

Corso di aggiornamento

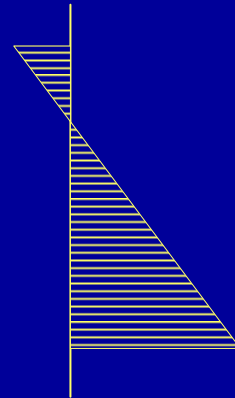
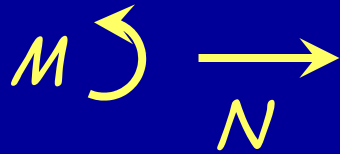
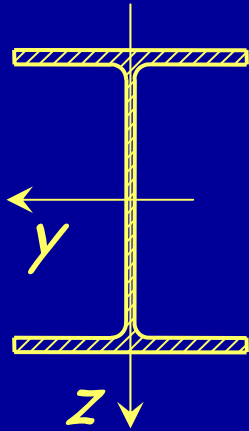
Progetto e verifica di sezioni in acciaio e di collegamenti secondo l'Eurocodice 3

Teramo, 10 febbraio 2007

Aurelio Ghersi e Edoardo M. Marino

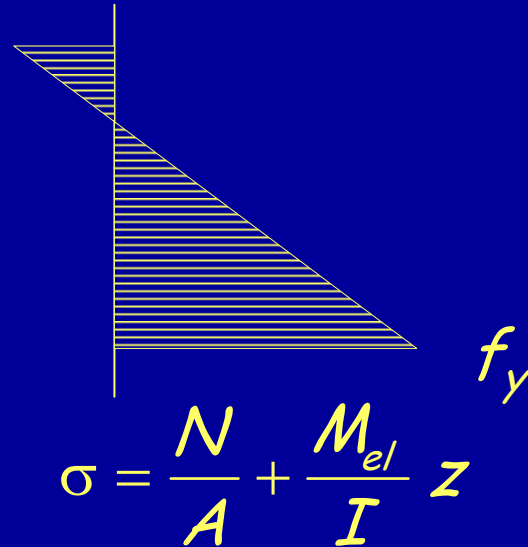
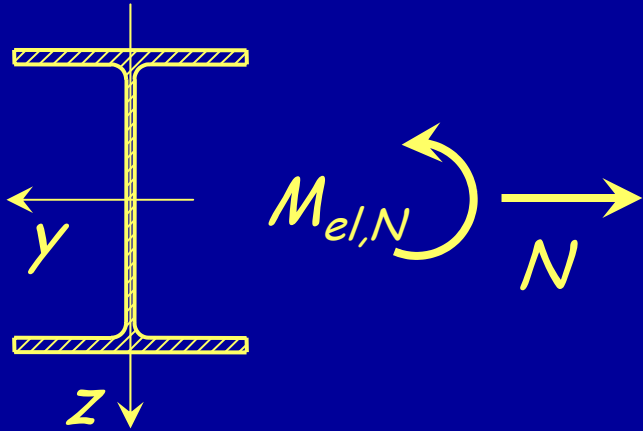
Tenso - Flessione

Comportamento ultimo



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

Comportamento ultimo



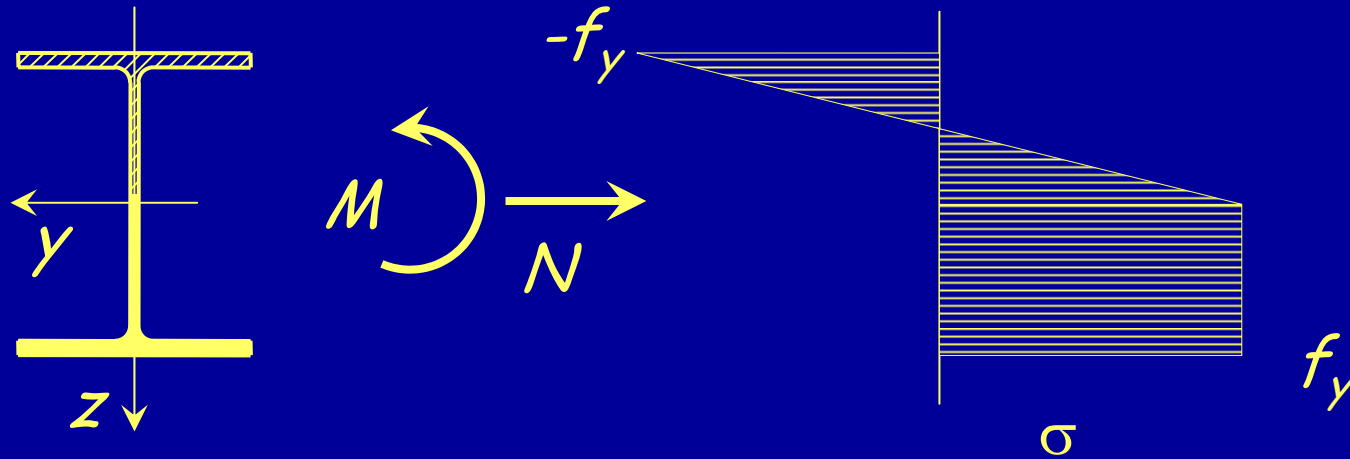
Per calcolare $M_{el,N}$:

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



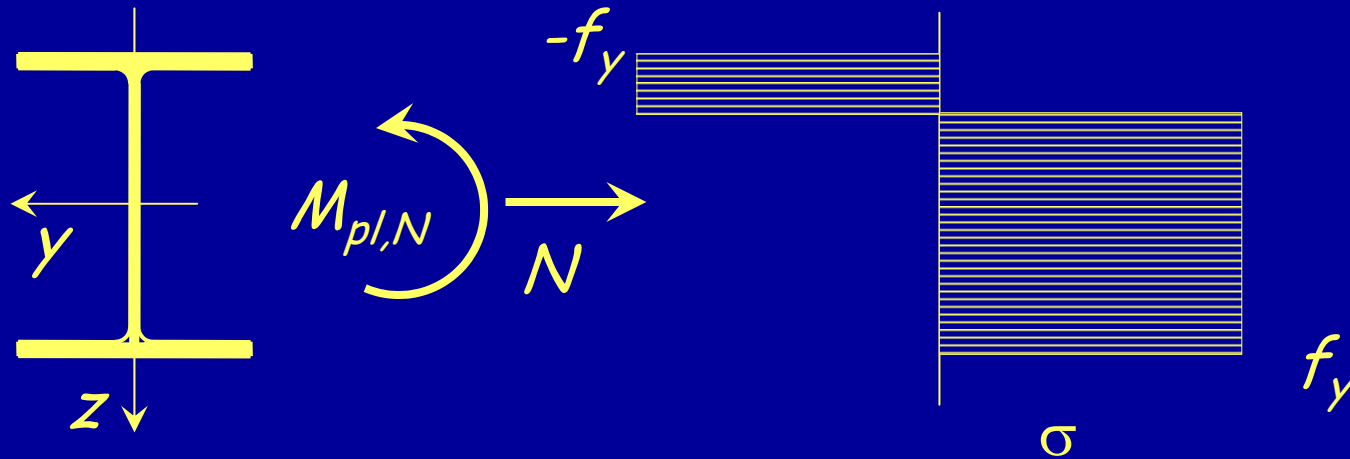
$$M_{el,N} = \left(f_y - \frac{N}{A} \right) W_{el}$$

Comportamento ultimo



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

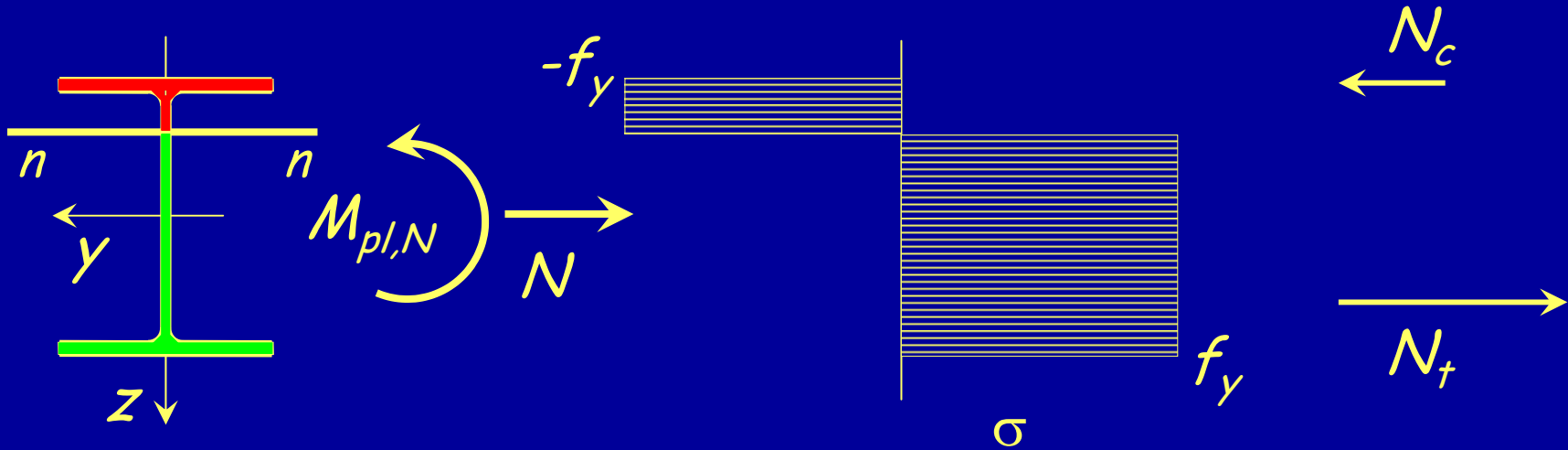
Comportamento ultimo



Per calcolare $M_{pl,N}$:

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

Comportamento ultimo



1 - Determinazione dell'asse neutro

$$N_c + N_t = N$$

(equilibrio alla traslazione)

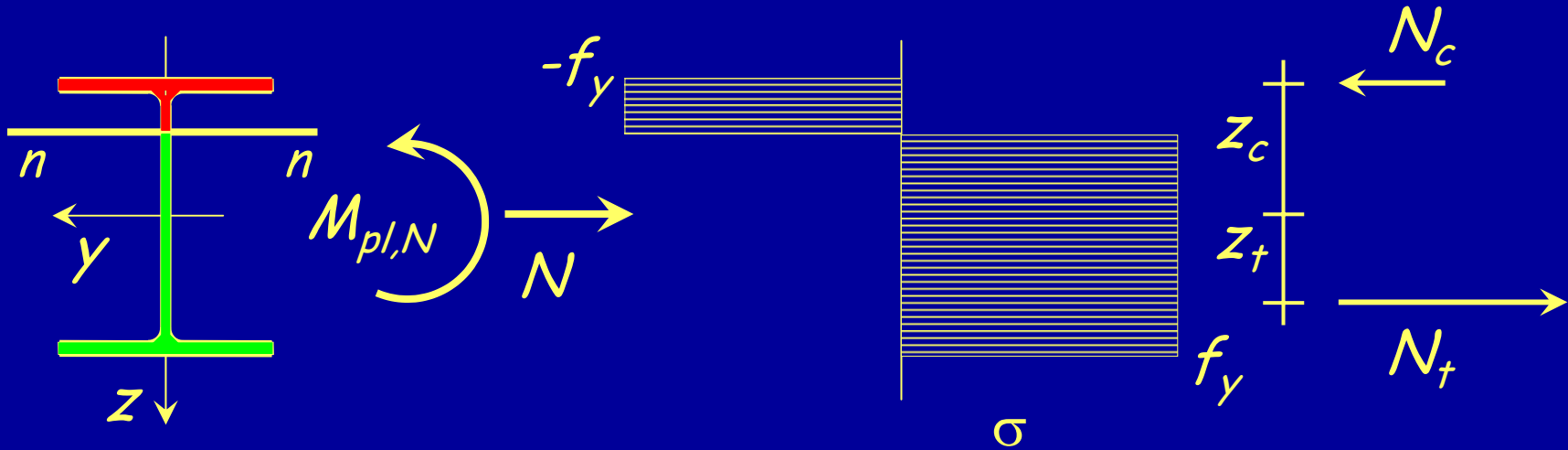


Asse neutro

$$N_c = -f_y A_c$$

$$N_t = f_y A_t$$

Comportamento ultimo



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

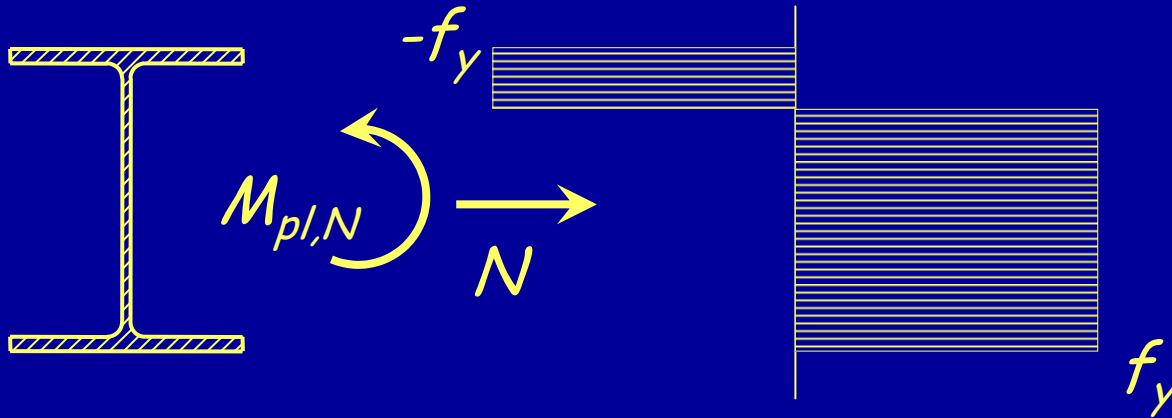
$$M_{pl,N} = N_t z_t - N_c z_c = f_y (A_t z_t - A_c z_c)$$

