = 10$$

La sezione appartiene alla classe 1.

Esempio

Dati:



Sezione	HEB300
A	149 cm ²
W _{pl}	1868 cm ³
Acciaio	Fe360

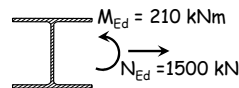
2 - Determinazione di $N_{pl,Rd}$ ed $M_{pl,Rd}$

$$N_{pl,Rd} = \frac{f_y A}{\gamma_{M0}} = \frac{235 \times 149}{1.05 \times 10} = 3334.8 \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{f_y W_{pl}}{\gamma_{M0}} = \frac{235 \times 1868}{1.05 \times 10^3} = 418.1 \text{ kNm}$$

Esempio

Dati:



Sezione	HEB300
Acciaio	Fe360
$N_{pl,Rd}$	3334.8 kN
$M_{pl,Rd}$	418.1 kNm

3 - Determinazione di $M_{pl,N,Rd}$ e verifica

$$N_{Ed} = 1500 \text{ kN} \geq 0.1 N_{pl,Rd} = 333.5 \text{ kN}$$

$$M_{pl,N,Rd} = 1.11 M_{pl,Rd} \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \right) = 255.3 \text{ kNm} > M_{Ed} = 210.0 \text{ kNm}$$

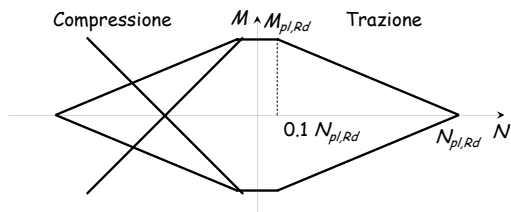
La sezione è verificata

Flessione composta pressoflessione

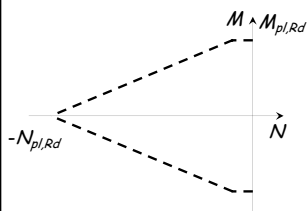
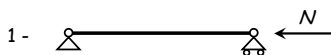
Domini di resistenza - stato limite ultimo

Si possono ottenere semplicemente ribaltando il dominio M-N costruito nel caso di tenso-flessione?

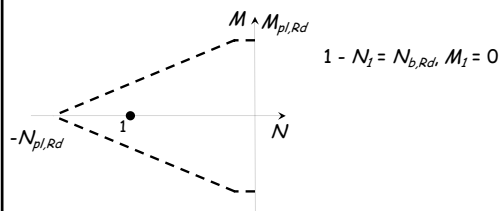
Va bene per la singola sezione, ma per l'asta bisogna tener conto dell'instabilità



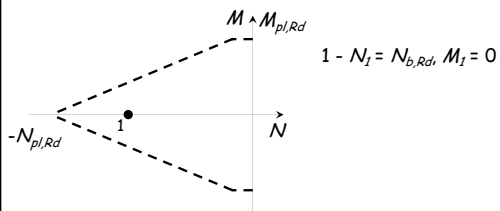
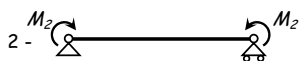
Domini di resistenza - stato limite ultimo



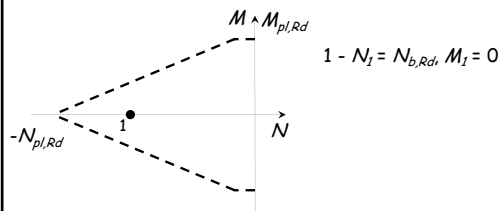
Domini di resistenza - stato limite ultimo



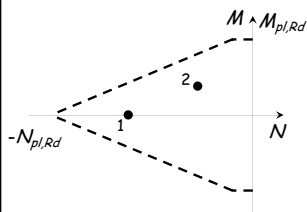
Domini di resistenza - stato limite ultimo



