

Corso

Tecnica delle costruzioni

Catania

ottobre 2017 - gennaio 2018

09 - Pressoflessione

5 dicembre 2017

Aurelio Gheresi

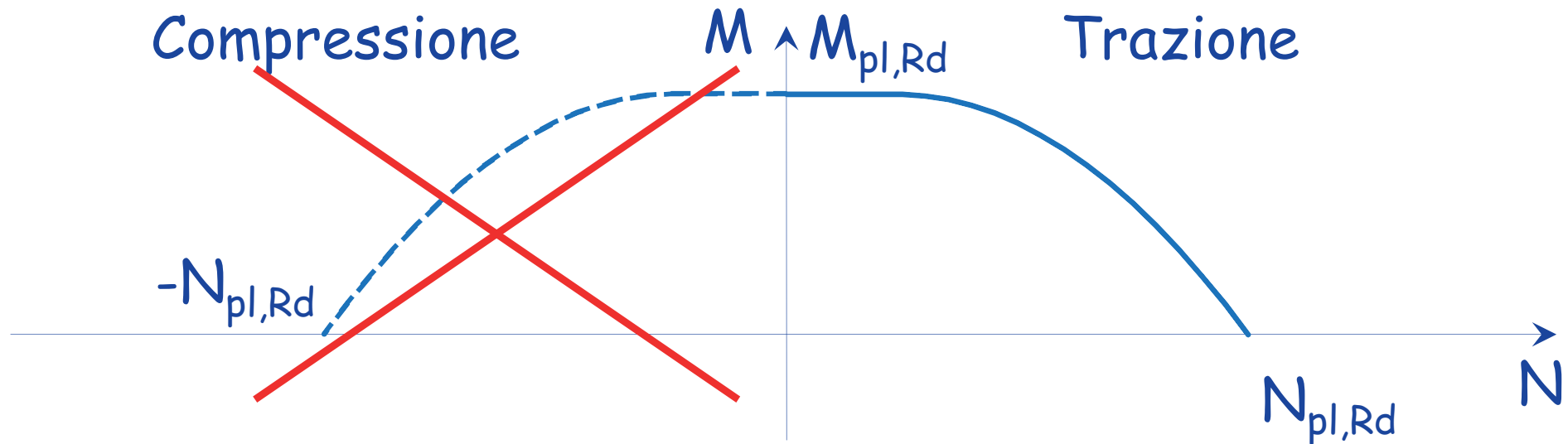
Flessione composta
Pressoflessione

Domini di resistenza

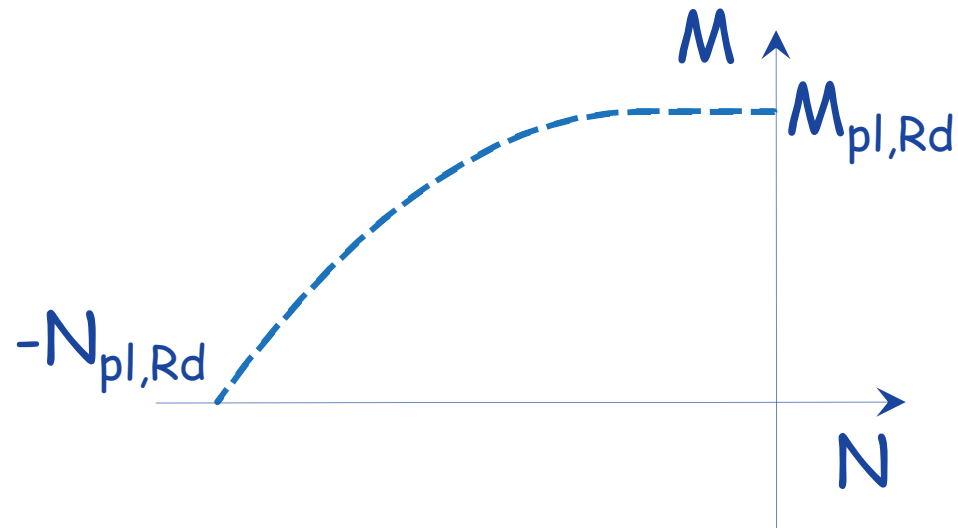
stato limite ultimo

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

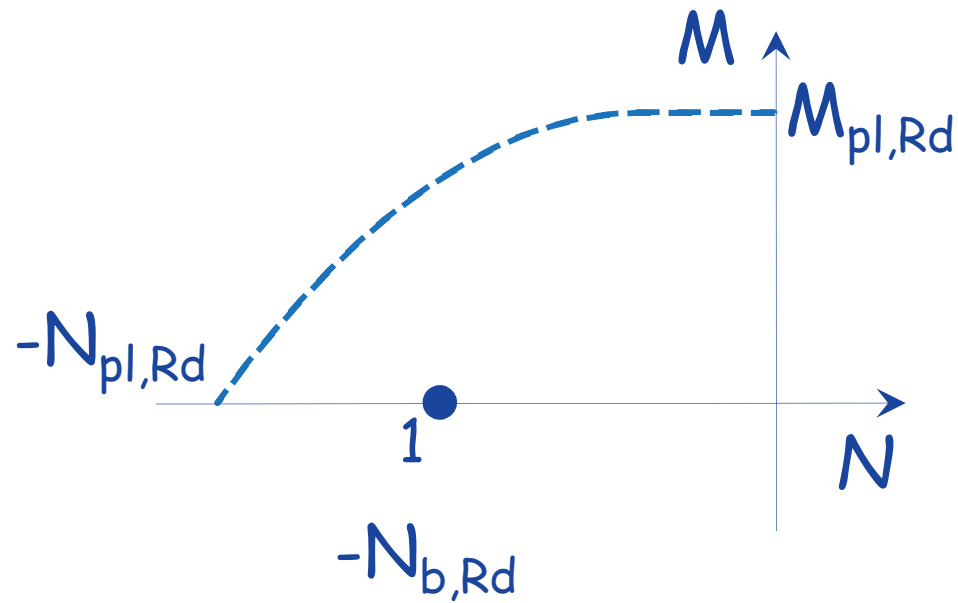
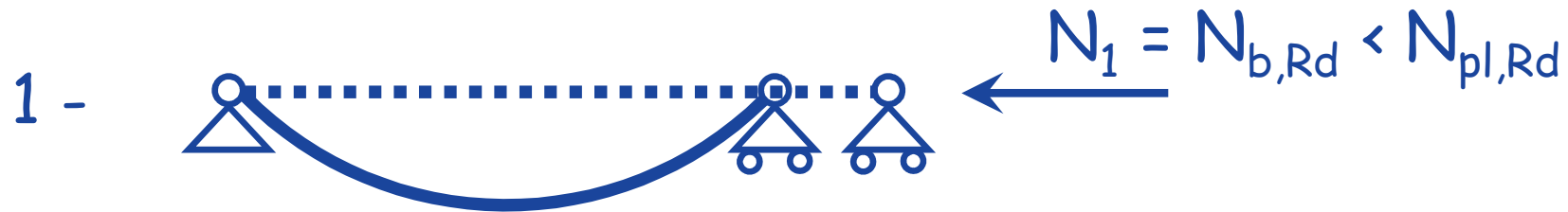
No: va bene per la singola sezione, ma per l'asta bisogna tener conto dell'instabilità