$$N_c = -f_y A_c$$

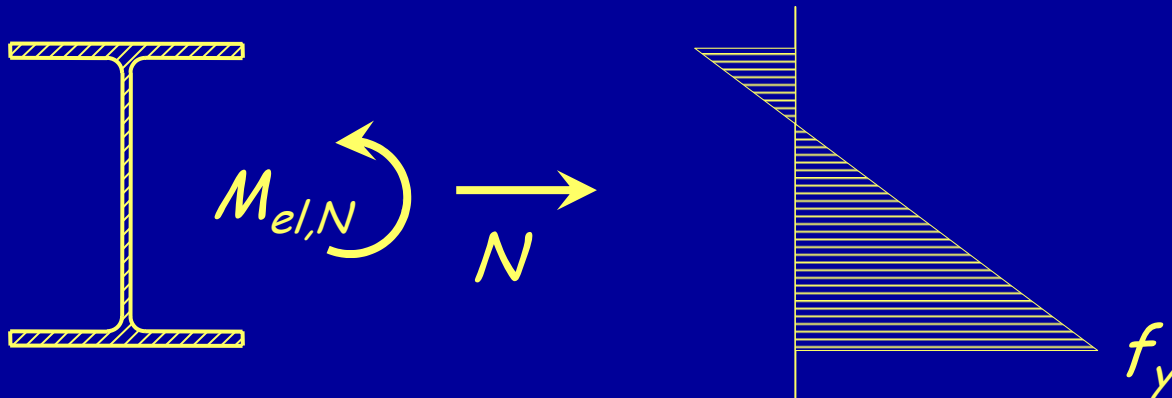
$$N_t = f_y A_t$$

Verifica - stato limite ultimo

Classe 1 e 2

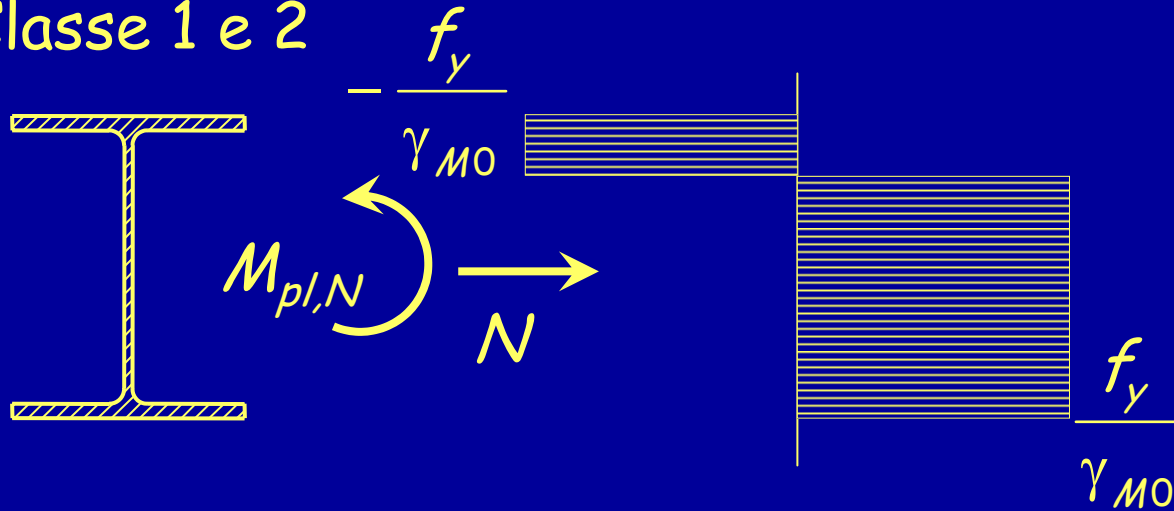


Classe 3



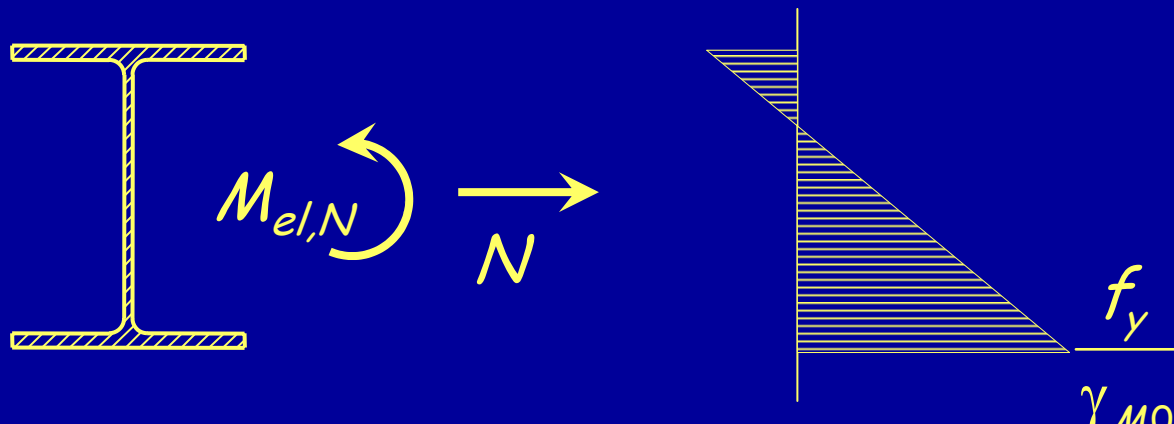
Verifica - stato limite ultimo

Classe 1 e 2



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

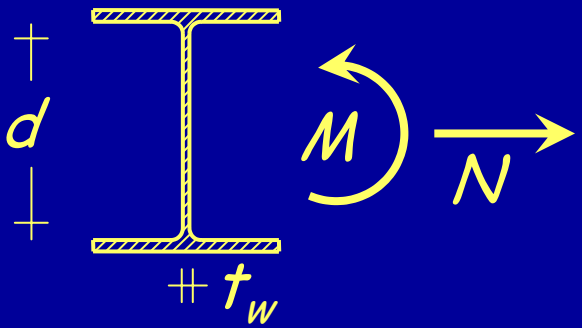
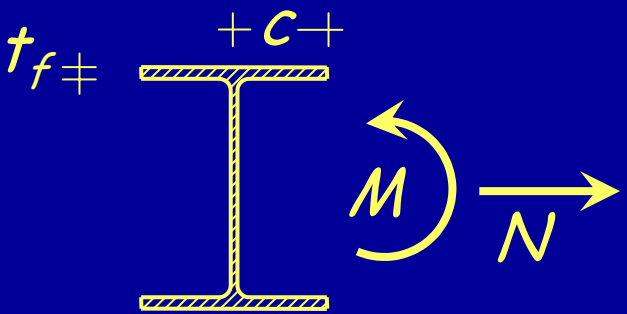
Classe 3



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

Classificazione delle sezioni

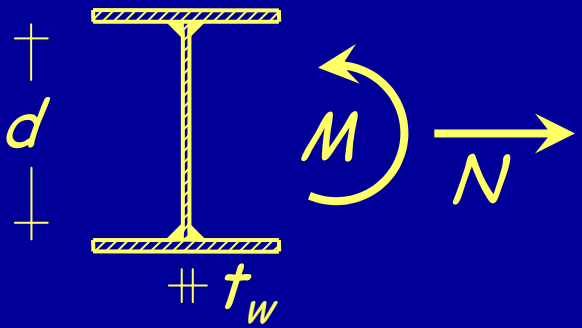
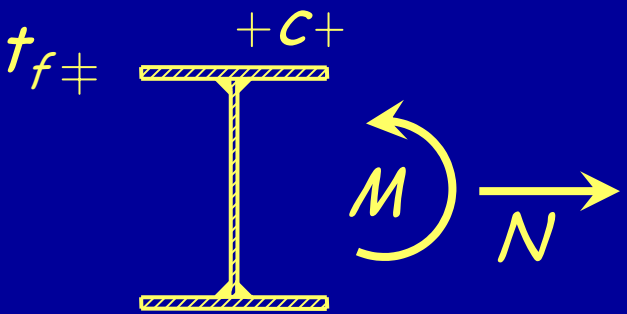
Profili laminati a doppio T

| Anima | Classe | Limite |
|--|--------|------------------------------------|
|  | 1 | Varia in funzione dell'asse neutro |
| | 2 | |
| | 3 | |
| | 4 | |
| Flangia | Classe | Limite |
|  | 1 | $c / t_f \leq 10 \varepsilon$ |
| | 2 | $c / t_f \leq 11 \varepsilon$ |
| | 3 | $c / t_f \leq 15 \varepsilon$ |
| | 4 | $c / t_f > 15 \varepsilon$ |

$$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$$

Classificazione delle sezioni

Profili saldati a doppio T

| Anima | Classe | Limite |
|--|--------|------------------------------------|
|  | 1 | Varia in funzione dell'asse neutro |
| | 2 | |
| | 3 | |
| | 4 | |
| Flangia | Classe | Limite |
|  | 1 | $c / t_f \leq 9 \varepsilon$ |
| | 2 | $c / t_f \leq 10 \varepsilon$ |
| | 3 | $c / t_f \leq 14 \varepsilon$ |
| | 4 | $c / t_f > 15 \varepsilon$ |

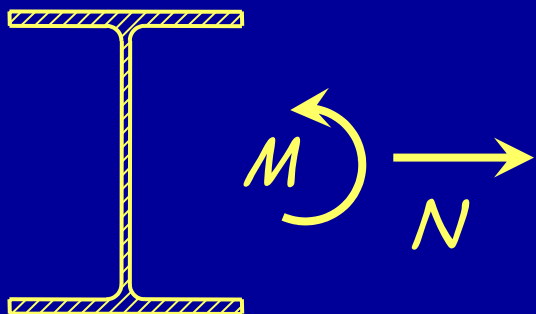
$$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$$

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 N

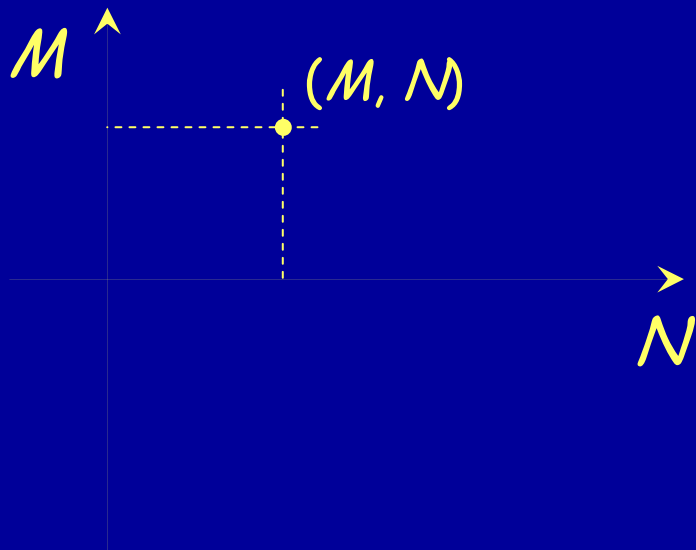
Si determina la posizione dell'asse neutro