Domini di resistenza - stato limite ultimo



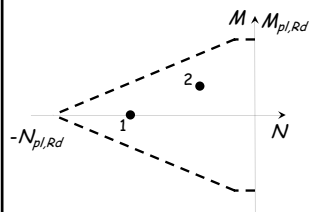
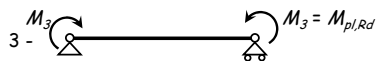
Domini di resistenza - stato limite ultimo



$$1 - N_1 = N_{b,Rd}, M_1 = 0$$

$$2 - N_2 < N_{b,Rd}, M_2 < M_{pl,Rd}$$

Domini di resistenza - stato limite ultimo



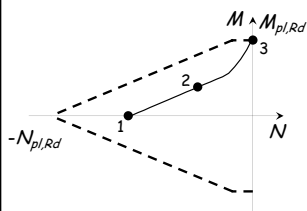
$$1 - N_1 = N_{b,Rd}, M_1 = 0$$

$$2 - N_2 < N_{b,Rd}, M_2 < M_{pl,Rd}$$

Domini di resistenza - stato limite ultimo



L'asta si plasticizza e
collapsa in assenza di
sforzo normale



$$1 - N_1 = N_{b,Rd}, M_1 = 0$$

$$2 - N_2 < N_{b,Rd}, M_2 < M_{pl,Rd}$$

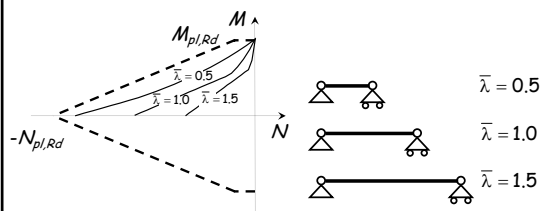
$$3 - N_3 = 0, M_3 = M_{pl,Rd}$$

Collegando i punti si
ottiene il dominio

Domini di resistenza - stato limite ultimo

Il dominio dipende dalla snellezza dell'asta:

- L'ampiezza del dominio si riduce all'aumentare della
snellezza;



$$\bar{\lambda} = 0.5$$

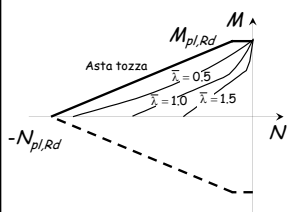
$$\bar{\lambda} = 1.0$$

$$\bar{\lambda} = 1.5$$

Domini di resistenza - stato limite ultimo

Il dominio dipende dalla snellezza dell'asta:

- Nel caso di aste tozze coincide con quello per
tenso-flessione



Asta tozza

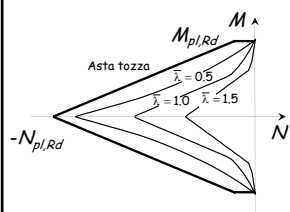
$$\bar{\lambda} = 0.5$$

$$\bar{\lambda} = 1.0$$

$$\bar{\lambda} = 1.5$$

Domini di resistenza - stato limite ultimo

Il dominio è simmetrico per aste con sezione trasversale
simmetrica



Asta tozza

$$\bar{\lambda} = 0.5$$

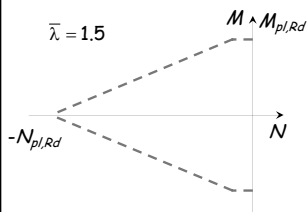
$$\bar{\lambda} = 1.0$$

$$\bar{\lambda} = 1.5$$

Domini di resistenza - stato limite ultimo



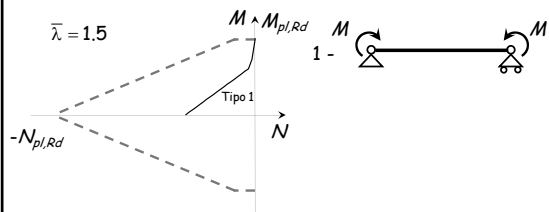
Distribuzione di
momenti tipo 1



Domini di resistenza - stato limite ultimo



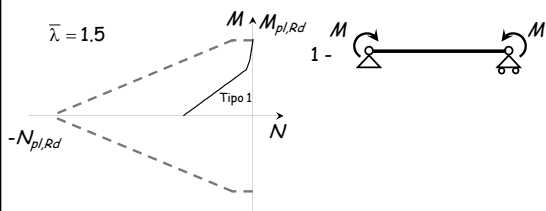
Distribuzione di
momenti tipo 1



Domini di resistenza - stato limite ultimo



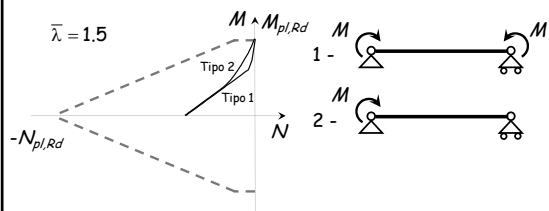
Distribuzione di
momenti tipo 2



Domini di resistenza - stato limite ultimo



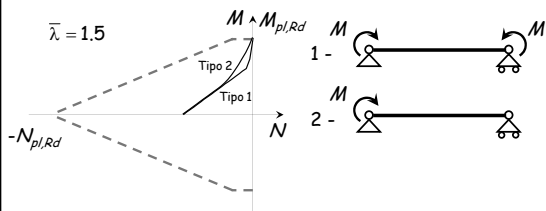
Distribuzione di
momenti tipo 2



Domini di resistenza - stato limite ultimo



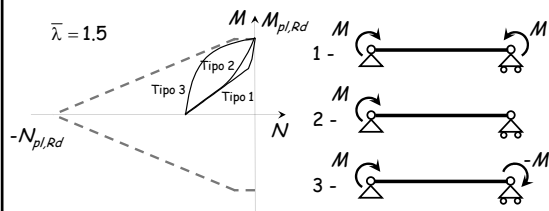
Distribuzione di
momenti tipo 3



Domini di resistenza - stato limite ultimo



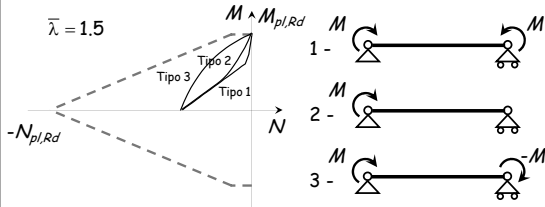
Distribuzione di
momenti tipo 3



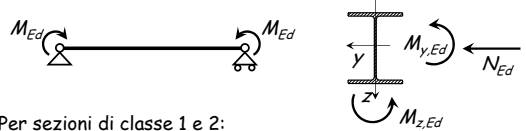
Domini di resistenza - stato limite ultimo

Il dominio dipende dalla snellezza dell'asta:

- L'ampiezza del dominio aumenta passando dal diagramma dei momenti di tipo 1 a quello di tipo 3.



Verifica - stato limite ultimo



Per sezioni di classe 1 e 2:

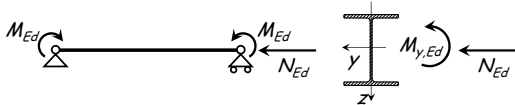
$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{k_y M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{k_z M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

$$k_y, k_z \leq 1.5$$

Dipende da:

- snellezza dell'asta;
- diagramma del momento;
- sforzo normale.

Verifica - stato limite ultimo

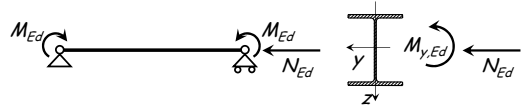


Nel caso più frequente in cui esiste un unico momento flettente:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{k_y M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

$$k_y \leq 1.5$$

Verifica - stato limite ultimo



Nel caso più frequente in cui esiste un unico momento flettente:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd} / k_y} \leq 1$$

$$k_y \leq 1.5$$

Verifica - stato limite ultimo

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{Ed}}{\chi_y A f_y} \leq 1.5$$

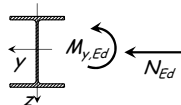
$$\mu_y = \bar{\lambda}_y (2 \beta_{My} - 4) + \frac{W_{pl,y} - W_{el,y}}{W_{el,y}} \leq 0.9$$