Costruzione del dominio di resistenza

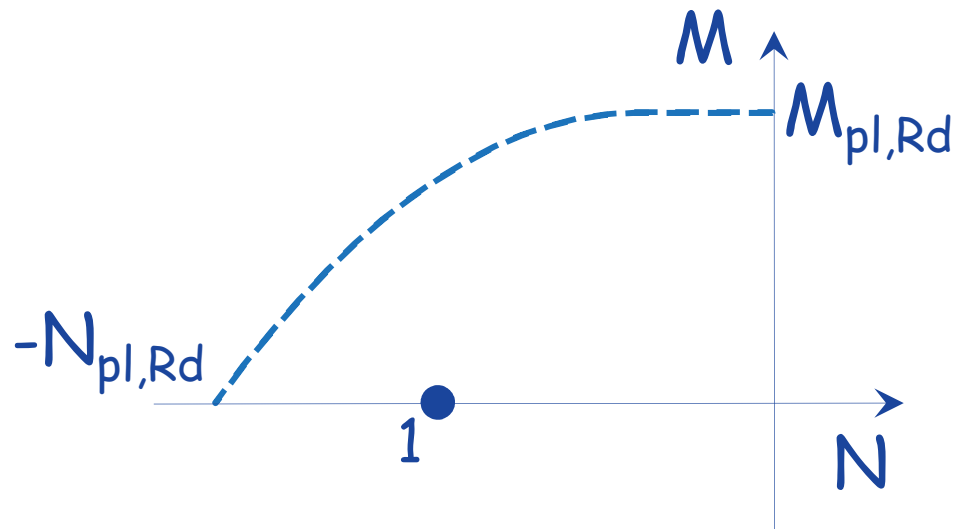


Costruzione del dominio di resistenza



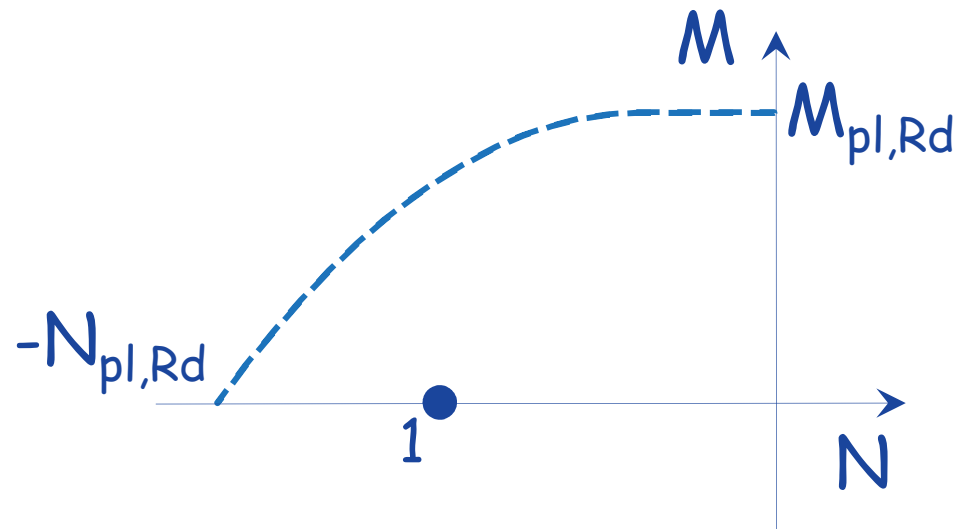
$$1 - N_1 = N_{b,Rd}, M_1 = 0$$

Costruzione del dominio di resistenza



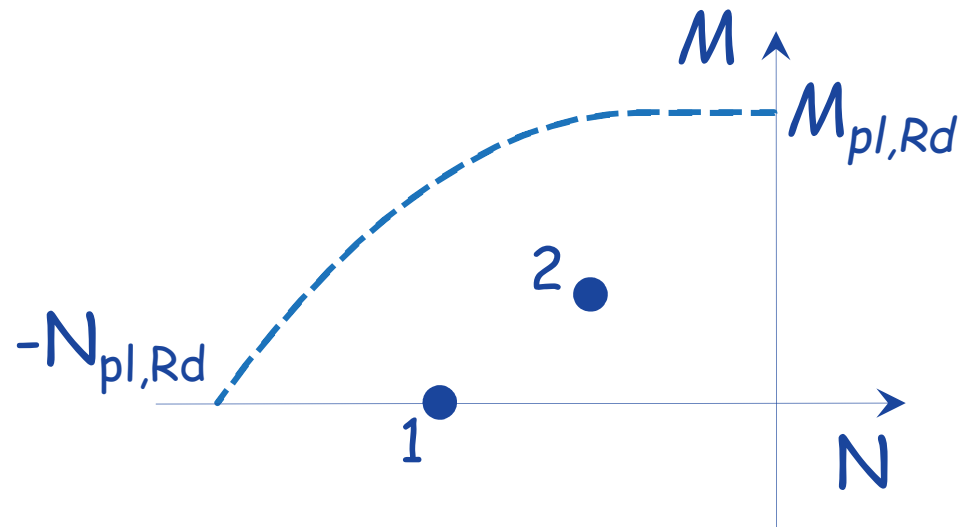
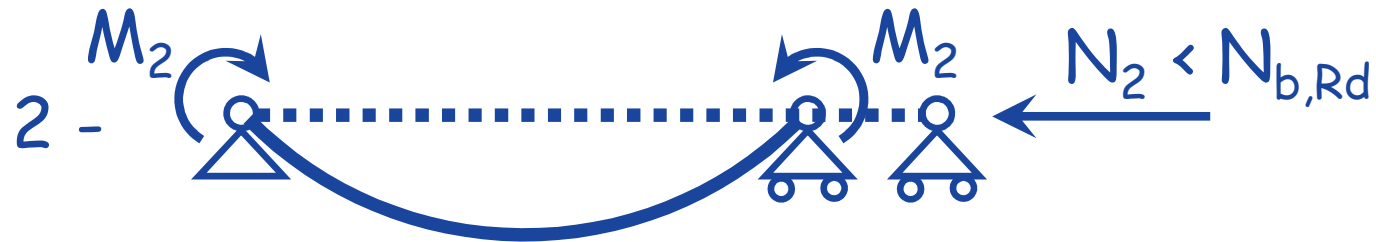
$$1 - N_1 = N_{b,Rd}, M_1 = 0$$

Costruzione del dominio di resistenza



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

Costruzione del dominio di resistenza



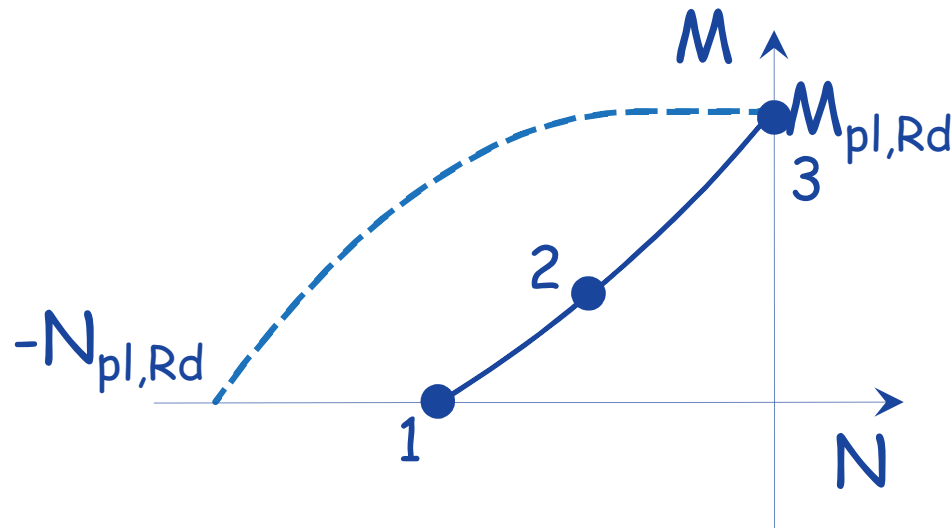
$$1 - N_1 = N_{b,Rd}, M_1 = 0$$

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

Costruzione del dominio di resistenza



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



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

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

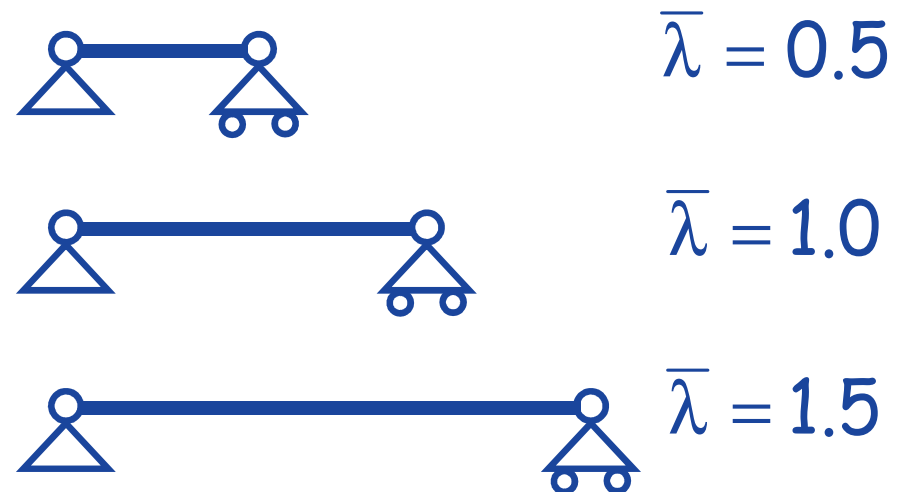
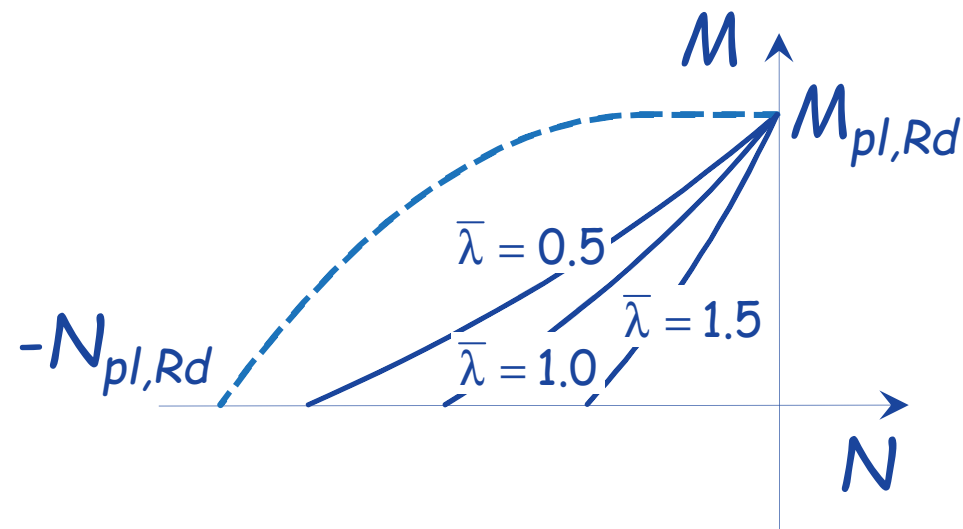
$$3 - N_3 = 0, M_3 = M_{pl,Rd}$$

Collegando i punti si ottiene il dominio

Influenza della snellezza

Il dominio dipende dalla snellezza dell'asta:

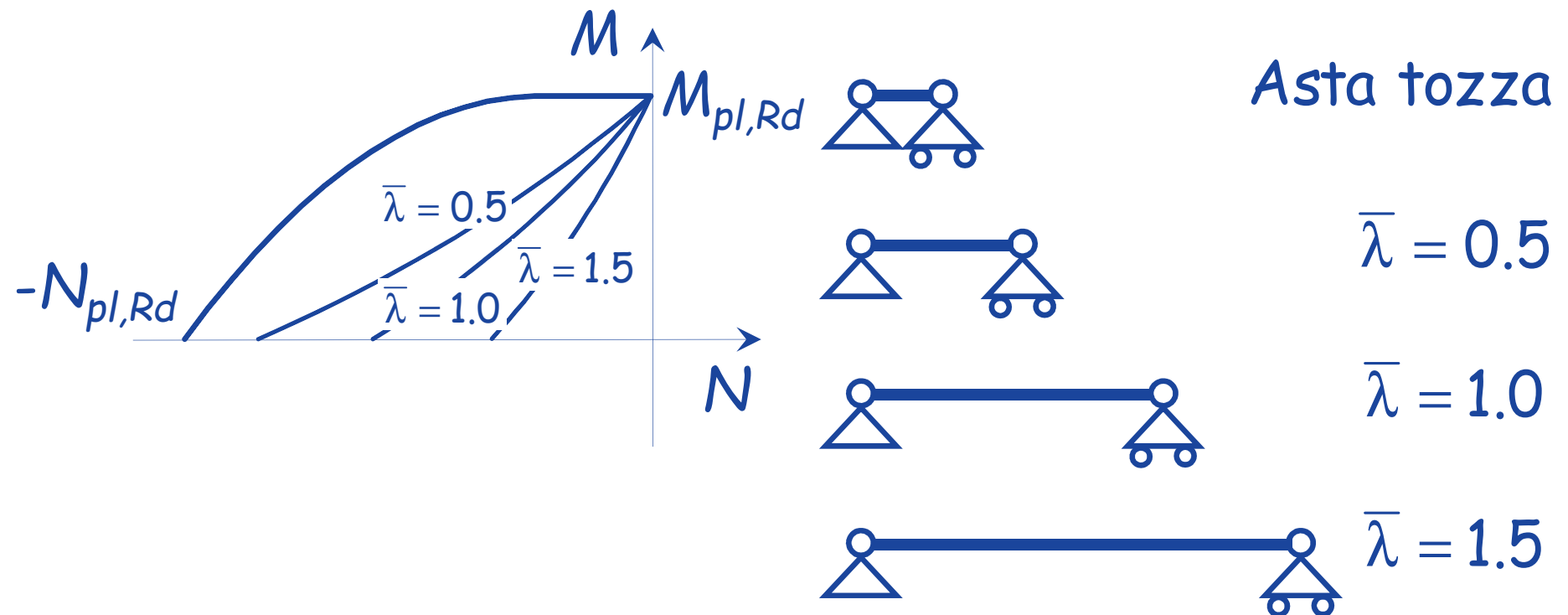
- L'ampiezza del dominio si riduce all'aumentare della snellezza;



Influenza della snellezza

Il dominio dipende dalla snellezza dell'asta:

- Nel caso di aste tozze coincide con quello per presso-flessione della sezione



Dominio di resistenza pressoflessione (con instabilità)

La normativa italiana propone due formule:

- Metodo A

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

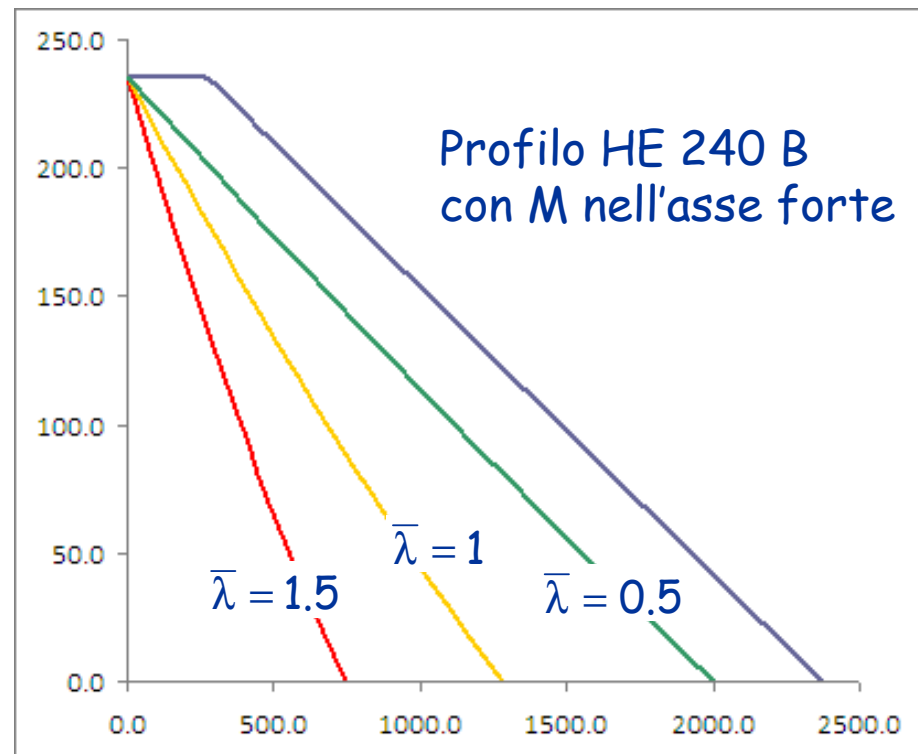
o, in sostanza:

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

N_{cr} è il carico critico Euleriano

Dominio di resistenza metodo A

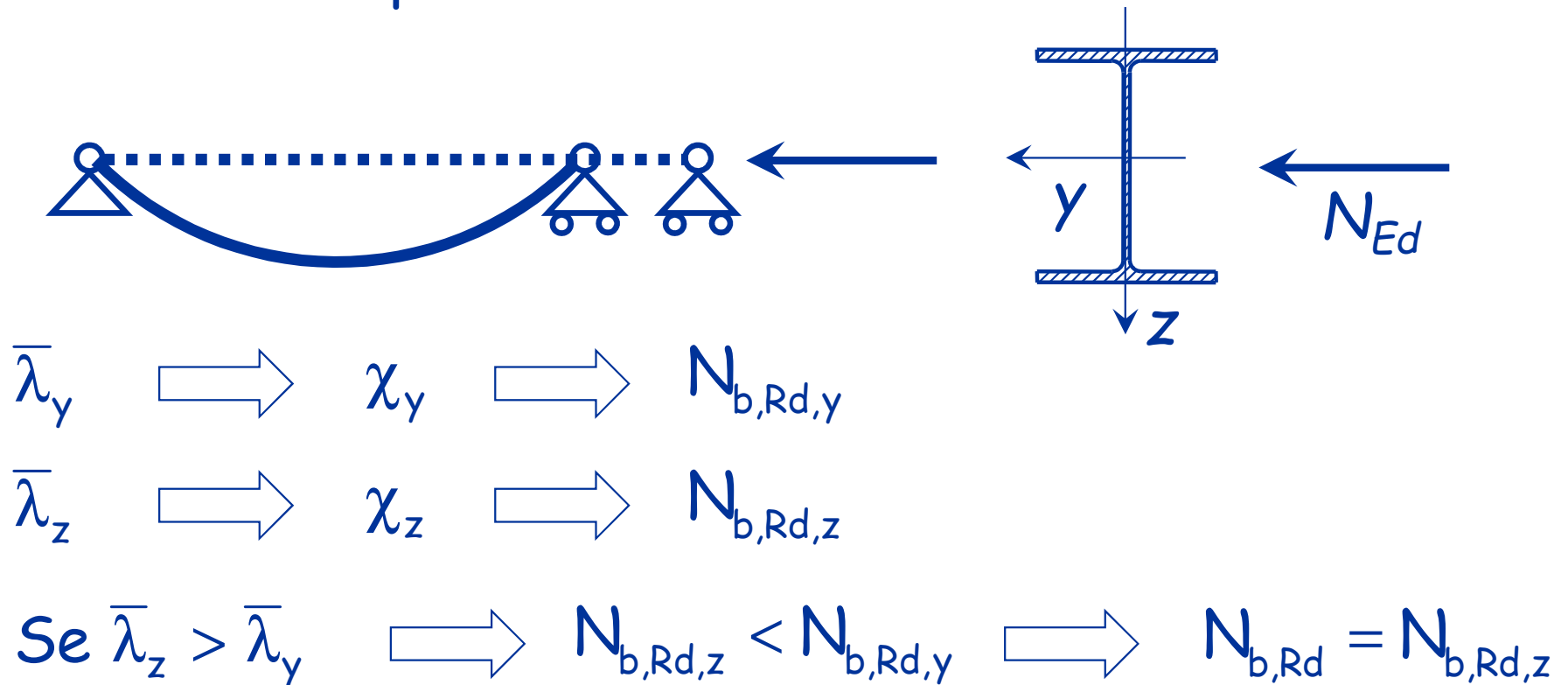
- Si ottengono le curve mostrate sotto



Vedi foglio Excel Flessione composta

Considerazioni su domini di resistenza

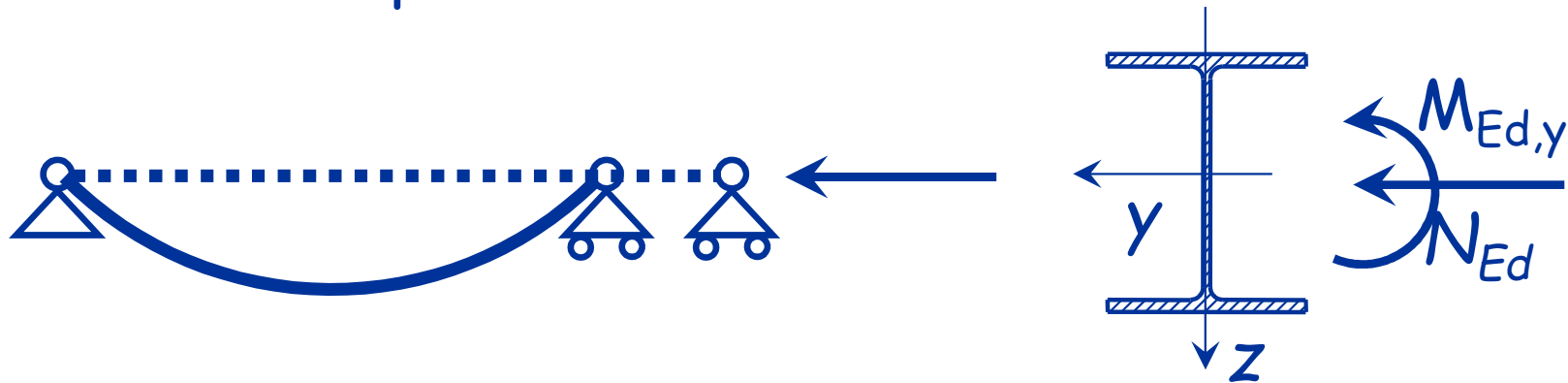
Un'asta in acciaio soggetta a compressione si instabilizza nel piano con minor resistenza



L'instabilità si verifica nel piano ortogonale all'asse z

Considerazioni su domini di resistenza

Un'asta in acciaio soggetta a compressione si instabilizza nel piano con minor resistenza



$$\bar{\lambda}_z > \bar{\lambda}_y \quad \Rightarrow \quad N_{b,Rd,z} < N_{b,Rd,y} \quad \Rightarrow \quad N_{b,Rd} = N_{b,Rd,z}$$

L'instabilità si verifica nel piano ortogonale all'asse z

La presenza di un momento M_{Edy} favorisce l'instabilità dell'asta quanto un momento M_{Edz} ? Probabilmente NO

Dominio di resistenza pressoflessione (con instabilità)

La normativa italiana propone quindi una seconda formula:

- Metodo B

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

o, in sostanza:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

Dominio di resistenza pressoflessione (con instabilità)

Per profilo a doppia T

- Metodo A

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

- Metodo B

questo è più grande

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

uguali

Dominio di resistenza pressoflessione (con instabilità)

La normativa italiana propone due formule:

- Metodo B

si noti che in questo caso le verifiche sono due e il denominatore di N è diverso a seconda del piano in cui agisce M

è meno gravoso quando c'è solo momento rispetto all'asse forte, mentre l'asta sbanda intorno all'asse debole

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

Dominio di resistenza pressoflessione (con instabilità)

Per profilo a doppia T

- Metodo A

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

- Metodo B

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{1}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} \right)}$$

$$k_{yy}$$

si corrispondono

Dominio di resistenza pressoflessione (con instabilità)

La normativa italiana propone due formule:

- Metodo B

I coefficienti k si calcolano con apposite formule

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	$\alpha_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right) \leq \alpha_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$	$\alpha_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right) \leq \alpha_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$
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	$\alpha_{mz} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right) \leq \alpha_{mz} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$	$\alpha_{mz} \cdot \left(1 + (2\bar{\lambda}_y - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right) \leq \alpha_{mz} \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$
	Sezioni cave		$\alpha_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right) \leq \alpha_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$
Per pressoflessione retta, $M_{y,Ed} \neq 0$, , $k_{zy} = 0$ ($M_{z,Ed}=0$).			

