

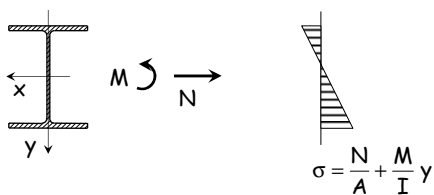
**Progetto di aste e collegamenti in acciaio**

7 - Flessione composta

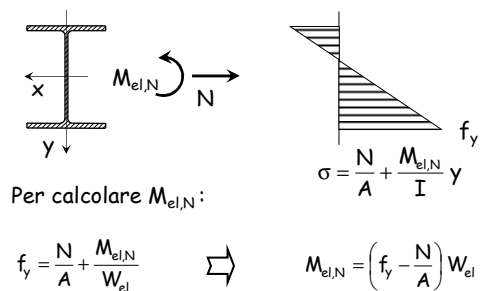
Spoletto  
2-4 febbraio 2012  
Aurelio Ghersi

**Flessione composta  
tensoflessione**

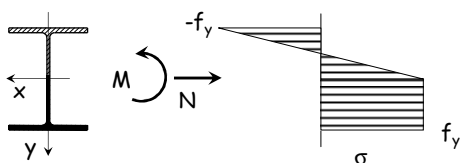
**Comportamento ultimo**



**Comportamento ultimo**

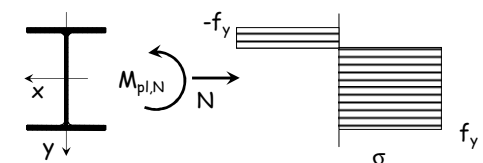


**Comportamento ultimo**



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

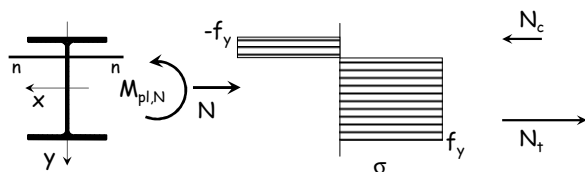
**Comportamento ultimo**



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

$$N_c + N_t = N$$

(equilibrio alla traslazione)

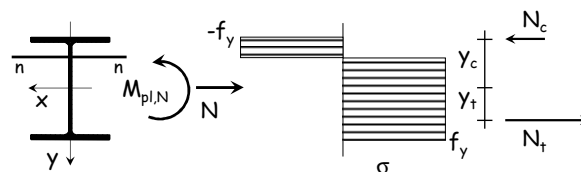


Asse neutro

$$N_c = -f_y A_c$$

$$N_t = f_y A_t$$

### Comportamento ultimo



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

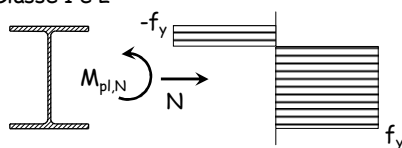
$$M_{pl,N} = N_t y_t - N_c y_c = f_y (A_t y_t - A_c y_c)$$

$$N_c = -f_y A_c$$

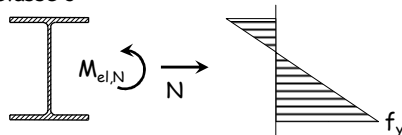
$$N_t = f_y A_t$$

### Verifica - stato limite ultimo

#### Classe 1 e 2

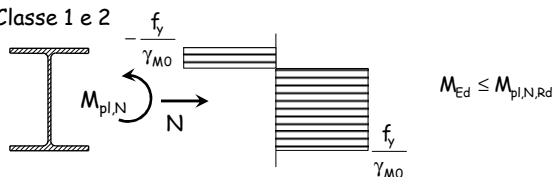


#### Classe 3



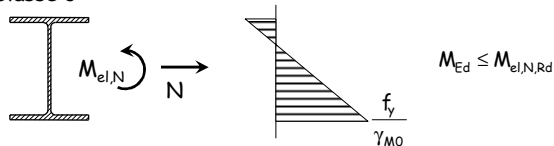
### Verifica - stato limite ultimo

#### Classe 1 e 2



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

#### Classe 3



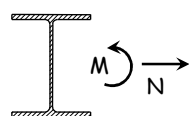
$$M_{Ed} \leq M_{el,N,Rd}$$

### Domini di resistenza - stato limite ultimo

Dominio di resistenza, = 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

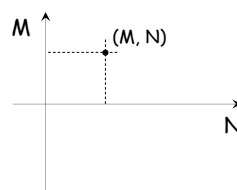
Si determina N

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



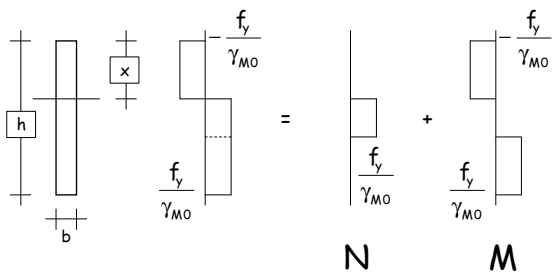
Si assegna l'asse neutro

Si determina N

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

e si riporta la coppia M - N nel diagramma

### Esempio Sezione rettangolare (ad esempio un piatto)



### Esempio Sezione rettangolare (solo ideale)

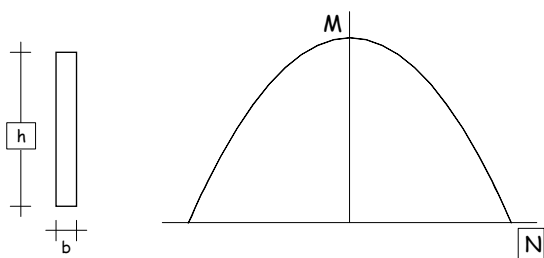
$$N = b (h - 2x) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