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



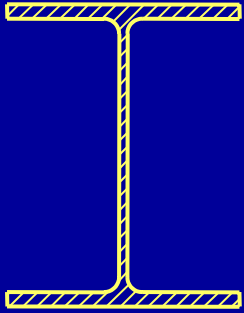
Si assegna N

Si determina l'asse neutro

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

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

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

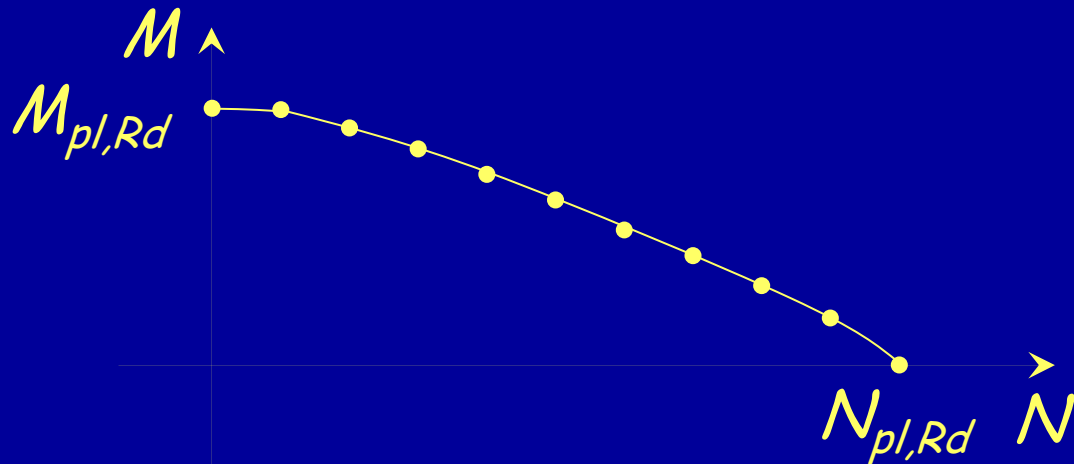


Per $N = 0$

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

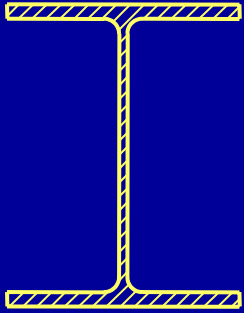
$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}$$

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



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

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



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

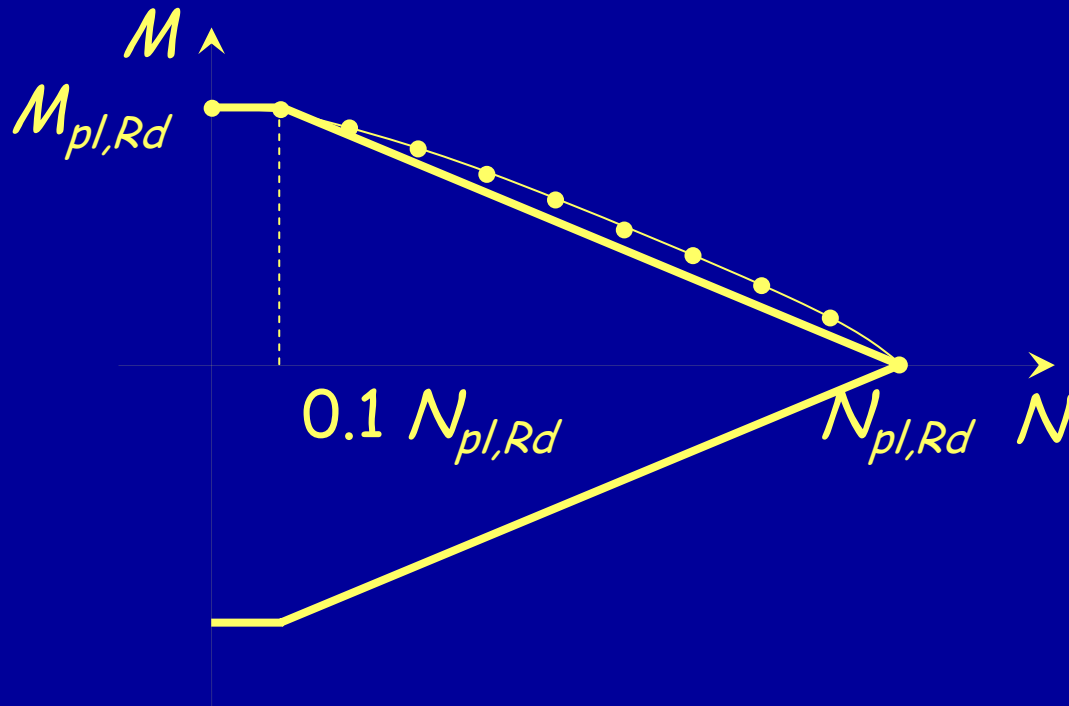
$$N \leq 0.1 N_{pl,Rd}$$

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

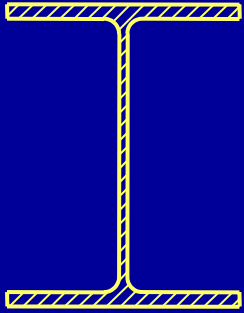
$$N > 0.1 N_{pl,Rd}$$

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

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



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



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

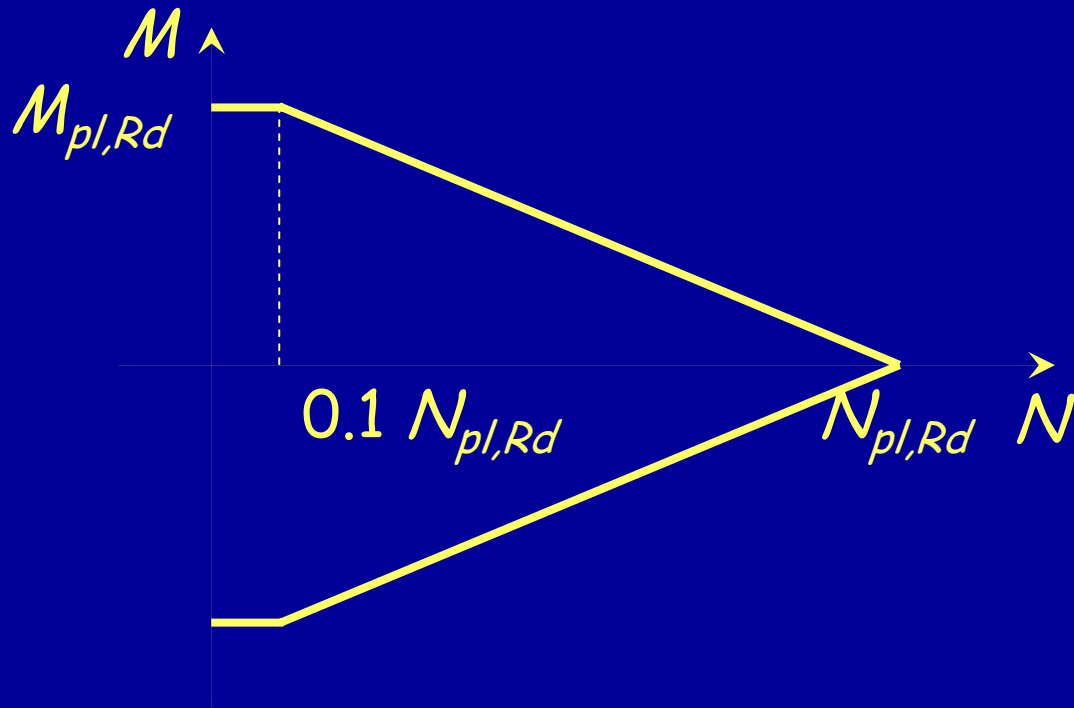
$$N \leq 0.1 N_{pl,Rd}$$

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

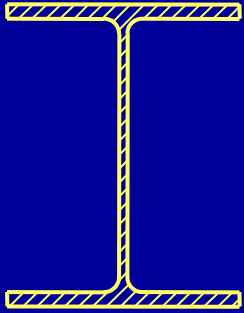
$$N > 0.1 N_{pl,Rd}$$

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

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



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



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

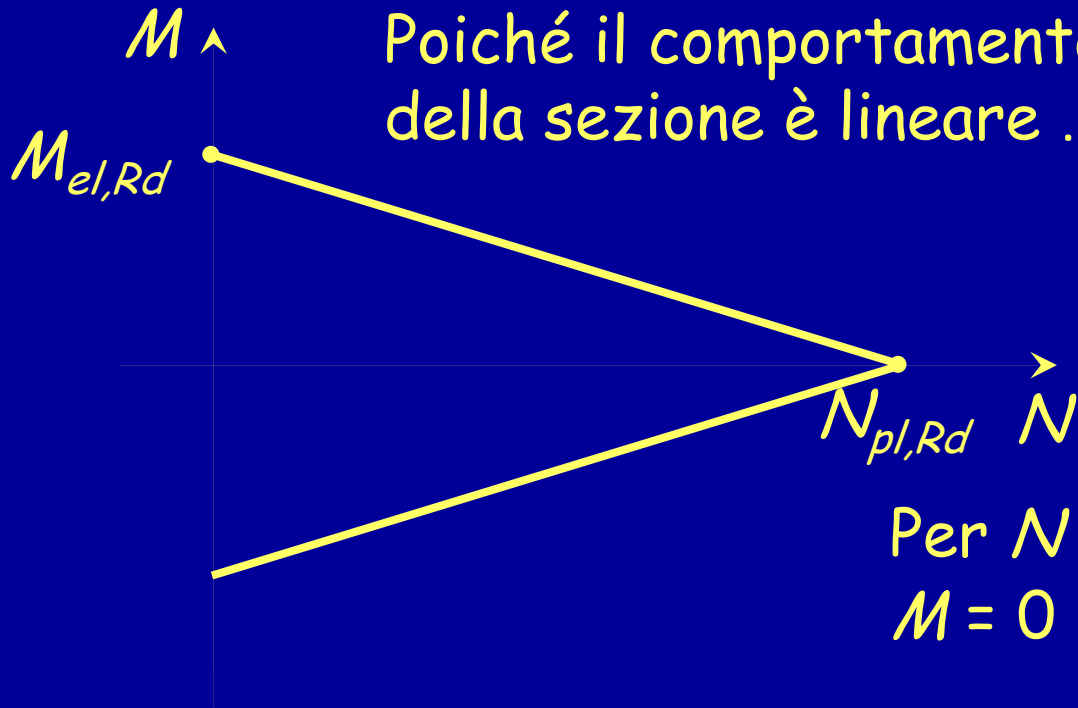
Per $N = 0$

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

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

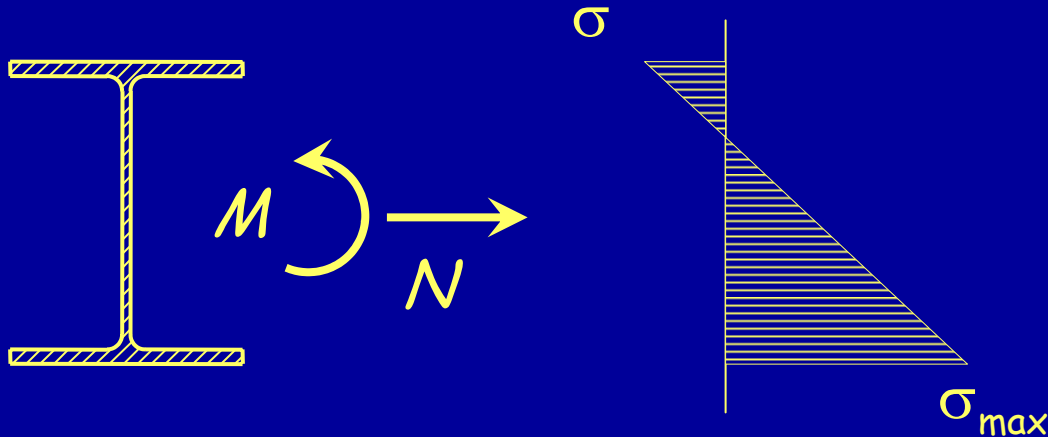
$$N_{pl,Rd} = \frac{f_y A}{\gamma_{M0}}$$

Poiché il comportamento
della sezione è lineare ...



