

Corso di aggiornamento
Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

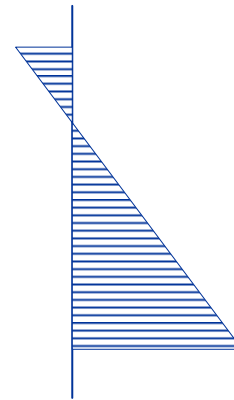
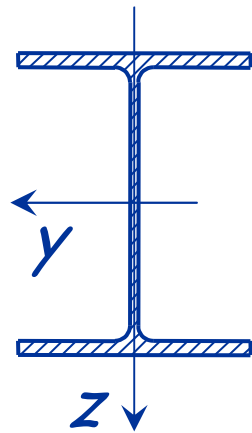
Progetto di aste e collegamenti in acciaio

6 - Flessione composta

Spoletto
21-23 ottobre 2010
Aurelio Ghersi

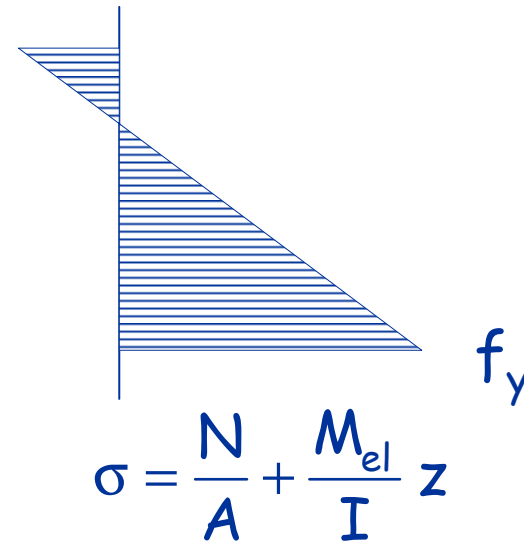
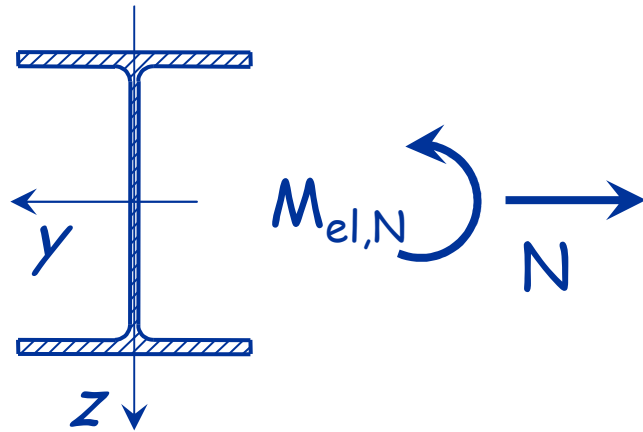
Flessione composta
tensoflessione

Comportamento ultimo



$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{I} z$$

Comportamento ultimo



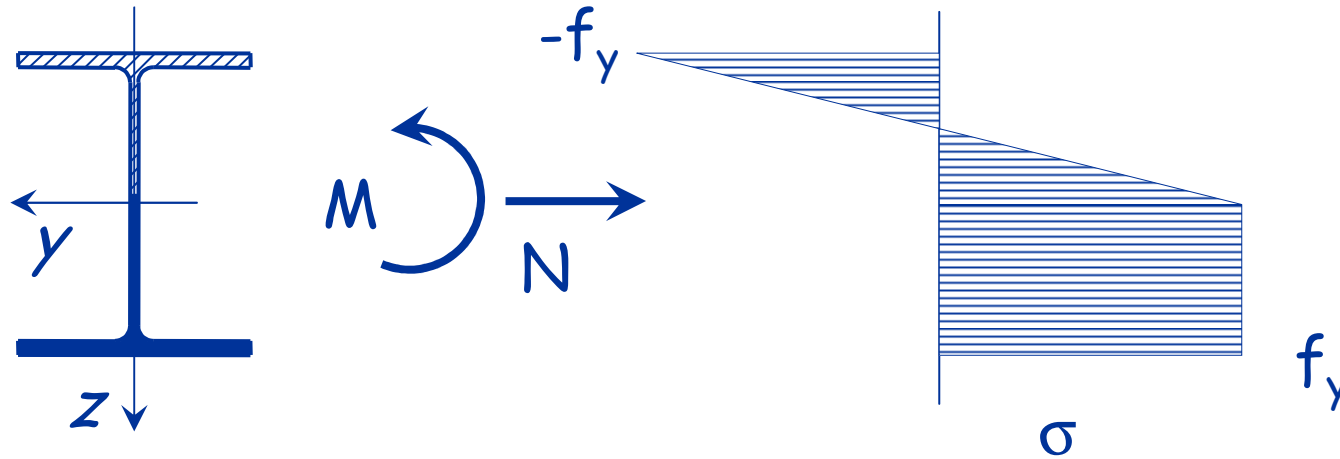
Per calcolare $M_{el,N}$:

$$f_y = \frac{N}{A} + \frac{M_{el,N}}{W_{el}}$$



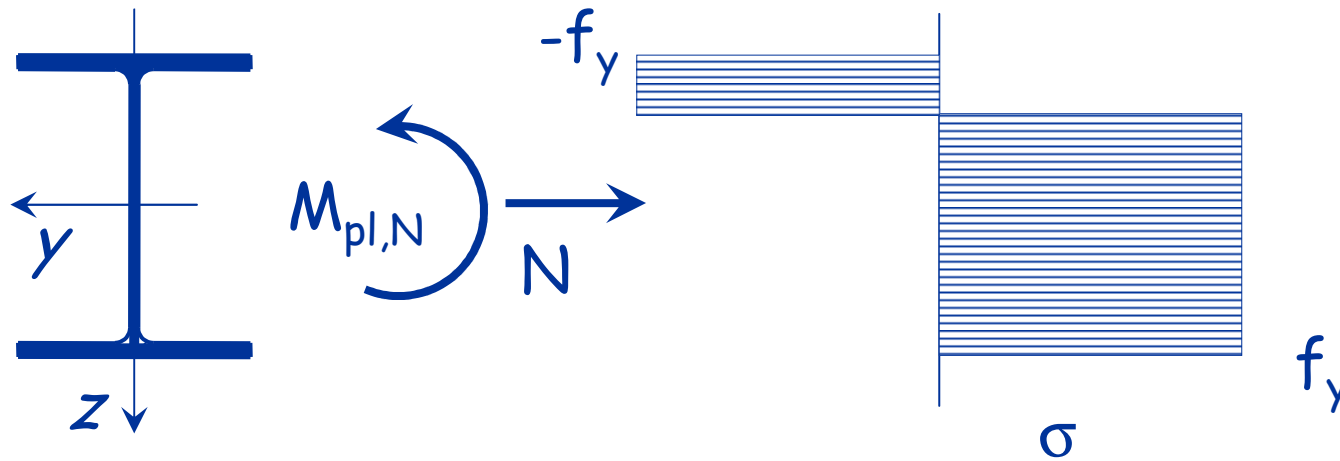
$$M_{el,N} = \left(f_y - \frac{N}{A} \right) W_{el}$$

Comportamento ultimo



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

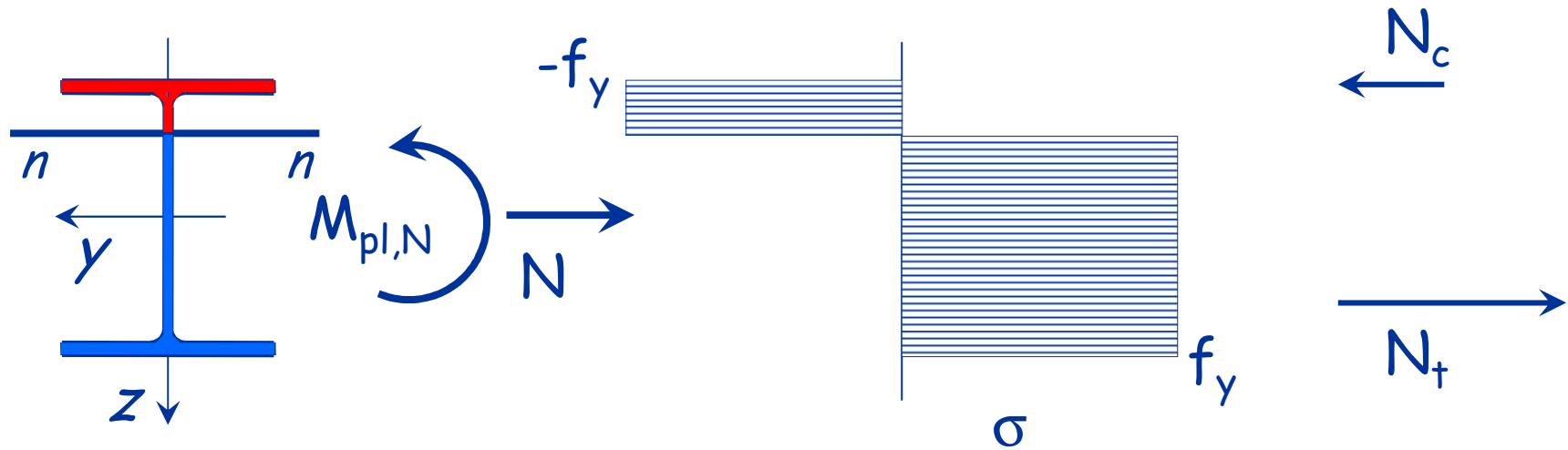
Comportamento ultimo



Per calcolare $M_{pl,N}$:

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

Comportamento ultimo



1 - Determinazione dell'asse neutro

$$N_c + N_t = N_{pl,N}$$

(equilibrio alla traslazione)

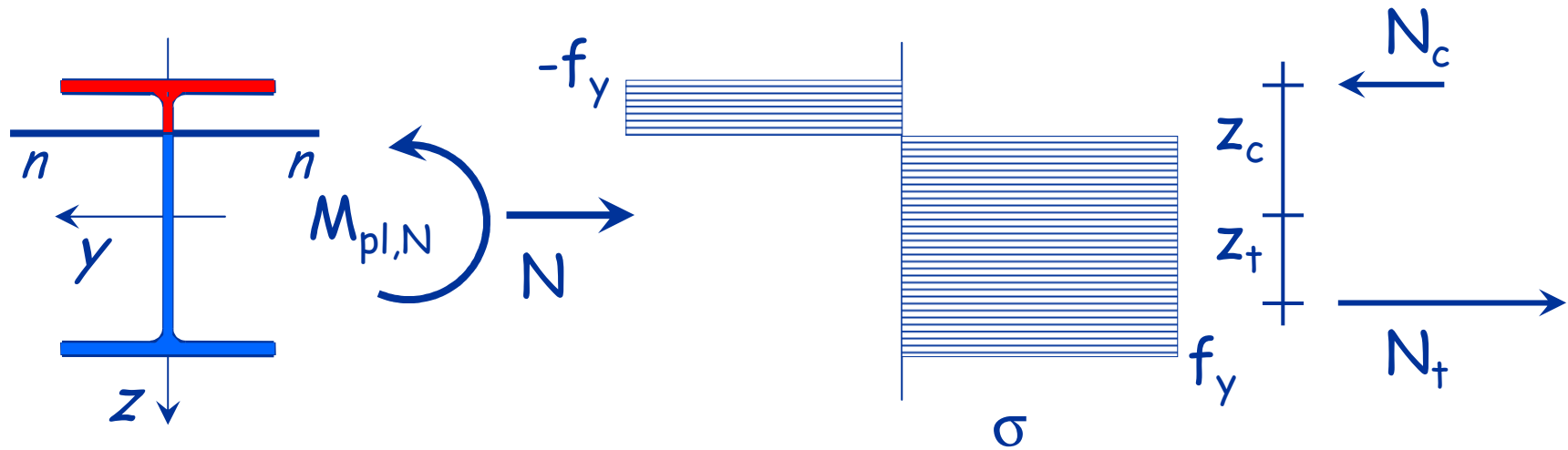


Asse neutro

$$N_c = -f_y A_c$$

$$N_t = f_y A_t$$

Comportamento ultimo



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

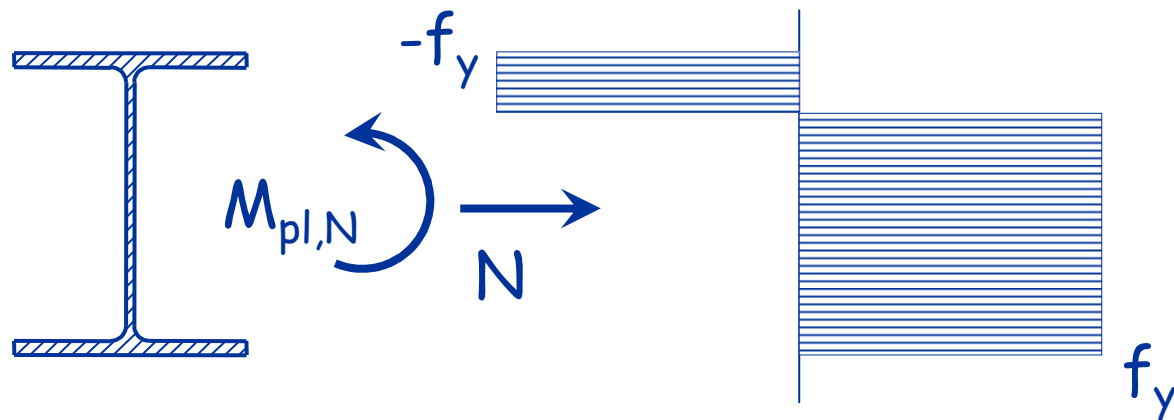
$$M_{pl,N} = N_t z_t - N_c z_c = f_y (A_t z_t - A_c z_c)$$

$$N_c = -f_y A_c$$

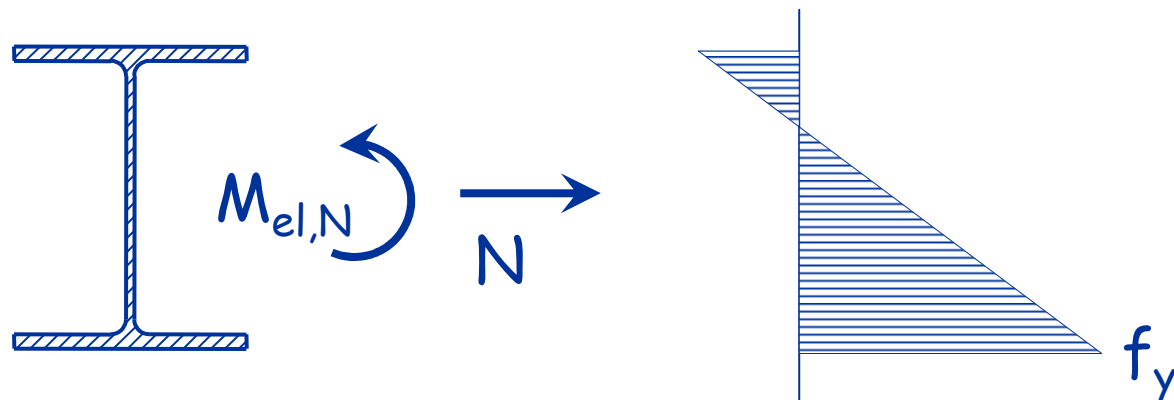
$$N_t = f_y A_t$$

Verifica - stato limite ultimo

Classe 1 e 2

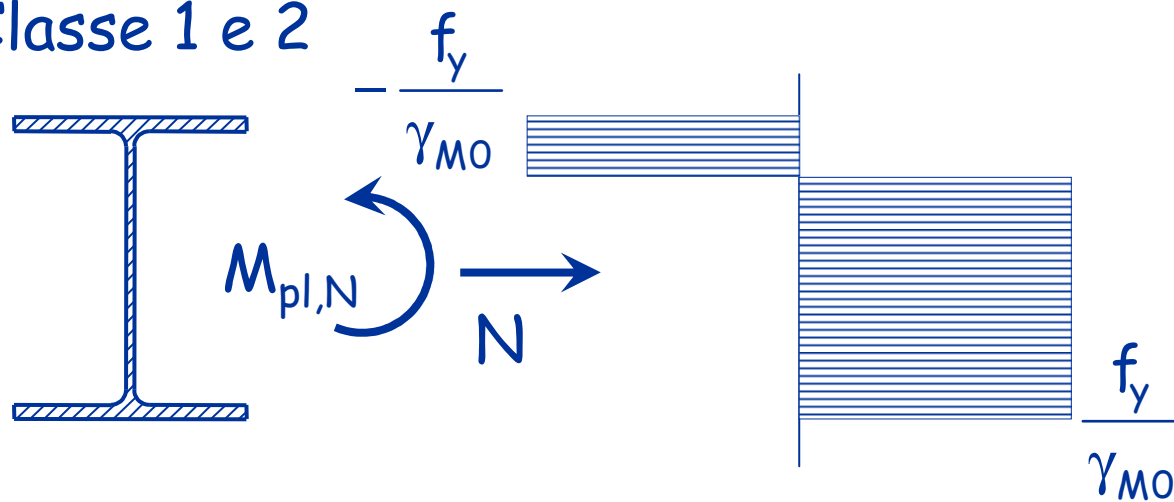


Classe 3



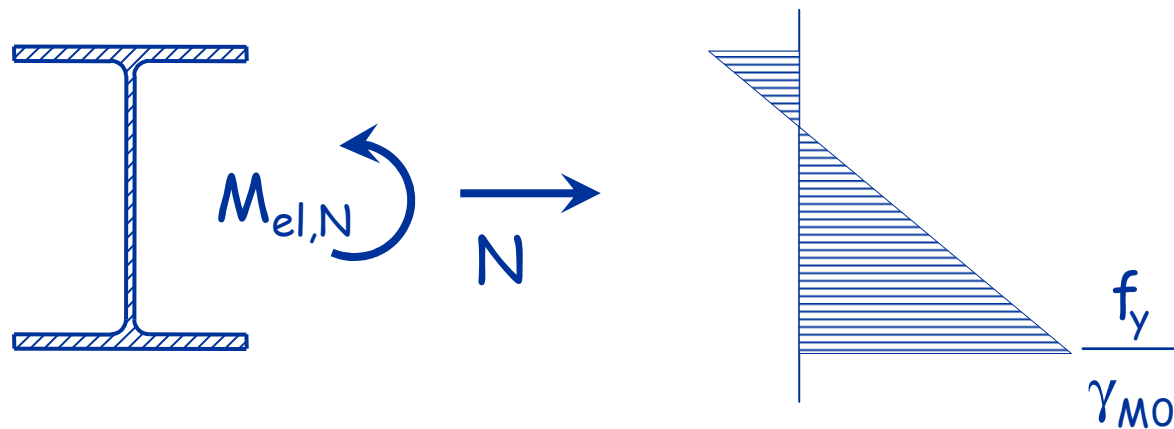
Verifica - stato limite ultimo

Classe 1 e 2



$$M_{Ed} \leq M_{pl,N,Rd}$$

Classe 3



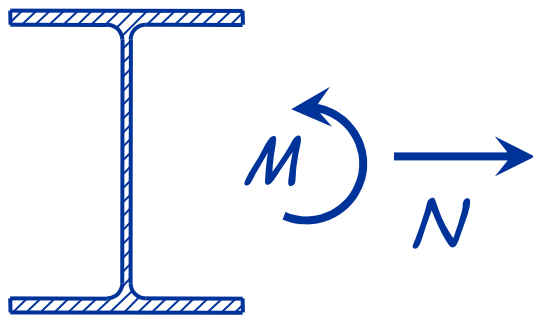
$$M_{Ed} \leq M_{el,N,Rd}$$

Domini di resistenza - stato limite ultimo

Dominio di resistenza, o curva di interazione = 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