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

↓

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

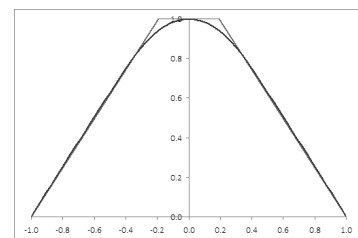
### Esempio Sezione rettangolare (solo ideale)



Il dominio ha un andamento parabolico  
Questo vale solo per sezioni rettangolari (ad esempio un piatto)

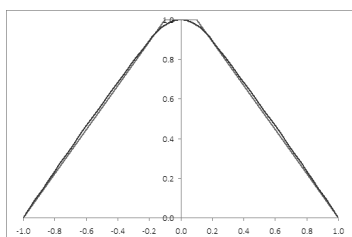
### Dominio di resistenza sezione a doppio T con M nell'asse forte

- Per sezioni IPE (ad esempio IPE 300)

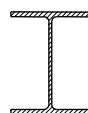


### Dominio di resistenza sezione a doppio T con M nell'asse forte

- Per sezioni HE (ad esempio HE 300 B)



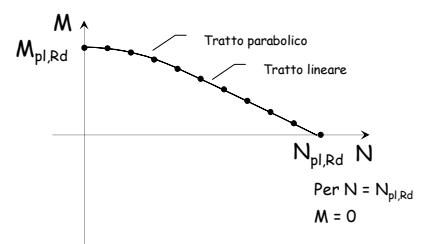
### Dominio di resistenza sezione a doppio T con M nell'asse forte



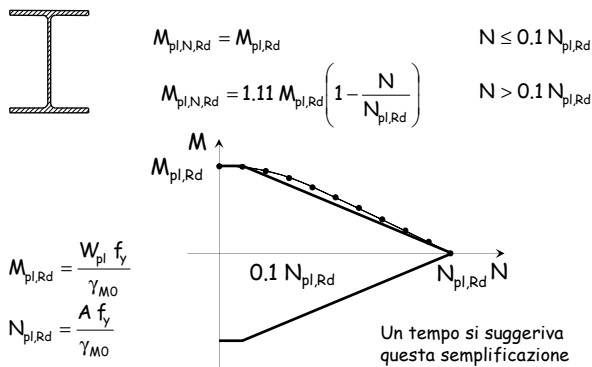
Per  $N = 0$   
 $M = M_{pl,Rd}$

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

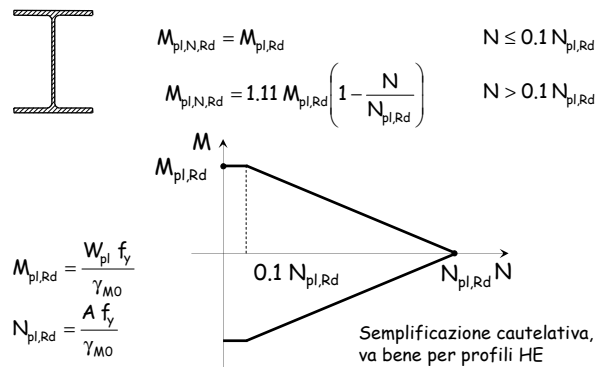
$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$



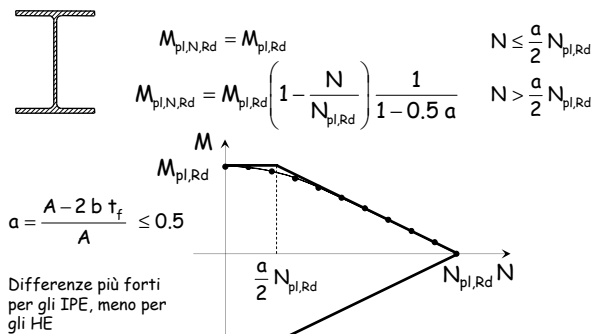
### Dominio di resistenza sezione a doppio T con M nell'asse forte



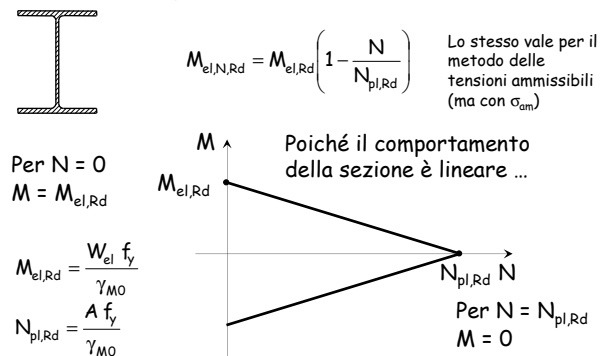
### Dominio di resistenza sezione a doppio T con M nell'asse forte



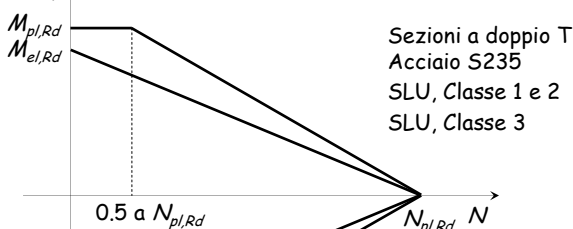
### Dominio di resistenza sezione a doppio T con M nell'asse forte



### Dominio di resistenza per sezioni di classe 3

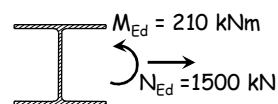


### Dominio di resistenza confronto tra classe 1-2 e classe 3



### Esempio

Dati:



Sezione	HEB300
A	149 cm <sup>2</sup>
W <sub>pl</sub>	1868 cm <sup>3</sup>
Acciaio	S235

1 - Classe della sezione

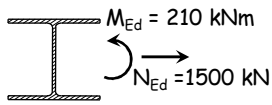
Anima:  $\frac{c_w}{t_w} = \frac{208}{11} = 19 \leq 72 \varepsilon = 72$

Flangia:  $\frac{c}{t_f} = \frac{117.5}{19} = 6.2 \leq 9 \varepsilon = 9$

La sezione appartiene alla classe 1.

