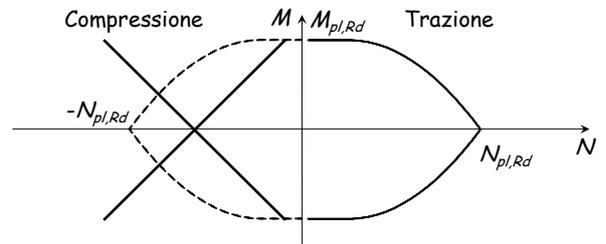


Flessione composta pressoflessione

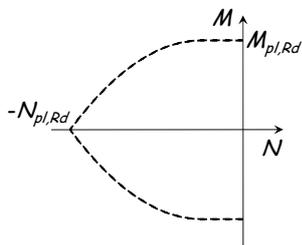
Domini di resistenza - stato limite ultimo

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

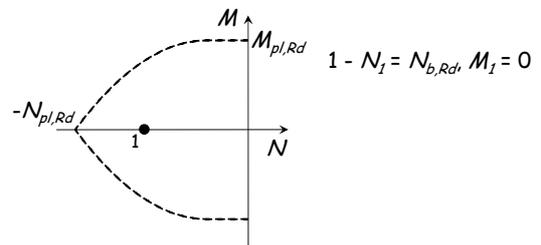
Va bene per la singola sezione, ma per l'asta bisogna tener conto dell'instabilità



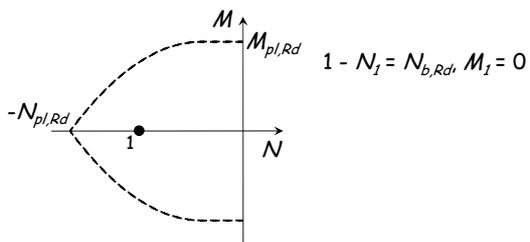
Costruzione del domini di resistenza



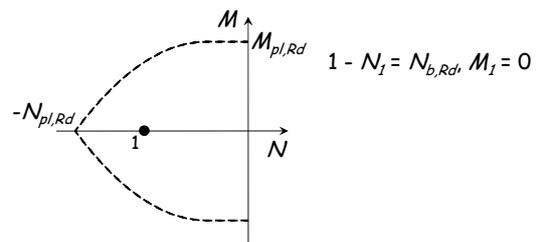
Costruzione del domini di resistenza



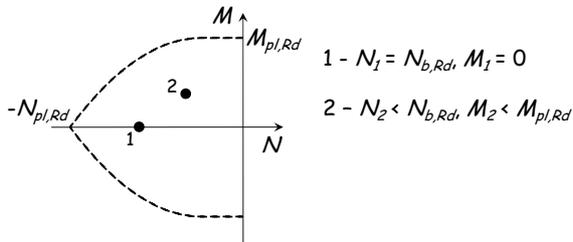
Costruzione del domini di resistenza



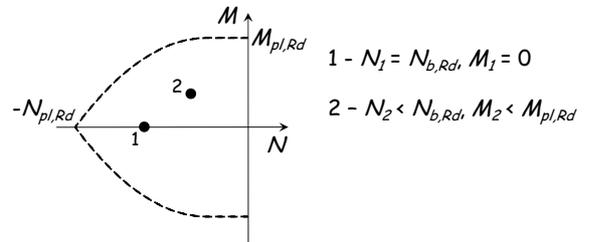
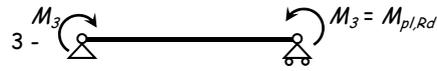
Costruzione del domini di resistenza