Dominio di resistenza pressoflessione (con instabilità)

La normativa italiana propone due formule:

- Metodo B

In particolare, per momento solo nell'asse forte
($M_{y,Ed} \neq 0$, $M_{z,Ed} = 0$) si ha

$$k_{yy} = 1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}} \leq 1 + 0.8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}}$$

$$k_{yz} = 0$$

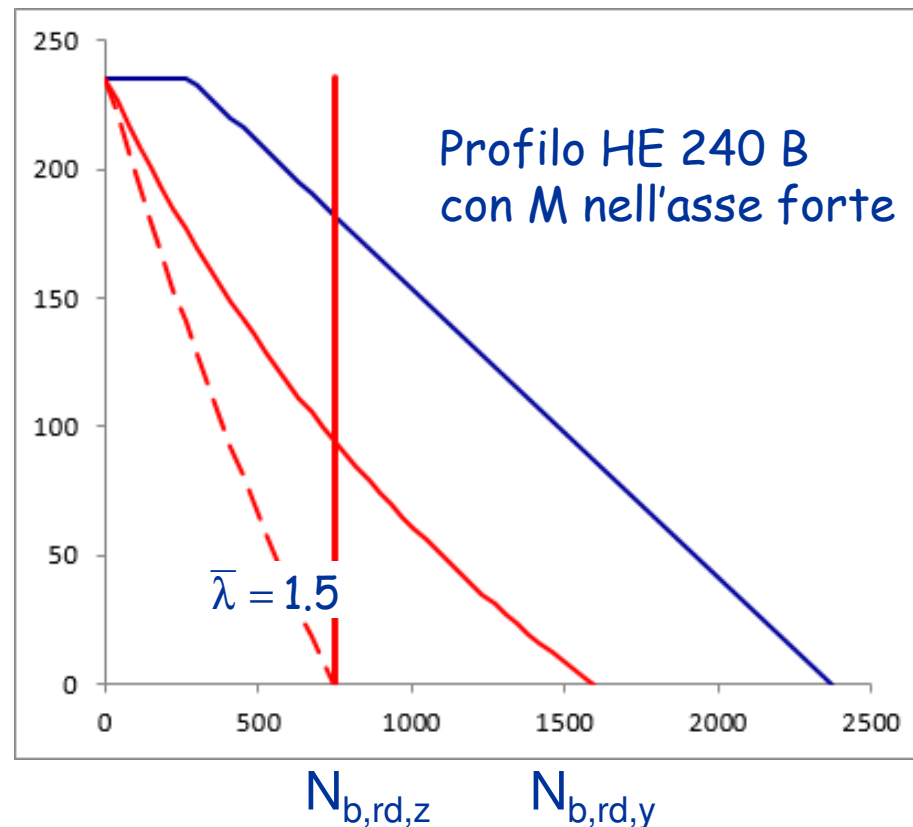
Metodo A

$$\frac{1}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right)}$$

e la seconda equazione pone solo il limite $N \leq N_{b,Rd,z}$

Dominio di resistenza metodo B

- Le due condizioni corrispondono alla retta e alla curva riportate in figura
(con tratteggio è indicata la curva del metodo A)

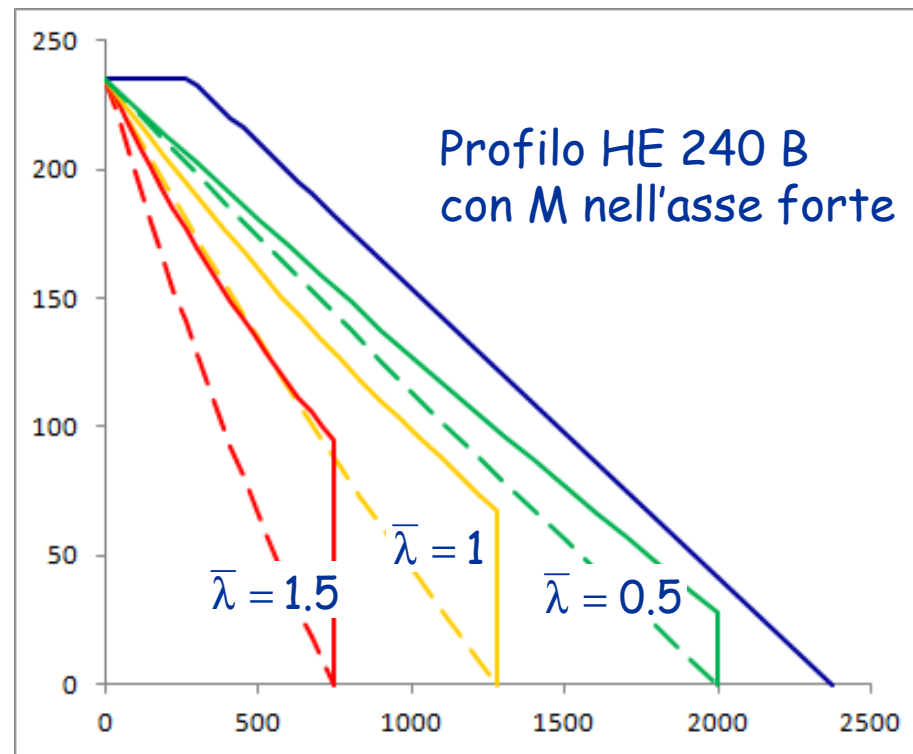


In questo
caso il
metodo A è
molto
cautelativo

Vedi foglio Excel Flessione composta

Dominio di resistenza metodo B

- Si ottengono le curve mostrate sotto
(con tratteggio sono indicate le curve precedenti)



In questo
caso il
metodo A è
molto
cautelativo

Dominio di resistenza pressoflessione (con instabilità)

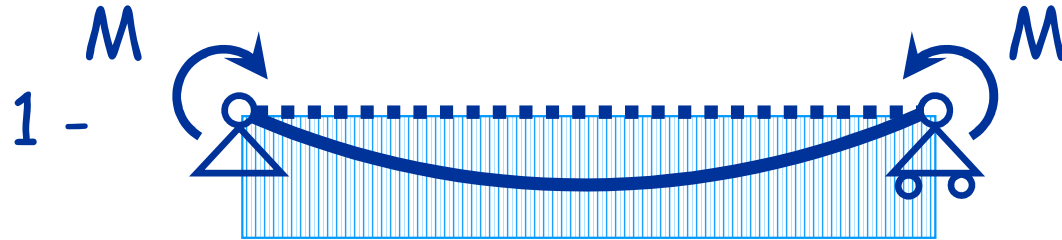
- Le curve mostrate in precedenza si riferiscono al caso di momento flettente costante lungo l'asta
- Se il momento flettente varia, si considera un momento equivalente

$$M_{eq,Ed} = \alpha_m M_{Ed,max}$$

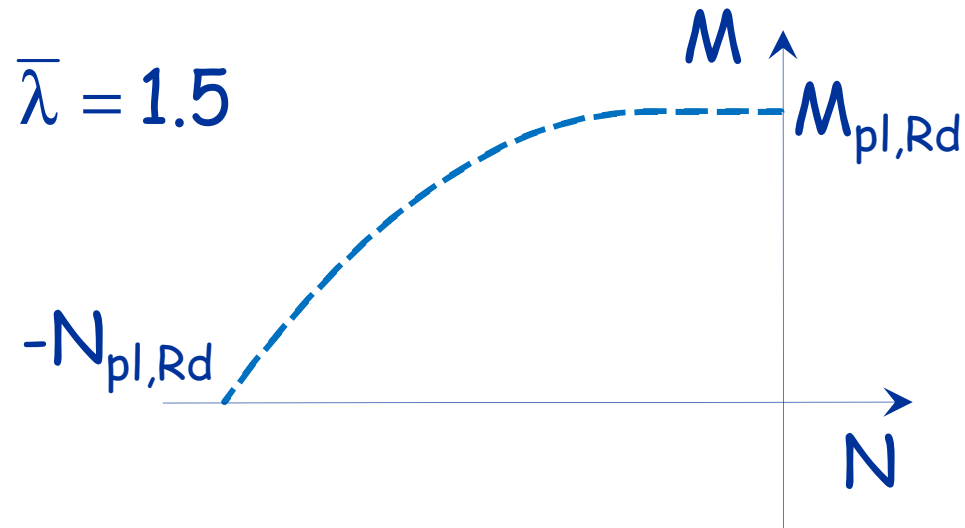
con $\alpha_m \leq 1$ che dipende dalla distribuzione di M

Dominio di resistenza

influenza del diagramma del momento



Distribuzione di
momenti tipo 1
(costante)

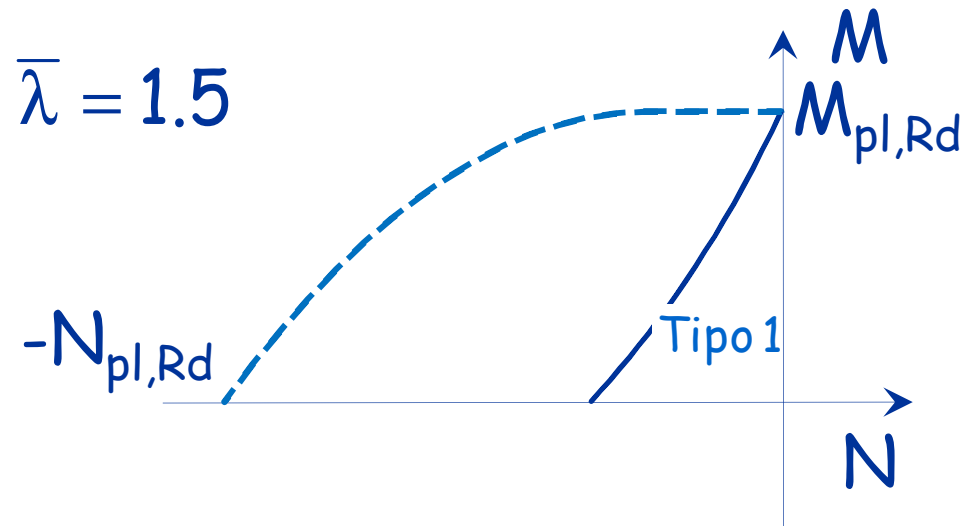


Dominio di resistenza

influenza del diagramma del momento

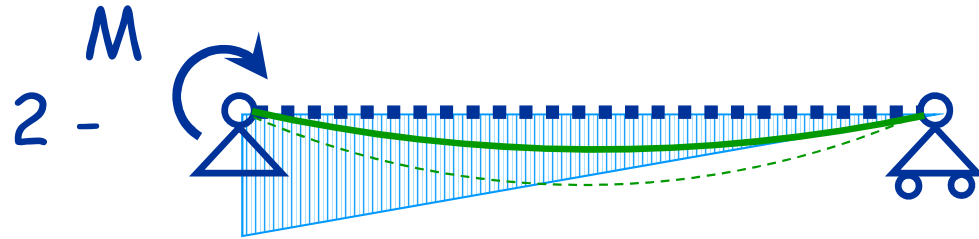


Distribuzione di
momenti tipo 1
(costante)