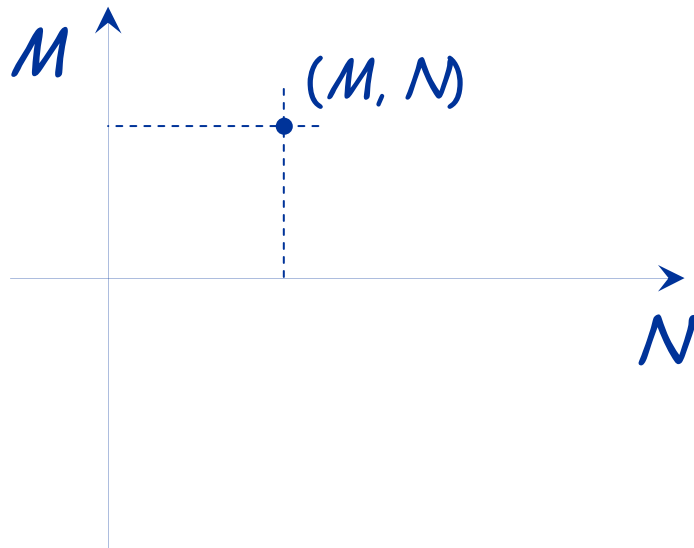
Si determina N

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

Domini di resistenza - stato limite ultimo

Dominio di resistenza, o curva di interazione = 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

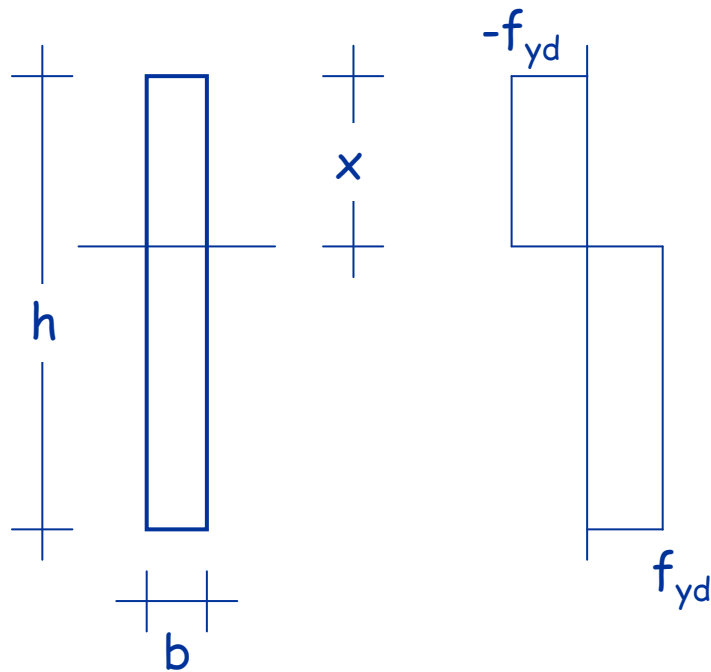
Si determina N

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

e si riporta la coppia
 $M - N$ nel diagramma

Esempio

Sezione rettangolare (solo ideale)



$$N = b (h - 2 x) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M = b x (h - x) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

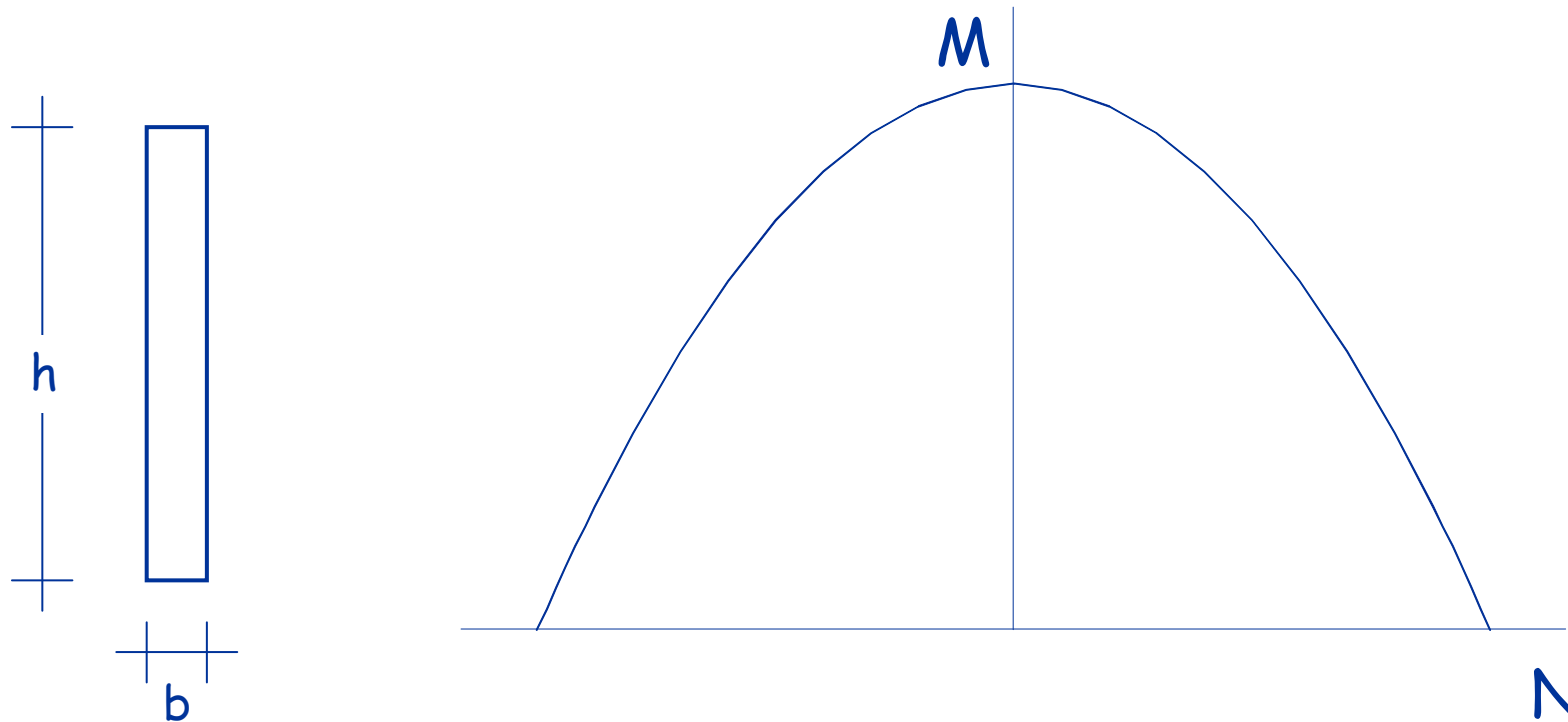


$$M = \left[\frac{b h^2}{4} \frac{f_y^2}{\gamma_{M0}^2} - \frac{1}{4b} N^2 \right] \frac{\gamma_{M0}}{f_y}$$

Vedere anche foglio Excel "Domini MN"

Esempio

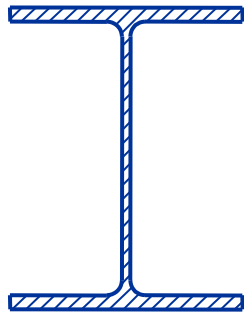
Sezione rettangolare (solo ideale)



Il dominio ha un andamento parabolico

Questo vale in sostanza per un doppio T caricato nel piano debole

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

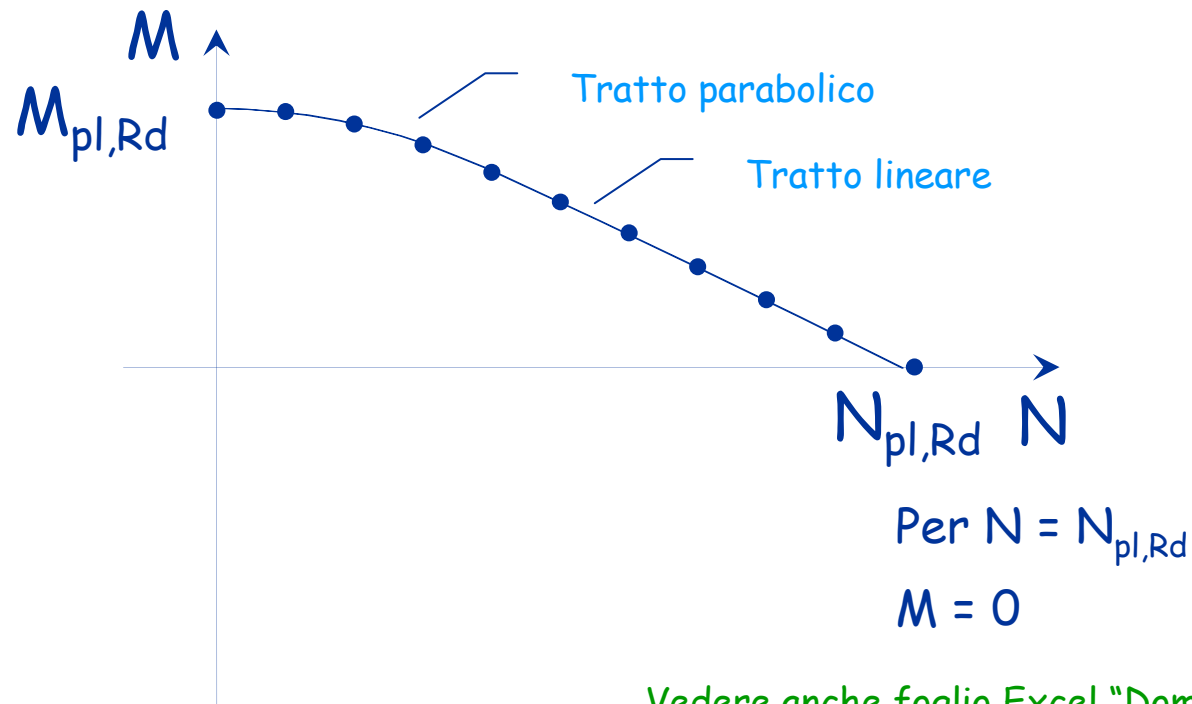


Per $N = 0$

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

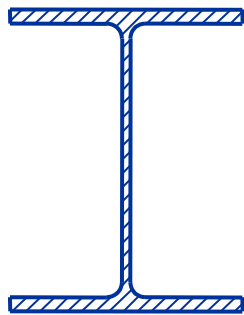
$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}$$

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



Vedere anche foglio Excel "Domini MN"

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



$$M_{pl,N,Rd} = M_{pl,Rd} \quad N \leq 0.1 N_{pl,Rd}$$

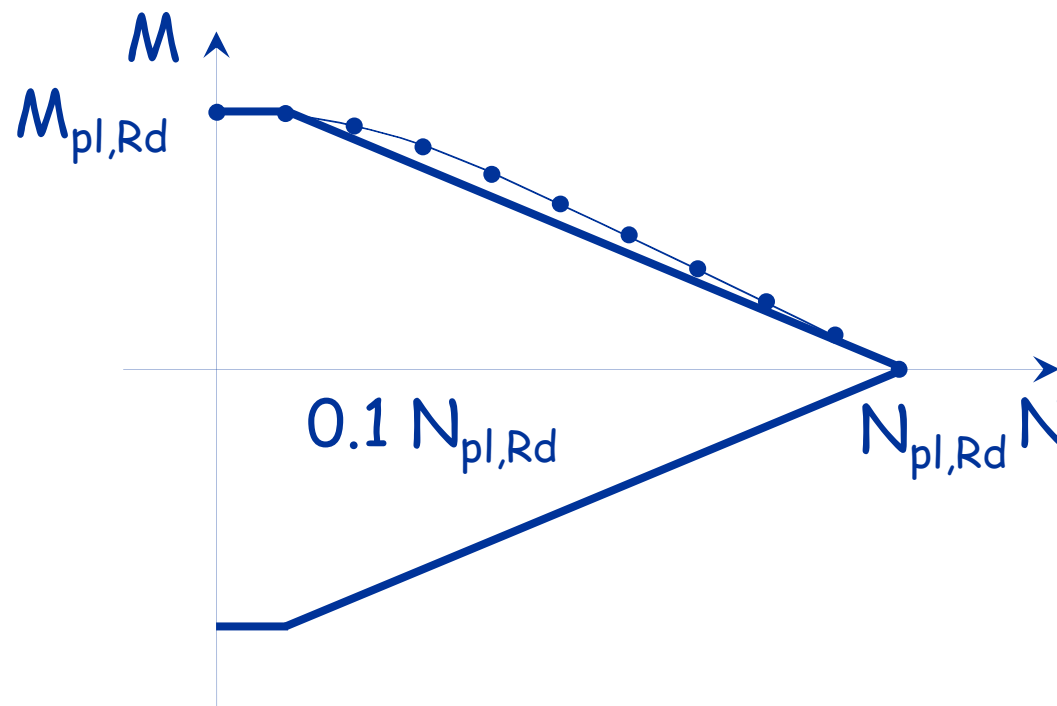
$$N \leq 0.1 N_{pl,Rd}$$

$$M_{pl,N,Rd} = 1.11 M_{pl,Rd} \left(1 - \frac{N}{N_{pl,Rd}} \right) \quad N > 0.1 N_{pl,Rd}$$