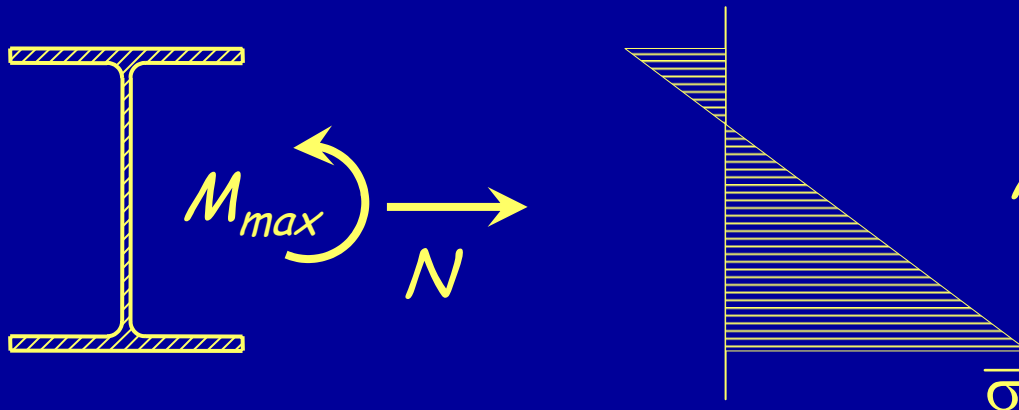
Per $N = N_{pl,Rd}$
 $M = 0$

Verifica - tensioni ammissibili



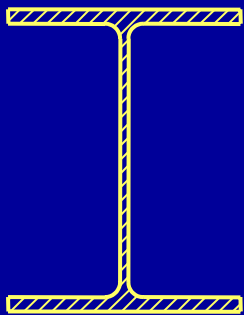
$$\sigma_{\max} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W_{el}} \leq \bar{\sigma}$$

oppure



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

Domini di resistenza - tensioni ammissibili



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

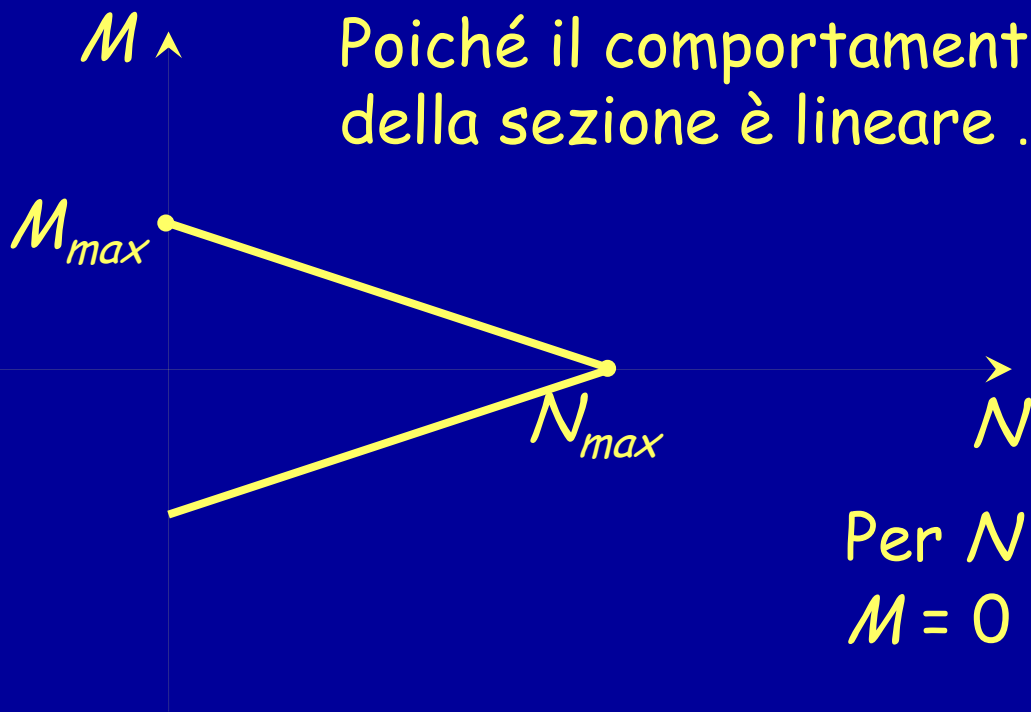
Per $N = 0$

$$M = M_{\max}$$

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

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

Poiché il comportamento della sezione è lineare ...



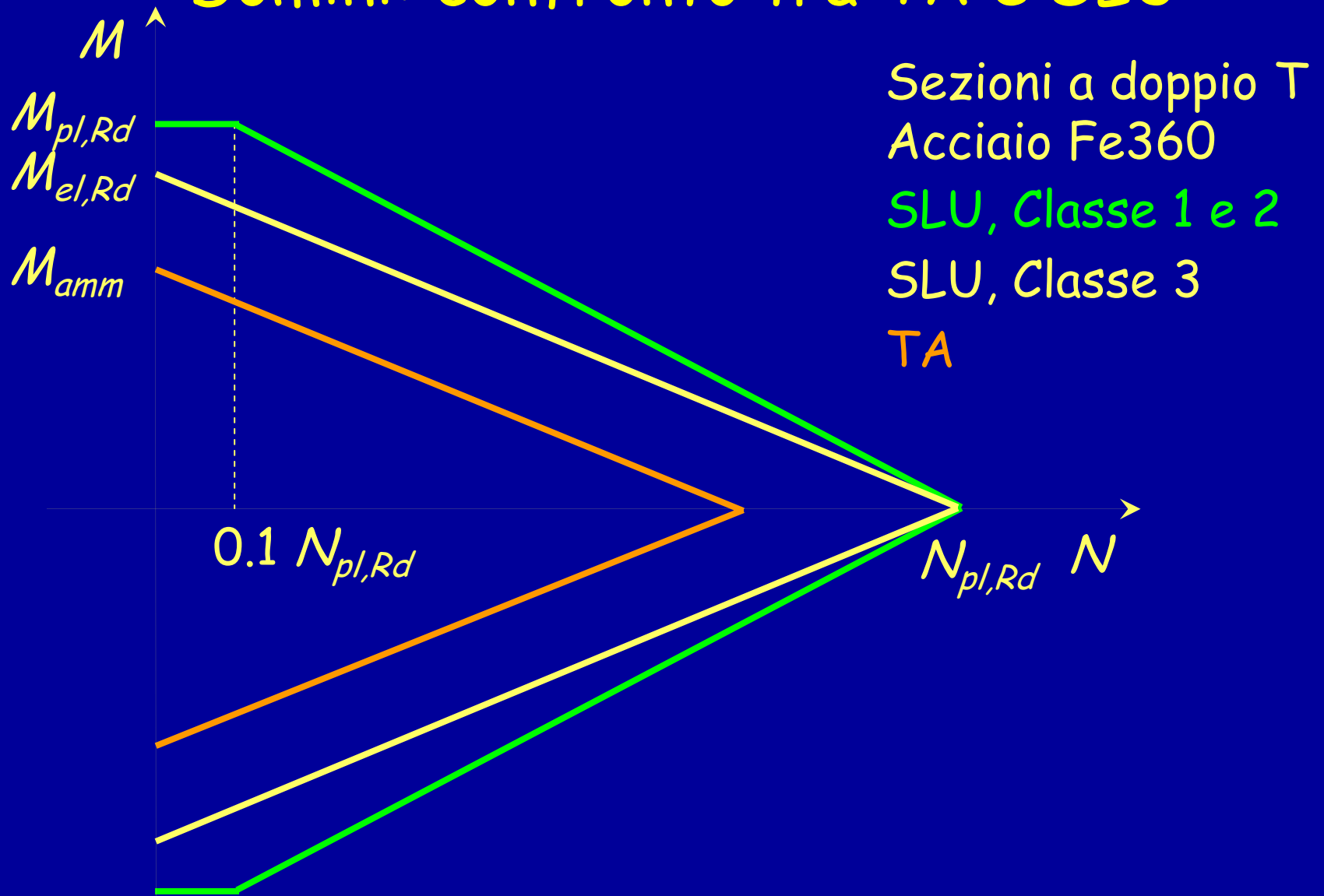
Per $N = N_{\max}$
 $M = 0$

Domini: confronto tra TA e SLU

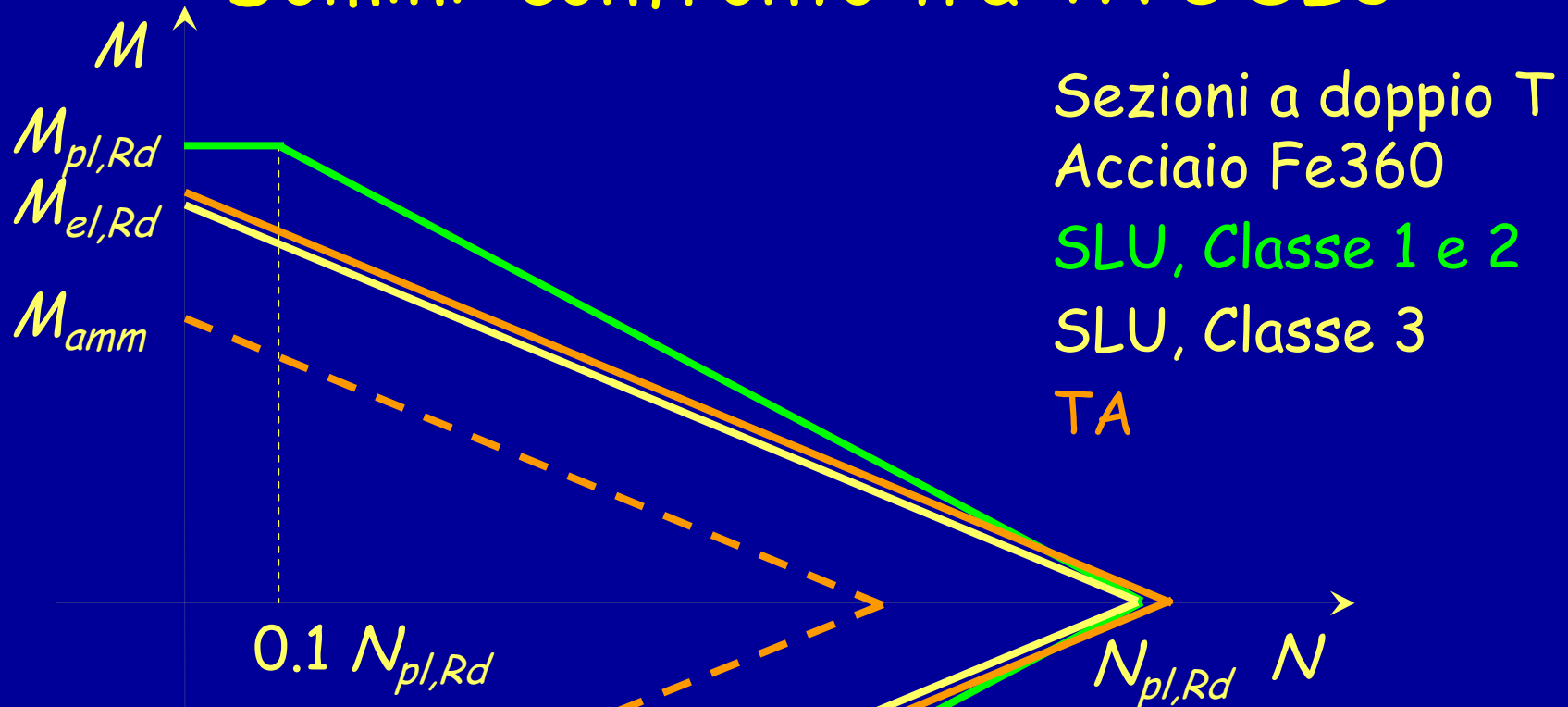
Il confronto può essere effettuato sovrapponendo i domini ricavati per TA e SLU

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

Domini: confronto tra TA e SLU



Domini: confronto tra TA e SLU



Sezioni a doppio T
Acciaio Fe360

SLU, Classe 1 e 2

SLU, Classe 3

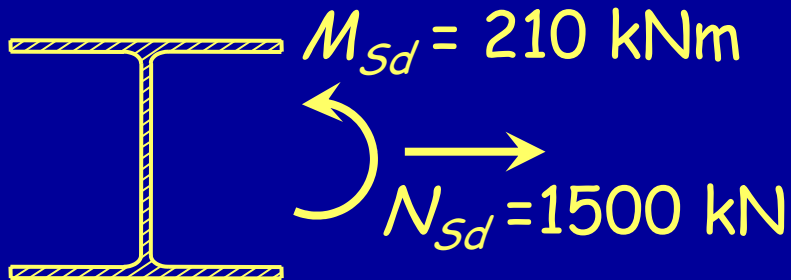
TA

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

Fe360

1 - Classe della sezione

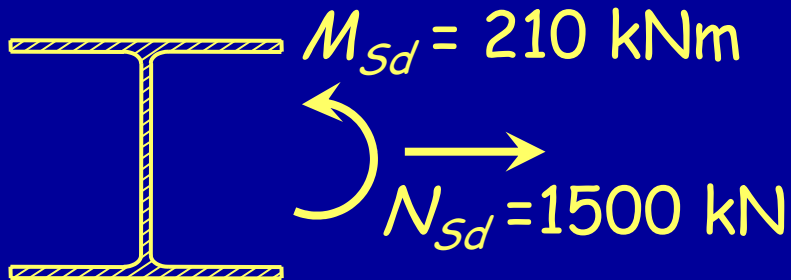
Anima: $\frac{d}{t_w} = \frac{208}{11} = 19 \leq 144 \varepsilon = 144$

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

La sezione appartiene alla classe 1.