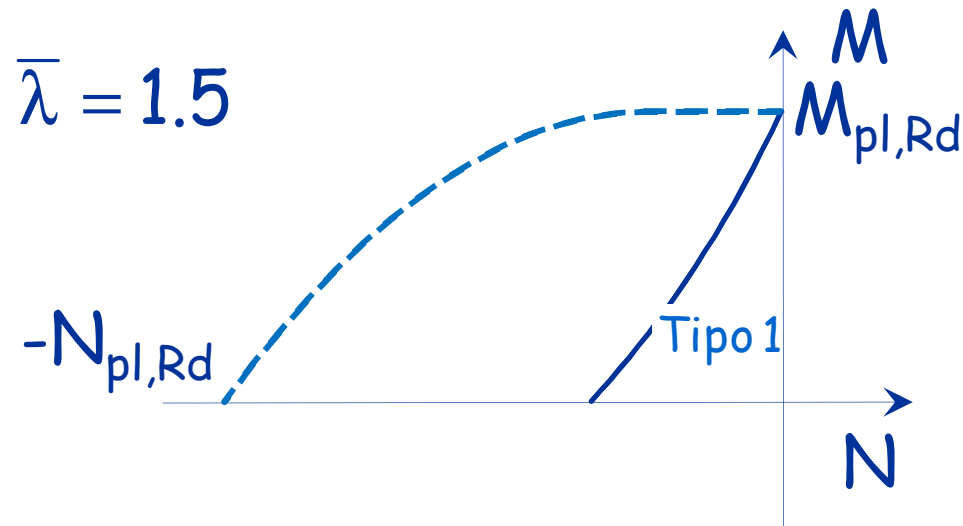


Dominio di resistenza

influenza del diagramma del momento

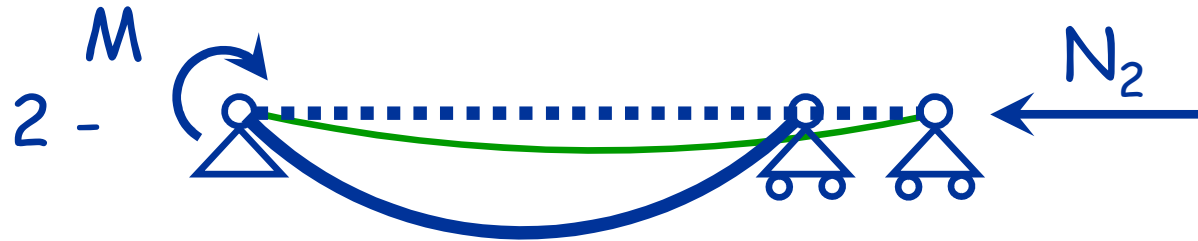


Distribuzione di
momenti tipo 2
(lineare)

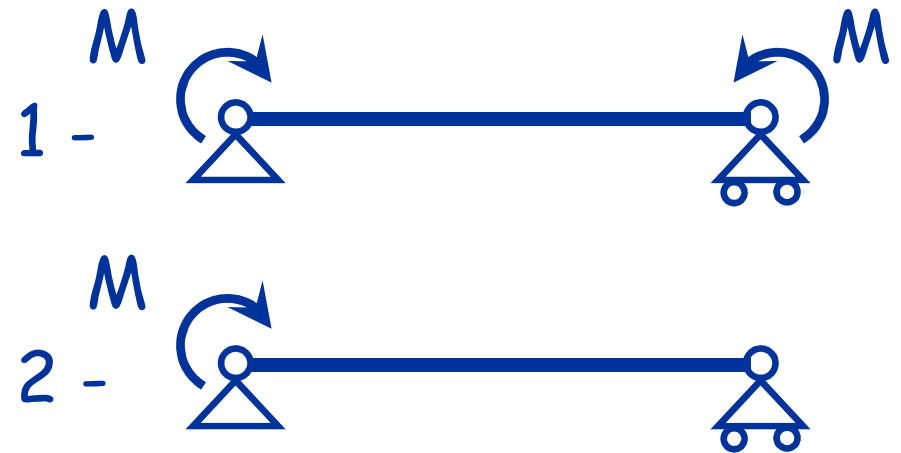
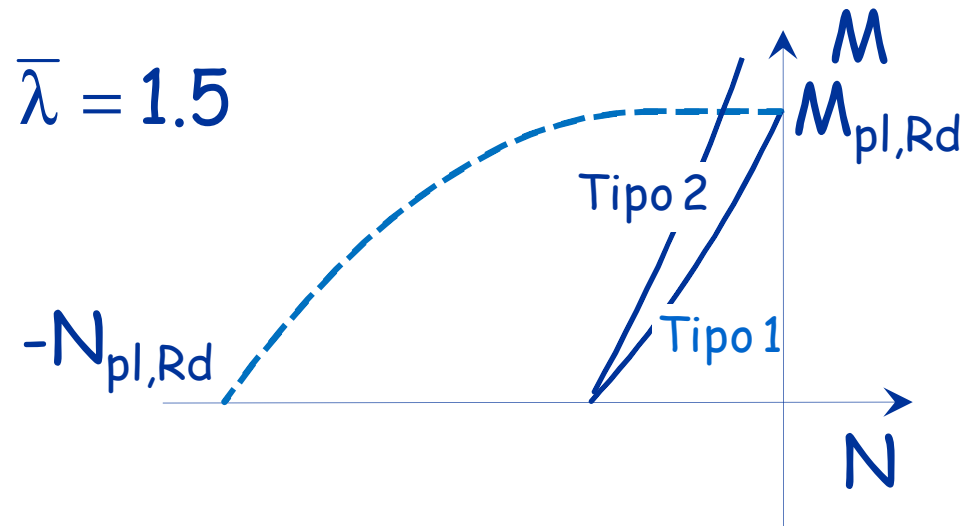


Dominio di resistenza

influenza del diagramma del momento

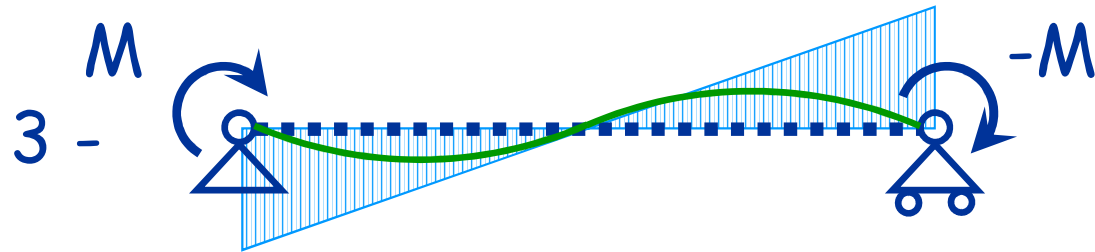


Distribuzione di
momenti tipo 2
(lineare)

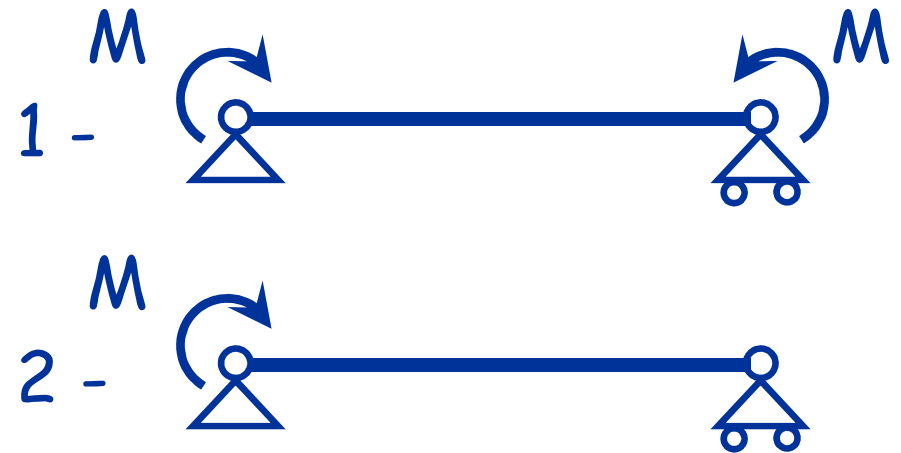
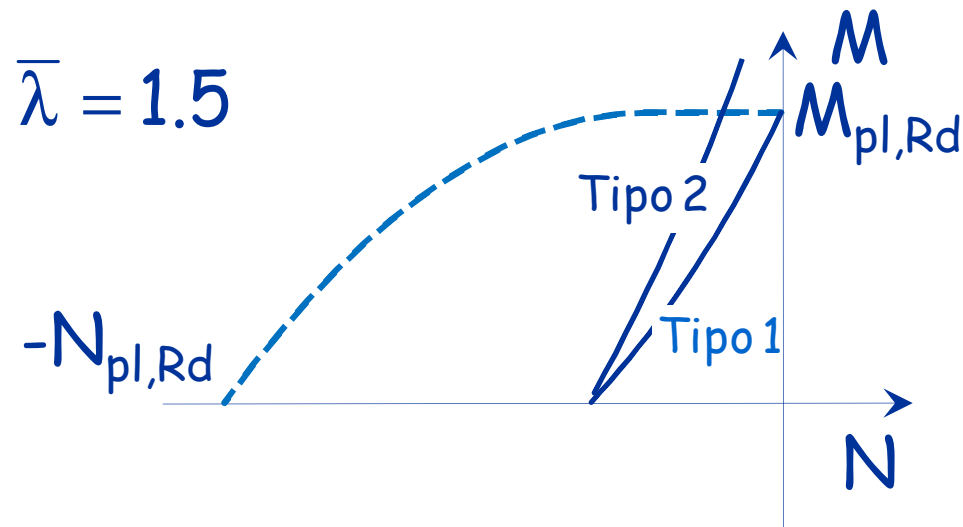


Dominio di resistenza

influenza del diagramma del momento

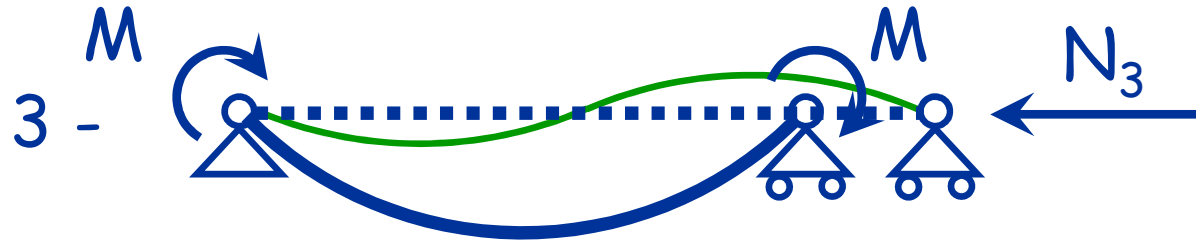


Distribuzione di
momenti tipo 3
(a farfalla)