Costruzione del domini di resistenza



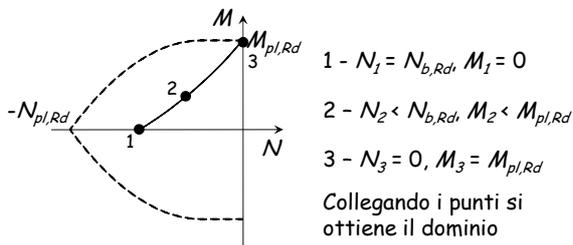
Costruzione del domini di resistenza



Costruzione del domini di resistenza

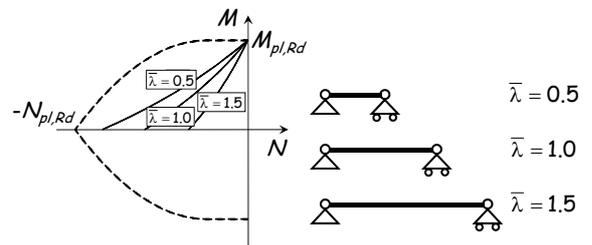


L'asta si plasticizza e
collapsa in assenza di
sforzo normale



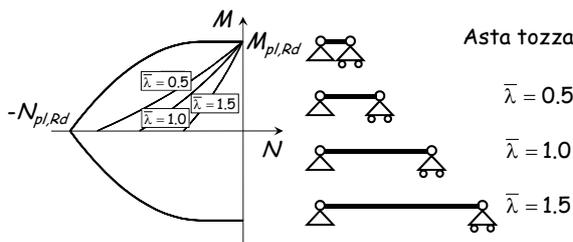
Influenza della snellezza

Il dominio dipende dalla snellezza dell'asta:
- L'ampiezza del dominio si riduce all'aumentare della
snellezza;



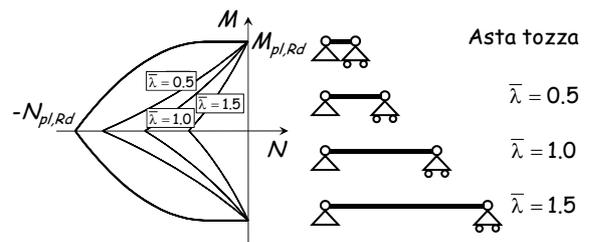
Influenza della snellezza

Il dominio dipende dalla snellezza dell'asta:
- Nel caso di aste tozze coincide con quello per
presso-flessione della sezione

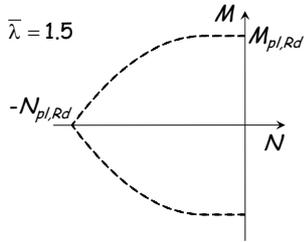


Influenza della snellezza

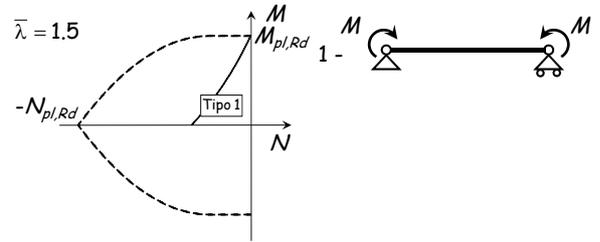
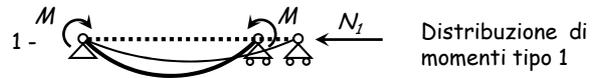
Il dominio è simmetrico per aste con sezione trasversale
simmetrica



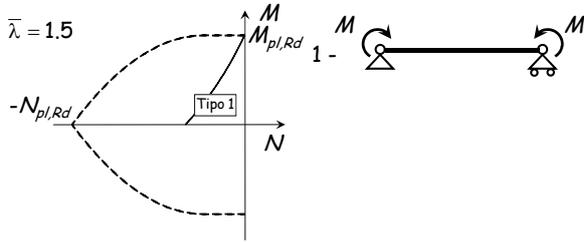
Influenza del diagramma del momento



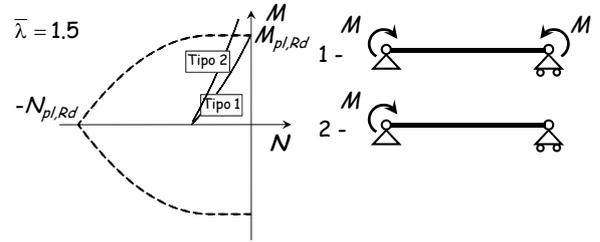
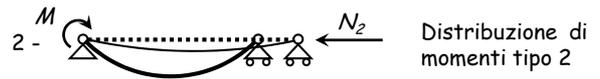
Influenza del diagramma del momento