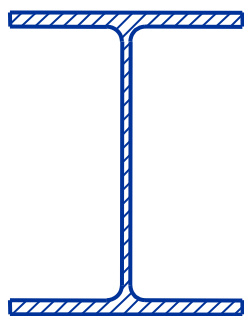
$$N > 0.1 N_{pl,Rd}$$

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

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



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



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

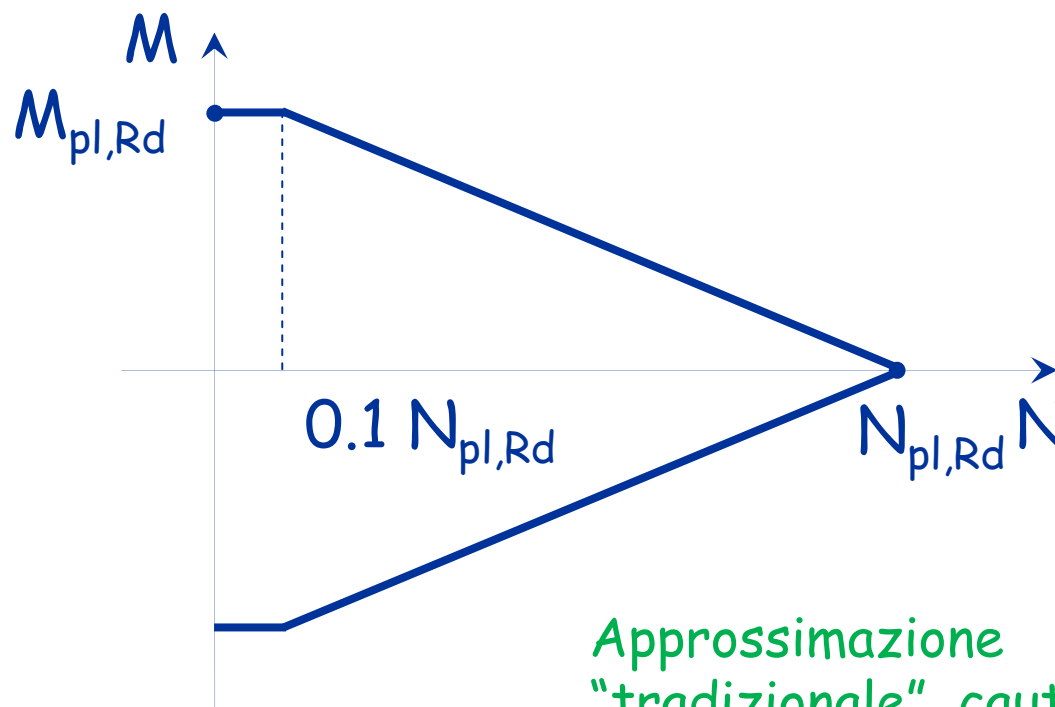
$$N \leq 0.1 N_{pl,Rd}$$

$$M_{pl,N,Rd} = 1.11 M_{pl,Rd} \left(1 - \frac{N}{N_{pl,Rd}} \right)$$

$$N > 0.1 N_{pl,Rd}$$

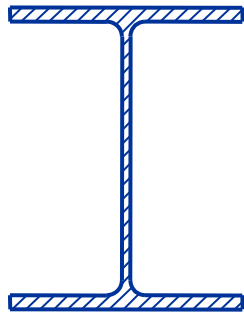
$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}$$

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



Approssimazione
"tradizionale", cautelativa

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



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

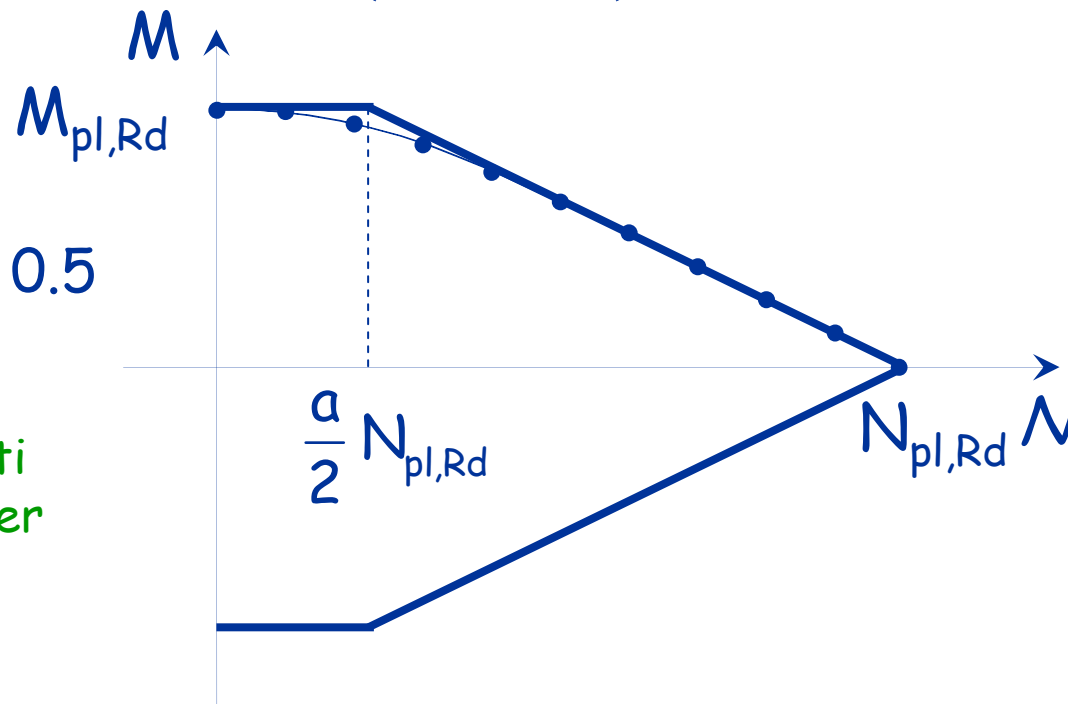
$$N \leq \frac{a}{2} N_{pl,Rd}$$

$$M_{pl,N,Rd} = M_{pl,Rd} \left(1 - \frac{N}{N_{pl,Rd}} \right) \frac{1}{1 - 0.5 a}$$

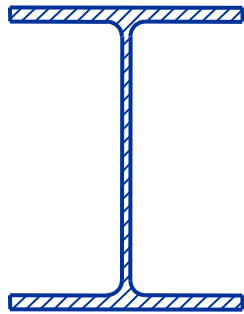
$$N > \frac{a}{2} N_{pl,Rd}$$

$$a = \frac{A - 2 b t_f}{A} \leq 0.5$$

Differenze più forti
per gli IPE, meno per
gli HE



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

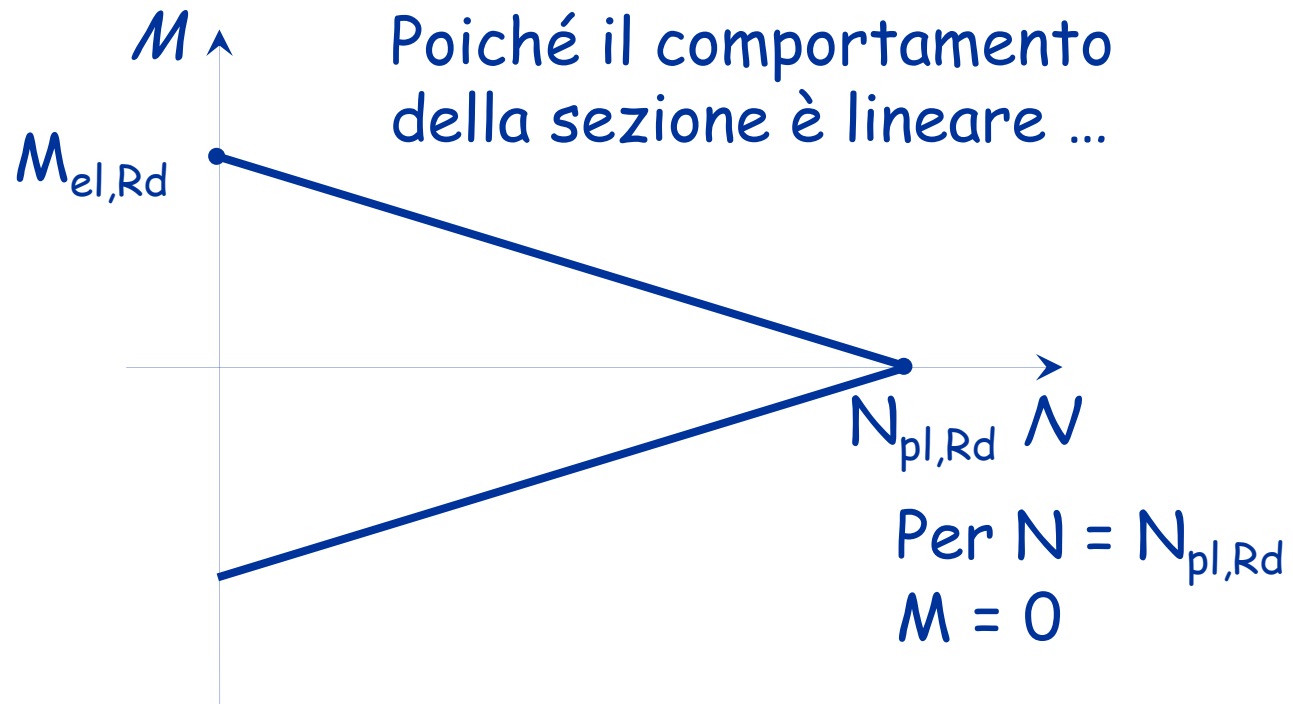


$$M_{el,N,Rd} = M_{el,Rd} \left(1 - \frac{N}{N_{pl,Rd}} \right)$$

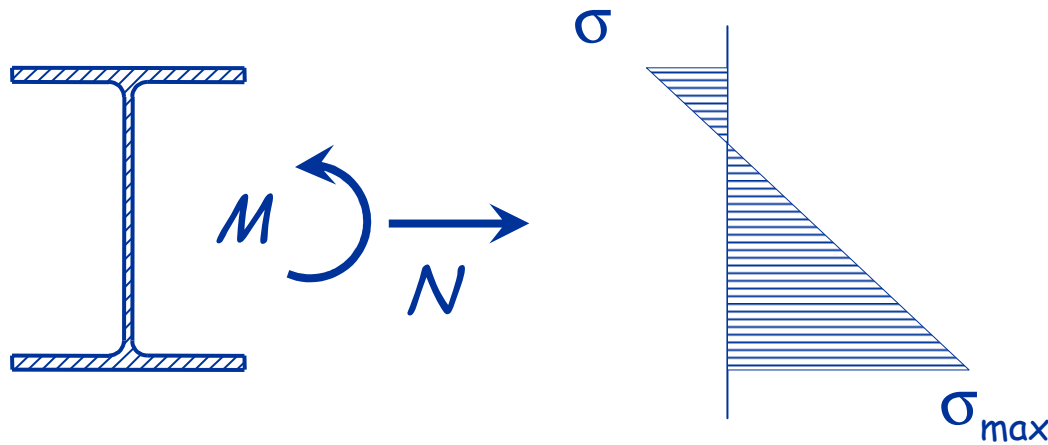
Per $N = 0$
 $M = M_{el,Rd}$

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

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

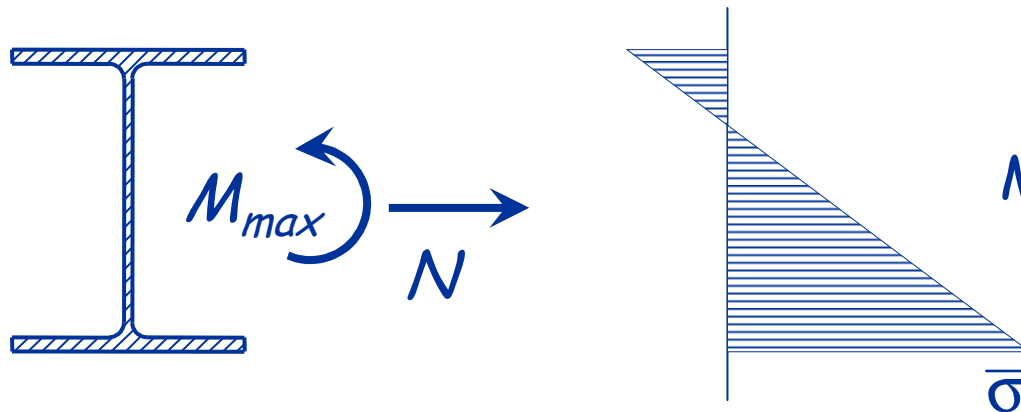


Verifica - tensioni ammissibili



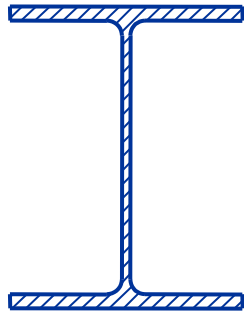
$$\sigma_{\max} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W_{el}} \leq \bar{\sigma}$$

oppure



$$M_{\max} = W_{el} \bar{\sigma} \left(1 - \frac{N}{A \bar{\sigma}} \right) \geq M$$

Domini di resistenza - tensioni ammissibili



$$M_{\max,N} = M_{\max} \left(1 - \frac{N}{N_{\max}} \right)$$

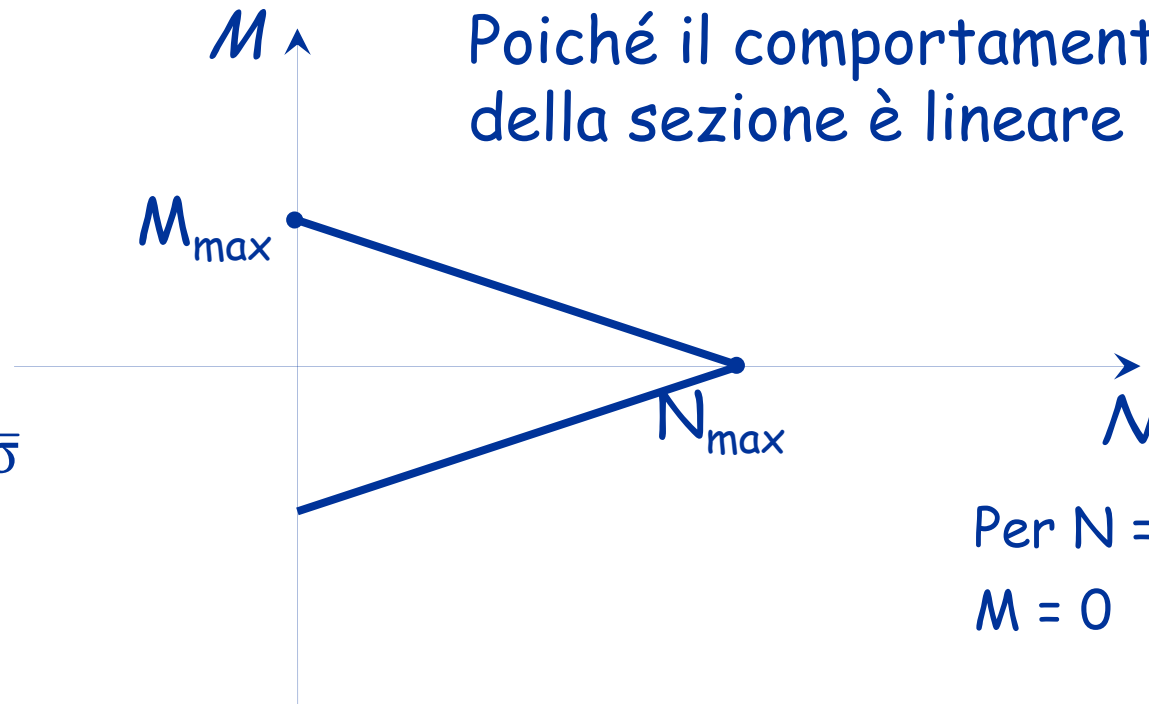
Per $N = 0$

$$M = M_{\max}$$

$$M_{\max} = W_{el} \bar{\sigma}$$

$$N_{\max} = A \bar{\sigma}$$

Poiché il comportamento della sezione è lineare ...