### Esempio

Dati:



Sezione	HEB300
A	149 cm <sup>2</sup>
W <sub>pl</sub>	1868 cm <sup>3</sup>
Acciaio	S235

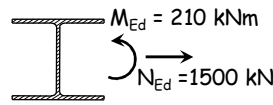
2 - Determinazione di  $N_{pl,Rd}$  ed  $M_{pl,Rd}$

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

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

### Esempio

Dati:



Sezione	HEB300
A	149 cm <sup>2</sup>
W <sub>pl</sub>	1868 cm <sup>3</sup>
Acciaio	S235
b=300 mm	t=19 mm

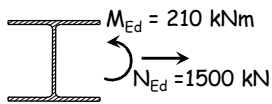
3 - Determinazione di a

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

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

### 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

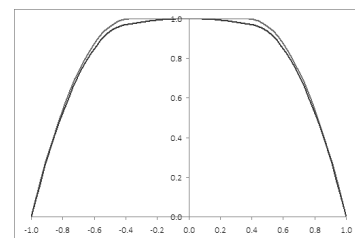
$$N_{Ed} = 1500 \text{ kN} \geq \frac{a}{2} N_{pl,Rd} = 391.8 \text{ kN}$$

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

La sezione è verificata

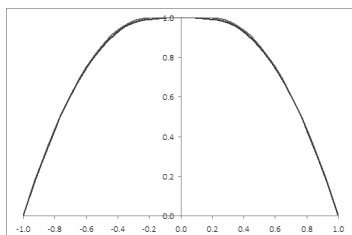
### Dominio di resistenza sezione a doppio T con M nell'asse debole

- Per sezioni IPE (ad esempio IPE 300)

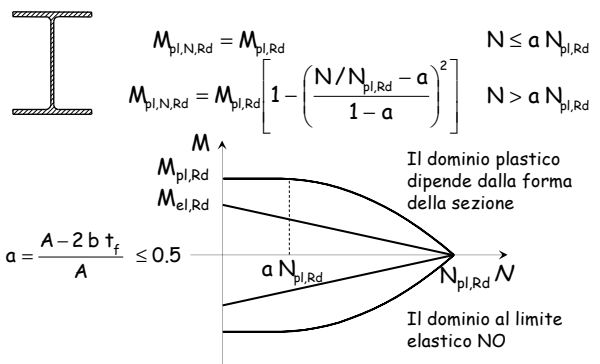


### Dominio di resistenza sezione a doppio T con M nell'asse debole

- Per sezioni HE (ad esempio HE 300 B)



### Dominio di resistenza sezione a doppio T con M nell'asse debole

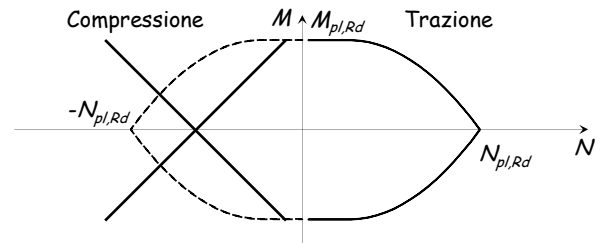


## Flessione composta pressoflessione

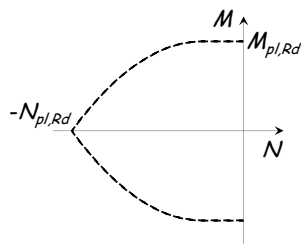
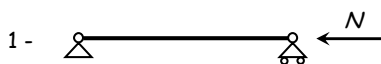
## Domini di resistenza - stato limite ultimo

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

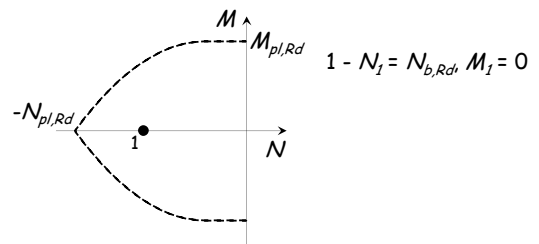
Va bene per la singola sezione, ma per l'asta bisogna tener conto dell'instabilità



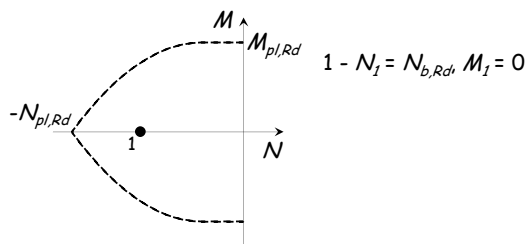
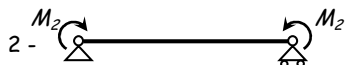
## Costruzione del dominio di resistenza