Esempio

Dati:



Sezione

HEB300

A

149 cm^2

W_{pl}

1868 cm^3

Acciaio

Fe360

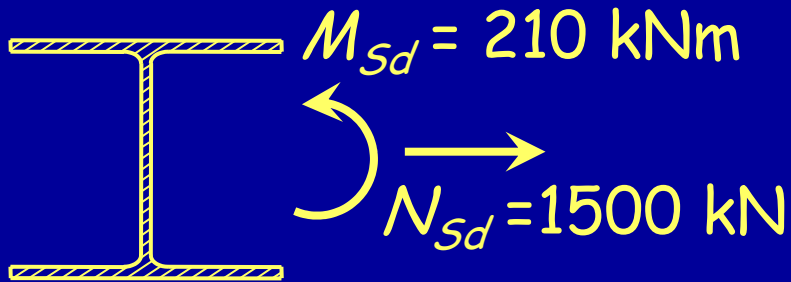
2 - Determinazione di $N_{pl,Rd}$ ed $M_{pl,Rd}$

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

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

Esempio

Dati:



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

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

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

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

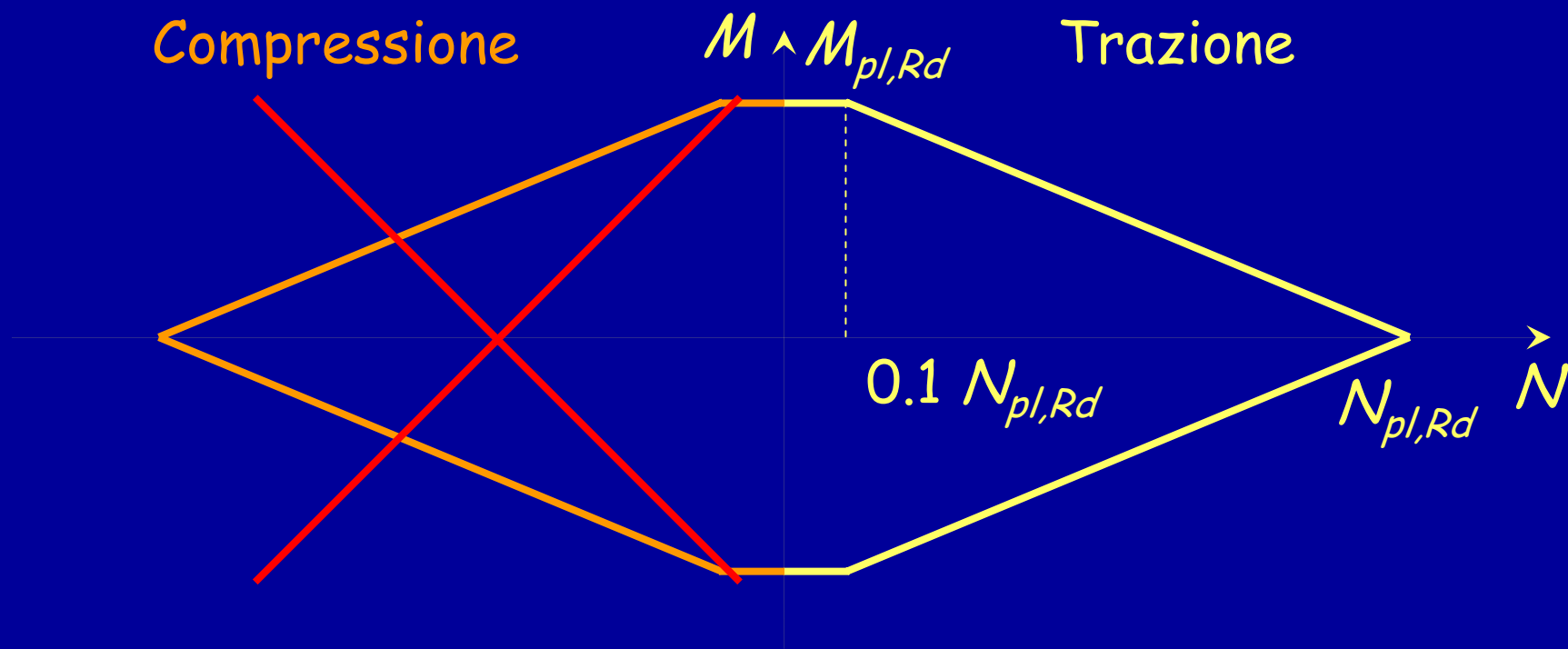
La sezione è verificata

Presso - Flessione

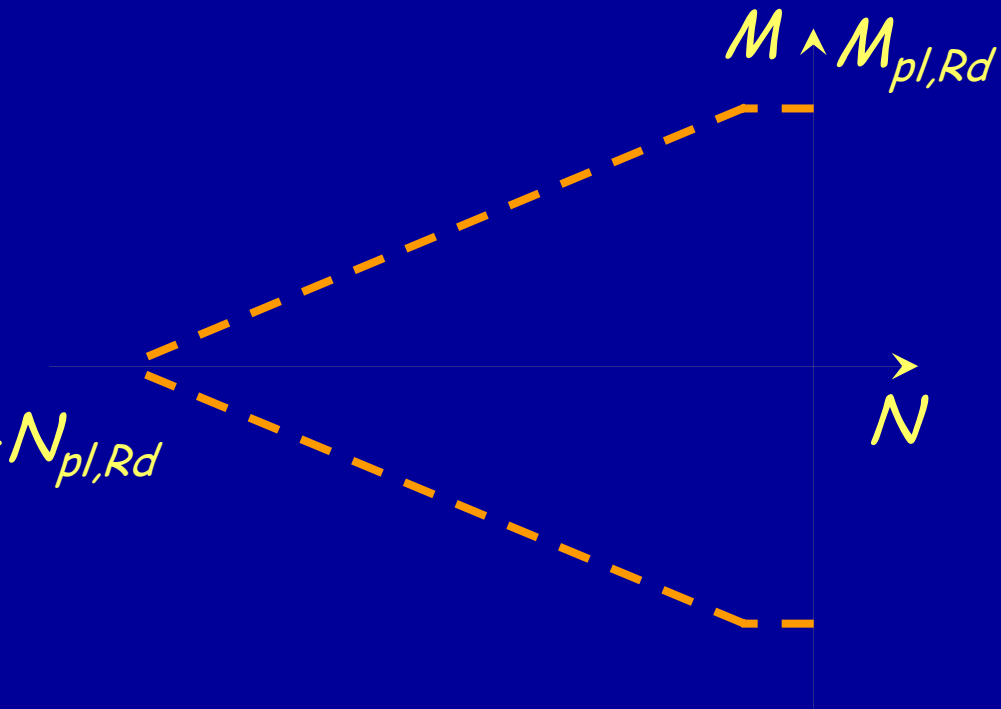
Domini di resistenza - stato limite ultimo

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

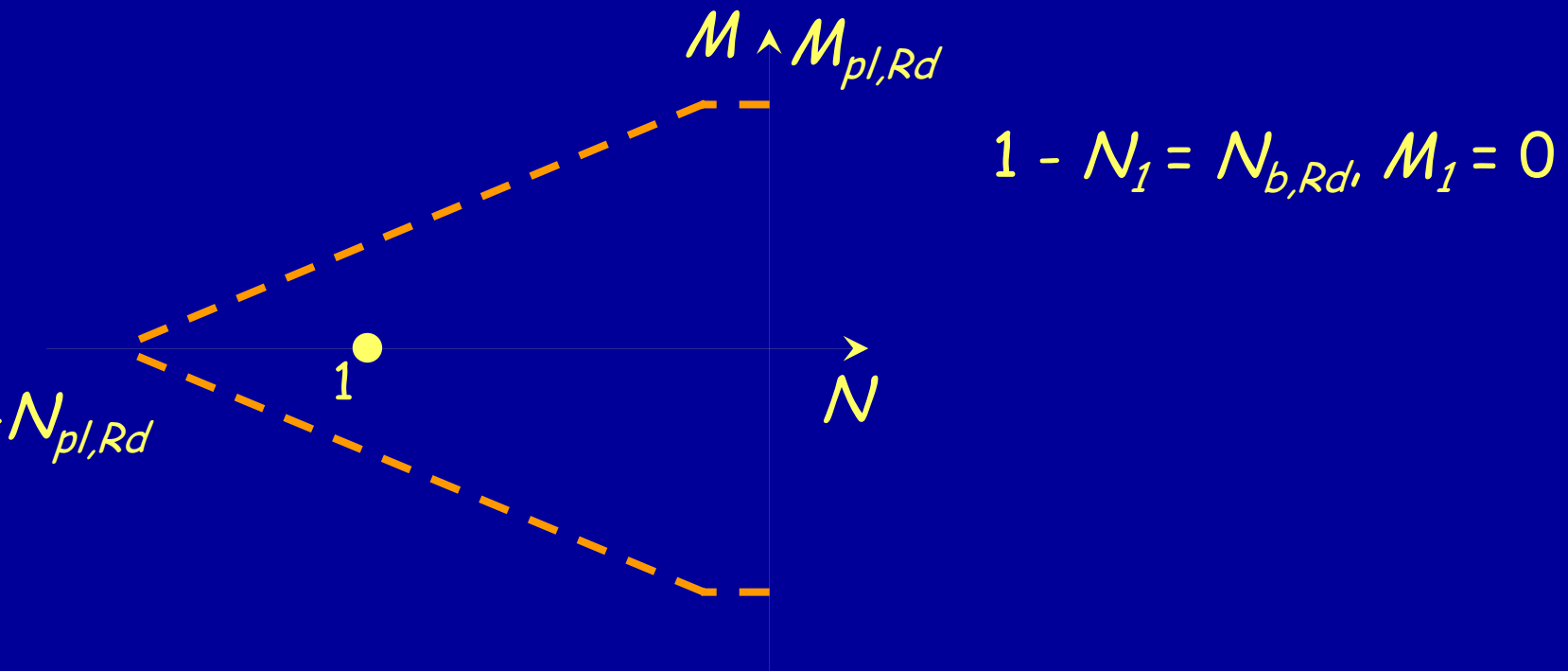
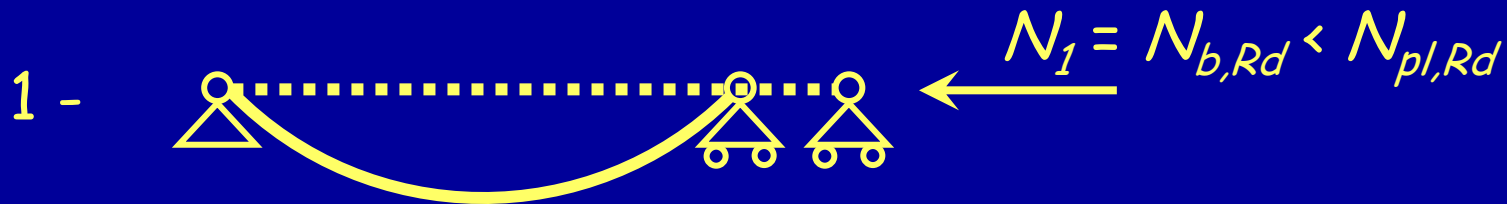
Va bene per la singola sezione, ma per l'asta bisogna tener conto dell'instabilità