Per $N = N_{\max}$

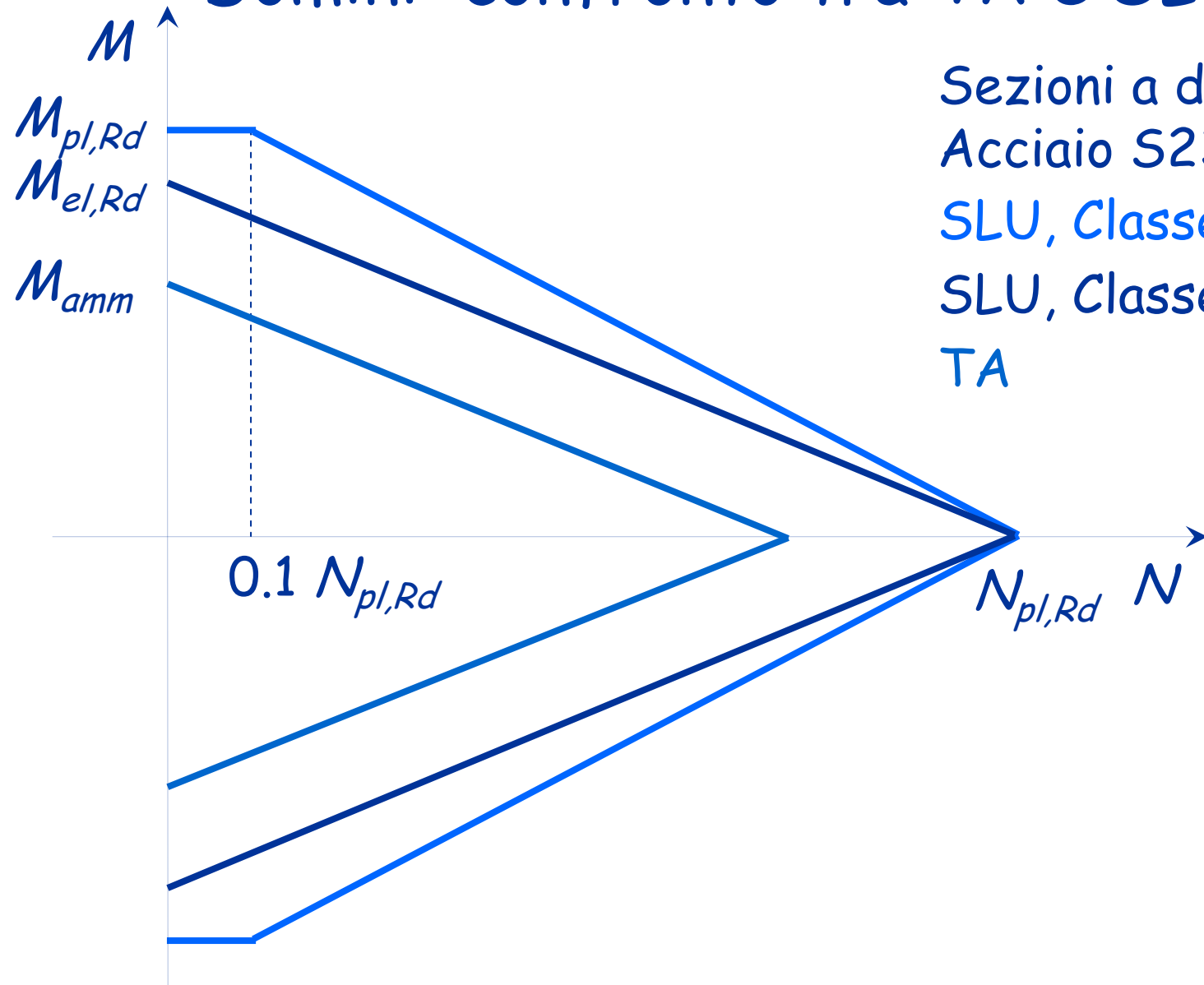
$$M = 0$$

Domini: confronto tra TA e SLU

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

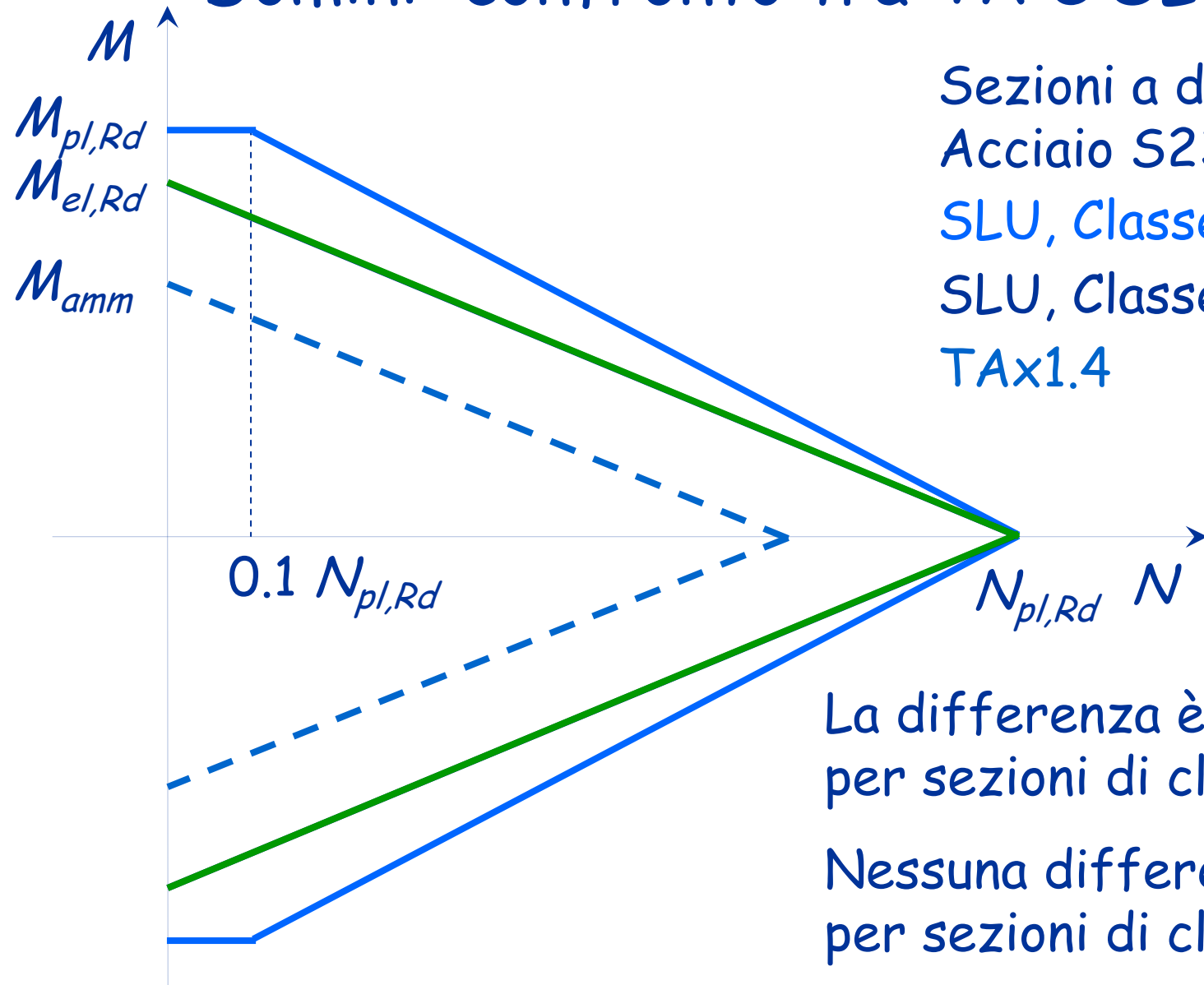
Poiché i carichi allo SLU sono maggiori (di $1.3 \div 1.5$) di quelli alle TA, il dominio relativo alle TA deve essere opportunamente scalato (ad esempio $\times 1,4$)

Domini: confronto tra TA e SLU



Sezioni a doppio T
Acciaio S235
SLU, Classe 1 e 2
SLU, Classe 3
TA

Domini: confronto tra TA e SLU



Sezioni a doppio T
Acciaio S235

SLU, Classe 1 e 2

SLU, Classe 3

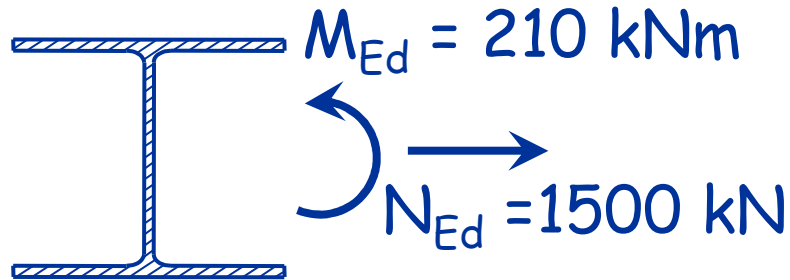
TAx1.4

La differenza è sensibile
per sezioni di classe 1 e 2

Nessuna differenza
per sezioni di classe 3

Esempio

Dati:



Sezione	HEB300
A	149 cm^2
W_{pl}	1868 cm^3
Acciaio	S235

1 - Classe della sezione

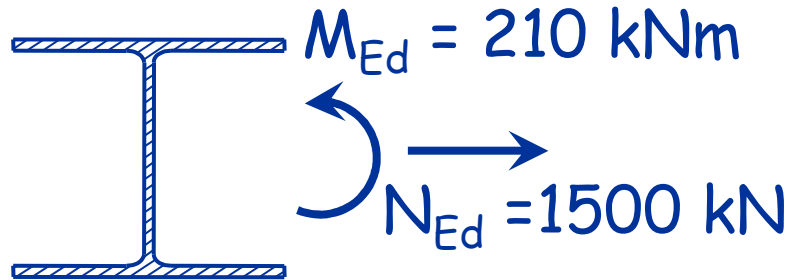
Anima: $\frac{d}{t_w} = \frac{208}{11} = 19 \leq 144 \quad \varepsilon = 144$

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

La sezione appartiene alla classe 1.

Esempio

Dati:



Sezione

HEB300

A

149 cm^2

W_{pl}

1868 cm^3

Acciaio

S235

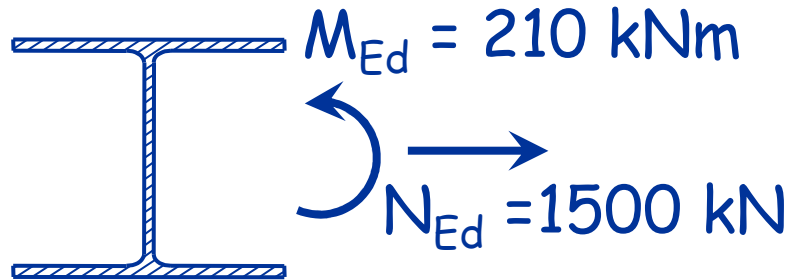
2 - Determinazione di $N_{pl,Rd}$ ed $M_{pl,Rd}$

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

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

Esempio

Dati:



Sezione	HEB300
A	149 cm^2
W_{pl}	1868 cm^3
Acciaio	S235
$b=300 \text{ mm}$	$t=19 \text{ mm}$

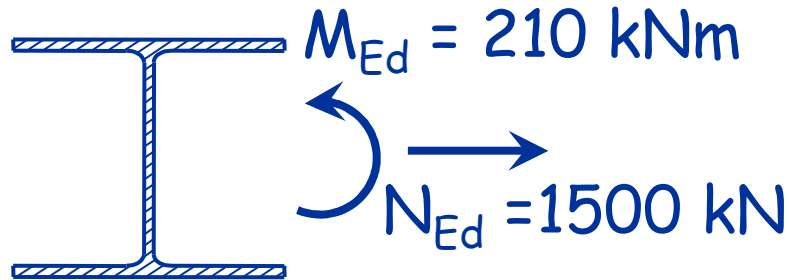
3 - Determinazione di α

$$\alpha = \frac{A - 2 b t_f}{A} = \frac{14900 - 2 \times 300 \times 19}{14900} = 0.235$$

$$\frac{\alpha}{2} N_{pl,Rd} = \frac{0.235}{2} 3334.8 = 391.8 \text{ kN}$$

Esempio

Dati:



Sezione	HEB300
Acciaio	S235
$N_{pl,Rd}$	3334.8 kN
$M_{pl,Rd}$	418.1 kNm

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

$$N_{Ed} = 1500 \text{ kN} \geq \frac{\alpha}{2} N_{pl,Rd} = 391.8 \text{ kN}$$

$$M_{pl,N,Rd} = M_{pl,Rd} \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \right) \frac{1}{1 - 0.5 \times 0.235} = 260.7 \text{ kNm} > M_{Ed} = 210.0 \text{ kNm}$$

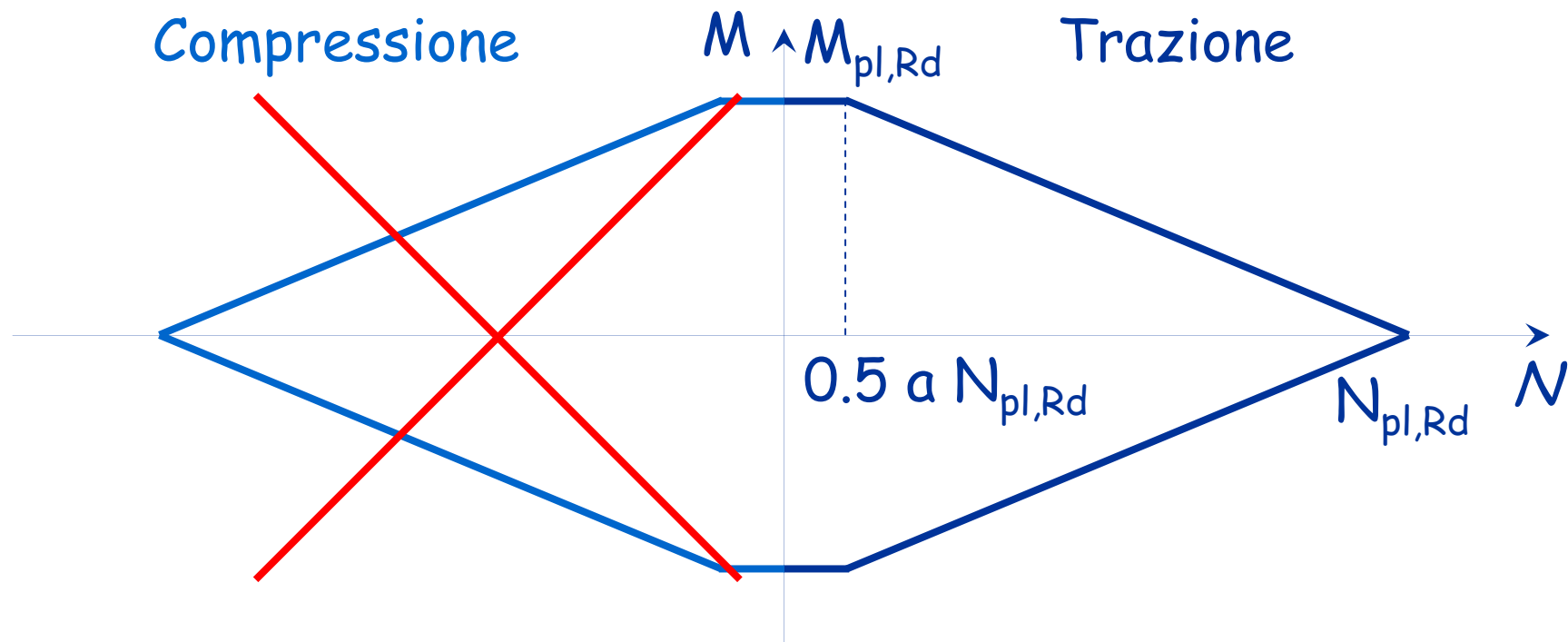
La sezione è verificata

Flessione composta
pressoflessione

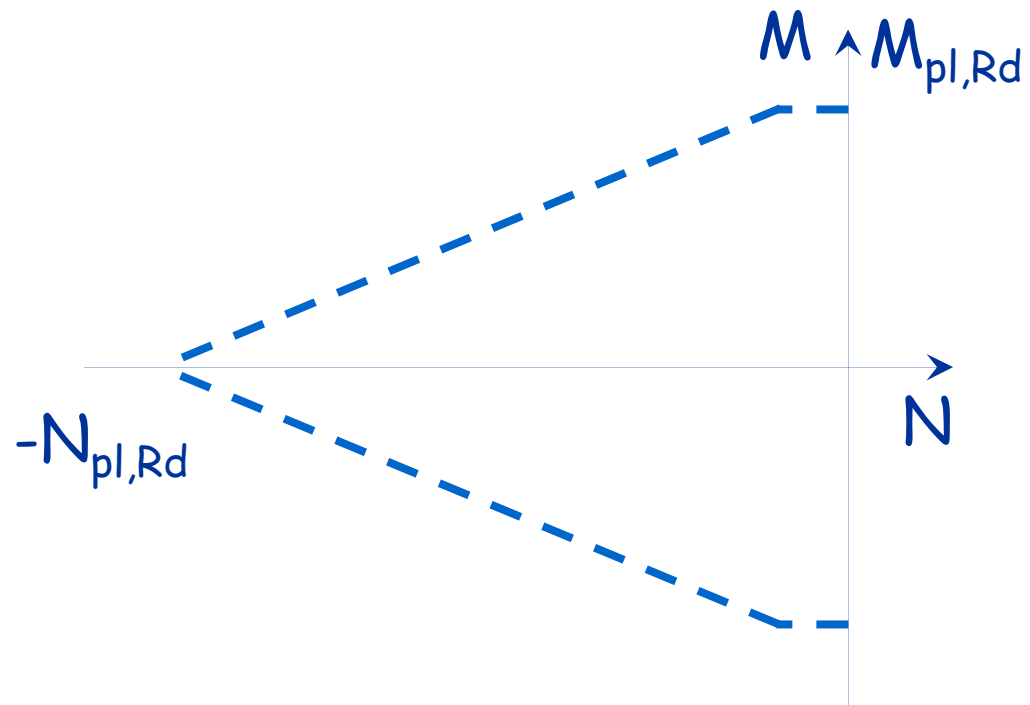
Domini di resistenza - stato limite ultimo