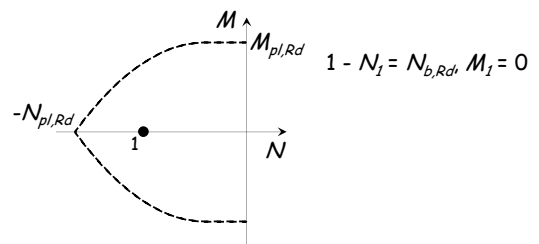
## Costruzione del dominio di resistenza



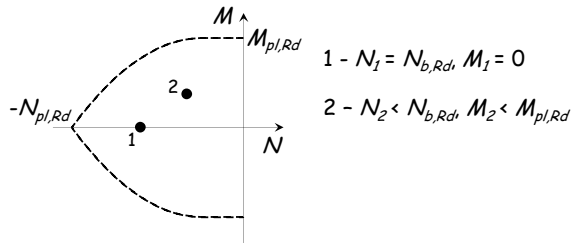
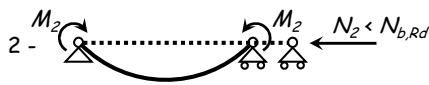
## Costruzione del dominio di resistenza



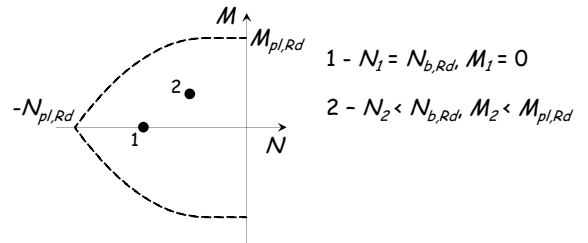
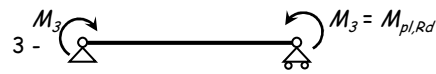
## Costruzione del dominio di resistenza



### Costruzione del dominio di resistenza



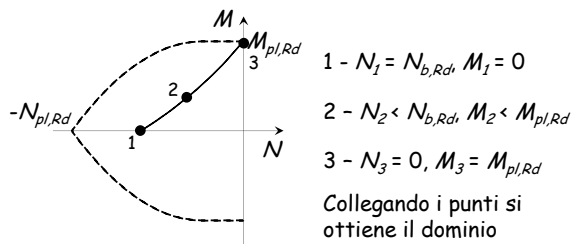
### Costruzione del dominio di resistenza



### Costruzione del dominio di resistenza

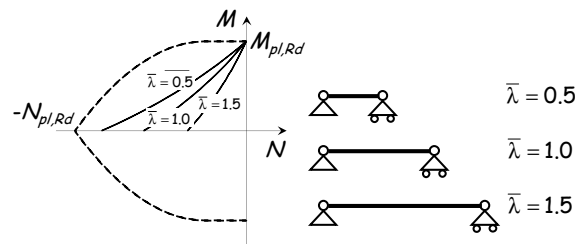


L'asta si plasticizza e  
 crolla in assenza di  
 sforzo normale



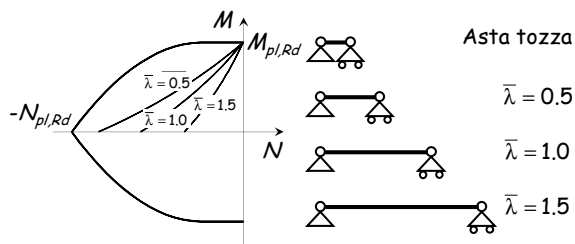
### Influenza della snellezza

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



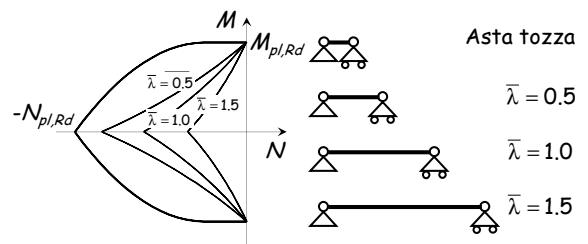
### Influenza della snellezza

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



## Dominio di resistenza pressoflessione (con instabilità)

La normativa italiana propone due formule:

### • Metodo A

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

o, in sostanza:

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

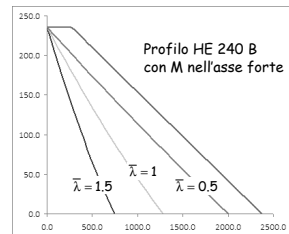
$N_{cr}$  è il carico critico Euleriano

Circolare, punto 4.2.4.1.3.3.1

non previsto da Eurocodice 3

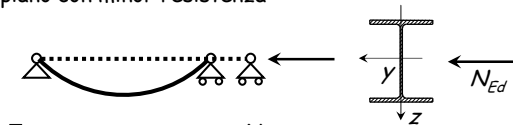
## Dominio di resistenza metodo A

- Si ottengono le curve mostrate sotto



## Considerazioni su domini di resistenza

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



$$\bar{\lambda}_y \Rightarrow \chi_y \Rightarrow N_{b,Rd,y}$$

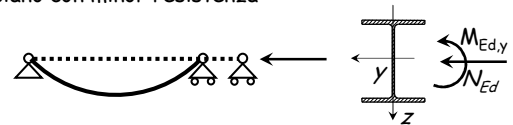
$$\bar{\lambda}_z \Rightarrow \chi_z \Rightarrow N_{b,Rd,z}$$

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

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



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

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

La presenza di un momento  $M_{Ed,y}$  favorisce l'instabilità dell'asta quanto un momento  $M_{Ed,z}$ ? 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:

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

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

Circolare, punto 4.2.4.1.3.3.2

Eurocodice 3, punto 6.3.3(4) e appendice B

## 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

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

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

Circolare, punto 4.2.4.1.3.3.2

Eurocodice 3, punto 6.3.3(4) e appendice B



## 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	$\alpha_{m1} \left( 1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed} \cdot Y_{pl,y}}{Z_{y1} \cdot A \cdot f_{yk}} \right) \leq \alpha_{m1} \left( 1 + 0,6 \frac{N_{Ed} \cdot Y_{pl,y}}{Z_{y1} \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$	$\alpha_{m1} \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed} \cdot Y_{pl,y}}{Z_{y1} \cdot A \cdot f_{yk}} \right) \leq \alpha_{m1} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed} \cdot Y_{pl,y}}{Z_{y1} \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$
$k_{zz}$	I, H, Sezioni cave	$k_{zz}$	$0,6 \cdot k_{zz}$
$k_{yy}$	I, H, Sezioni cave	$0,8 \cdot k_{yy}$	$0,6 \cdot k_{yy}$
$k_{zz}$	I, H, Sezioni cave	$\alpha_{m2} \left( 1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed} \cdot Y_{pl,z}}{Z_{z1} \cdot A \cdot f_{yk}} \right) \leq \alpha_{m2} \left( 1 + 0,6 \frac{N_{Ed} \cdot Y_{pl,z}}{Z_{z1} \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$	$\alpha_{m2} \left( 1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed} \cdot Y_{pl,z}}{Z_{z1} \cdot A \cdot f_{yk}} \right) \leq \alpha_{m2} \left( 1 + 1,4 \frac{N_{Ed} \cdot Y_{pl,z}}{Z_{z1} \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$
			$\alpha_{m2} \left( 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed} \cdot Y_{pl,z}}{Z_{z1} \cdot A \cdot f_{yk}} \right) \leq \alpha_{m2} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed} \cdot Y_{pl,z}}{Z_{z1} \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$

Circolare, punto 4.2.4.1.3.3.2

Eurocodice 3, punto 6.3.3(4) e appendice B

## Dominio di resistenza pressoflessione (con instabilità)

La normativa italiana propone due formule:

- Metodo B

In particolare, per momento solo nell'asse forte si ha

$$k_{yy} = 1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}} \leq 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}}$$

$$k_{yz} = 0,6 k_{yy}$$

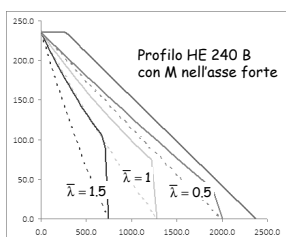
e si utilizza solo la prima equazione

Circolare, punto 4.2.4.1.3.3.2

Eurocodice 3, punto 6.3.3(4) e appendice B

## 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

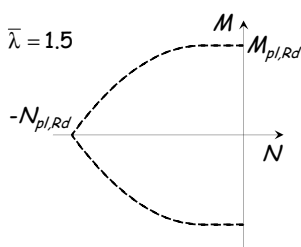
$$M_{eq,Ed} = \alpha_m M_{Ed,max}$$

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

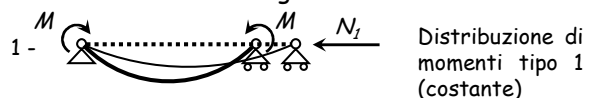
## Dominio di resistenza influenza del diagramma del momento



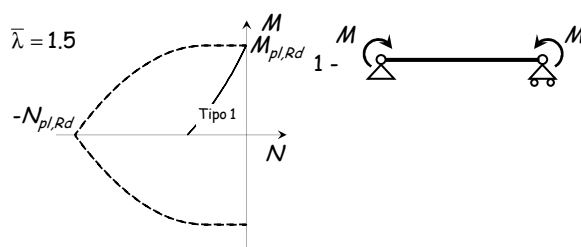
Distribuzione di momenti tipo 1 (costante)



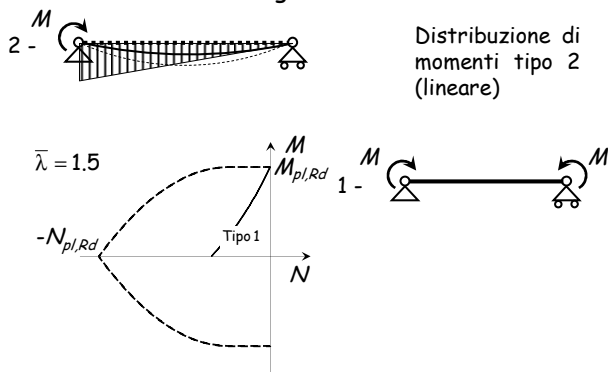
## Dominio di resistenza influenza del diagramma del momento



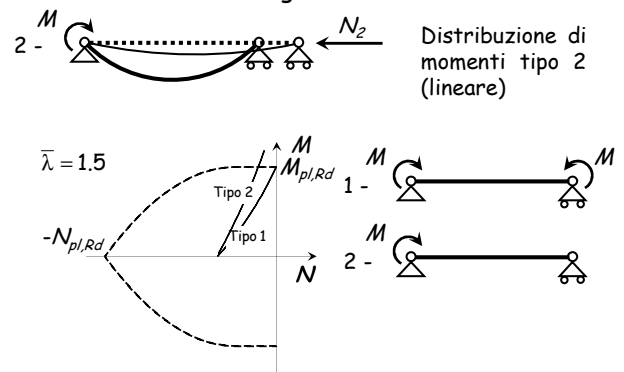
Distribuzione di momenti tipo 1 (costante)