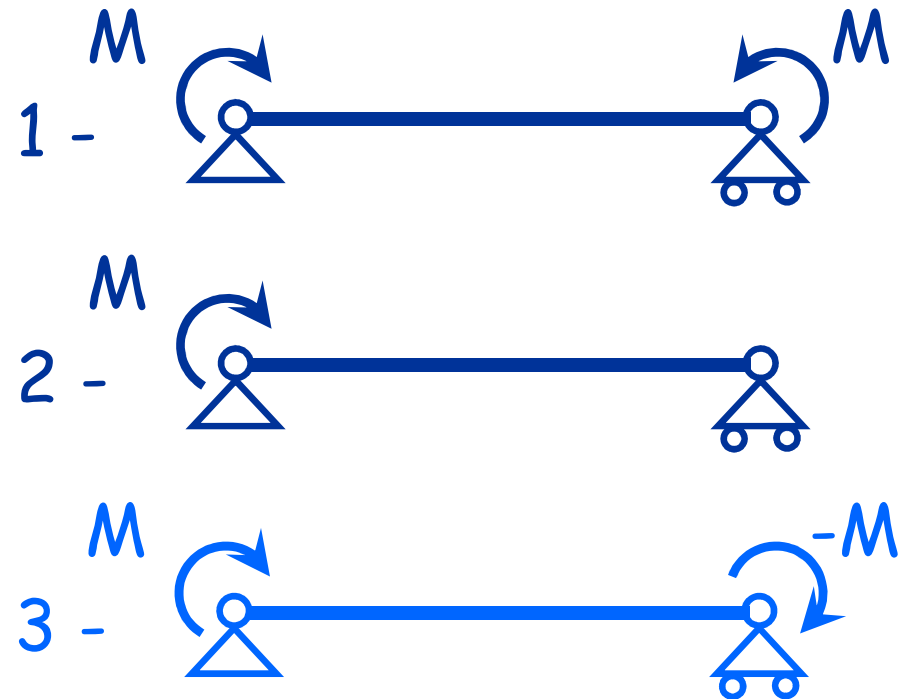
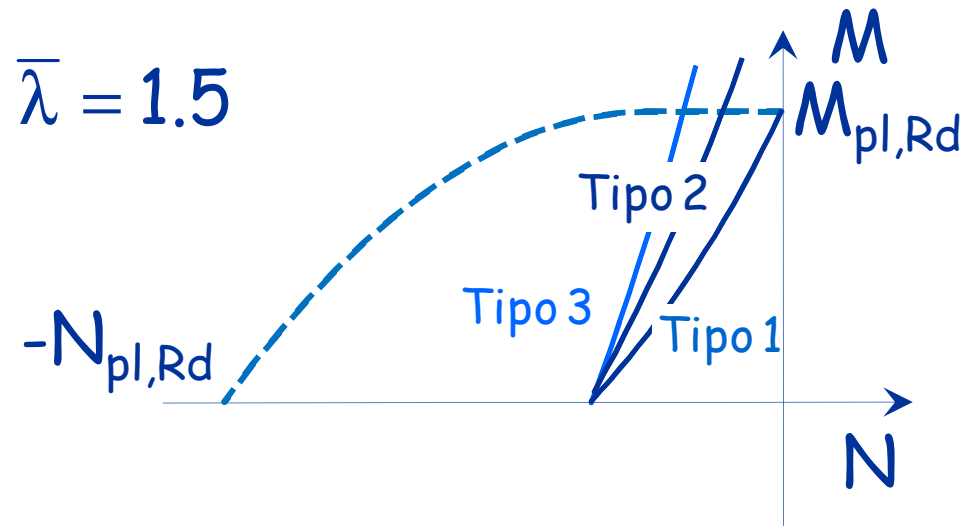


Dominio di resistenza

influenza del diagramma del momento



Distribuzione di
momenti tipo 3
(a farfalla)

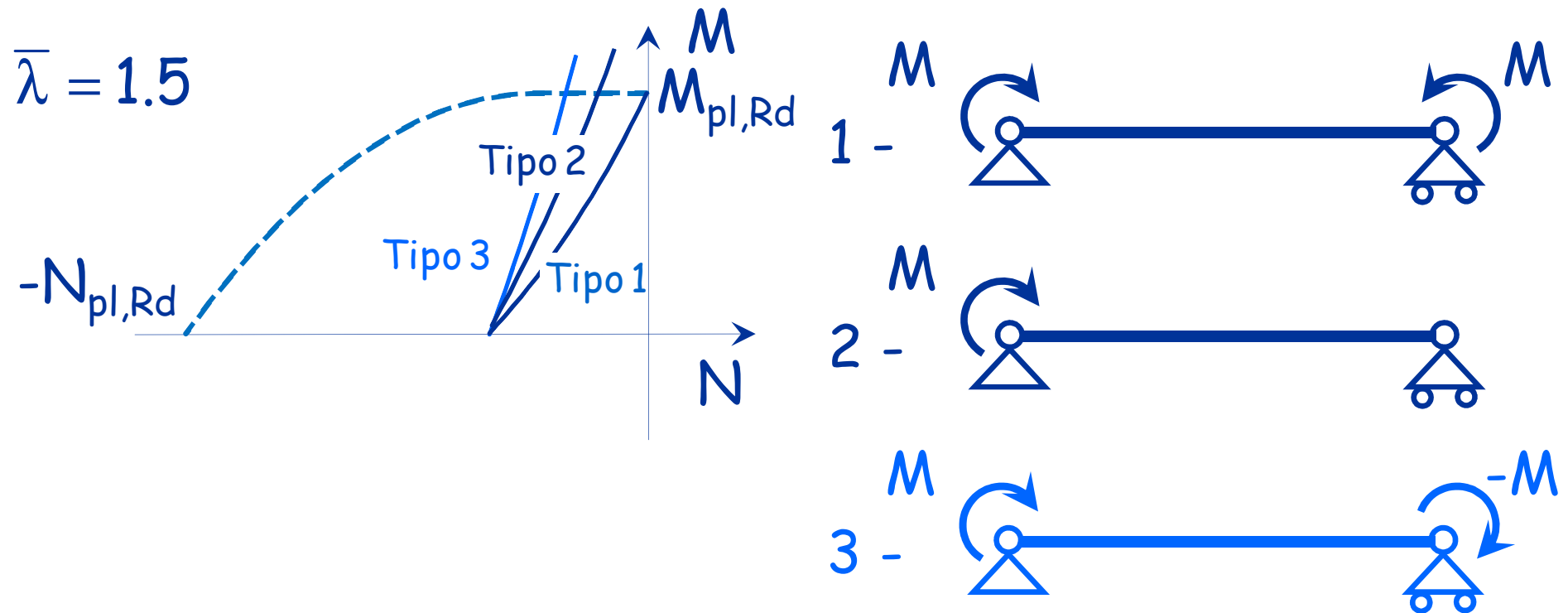


Dominio di resistenza

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.



Dominio di resistenza

influenza del diagramma di M (modello A)

- 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


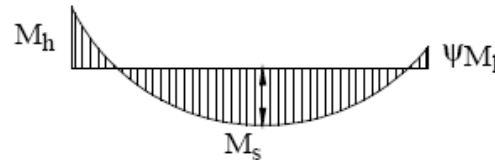
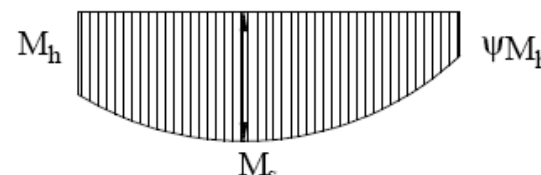
$$M_{eq,Ed} = 0.6 M_a - 0.4 M_b$$

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 $M_{eq,Ed} = M_a$)

Dominio di resistenza influenza del diagramma di M (modello B)


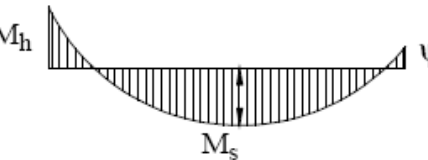
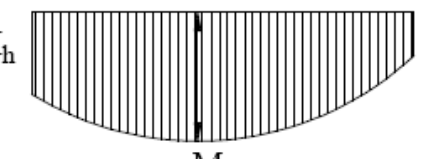
- Se si usa il metodo B sono fornite espressioni più complesse

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

Dominio di resistenza

influenza del diagramma di M (modello B)

- Se si usa il metodo B sono fornite espressioni più complesse

Diagramma del momento	Intervallo	Coefficienti α_{my} , α_{mz} , α_{mLT}	
		Carico uniforme	Carico concentrato
 $M_s = M_h / 4$			$0,5 + 0,4\psi \geq 0,4$
 $\alpha_s = M_s / M_h$			$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
			$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
			$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
 $\alpha_h = M_h / M_s$			$0,90 + 0,10\alpha_h$
			$0,90 + 0,10\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$-1 \leq \psi \leq 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h (1 + 2\psi)$
			$0,90 + 0,10\alpha_h (1 + 2\psi)$

Nota: M_s è il momento in mezzzeria, non il massimo momento in campata

(queste figure possono trarre in inganno, l'EC3 è più chiaro)

Nell'Eurocodice 3

Coefficienti di interazione	Tipi di sezioni	Ipotesi di progetto	
		Proprietà elastiche delle sezioni trasversali classe 3, classe 4	Proprietà plastiche delle sezioni trasversali classe 1, classe 2
k_{yy}	Sezioni a I Sezioni tubolari rettangolari	$C_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
k_{yz}	Sezioni a I Sezioni tubolari rettangolari	k_{zz}	$0,6 k_{zz}$
k_{zy}	Sezioni a I Sezioni tubolari rettangolari	$0,8 k_{yy}$	$0,6 k_{yy}$
k_{zz}	Sezioni a I	$C_{mz} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left(1 + (2 \bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	Sezioni tubolari rettangolari		$C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$

Per sezioni a I e H e per sezioni tubolari rettangolari soggette a compressione assiale e momento flettente $M_{y,Ed}$ può assumersi $k_{zy} = 0$.

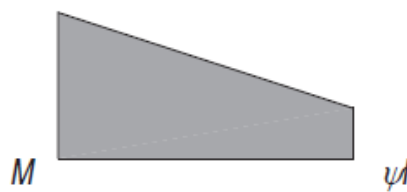
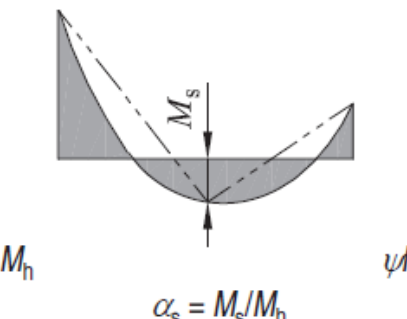
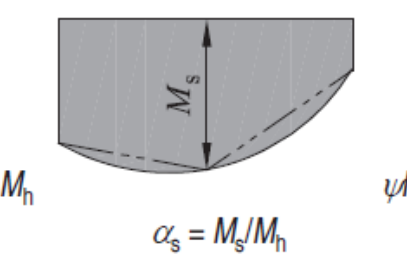
Nell'Eurocodice 3

Coefficienti di interazione	Tipi di sezioni	Ipotesi di progetto	
		Proprietà elastiche delle sezioni trasversali classe 3, classe 4	Proprietà plastiche delle sezioni trasversali classe 1, classe 2
k_{yy}	Sezioni a I Sezioni tubolari rettangolari	$C_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
k_{yz}	Sezioni a I Sezioni tubolari rettangolari		$0,6 k_{zz}$
k_{zy}	Sezioni a I Sezioni tubolari rettangolari		$0,6 k_{yy}$
k_{zz}	Sezioni a I	$C_{mz} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left(1 + (2 \bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	Sezioni tubolari rettangolari		$C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$

Nota: nella Circolare è indicato con α_m quello che qui (sull'EC3) è indicato con C_m

Per sezioni a I e H e per sezioni tubolari rettangolari soggette a compressione assiale e momento flettente $M_{y,Ed}$ può assumersi $k_{zy} = 0$.