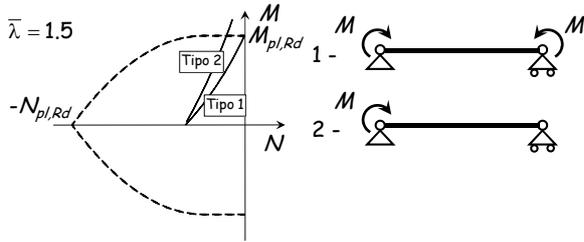
Influenza del diagramma del momento



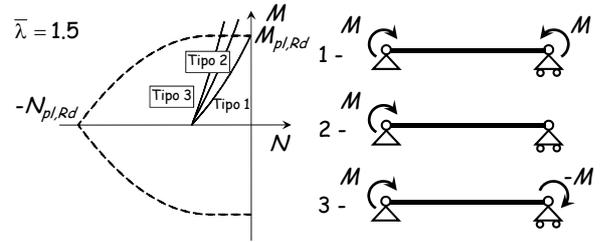
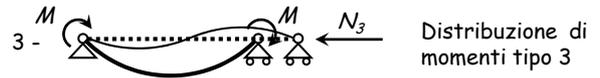
Influenza del diagramma del momento



Influenza del diagramma del momento



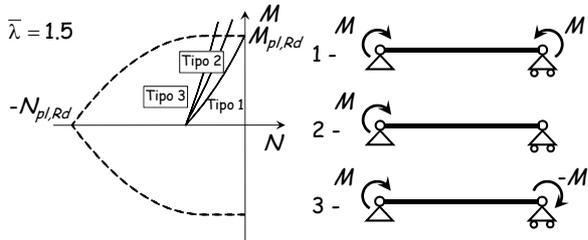
Influenza del diagramma del momento



Influenza del diagramma del momento

Il dominio dipende dall'andamento del diagramma del momento flettente:

- L'ampiezza del dominio aumenta passando dal diagramma 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 flesso-torsionale, occorre controllare che:

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

o, in sostanza:

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

N_{cr} è il carico critico Euleriano

Circolare, punto 4.2.4.1.3.3.1 - metodo A

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

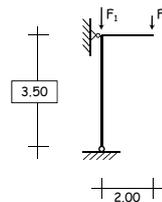
- Per asta vincolata agli estremi con momento variabile linearmente si può assumere

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

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

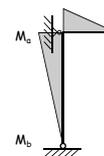
M_a è il massimo tra i due ed il segno si riferisce al verso della coppia M (se $M_a = -M_b$ il diagramma di M è costante e $M_{eq,Ed} = M_a$)

Esempio



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

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



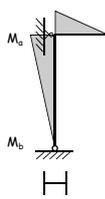
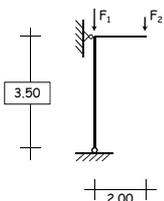
$$M_a = 120 \text{ kNm}$$

$$M_b = 0 \text{ kN}$$

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

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

Esempio



Sezione HEB300
 $A = 149 \text{ cm}^2$
 $W_{pl} = 1868 \text{ cm}^3$
 Acciaio S235

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

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

instabilità intorno a y

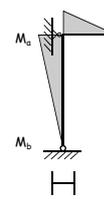
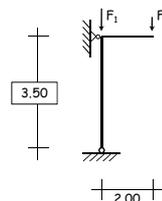
$$l_0 = 3.50 \text{ m}$$

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

instabilità intorno a x

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

Esempio



Sezione HEB300
 $A = 149 \text{ cm}^2$
 $W_{pl} = 1868 \text{ cm}^3$
 Acciaio S235