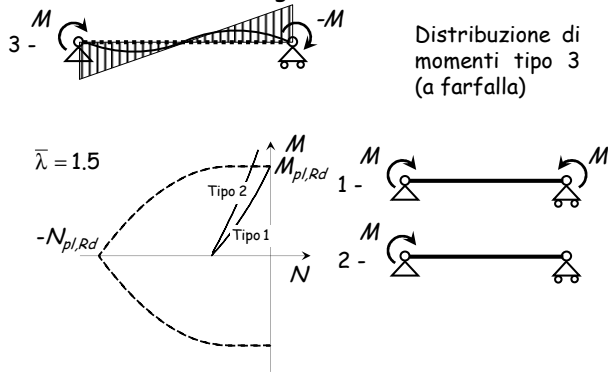
### Dominio di resistenza influenza del diagramma del momento



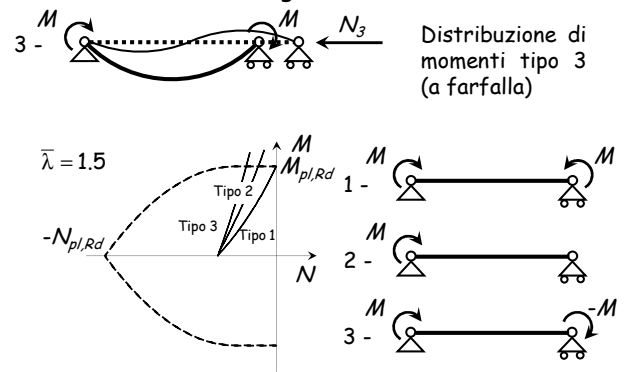
### Dominio di resistenza influenza del diagramma del momento



### Dominio di resistenza influenza del diagramma del momento



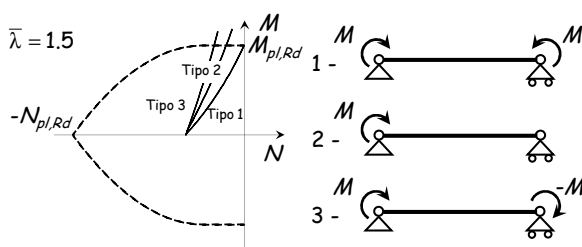
### Dominio di resistenza influenza del diagramma del momento



### 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  $M_{eq,Ed} \geq 0.4 M_b$

$M_a$  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  $M_{eq,Ed} = M_a$ )

Circolare, punto 4.2.4.1.3.3.1

non previsto da Eurocodice 3

## 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 $\alpha_{m1}$ , $\alpha_{m2}$ , $\alpha_{m1,7}$	
		Carico uniforme	Carico concentrato
	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 0$	$0,1(1-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_s$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_s$
	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 0$	$0,95 + 0,05\alpha_s(1+2\psi)$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,90 + 0,10\alpha_s$

Circolare, punto 4.2.4.1.3.3.2

Eurocode 3, punto 6.3.3(4) e appendice B

## Nell'Eurocode 3

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	$C_{\square} \left( 1 + 0,6\bar{\lambda}_{\square} \frac{N_{Ed}}{\chi_{\square} N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{\square} \left( 1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_{\square} N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{\square} \left( 1 + (\bar{\lambda}_{\square} - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_{\square} N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{\square} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_{\square} N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
$k_{\square}$	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  $M_{\square}$  the coefficient  $k_{\square}$  may be  $k_{\square} = 0$ .

## Nell'Eurocode 3

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	$C_{\square} \left( 1 + 0,6\bar{\lambda}_{\square} \frac{N_{Ed}}{\chi_{\square} N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{\square} \left( 1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_{\square} N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{\square} \left( 1 + (\bar{\lambda}_{\square} - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_{\square} N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{\square} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_{\square} N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
$k_{\square}$	I-sections RHS-sections	$k_{\square}$	$0,6 k_{\square}$
$k_{\square}$	I-sections RHS-sections	$k_{\square}$	$0,6 k_{\square}$
$k_{\square}$	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  $M_{\square}$  the coefficient  $k_{\square}$  may be  $k_{\square} = 0$ .

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

## Nell'Eurocode 3

Moment diagram	range	$C_{\square}$ and $C_{\square}$ and $C_{\square,7}$	
		uniform loading	concentrated load
	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 0$	$0,1(1-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_s$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_s$
	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 0$	$0,95 + 0,05\alpha_s(1+2\psi)$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,90 + 0,10\alpha_s$

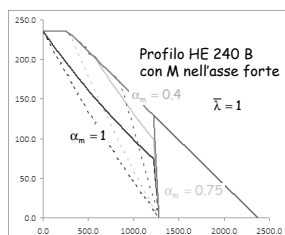
For members with sway buckling mode the equivalent uniform moment factor should be taken  $C_{\square} = 0,9$  or  $C_{\square} = 0,9$  respectively.  
 $C_{\square}$ ,  $C_{\square}$  and  $C_{\square,7}$  should be obtained according to the bending moment diagram between the relevant braced points as follows:

moment factor	bending axis	points braced in direction
$C_{\square}$	$\square$	$\square$
$C_{\square}$	$\square$	$\square$
$C_{\square,7}$	$\square$	$\square$

Eurocode 3, annesso B

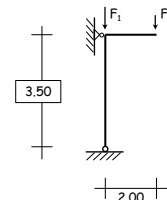
## Dominio di resistenza influenza del diagramma del momento