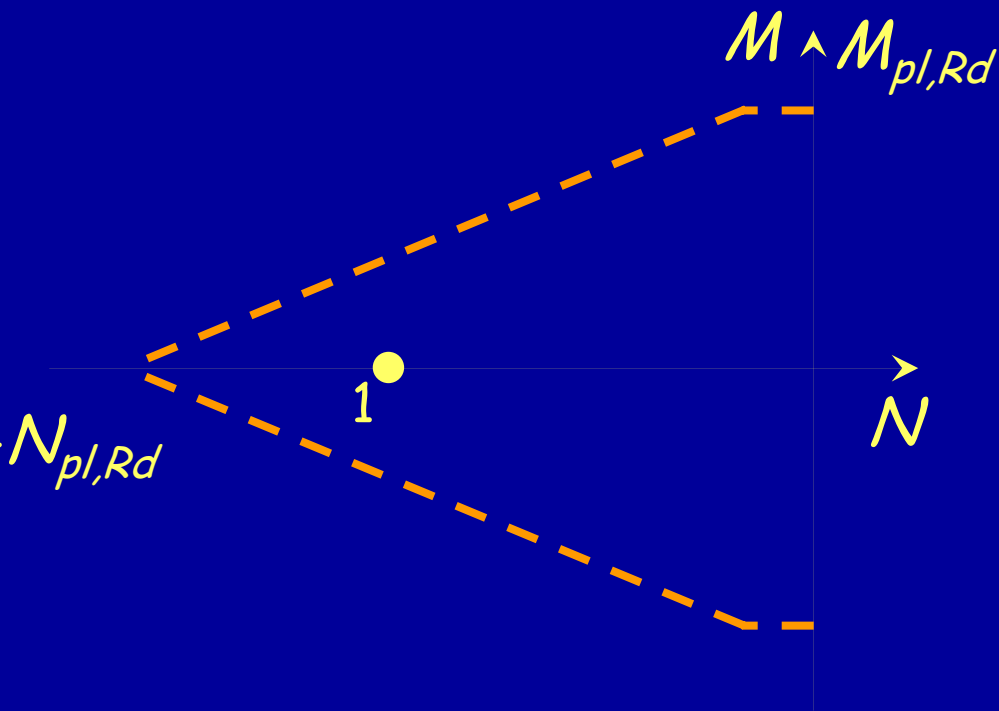
Domini di resistenza - stato limite ultimo



Domini di resistenza - stato limite ultimo

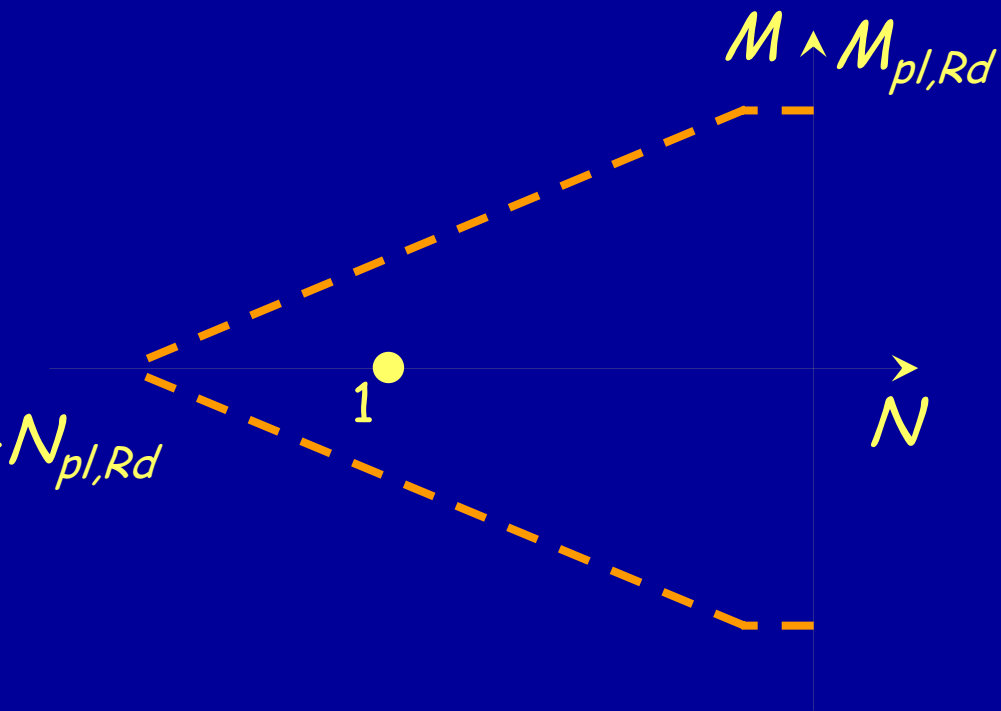
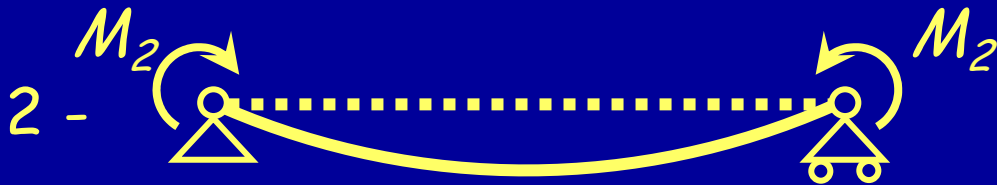


Domini di resistenza - stato limite ultimo



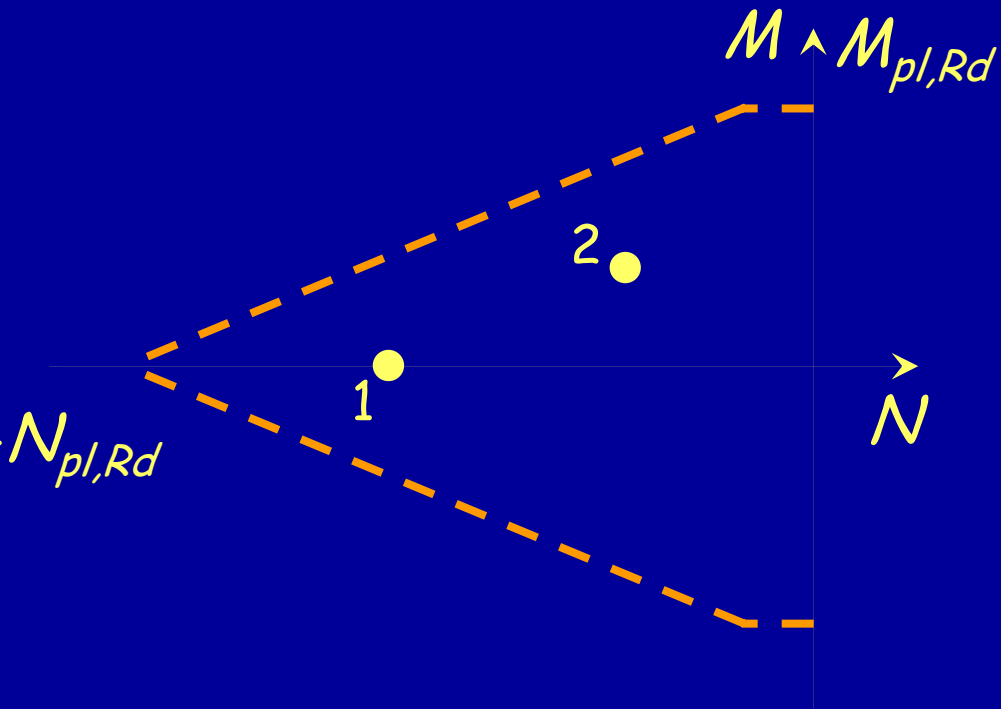
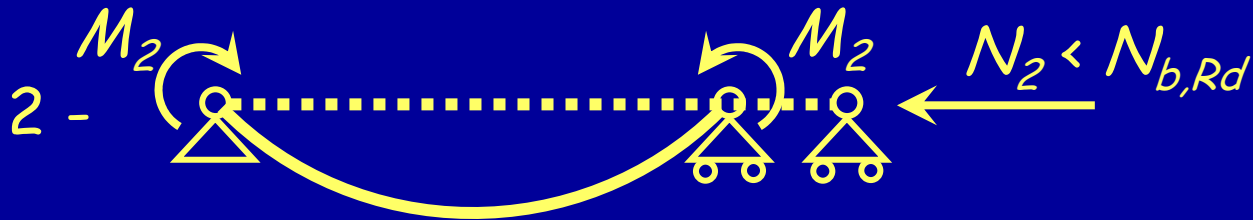
$$1 - N_1 = N_{b,Rd}, \quad M_1 = 0$$

Domini di resistenza - stato limite ultimo



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

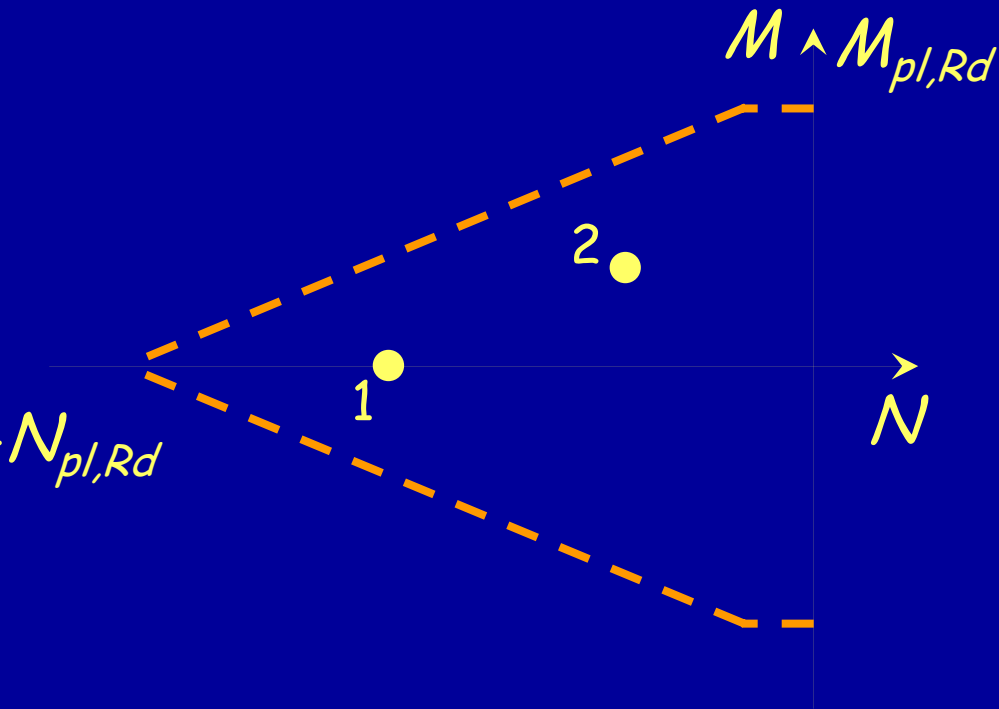
Domini di resistenza - stato limite ultimo