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

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

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

$$\frac{N_{Ed}}{N_{bRd}} + \frac{M_{y,eq,Ed}}{M_{x,Rd} \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,x}}\right)} = \frac{860}{2828.6} + \frac{72}{418.1 \left(1 - \frac{860}{42586}\right)} = 0.304 + 0.175 = 0.483 \leq 1$$

Verifica - stato limite ultimo

- In alternativa, occorre controllare che:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_x A f_{yk}} + k_{xx} \frac{M_{Ed,x}}{W_x f_{yk}} + k_{xy} \frac{M_{Ed,y}}{W_y f_{yk}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y A f_{yk}} + k_{yx} \frac{M_{Ed,x}}{W_x f_{yk}} + k_{yy} \frac{M_{Ed,y}}{W_y f_{yk}} \leq 1$$

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

Circolare, punto 4.2.4.1.3.3.1 - metodo B

Eurocodice 3, punto 6.3.3 e annesso B

Verifica - stato limite ultimo

- In alternativa, occorre controllare che:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,x}} + k_{xx} \frac{M_{Ed,x}}{M_{Rd,x}} + k_{xy} \frac{M_{Ed,y}}{M_{Rd,y}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} + k_{yx} \frac{M_{Ed,x}}{M_{Rd,x}} + k_{yy} \frac{M_{Ed,y}}{M_{Rd,y}} \leq 1$$

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

Circolare, punto 4.2.4.1.3.3.1 - metodo B

Eurocodice 3, punto 6.3.3 e annesso B

Verifica - stato limite ultimo

- In alternativa, occorre controllare che:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,x}} + k_{xx} \frac{M_{Ed,x}}{M_{Rd,x}} + k_{xy} \frac{M_{Ed,y}}{M_{Rd,y}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} + k_{yx} \frac{M_{Ed,x}}{M_{Rd,x}} + k_{yy} \frac{M_{Ed,y}}{M_{Rd,y}} \leq 1$$

$k_{xx}, k_{yy}, k_{xy}, k_{yx}$ dipendono da: - snellezza dell'asta
- diagramma del momento
- sforzo normale

Circolare, punto 4.2.4.1.3.3.1 - metodo B

Eurocodice 3, punto 6.3.3 e annesso B

Fattori d'interazione $k_{xx}, k_{yy}, k_{xy}, k_{yx}$ per sezioni a doppio T di classe 1 e 2

$$k_{xx} = C_{mx} \left(1 + (\bar{\lambda}_x - 0.2) \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,x}} \right) \leq C_{mx} \left(1 + 0.8 \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,x}} \right)$$

$$k_{xy} = 0.6 k_{yy}$$

$$k_{yx} = 0.6 k_{xx}$$

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (2\bar{\lambda}_y - 0.6) \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} \right) \leq C_{my} \left(1 + 1.4 \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} \right)$$

Per presso-flessione retta con $M_{Ed,x} \neq 0$ si assume $k_{yx} = 0$

Eurocodice 3, annesso B

Table B.1: Interaction factors k_{ij} for members not susceptible to torsional deformations

Interaction factors	Type of sections	Design assumptions	
		elastic cross-sectional properties class 3, class 4	plastic cross-sectional properties class 1, class 2
k_{\square}	I-sections RHS-sections	$C_{\square} \left(1 + 0.6\bar{\lambda}_{\square} \frac{N_{Ed}}{\chi_{\square} N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{\square} \left(1 + 0.6 \frac{N_{Ed}}{\chi_{\square} N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{\square} \left(1 + (\bar{\lambda}_{\square} - 0.2) \frac{N_{Ed}}{\chi_{\square} N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{\square} \left(1 + 0.8 \frac{N_{Ed}}{\chi_{\square} N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	I-sections RHS-sections	k_{\square}	$0.6 k_{\square}$
k_{\square}	I-sections RHS-sections	$0.8 k_{\square}$	$0.6 k_{\square}$
k_{\square}	I-sections	$C_{\square} \left(1 + 0.6\bar{\lambda}_{\square} \frac{N_{Ed}}{\chi_{\square} N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{\square} \left(1 + 0.6 \frac{N_{Ed}}{\chi_{\square} N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{\square} \left(1 + (2\bar{\lambda}_{\square} - 0.6) \frac{N_{Ed}}{\chi_{\square} N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{\square} \left(1 + 1.4 \frac{N_{Ed}}{\chi_{\square} N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	RHS-sections	$C_{\square} \left(1 + 0.6\bar{\lambda}_{\square} \frac{N_{Ed}}{\chi_{\square} N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{\square} \left(1 + 0.6 \frac{N_{Ed}}{\chi_{\square} N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{\square} \left(1 + (\bar{\lambda}_{\square} - 0.2) \frac{N_{Ed}}{\chi_{\square} N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{\square} \left(1 + 0.8 \frac{N_{Ed}}{\chi_{\square} N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$