β_{My} dipende dal diagramma del momento flettente

$$M_{Ed} \quad \psi \quad M_{Ed} \quad -1 \leq \psi \leq 1$$

$$\beta_{My} = 1.8 - 0.7 \psi$$

N.B. Nel caso di diagramma parabolico o di altra forma esistono relazioni diverse per il calcolo di β_{My}



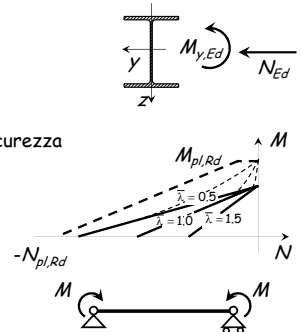
Verifica - stato limite ultimo

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{Ed}}{\chi_y A f_y} \leq 1.5$$

oppure

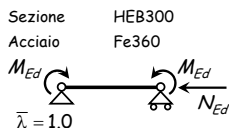
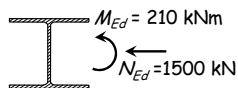
$$k_y = 1.5 \quad \text{a favore di sicurezza}$$

L'approssimazione è accettabile tranne che per aste tozze e per valori modesti dello sforzo normale



Esempio

Dati:



Sezione HEB300
Acciaio Fe360

1 - Classe della sezione

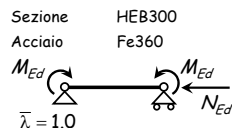
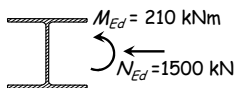
Anima: $\frac{d}{t_w} = \frac{208}{11} = 19 \leq 48 \epsilon = 48$

Flangia: $\frac{c}{t_f} = \frac{150}{19} = 7.9 \leq 10 \epsilon = 10$

La sezione appartiene alla classe 1.

Esempio

Dati:



Sezione HEB300
Acciaio Fe360

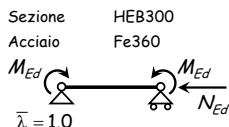
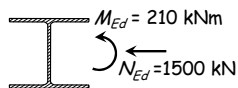
2 - Determinazione di $M_{pl,Rd}$

$M_{pl,Rd} = 418.1 \text{ kNm}$

Era già stato determinato

Esempio

Dati:



Sezione HEB300
Acciaio Fe360

3 - Determinazione di $N_{b,Rd}$

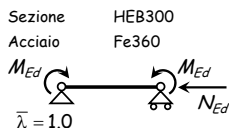
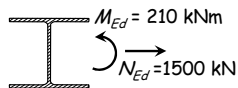
Quale curva dobbiamo utilizzare?

Scelta della curva di instabilità

Sezione trasversale	Limiti	Intorno all'asse	Curva di instabilità
Sezioni laminate ad I 	$h/b > 1.2$		
	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y	a
		z-z	b
	$40 \text{ mm} < t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y	b
		z-z	c
	$h/b \leq 1.2$		
	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y	b
		z-z	c
	$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y	d
		z-z	d

Esempio

Dati:



Sezione HEB300
Acciaio Fe360

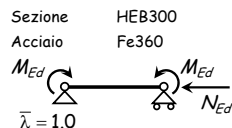
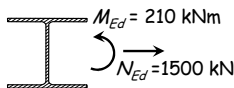
3 - Determinazione di $N_{b,Rd}$

Curva c $\Rightarrow \chi = 0.5399$
 $\bar{\lambda} = 1.0$

$N_{b,Rd} = \chi N_{pl,Rd} = 0.5399 \times 3334.8 = 1800.5 \text{ kN}$

Esempio

Dati:



Sezione HEB300
Acciaio Fe360

4 - Verifica

$k_y = 1.5$

$$\frac{N_{Sd}}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{pl,Rd} / k_y} = \frac{1500}{1800.5} + \frac{210}{418.1 / 1.5} = 0.83 + 0.75 \leq 1.58$$

La sezione non è verificata