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

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

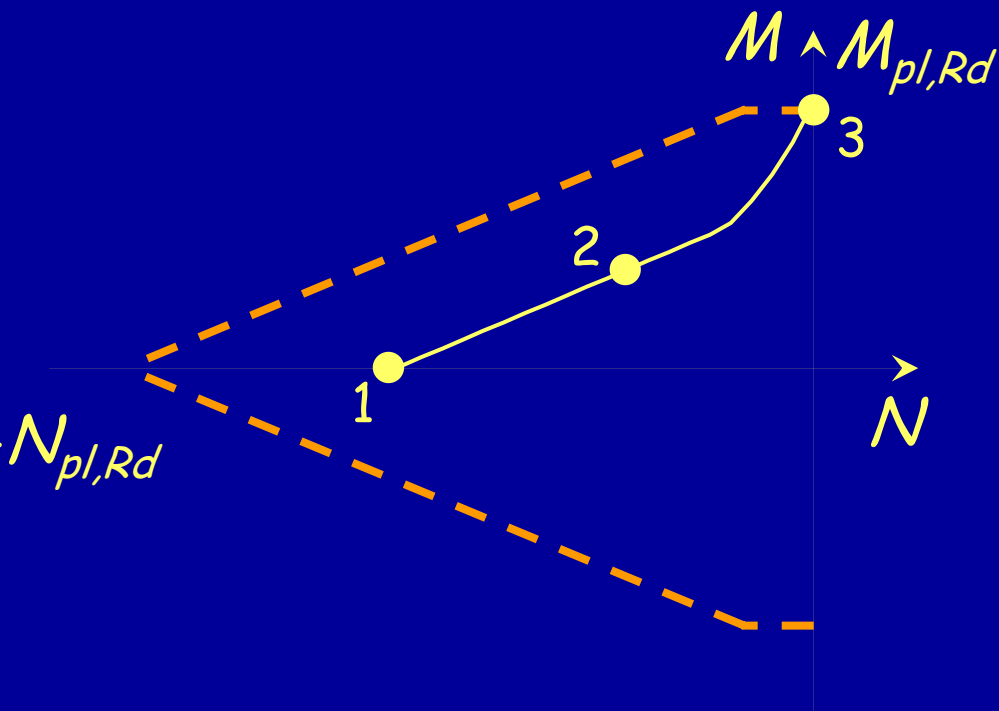
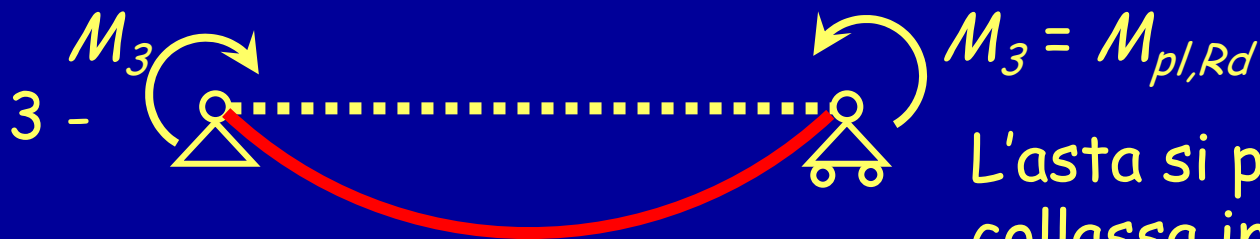
Domini di resistenza - stato limite ultimo



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

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

Domini di resistenza - stato limite ultimo



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

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

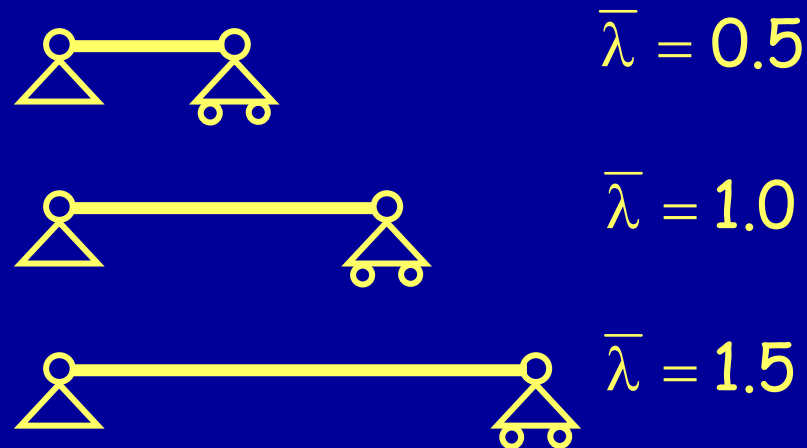
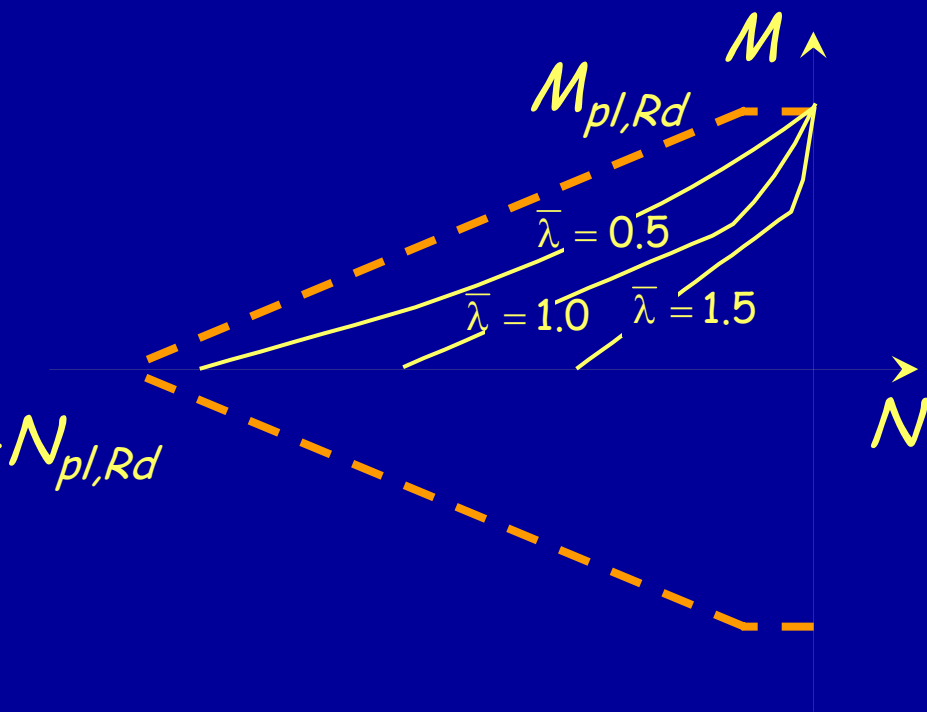
3 - $N_3 = 0$, $M_3 = M_{pl,Rd}$

Collegando i punti si ottiene il dominio

Domini di resistenza - stato limite ultimo

Il dominio dipende dalla snellezza dell'asta:

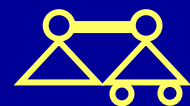
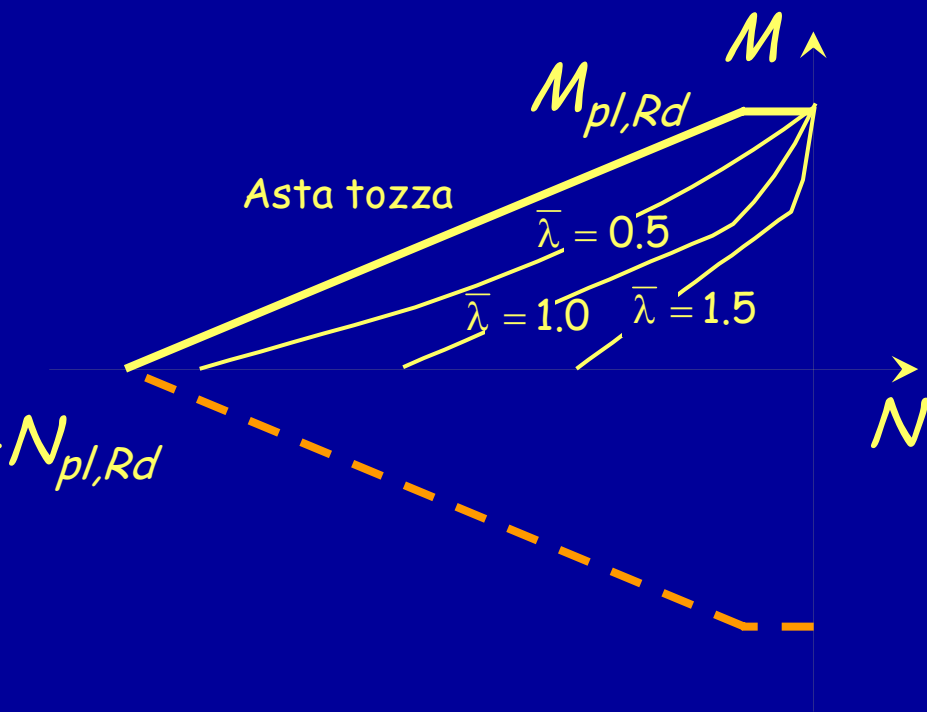
- L'ampiezza del dominio si riduce all'aumentare della snellezza;



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

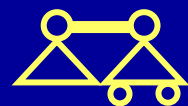
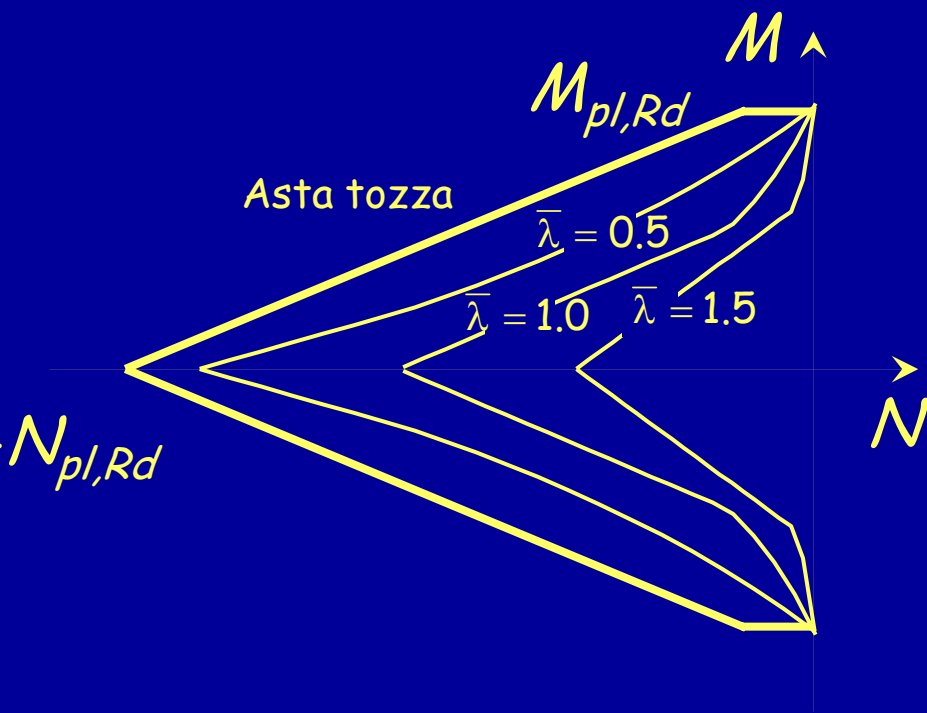
$$\bar{\lambda} = 0.5$$