Nell'Eurocodice 3

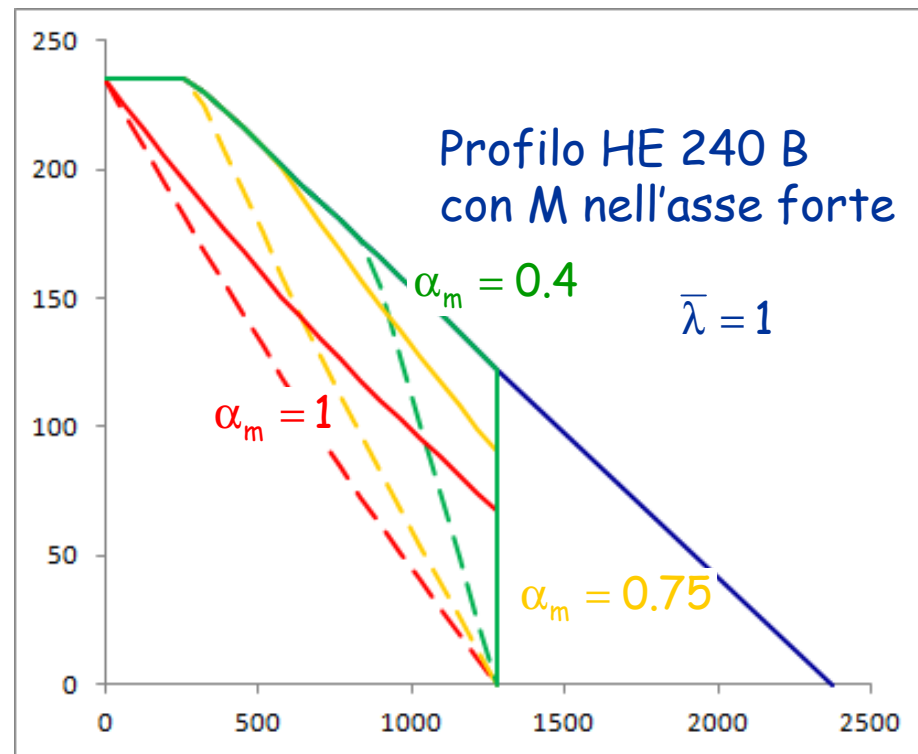
Diagramma del momento	Intervallo		C_{my} e C_{mz} e C_{mLT}	
			carico costante	carico variabile
	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4 \psi \geq 0,4$	
	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8 \alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8 \alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8 \alpha_s \geq 0,4$	$-0,8 \alpha_s \geq 0,4$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,1(1 - \psi) - 0,8 \alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8 \alpha_s \geq 0,4$
		$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05 \alpha_h$
$-1 \leq \alpha_h < 0$		$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05 \alpha_h$	$0,90 + 0,10 \alpha_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05 \alpha_h (1 + 2 \psi)$	$0,90 + 0,10 \alpha_h (1 + 2 \psi)$
Per membrature con modi instabili laterali si raccomanda che il coefficiente di momento costante equivalente sia assunto rispettivamente pari a: $C_{my} = 0,9$ o $C_{mz} = 0,9$.				
Si raccomanda che C_{my} , C_{mz} e C_{mLT} siano ottenuti secondo il diagramma del momento flettente compreso tra i punti controventati pertinenti secondo quanto riportato di seguito:				
coefficiente di momento	asse di flessione	punti controventati in direzione		
C_{my}	y-y	z-z		
C_{mz}	z-z	y-y		
C_{mLT}	y-y	y-y		

Eurocodice 3, appendice B

Eurocodice 3, appendice B

Dominio di resistenza influenza del diagramma del momento

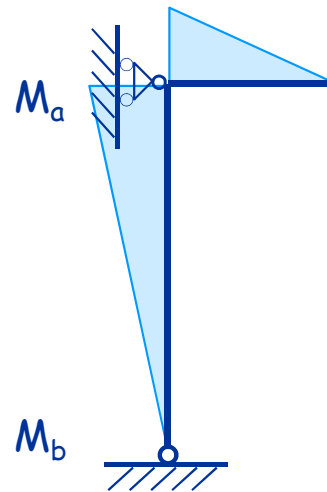
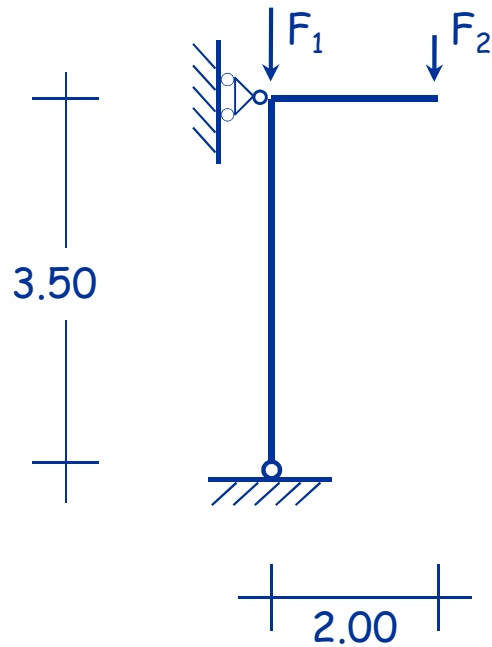
- Si ottengono le curve mostrate sotto
(con tratteggio sono indicate le curve del metodo A)



Anche in
questo caso
il metodo A
è molto
cautelativo

Vedi foglio Excel Flessione composta

Esempio



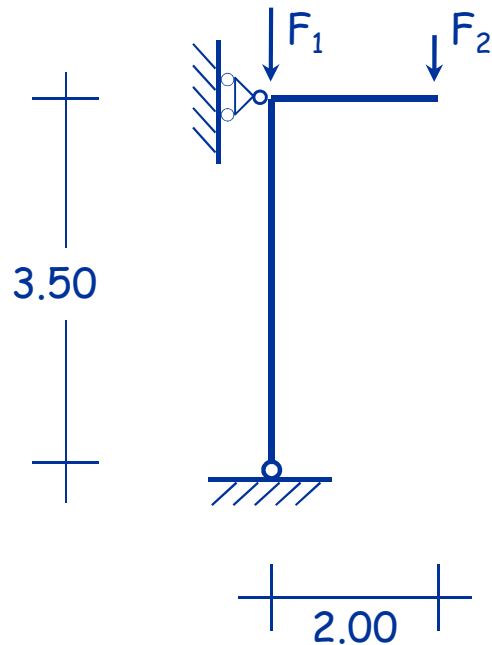
$$F_1 = 800 \text{ kN}$$
$$F_2 = 60 \text{ kN}$$

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

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

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

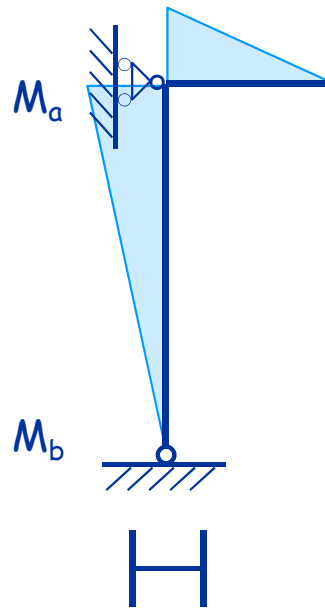
Esempio



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



instabilità intorno a y



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

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

$$N_{bRd} = 2826.8 \text{ kN}$$

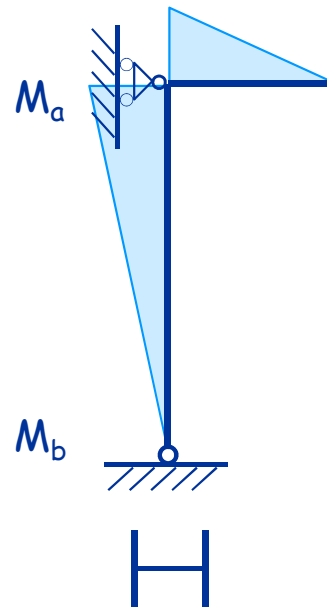
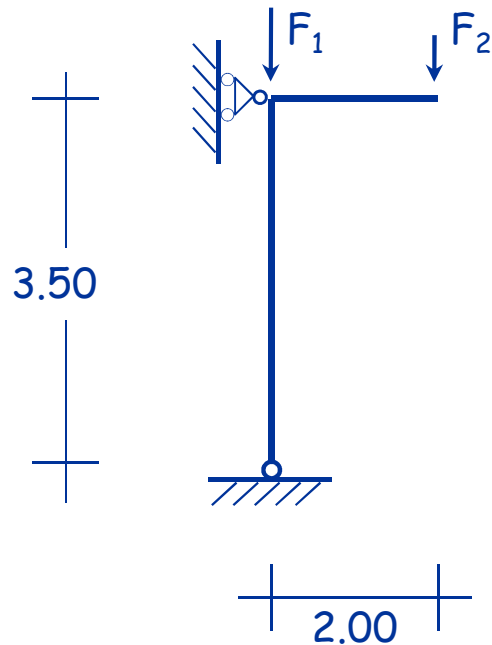


instabilità intorno a z

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

$$N_{cr,y} = 42579 \text{ kN}$$

Esempio (metodo A)