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

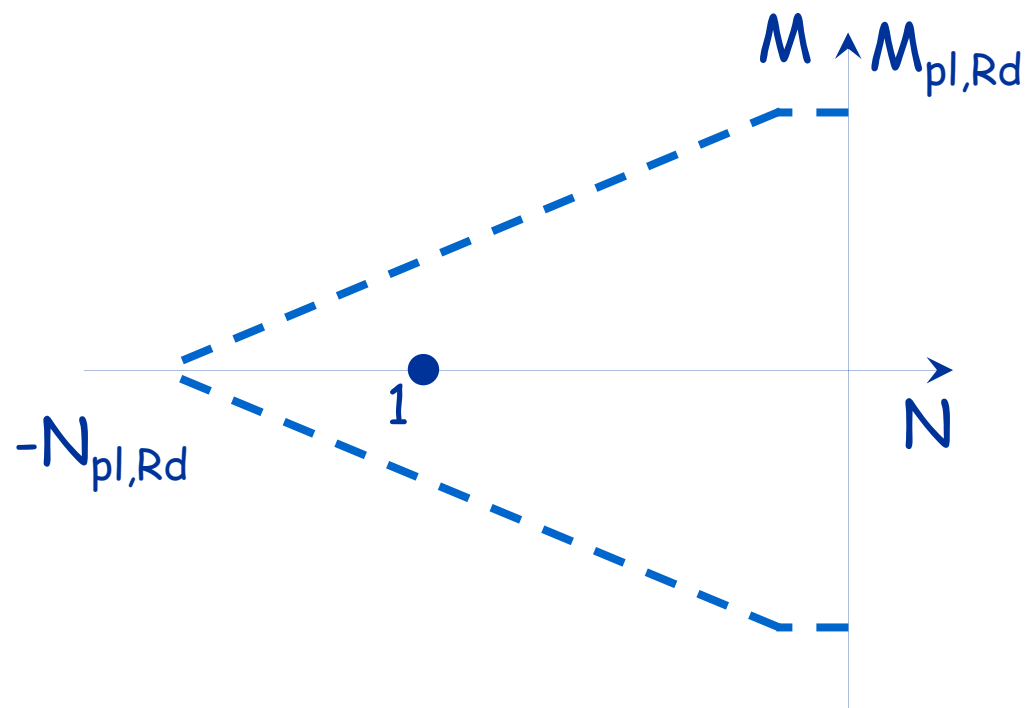
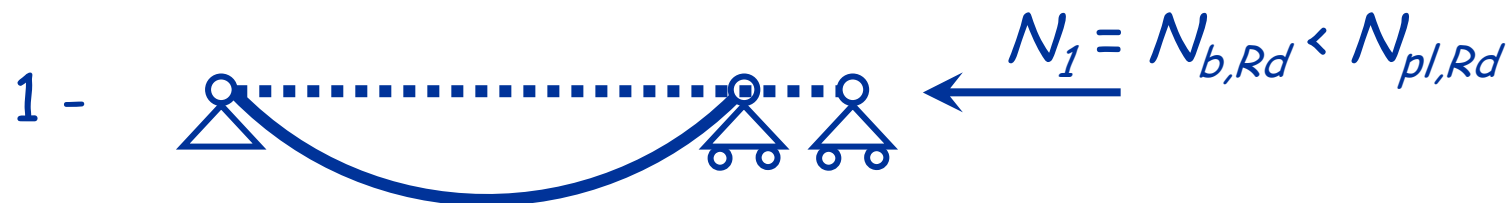
Va bene per la singola sezione, ma per l'asta bisogna tener conto dell'instabilità



Domini di resistenza - stato limite ultimo

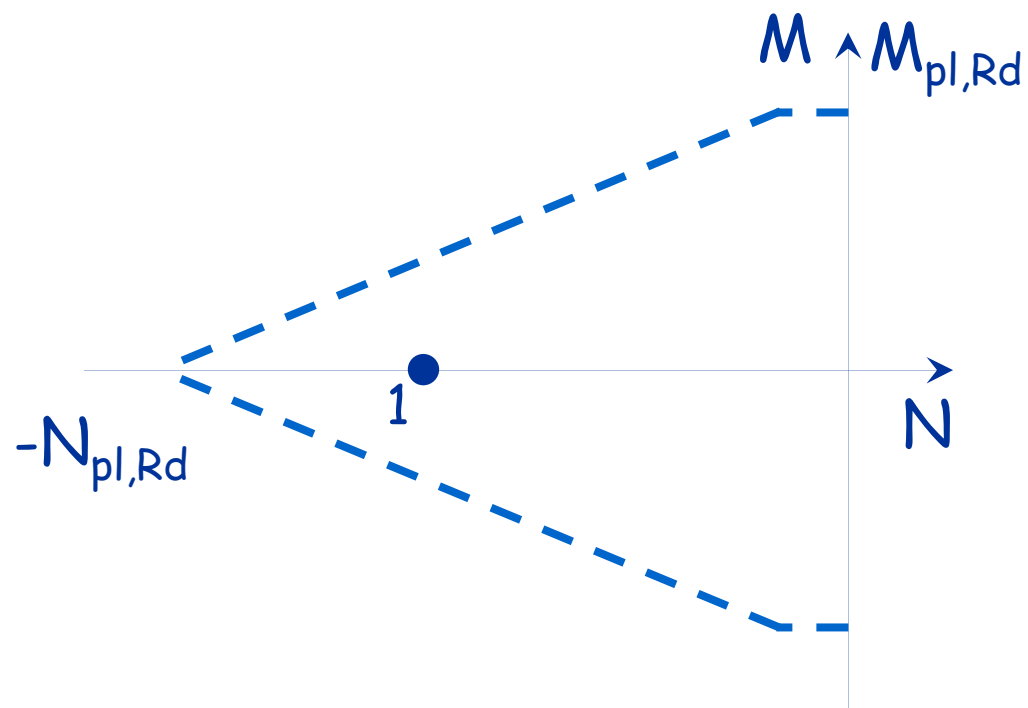


Domini di resistenza - stato limite ultimo



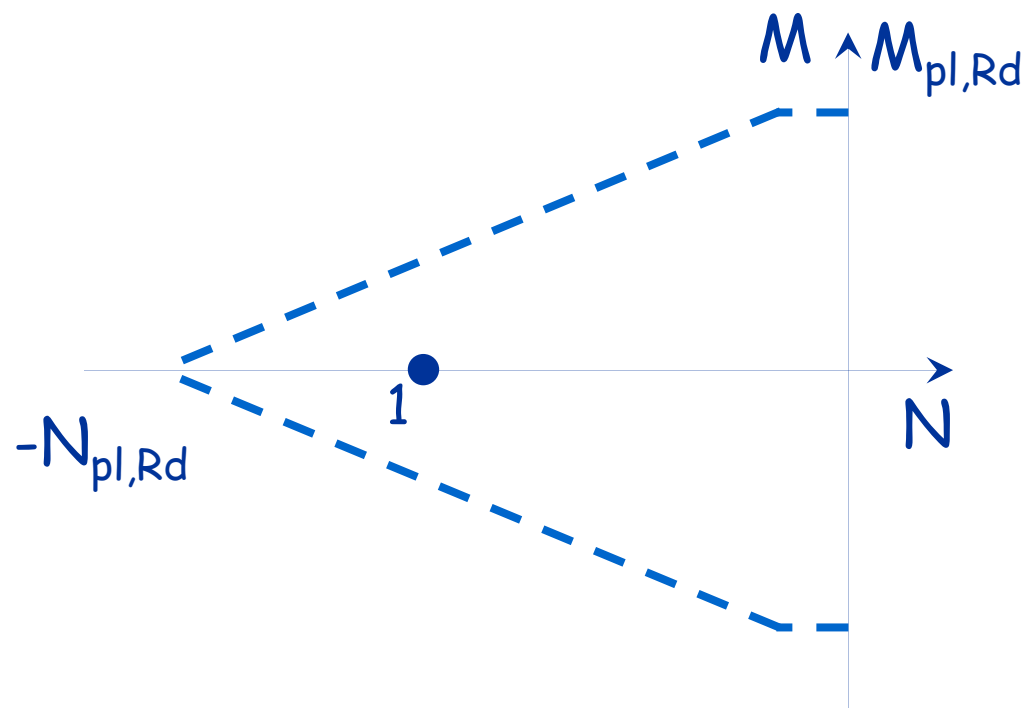
1 - $N_1 = N_{b,Rd}$ $M_1 = 0$

Domini di resistenza - stato limite ultimo



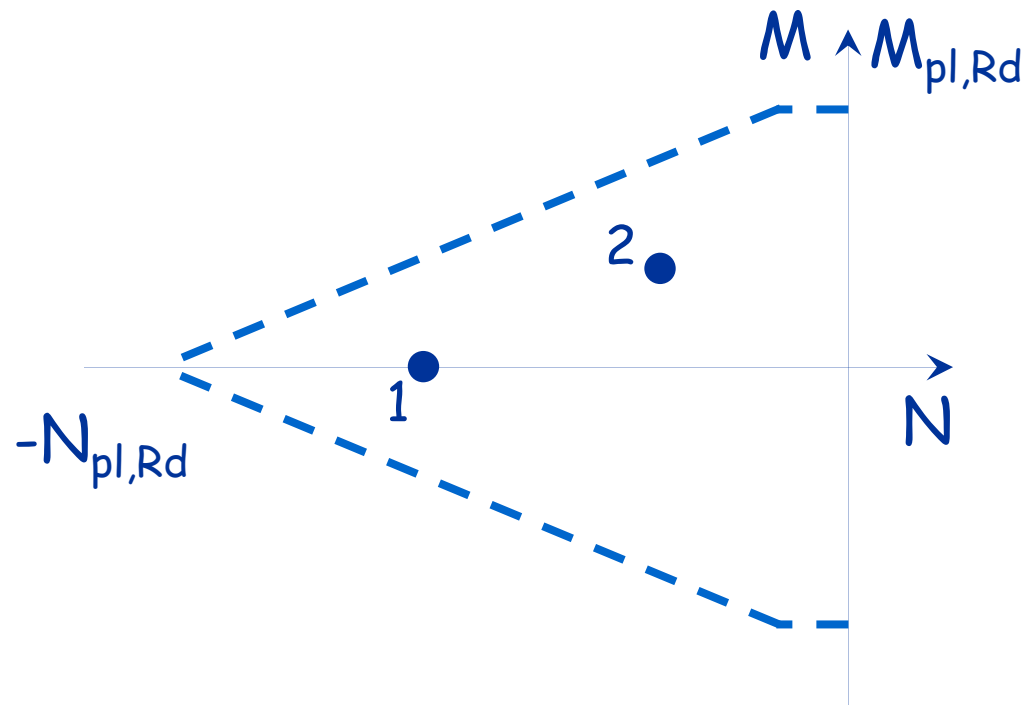
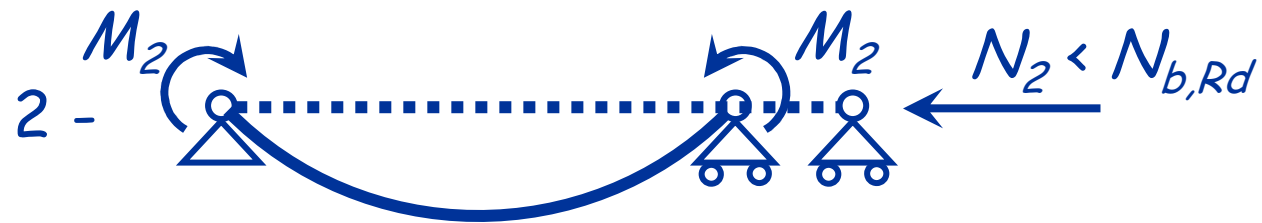
$$1 - N_1 = N_{b,Rd} \quad M_1 = 0$$

Domini di resistenza - stato limite ultimo



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

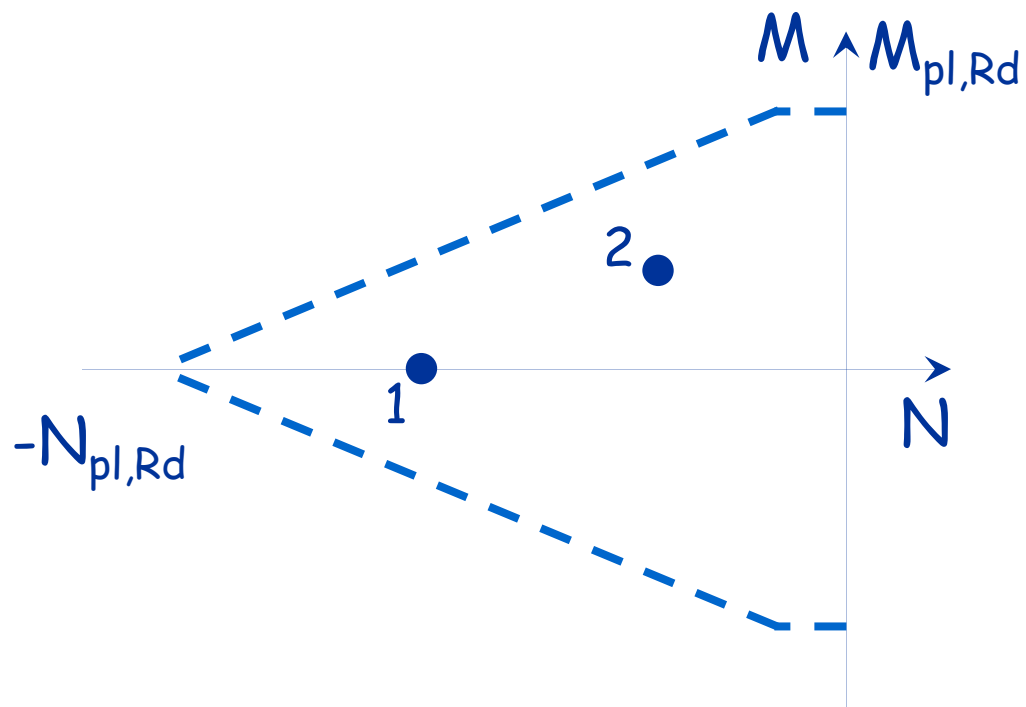
Domini di resistenza - stato limite ultimo



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

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

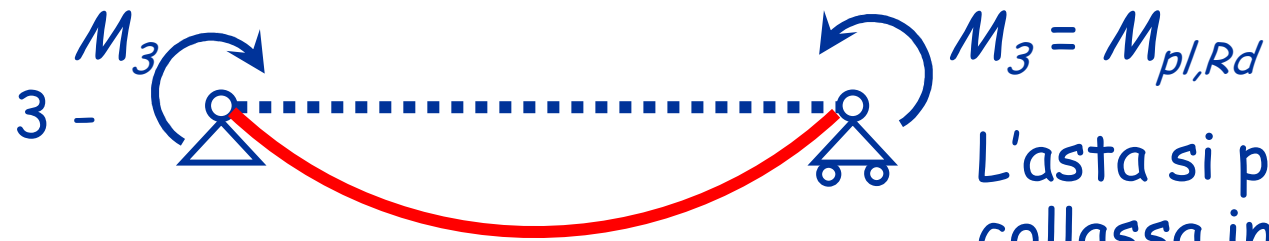
Domini di resistenza - stato limite ultimo



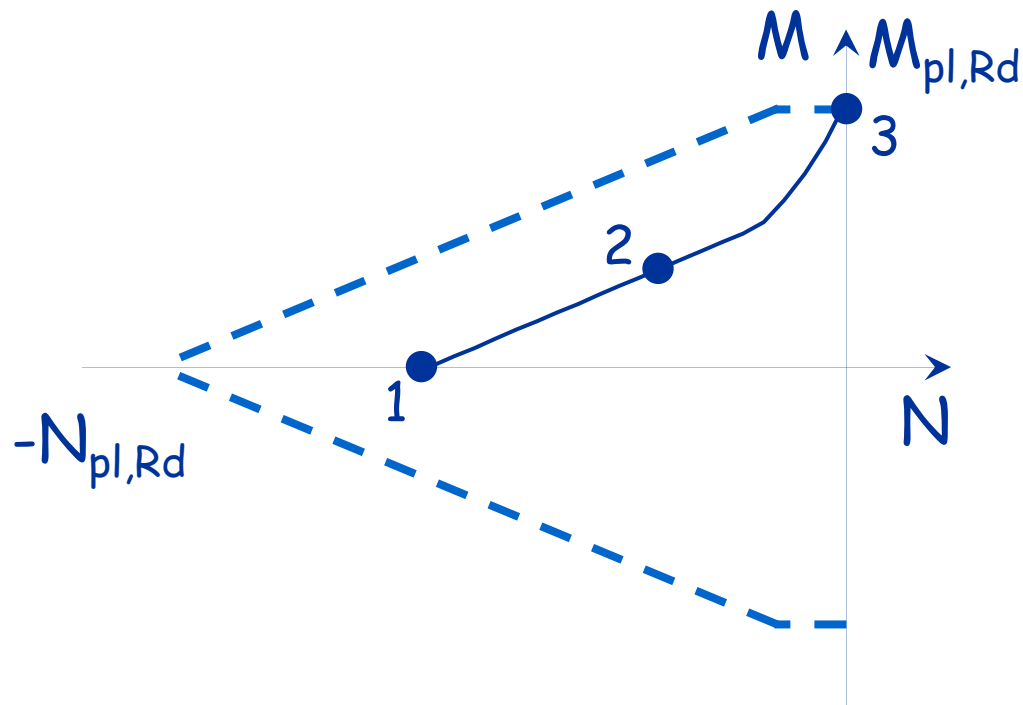
$$1 - N_1 = N_{b,Rd} \quad M_1 = 0$$

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

Domini di resistenza - stato limite ultimo



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



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

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

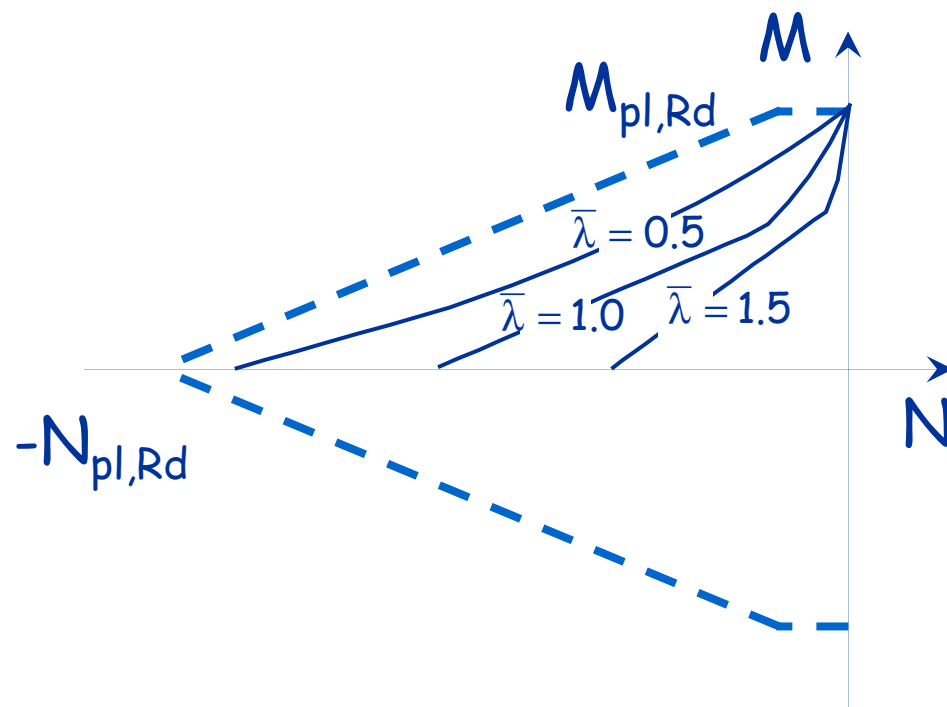
3 - $N_3 = 0$ $M_3 = M_{pl,Rd}$

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;