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

Fattori di momento uniforme equivalente C_{mx} e C_{my}

Moment diagram	range	C_{mi} and C_{m1} and C_{m2}		
		uniform loading	concentrated load	
	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0.6 + 0.4\psi \geq 0.4$		
	$0 \leq \alpha_x \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0.2 + 0.8\alpha_x \geq 0.4$	
	$-1 \leq \alpha_x < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0.1 - 0.8\alpha_x \geq 0.4$	
	$0 \leq \alpha_x \leq 1$	$-1 \leq \psi < 0$	$0.1(1-\psi) - 0.8\alpha_x \geq 0.4$	
		$0 \leq \psi < 1$	$0.2(\psi) - 0.8\alpha_x \geq 0.4$	
	$-1 \leq \alpha_x < 0$	$0 \leq \psi < 1$	$0.95 + 0.05\alpha_x$	$0.90 + 0.10\alpha_x$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0.95 + 0.05\alpha_x(1+2\psi)$	$0.90 - 0.10\alpha_x(1+2\psi)$

For members with sway buckling mode the equivalent uniform moment factor should be taken $C_{mi} = 0.9$ or $C_{m1} = 0.9$ respectively.
 C_{mi} , C_{m1} and C_{m2} should be obtained according to the bending moment diagram between the relevant braced points as follows:

moment factor	bending axis	points braced in direction
C_{mi}	$x-x$	$y-y$
C_{m1}	$x-x$	$x-x$
C_{m2}	$x-x$	$x-x$

Eurocodice 3, annesso B

Esempio

$\psi = 0$

$F_1 = 800 \text{ kN}$ $M_a = 120 \text{ kNm}$ $N_{Ed} = 860 \text{ kN}$
 $F_2 = 60 \text{ kN}$ $M_b = 0 \text{ kN}$

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

Esempio

$\bar{\lambda}_x = 0.287$
 $\chi_x = 0.9689$
 $\bar{\lambda}_y = 0.492$
 $\chi_y = 0.8476$

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

Esempio

$\bar{\lambda}_x = 0.287$
 $\chi_x = 0.9689$
 $\bar{\lambda}_y = 0.492$
 $\chi_y = 0.8476$

$k_{xx} \leq \alpha_m \left[1 + 0.8 \frac{N_{Ed} \gamma_{M1}}{\chi_x A f_y} \right] = 0.6 \left[1 + 0.8 \frac{860}{3233.2} \right] = 0.728$
 Ok, quindi $k_{xx} = 0.614$

Esempio

$\frac{N_{Ed} \gamma_{M1}}{\chi_x A f_y} + \frac{k_{xx} M_{x,Ed} \gamma_{M1}}{W_{pl,x} f_y} = \frac{860}{3233.2} + \frac{0.614 \times 120}{418.1} = 0.266 + 0.176 = 0.442 < 1$

Esempio

Perché $k_{yx} = 0$

$\frac{N_{Ed} \gamma_{M1}}{\chi_y A f_y} + \frac{k_{yx} M_{y,Ed} \gamma_{M1}}{W_{pl,y} f_y} = \frac{860}{2828.6} = 0.304$