- 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

## Esempio



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

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

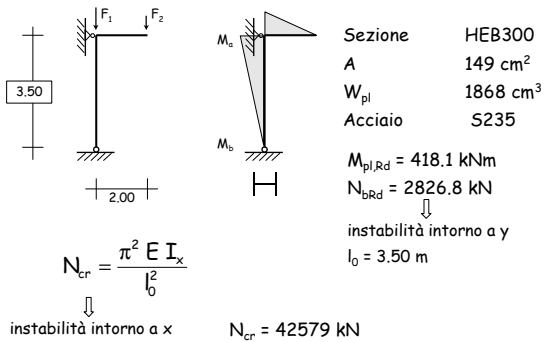
$$M_a = 120 \text{ kNm}$$

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

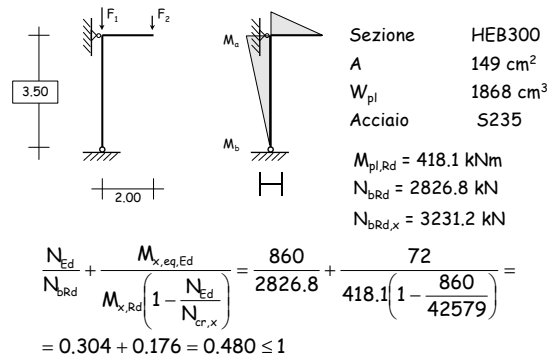
$$N_{Ed} = 860 \text{ kN}$$

$$M_{eq,Ed} = 0,6 \times 120 - 0,4 \times 0 = 72 \text{ kNm}$$

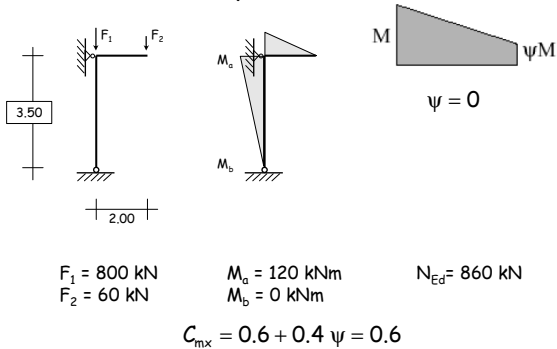
### Esempio



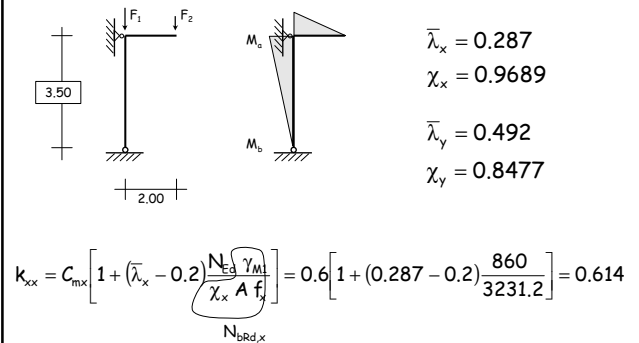
### Esempio (metodo A)



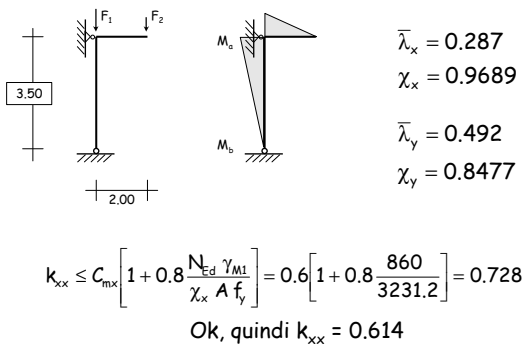
### Esempio (metodo B)



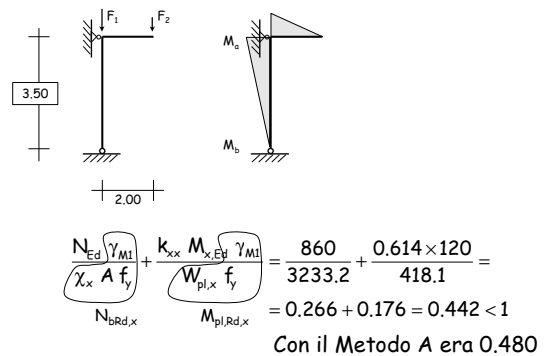
### Esempio



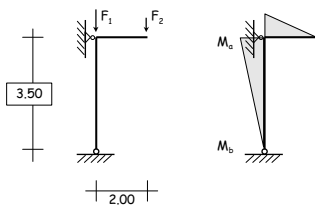
### Esempio



### Esempio



### Esempio



Perché  $k_{yx} = 0$

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

Verifica di stabilità con sforzo normale centrato

Nota:

Le diapositive che seguono erano state preparate da Edoardo Marino per confrontare metodo A e B. Io ho fatto diversamente i confronti e non le utilizzo, ma le ho comunque lasciate per ricordo

### Domini di resistenza - presso-flessione retta (Metodo A)

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

$$M_{x,eq,Ed} = 0.6 M_a - 0.4 M_b = \underbrace{\left(0.6 - 0.4 \frac{M_b}{M_a}\right)}_{C_{mx}} M_a$$

### Domini di resistenza - presso-flessione retta (Metodo A)

$$\frac{N_{Ed}}{N_{bRd}} + \frac{C_{mx} M_{x,Ed}}{M_{x,Rd} \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,x}}\right)} = 1$$

$$k_{xx}^* = \frac{C_{mx}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,x}}}$$