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



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

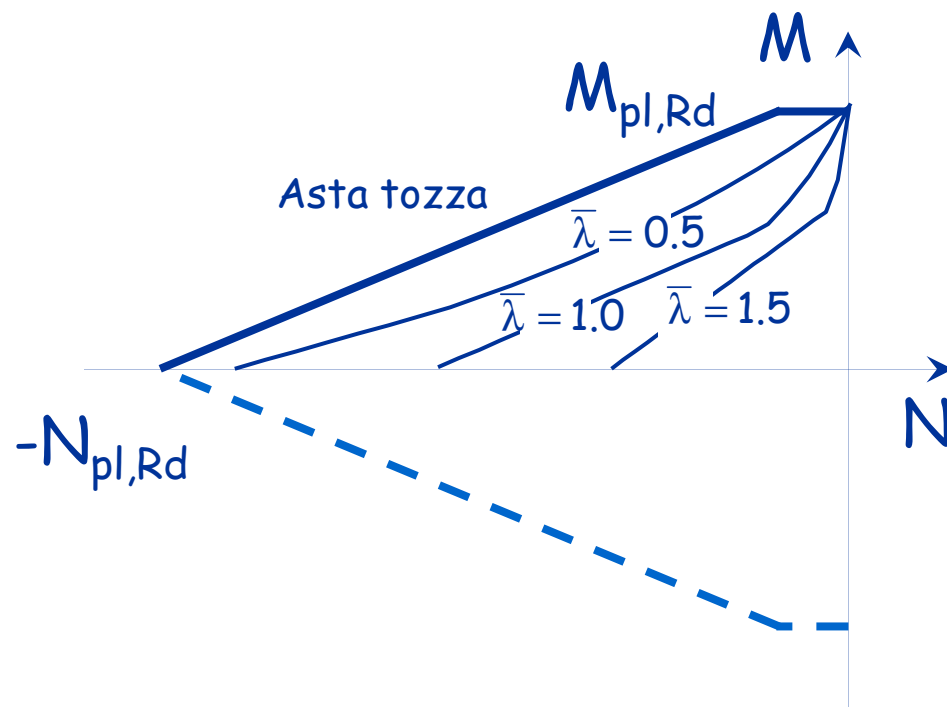


$$\bar{\lambda} = 1.5$$

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



$\bar{\lambda} = 0.5$



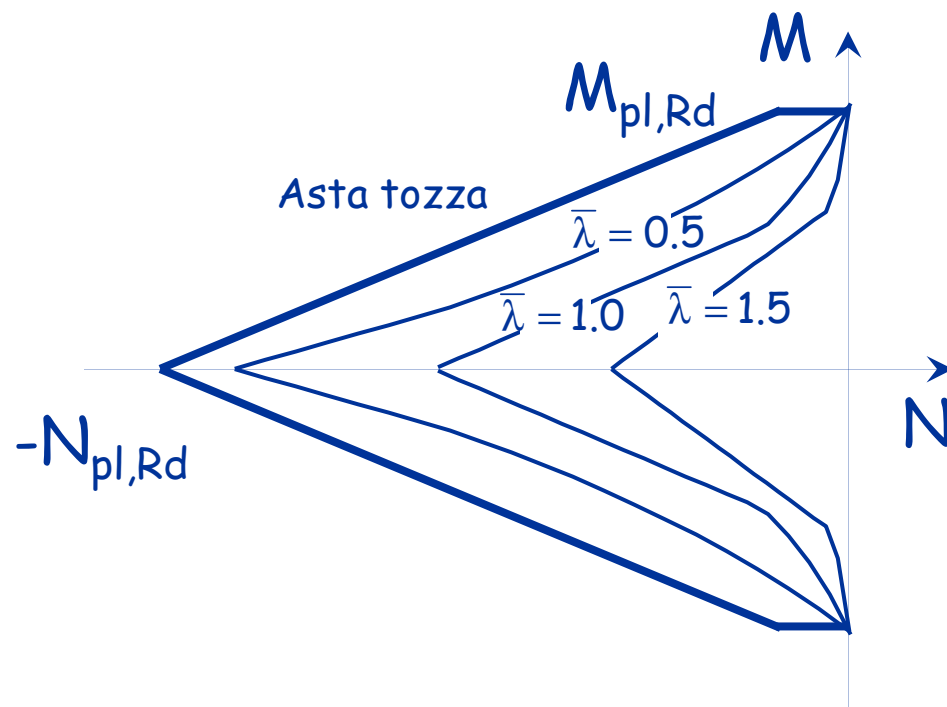
$\bar{\lambda} = 1.0$



$\bar{\lambda} = 1.5$

Domini di resistenza - stato limite ultimo

Il dominio è simmetrico per aste con sezione trasversale simmetrica



Asta tozza

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



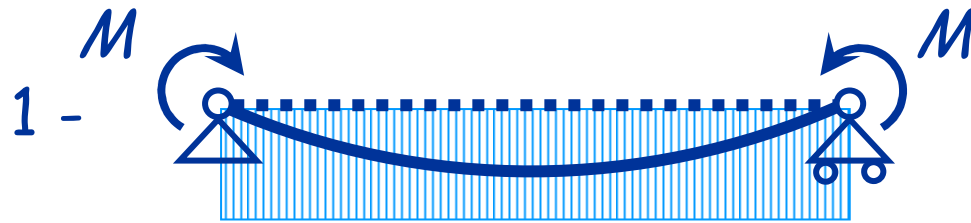
$$\bar{\lambda} = 1.0$$



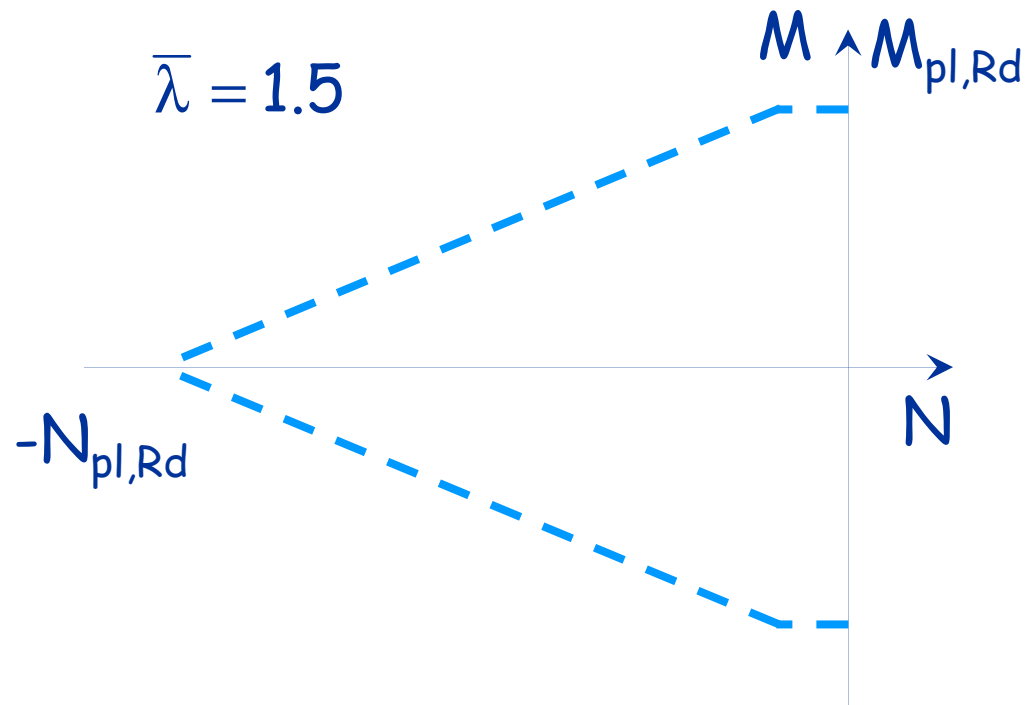
$$\bar{\lambda} = 1.5$$



Domini di resistenza - stato limite ultimo



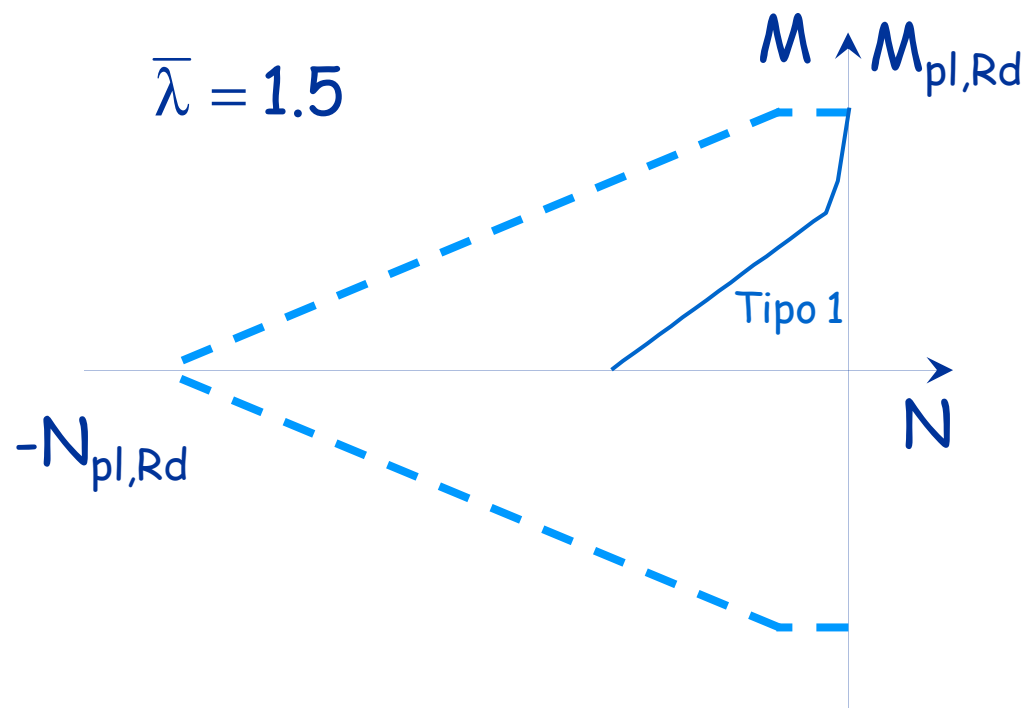
Distribuzione di
momenti tipo 1



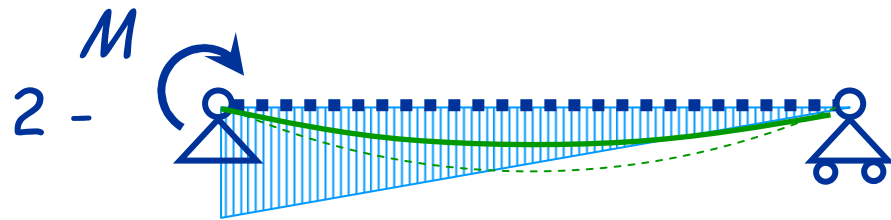
Domini di resistenza - stato limite ultimo



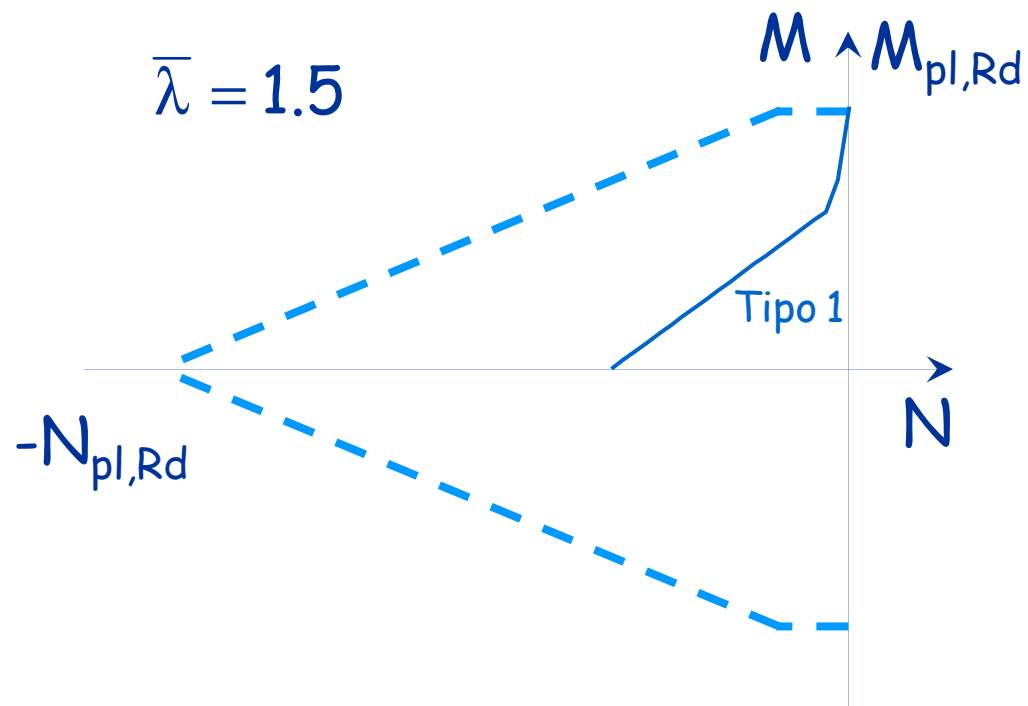
Distribuzione di
momenti tipo 1



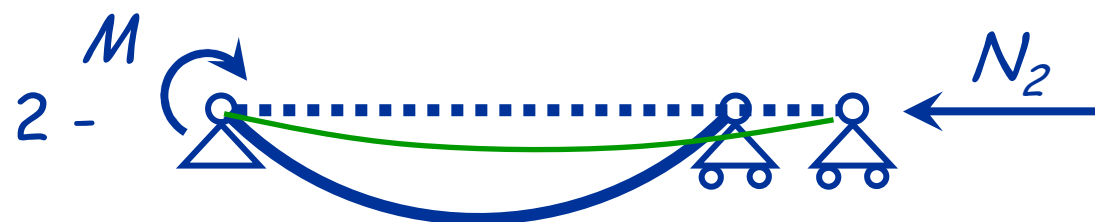
Domini di resistenza - stato limite ultimo