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

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

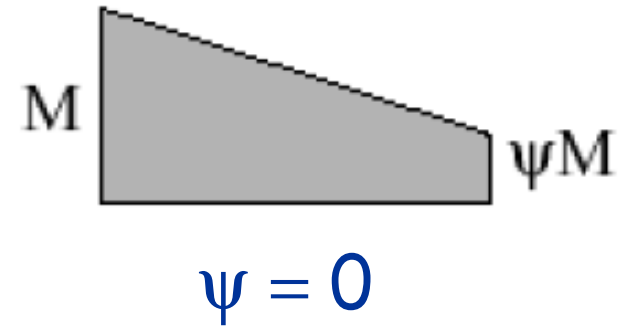
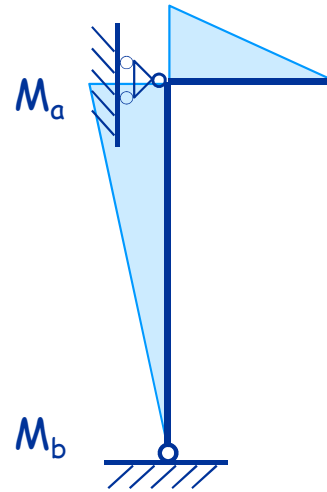
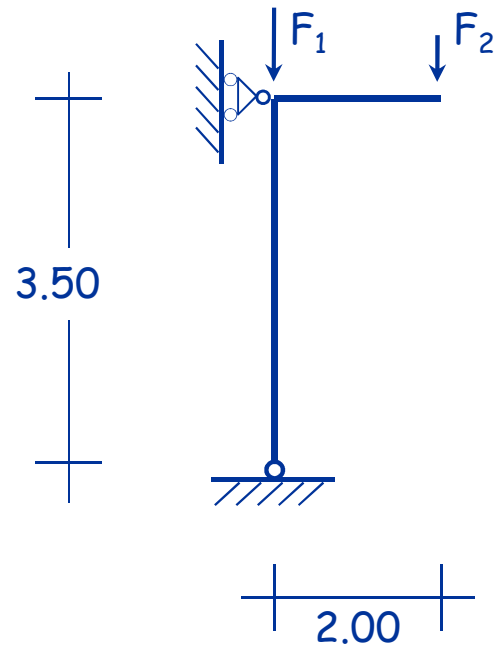
$$N_{bRd} = 2826.8 \text{ kN}$$

$$N_{bRd,y} = 3231.2 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{bRd}} + \frac{M_{y,eq,Ed}}{M_{y,Rd} \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} \right)} = \frac{860}{2826.8} + \frac{72}{418.1 \left(1 - \frac{860}{42579} \right)} =$$

$$= 0.304 + 0.176 = 0.480 \leq 1$$

Esempio (metodo B)



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

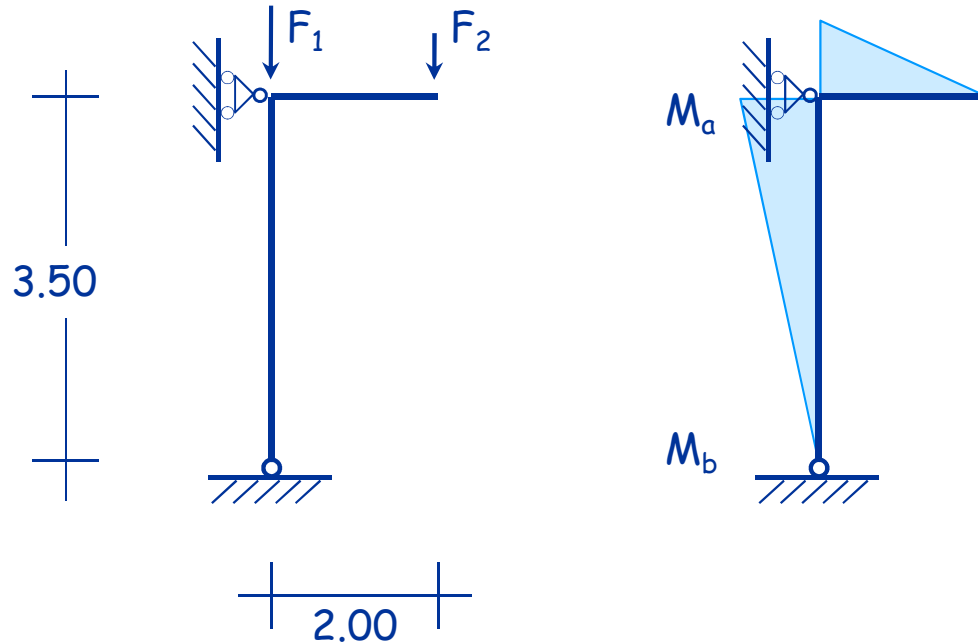
$$M_a = 120 \text{ kNm}$$
$$M_b = 0 \text{ kNm}$$

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

$$C_{my} = 0.6 + 0.4 \psi = 0.6$$

Esempio (metodo B)

prima condizione



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

$$\chi_y = 0.9689$$

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

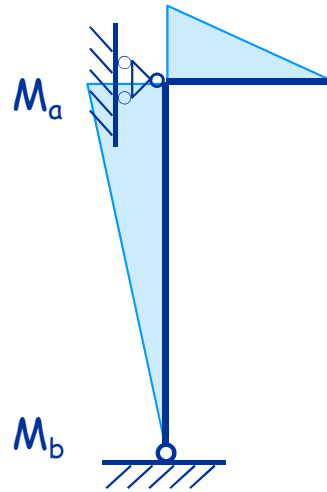
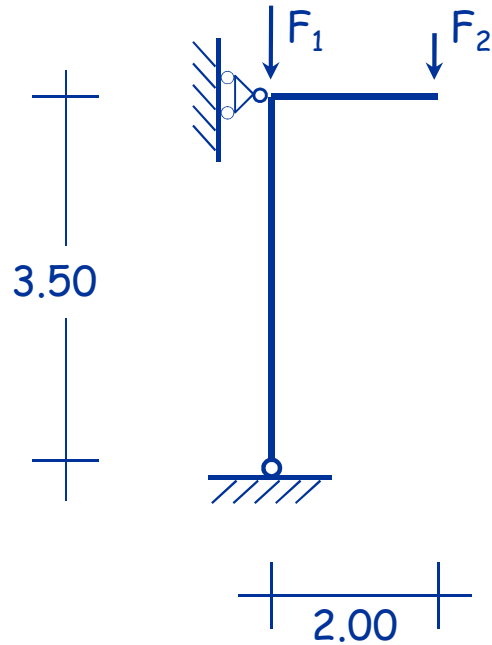
$$\chi_z = 0.8477$$

$$k_{yy} = C_{my} \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \frac{N_{Ed} \gamma_{M1}}{\chi_y A f_y} \right] = 0.6 \left[1 + (0.287 - 0.2) \frac{860}{3231.2} \right] = 0.614$$

$N_{bRd,y}$

Esempio (metodo B)

prima condizione



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

$$\chi_y = 0.9689$$

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

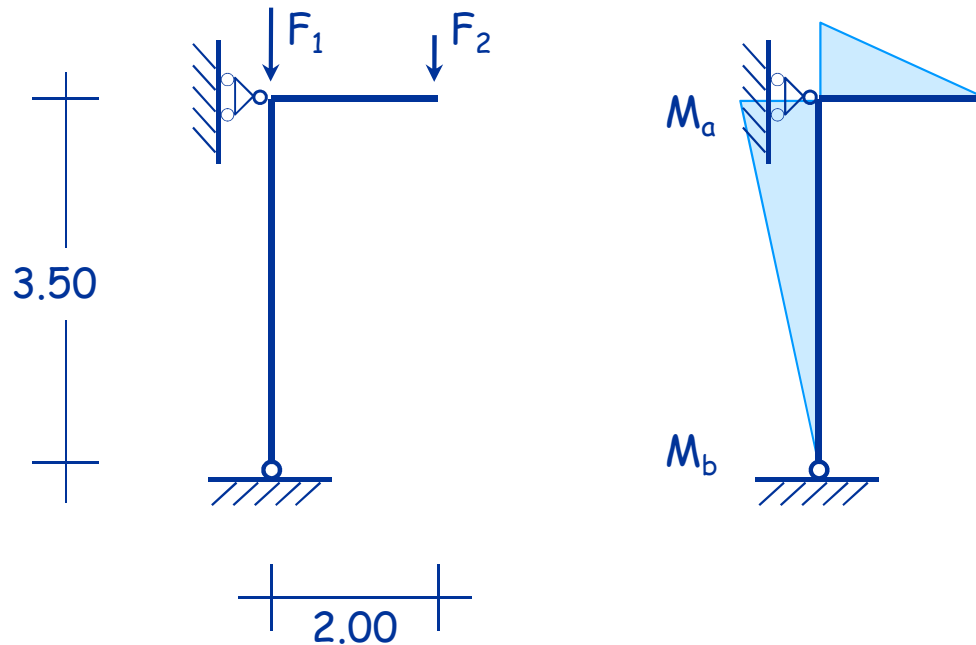
$$\chi_z = 0.8477$$

$$k_{yy} \leq C_{my} \left[1 + 0.8 \frac{N_{Ed} \gamma_{M1}}{\chi_y A f_y} \right] = 0.6 \left[1 + 0.8 \frac{860}{3231.2} \right] = 0.728$$

Ok, quindi $k_{yy} = 0.614$

Esempio (metodo B)

prima condizione



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

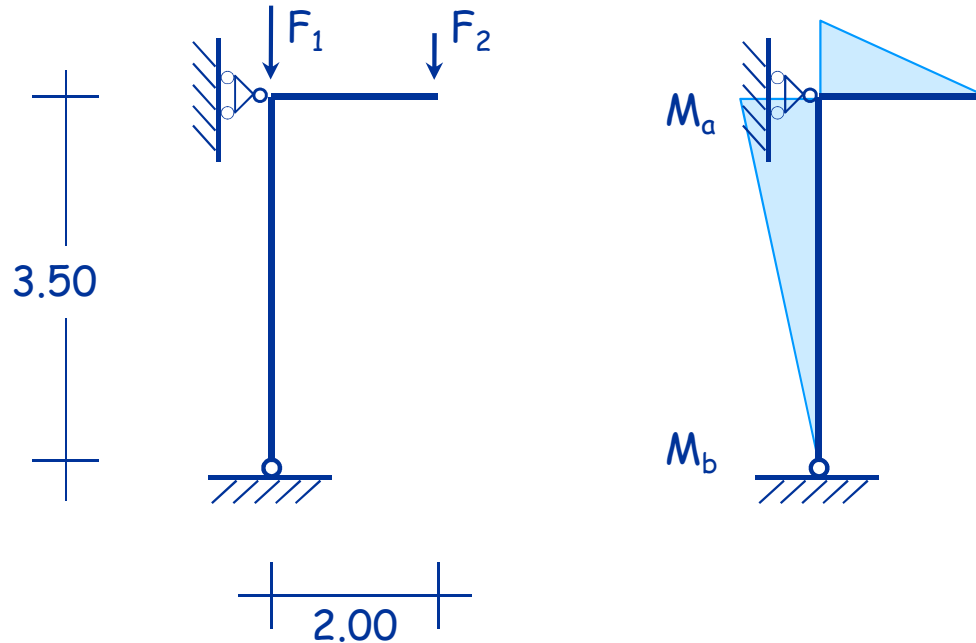
$$= 0.266 + 0.176 = 0.442 < 1$$

$N_{bRd,y}$
 $M_{pl,Rd,y}$

Con il Metodo A era 0.480,
un po' più gravoso

Esempio (metodo B)

seconda condizione



Perché $k_{zy} = 0$

$$\underbrace{\frac{N_{Ed} \gamma_{M1}}{\chi_z A f_y}}_{N_{bRd,z}} + \cancel{\frac{k_{zy} M_{y,Ed} \gamma_{M1}}{W_{pl,z} f_y}} = \frac{860}{2828.6} = 0.304$$

meno gravosa

Verifica di stabilità con sforzo normale centrato