### Domini di resistenza - presso-flessione retta (Metodo A)

$$\frac{N_{Ed}}{N_{bRd}} + \frac{k_{xx}^* M_{Ed,x}}{M_{Rd,x}} \leq 1$$

$$k_{xx}^* = \frac{C_{mx}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,x}}}$$

$$C_{mx} = (0.6 + 0.4 \psi) = 0.6$$

$$\psi = \frac{M_b}{M_a} = 0$$

Nel caso in questione

HEB 300  
 $M_{pl,x,Rd} = 418.1 \text{ kNm}$   
 $N_{bRd} = 2826.7 \text{ kN}$   
 $N_{cr,x} = 42579.2 \text{ kN}$

### Domini di resistenza - presso-flessione retta (Metodo A)

$$\frac{N_{Ed}}{N_{bRd}} + \frac{k_{xx}^* M_{Ed,x}}{M_{Rd,x}} \leq 1$$

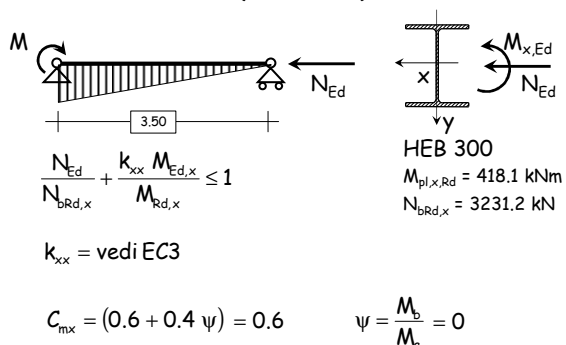
Costruisco il dominio per punti

Fisso  $N_{Ed} \Rightarrow k_{xx}^* \Rightarrow M_{Ed,x} = \frac{M_{Rd,x}}{k_{xx}^*} \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{bRd}}\right)$

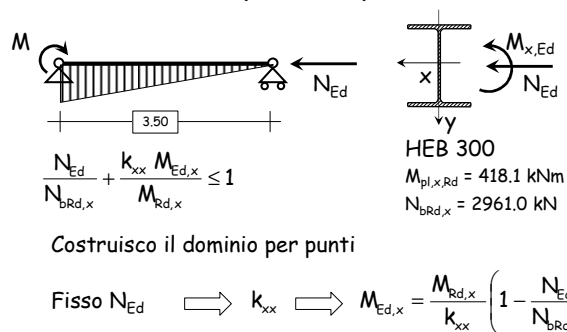
HEB 300  
 $M_{pl,x,Rd} = 418.1 \text{ kNm}$   
 $N_{bRd} = 2826.7 \text{ kN}$   
 $N_{cr,x} = 42579.2 \text{ kN}$

Vedere anche foglio Excel Presso-flessione-DomX

### Domini di resistenza - presso-flessione retta (Metodo B)

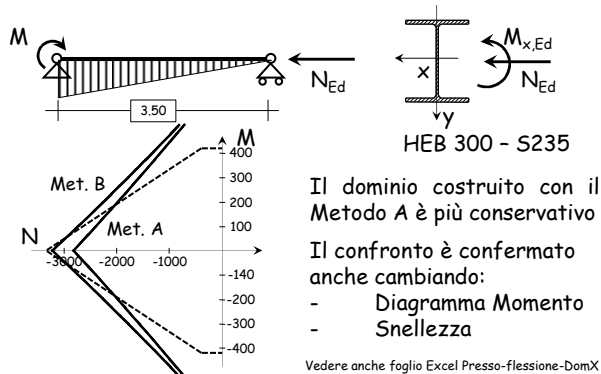


### Domini di resistenza - presso-flessione retta (Metodo B)

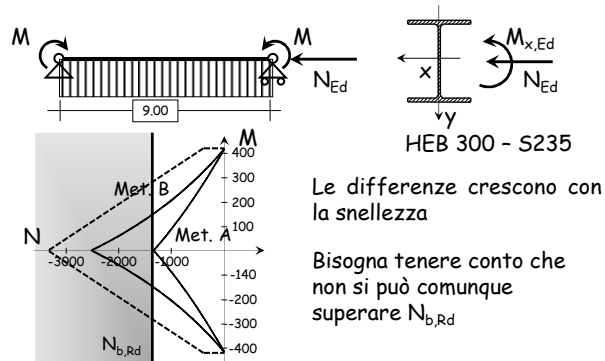


Vedere anche foglio Excel Presso-flessione-DomX

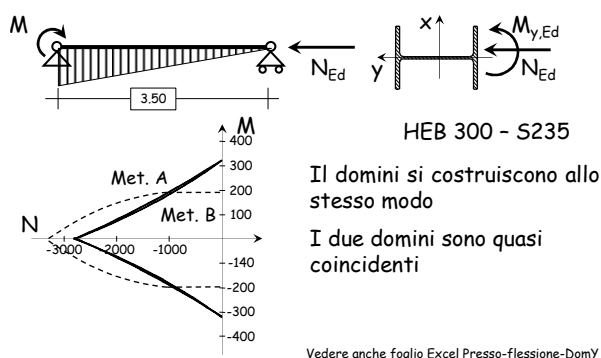
### Domini di resistenza - presso-flessione retta (Metodo A vs Metodo B)



### Domini di resistenza - presso-flessione retta (Metodo A vs Metodo B)



### Domini di resistenza - presso-flessione retta (Metodo A vs Metodo B)



### Domini di resistenza - presso-flessione retta (Metodo A vs Metodo B)