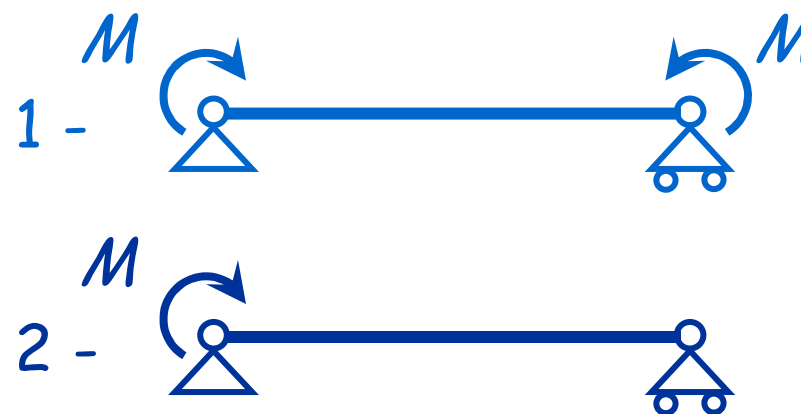
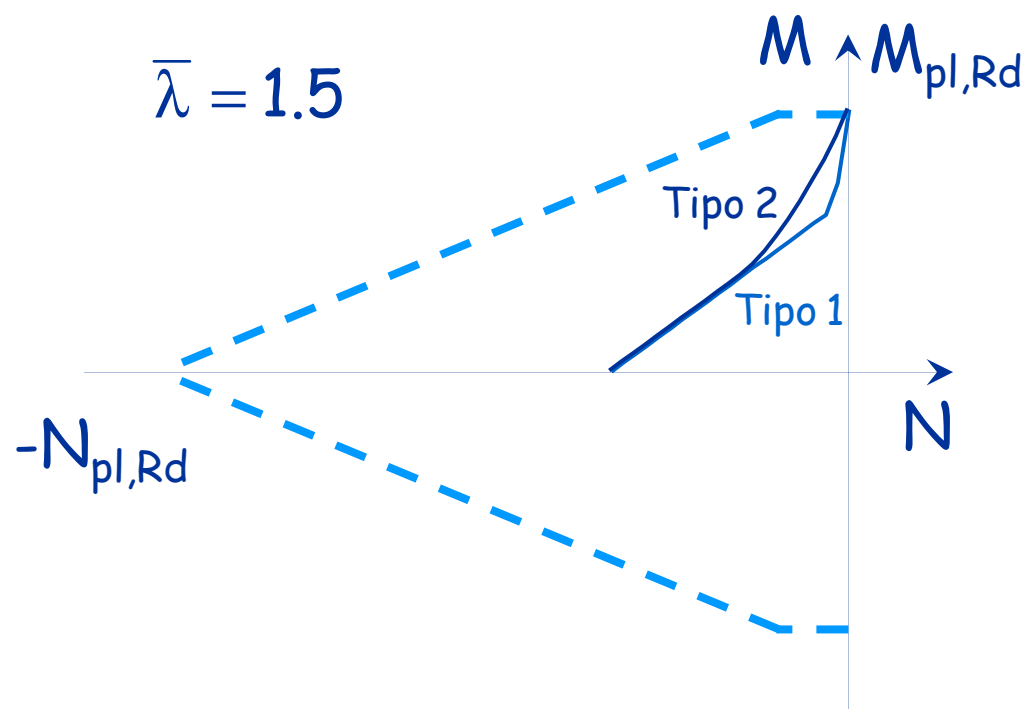
Distribuzione di
momenti tipo 2



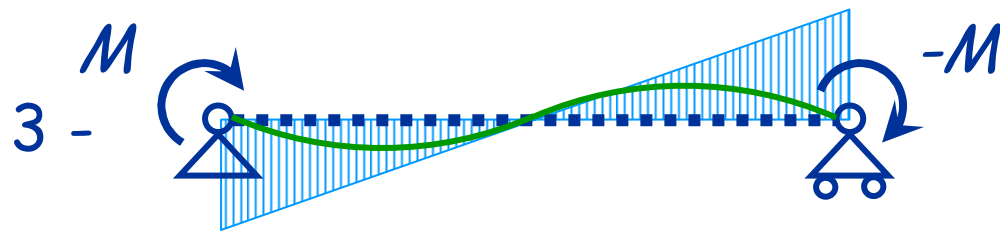
Domini di resistenza - stato limite ultimo



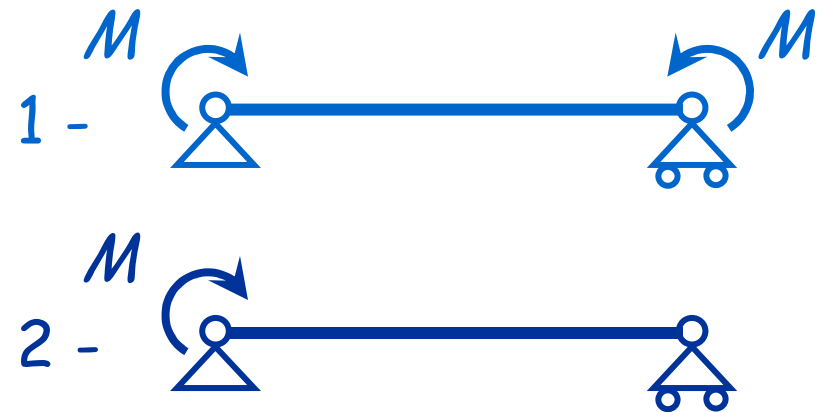
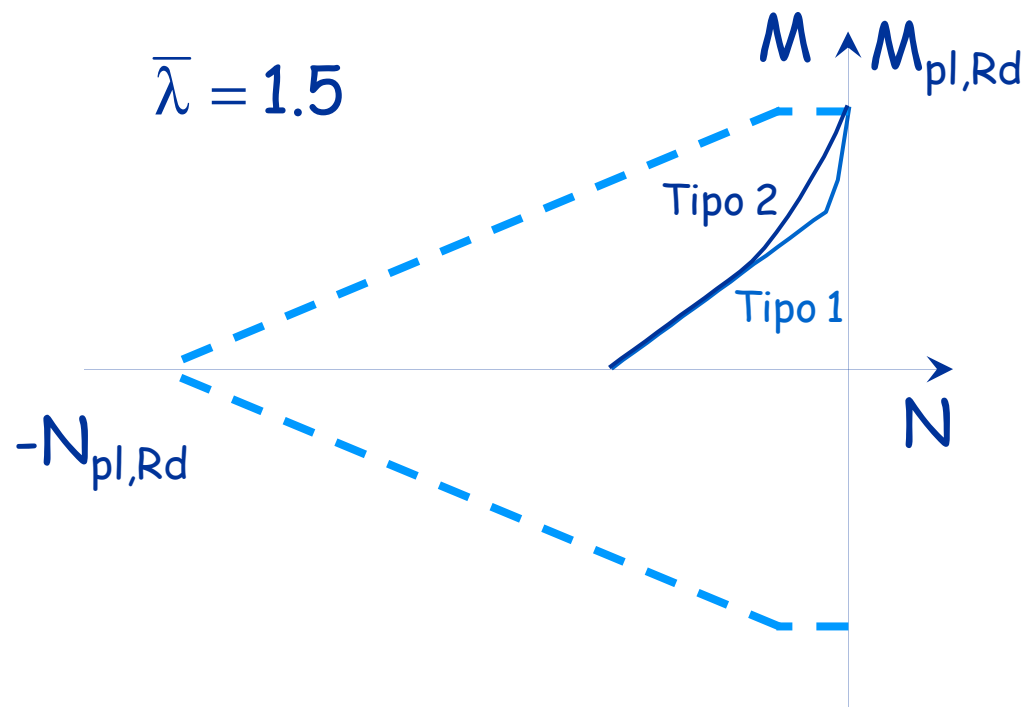
Distribuzione di
momenti tipo 2



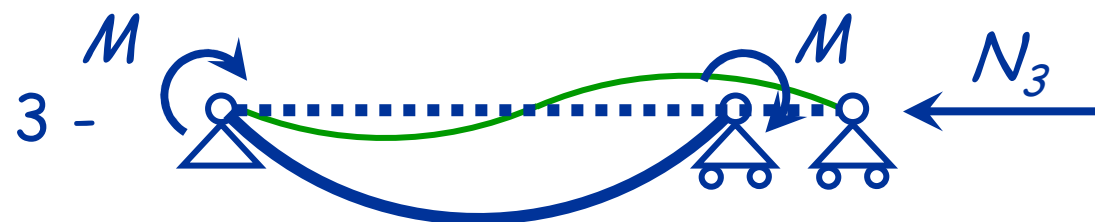
Domini di resistenza - stato limite ultimo



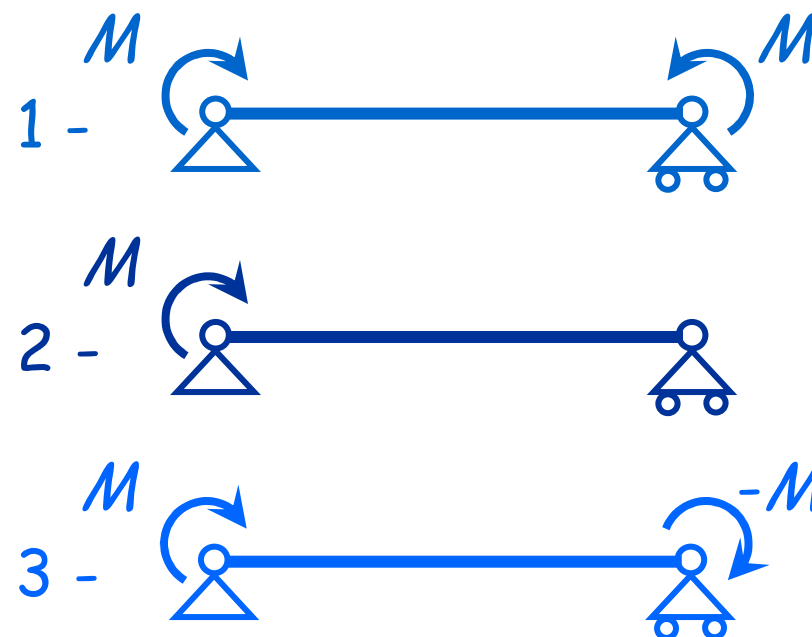
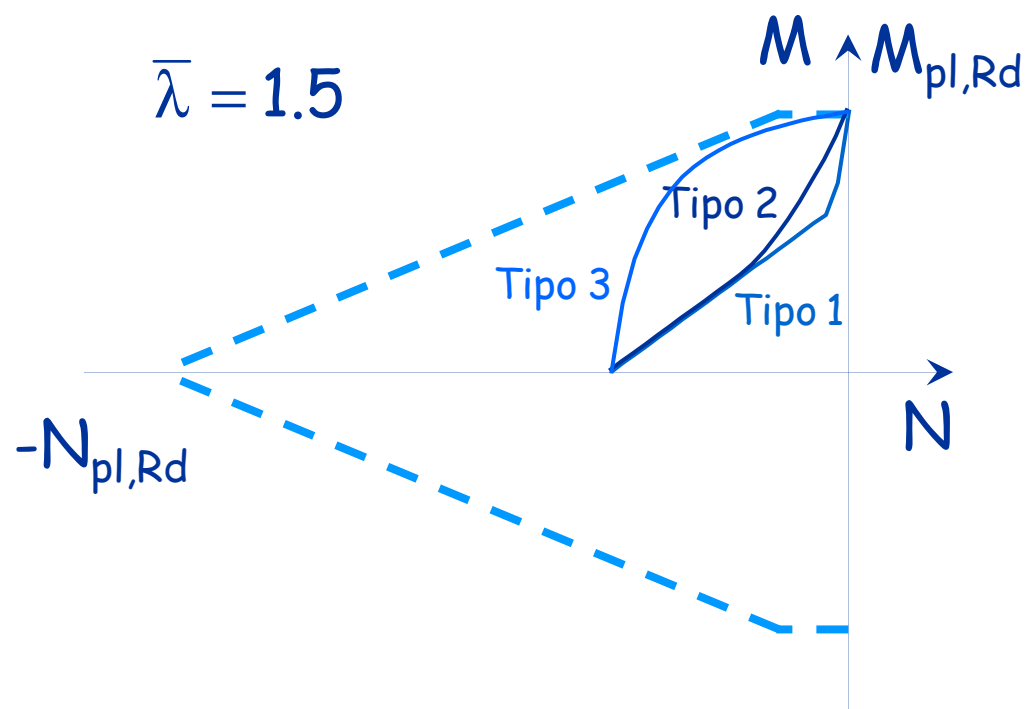
Distribuzione di
momenti tipo 3



Domini di resistenza - stato limite ultimo



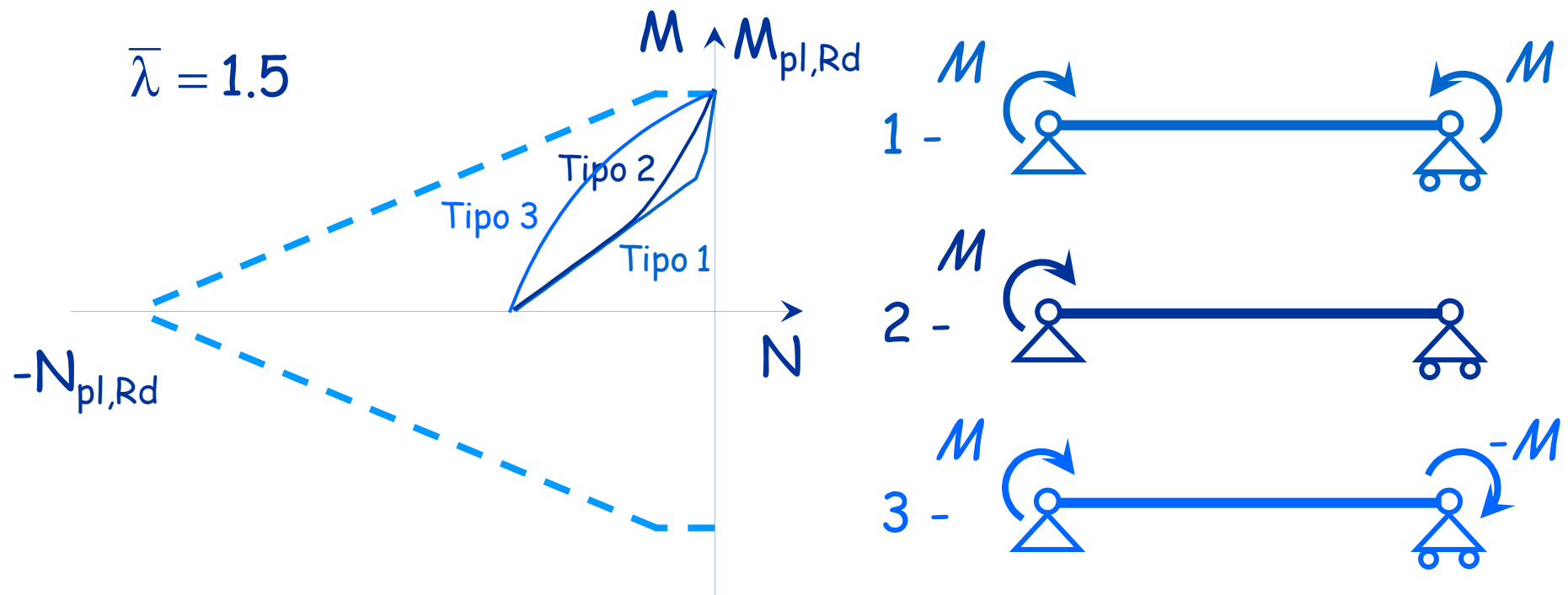
Distribuzione di
momenti tipo 3



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

- E' possibile usare un approccio semplificato.
Se non vi è rischio di instabilità flessotorsionale, occorre controllare che:

$$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{\min} \cdot f_{yk} \cdot A} + \frac{M_{y,eq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_y \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right)} + \frac{M_{z,eq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_z \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)} \leq 1$$

o, in sostanza:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{bRd}} + \frac{M_{y,eq,Ed}}{M_{y,Rd} \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right)} + \frac{M_{z,eq,Ed}}{M_{z,Rd} \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)} \leq 1$$

N_{cr} è il carico
critico Euleriano

Verifica - stato limite ultimo

- Il momento equivalente $M_{eq,Ed}$ tiene conto della variazione del momento nell'asta e può essere preso pari a

$$M_{eq,Ed} = 1.3 M_{m,Ed}$$

assumendo comunque $0.75 M_{max,Ed} \leq M_{eq,Ed} \leq M_{max,Ed}$

$M_{m,Ed}$ è il valore medio del momento nell'asta

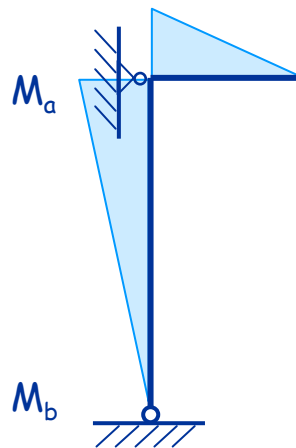
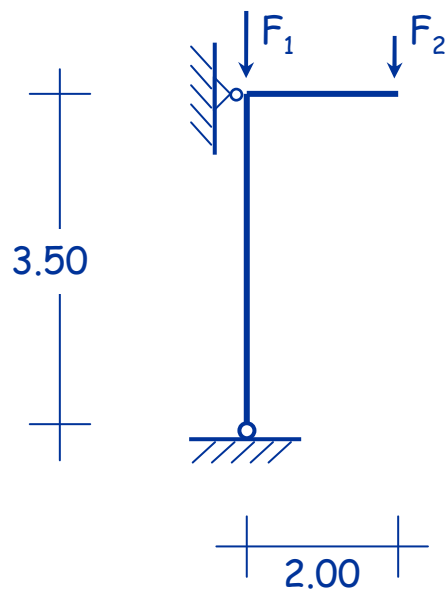
- Per asta vincolata agli estremi con momento variabile linearmente si può assumere

$$M_{eq,Ed} = 0.6 M_a - 0.4 M_b$$

assumendo comunque $M_{eq,Ed} \geq 0.4 M_a$

M_a è il massimo tra i due ed il segno si riferisce al verso della coppia M (se $M_a = -M_b$ il diagramma di M è costante e $M_{eq,Ed} = M_a$)

Esempio



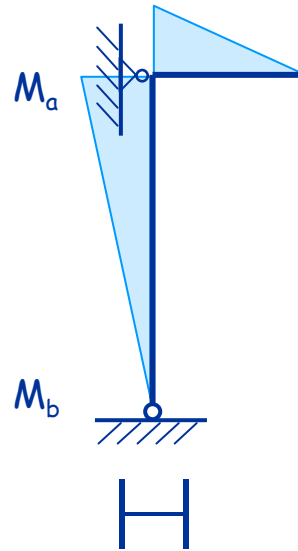
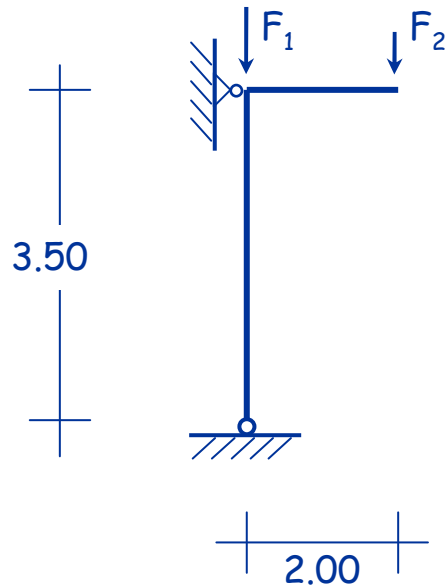
$$F_1 = 800 \text{ kN}$$
$$F_2 = 60 \text{ kN}$$

$$M_a = 120 \text{ kNm}$$
$$M_b = 0 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 860 \text{ kN}$$

$$M_{eq,Ed} = 0.6 \times 120 - 0.4 \times 0 = 72 \text{ kNm}$$

Esempio



Sezione	HEB300
A	149 cm ²
W _{pl}	1868 cm ³
Acciaio	S235

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

$$N_{bRd} = 2828.6 \text{ kN}$$



instabilità intorno a z

$$l_0 = 3.50 \text{ m}$$

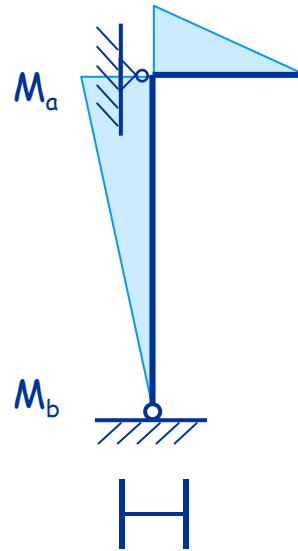
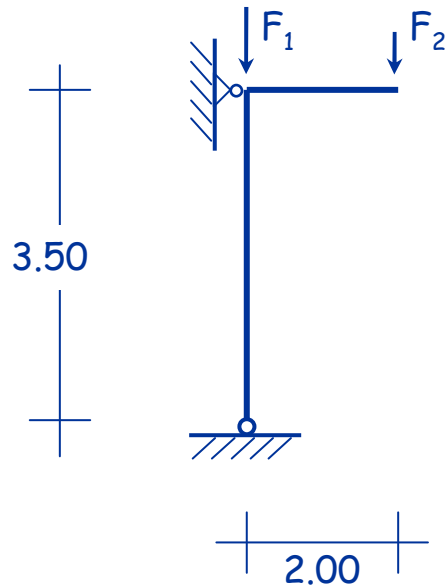
$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E I_y}{l_0^2}$$



instabilità intorno a y

$$N_{cr} = 42586 \text{ kN}$$

Esempio



Sezione	HEB300
A	149 cm ²
W _{pl}	1868 cm ³
Acciaio	S235

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

$$N_{bRd} = 2828.6 \text{ kN}$$

$$N_{bRd,y} = 3233.2 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{bRd}} + \frac{M_{y,eq,Ed}}{M_{y,Rd} \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} \right)} = \frac{860}{2828.6} + \frac{72}{418.1 \left(1 - \frac{860}{42586} \right)} =$$

$$= 0.304 + 0.175 = 0.483 \leq 1$$

Verifica - stato limite ultimo

- In alternativa, occorre controllare che:


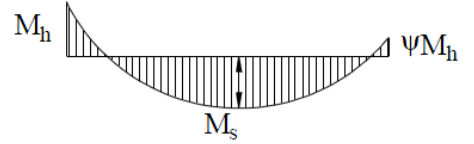
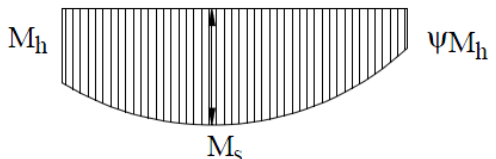
$$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_{yk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{W_z \cdot f_{yk}} \leq 1$$
$$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_{yk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{W_z \cdot f_{yk}} \leq 1$$

espressione analoga alla precedente ($k M = M_{eq}$)
ma con espressioni complicate per il calcolo di k

Si noti che N_{bRd} è calcolato separatamente nelle due direzioni

Verifica - stato limite ultimo

- Coefficienti che tengono conto dell'andamento di M

Diagramma del momento	Intervallo		Coefficienti α_{my} , α_{mz} , α_{mLT}	
			Carico uniforme	Carico concentrato
	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
 $\alpha_s = M_s / M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
		$-1 \leq \psi \leq 0$	$0,1(1 - \psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
 $\alpha_h = M_h / M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
		$-1 \leq \psi \leq 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h (1 + 2\psi)$	$0,90 + 0,10\alpha_h (1 + 2\psi)$

Circolare, punto 4.2.4.1.3.3.1 - metodo B

Verifica - stato limite ultimo

- Coefficienti k (elementi con modesta deformabilità torsionale)

k	Tipi di sezione	Sezioni di classe 3 e 4 (proprietà delle sezioni calcolate in campo elastico)	Sezioni di classe 1 e 2 (proprietà delle sezioni calcolate in campo plastico)
k_{yy}	I, H, Sezioni cave	$\alpha_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right) \leq \alpha_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$	$\alpha_{my} \cdot \left(1 + \left(\bar{\lambda}_y - 0,2 \right) \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right) \leq \alpha_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$
k_{yz}	I, H, Sezioni cave	k_{zz}	$0,6 \cdot k_{zz}$
k_{zy}	I, H, Sezioni cave	$0,8 \cdot k_{yy}$	$0,6 \cdot k_{yy}$
k_{zz}	I, H	$\alpha_{mz} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right) \leq \alpha_{mz} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$	$\alpha_{mz} \cdot \left(1 + \left(2\bar{\lambda}_y - 0,6 \right) \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right) \leq \alpha_{mz} \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$
	Sezioni cave		$\alpha_{mz} \cdot \left(1 + \left(\bar{\lambda}_y - 0,2 \right) \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right) \leq \alpha_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$
Per pressoflessione retta, $M_{y,Ed} \neq 0$, , $k_{zy} = 0$ ($M_{z,Ed}=0$).			

Confrontando con EC3 si notano piccole sviste
(in k_{zz} devono comparire i pedici z, non y)

Circolare, punto 4.2.4.1.3.3.1 - metodo B

Verifica - stato limite ultimo

- Coefficienti k (elementi con modesta deformabilità torsionale)

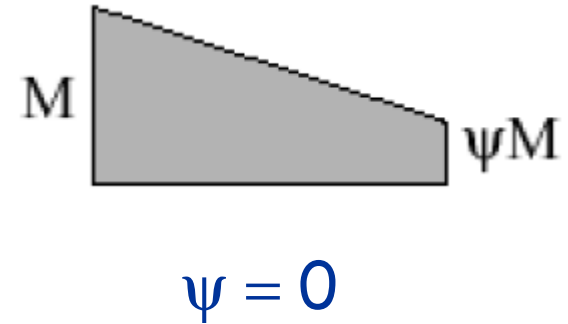
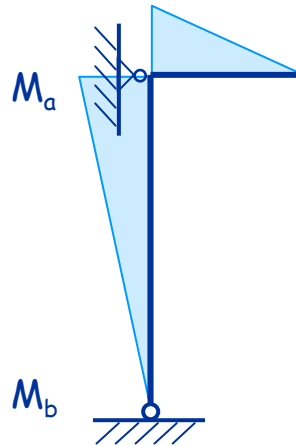
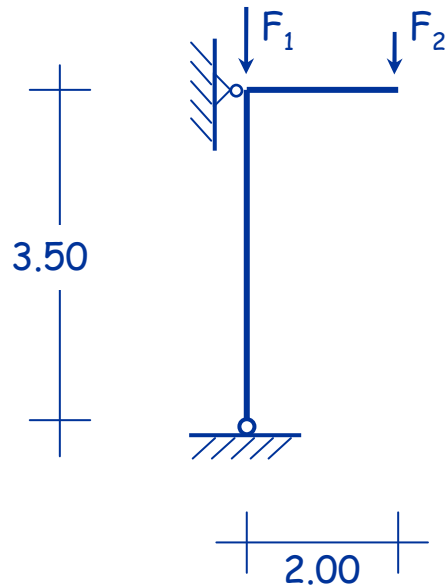
Interaction factors	Type of sections	Design assumptions	
		elastic cross-sectional properties class 3, class 4	plastic cross-sectional properties class 1, class 2
k_{yy}	I-sections RHS-sections	$C_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
k_{yz}	I-sections RHS-sections	k_{zz}	$0,6 k_{zz}$
k_{zy}	I-sections RHS-sections	$0,8 k_{yy}$	$0,6 k_{yy}$
k_{zz}	I-sections	$C_{mz} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	RHS-sections		$C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$

For I- and H-sections and rectangular hollow sections under axial compression and uniaxial bending $M_{y,Ed}$ the coefficient k_{zy} may be $k_{zy} = 0$.

Nota: qui
è indicato
con C
quello che
nella
Circolare
è indicato
con α

Eurocode 3, annesso B

Esempio



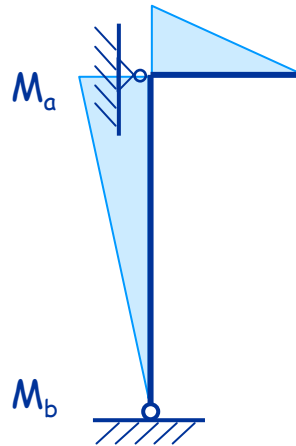
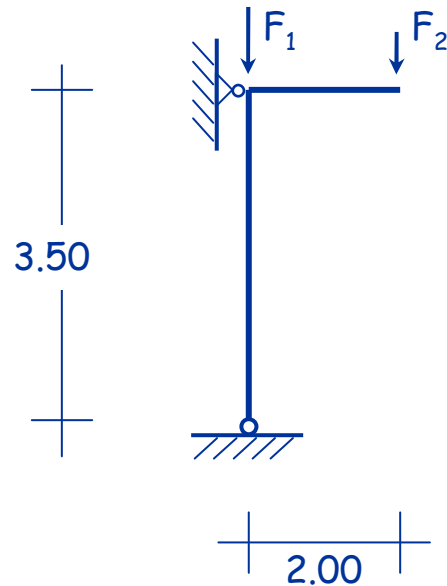
$$F_1 = 800 \text{ kN}$$
$$F_2 = 60 \text{ kN}$$

$$M_a = 120 \text{ kNm}$$
$$M_b = 0 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 860 \text{ kN}$$

$$\alpha_m = 0.6 + 0.4 \psi = 0.6$$

Esempio



$$\bar{\lambda}_y = 0.287$$

$$\chi_y = 0.9689$$

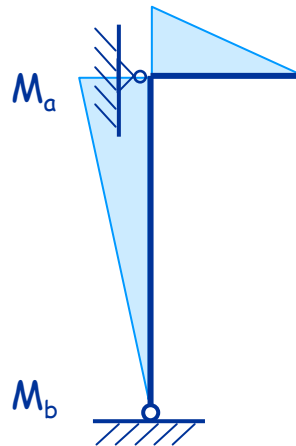
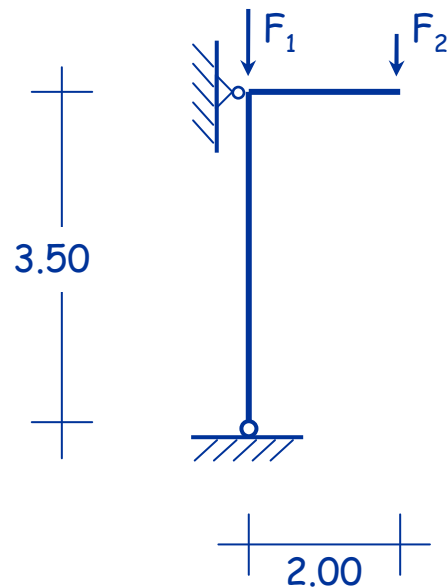
$$\bar{\lambda}_z = 0.492$$

$$\chi_z = 0.8476$$

$$k_{yy} = \alpha_m \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \frac{N_{Ed} \gamma_{M1}}{\chi_y A f_y} \right] = 0.6 \left[1 + (0.287 - 0.2) \frac{860}{3233.2} \right] = 0.614$$

$N_{bRd,y}$

Esempio



$$\bar{\lambda}_y = 0.287$$

$$\chi_y = 0.9689$$

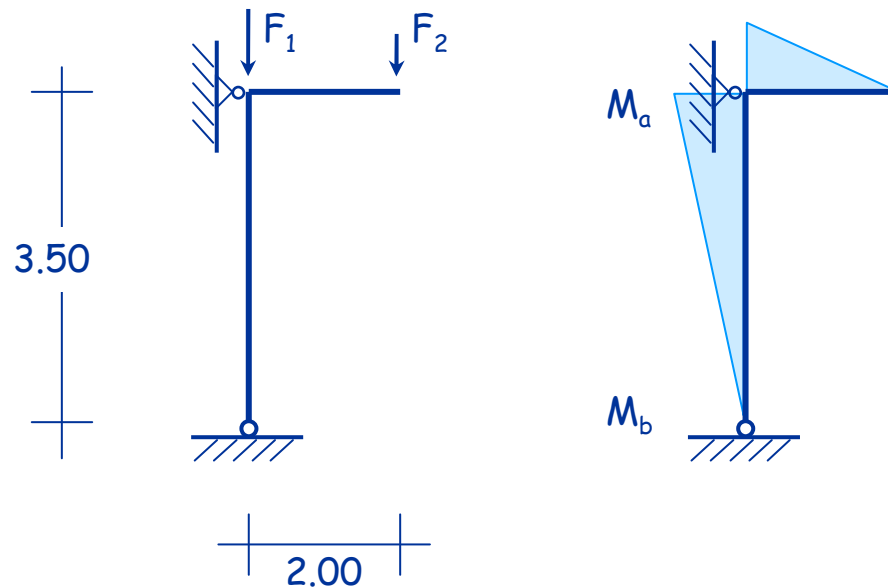
$$\bar{\lambda}_z = 0.492$$

$$\chi_z = 0.8476$$

$$k_{yy} \leq \alpha_m \left[1 + 0.8 \frac{N_{Ed} \gamma_{M1}}{\chi_y A f_y} \right] = 0.6 \left[1 + 0.8 \frac{860}{3233.2} \right] = 0.728$$

Ok, quindi $k_{yy} = 0.614$

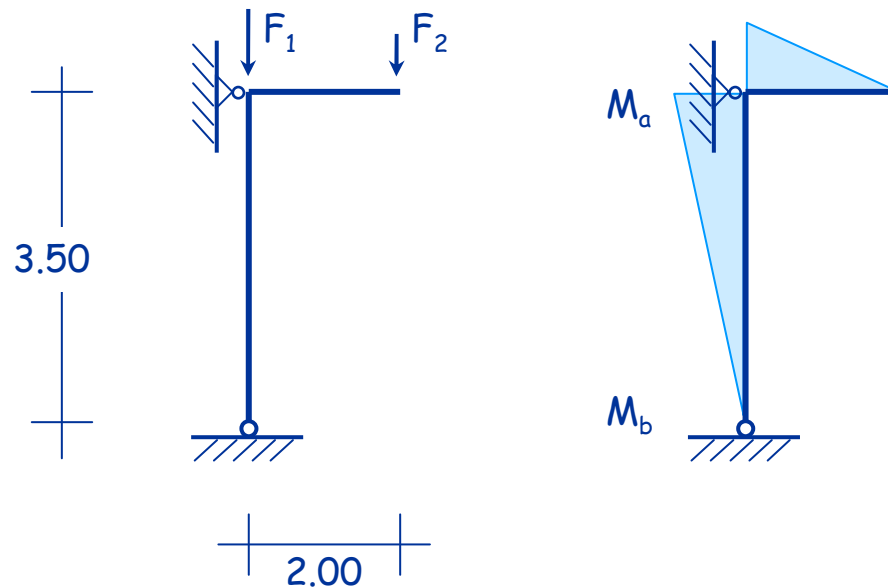
Esempio



$$\frac{N_{Ed} \gamma_{M1}}{\chi_y A f_y} + \frac{k_{yy} M_{y,Ed} \gamma_{M1}}{W_{pl,y} f_y} = \frac{860}{3233.2} + \frac{0.614 \times 120}{418.1} =$$

$$N_{bRd,y} \quad M_{pl,Rd,y} = 0.266 + 0.176 = 0.442 < 1$$

Esempio



$$\frac{N_{Ed} \gamma_{M1}}{\chi_z A f_y} + \frac{k_{zy} M_{y,Ed} \gamma_{M1}}{W_{pl,y} f_y} = \frac{860}{2828.6} + \frac{0.6 \times 0.614 \times 120}{418.1} =$$

$$N_{bRd,z} \quad M_{pl,Rd,y} = 0.304 + 0.105 = 0.409 < 1$$