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

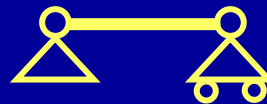
$$\bar{\lambda} = 1.5$$

Domini di resistenza - stato limite ultimo

Il dominio è simmetrico per aste con sezione trasversale simmetrica



Asta tozza



$\bar{\lambda} = 0.5$

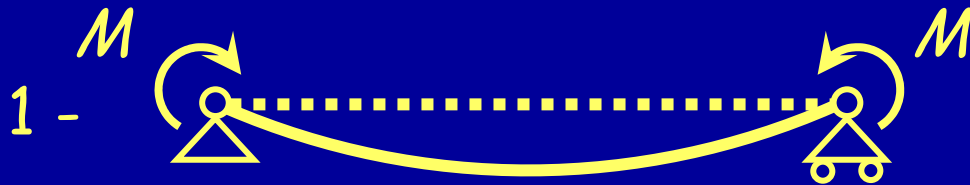


$\bar{\lambda} = 1.0$

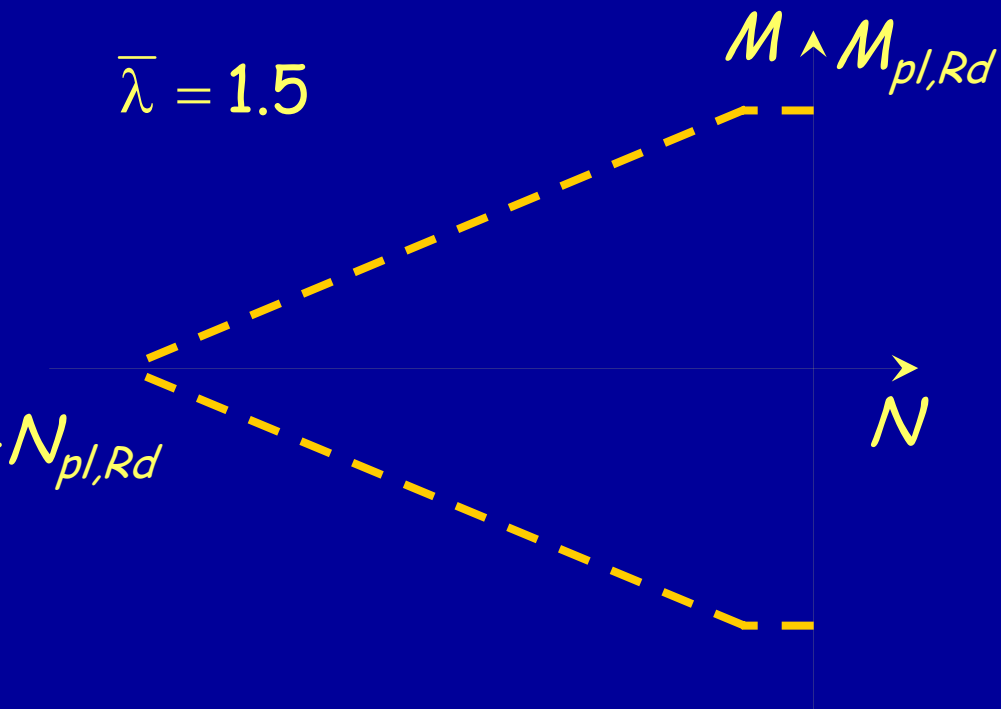


$\bar{\lambda} = 1.5$

Domini di resistenza - stato limite ultimo



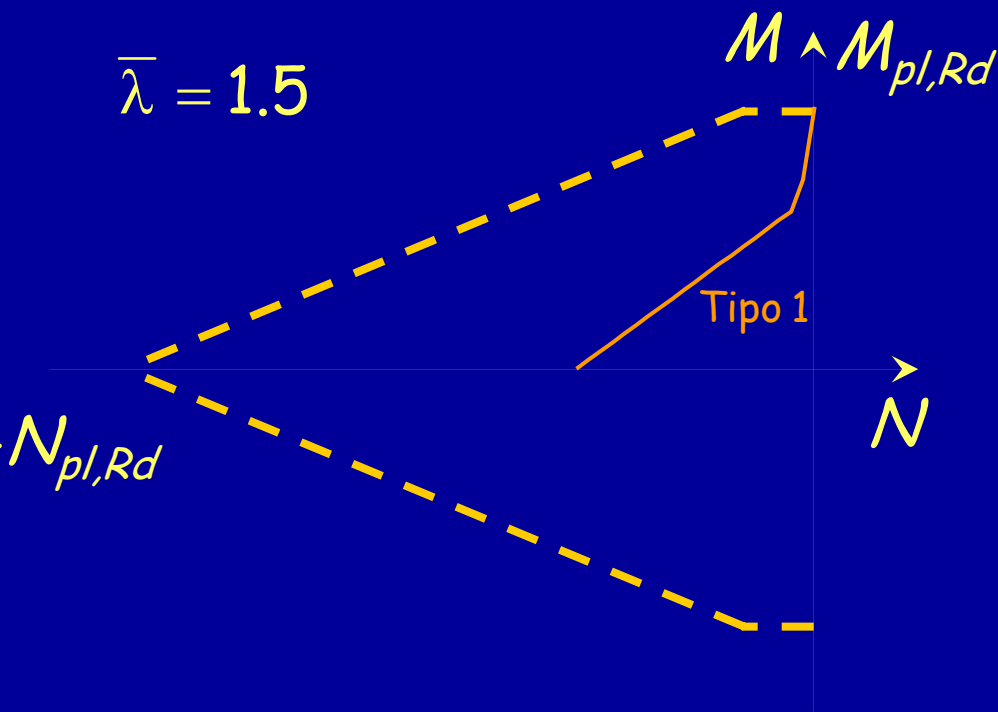
Momento tipo 1



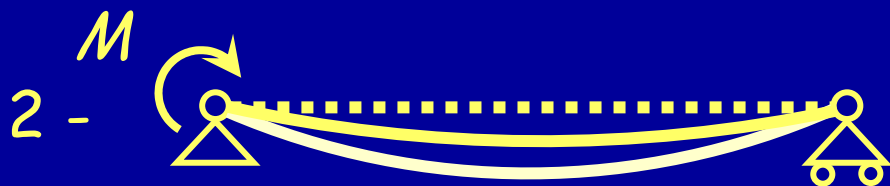
Domini di resistenza - stato limite ultimo



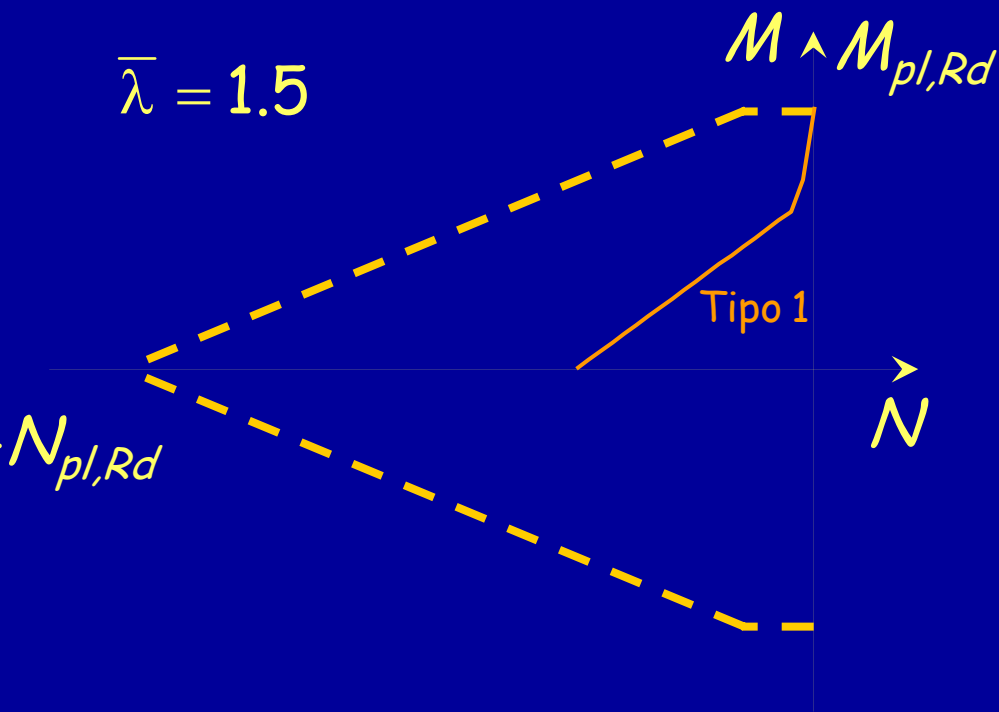
Momento tipo 1



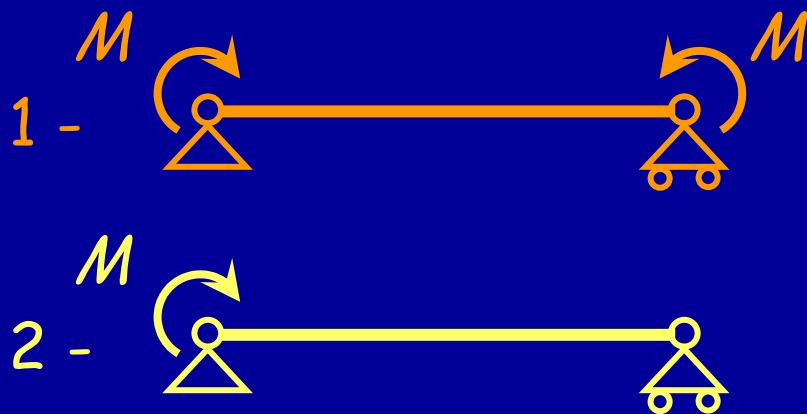
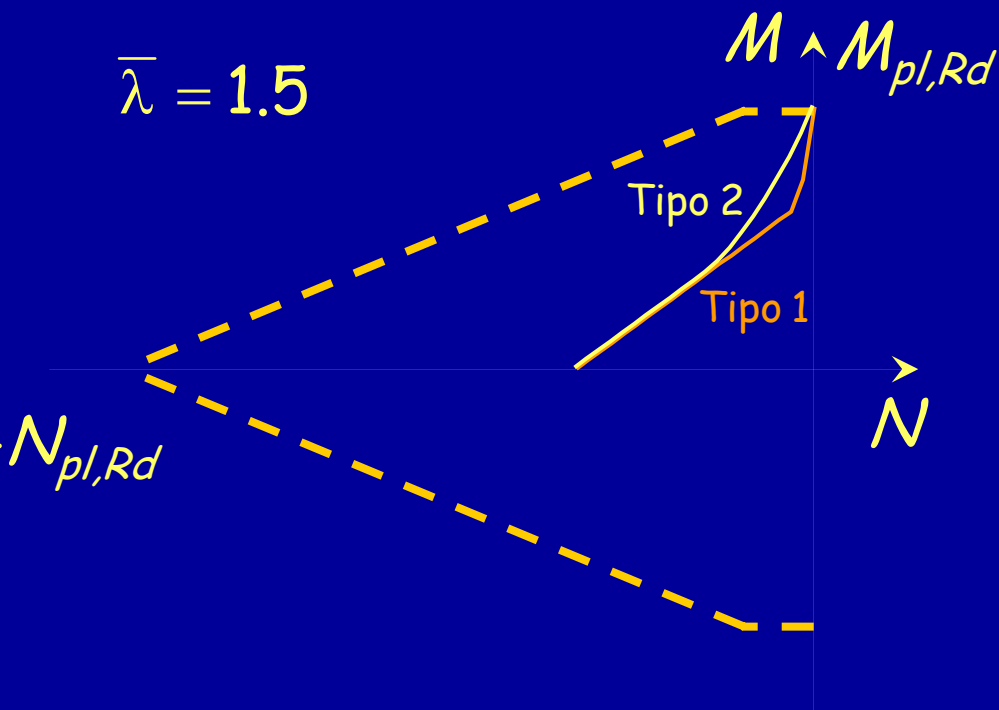
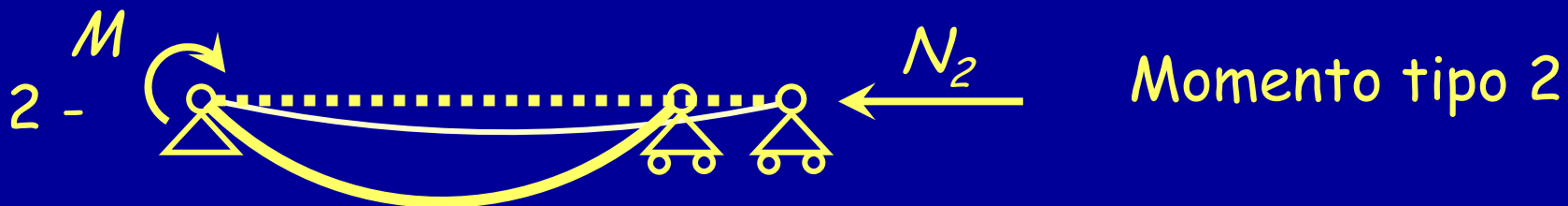
Domini di resistenza - stato limite ultimo



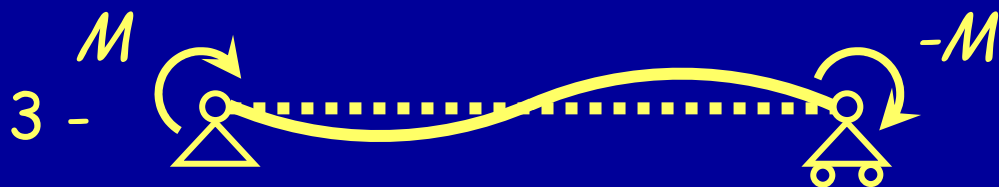
Momento tipo 2



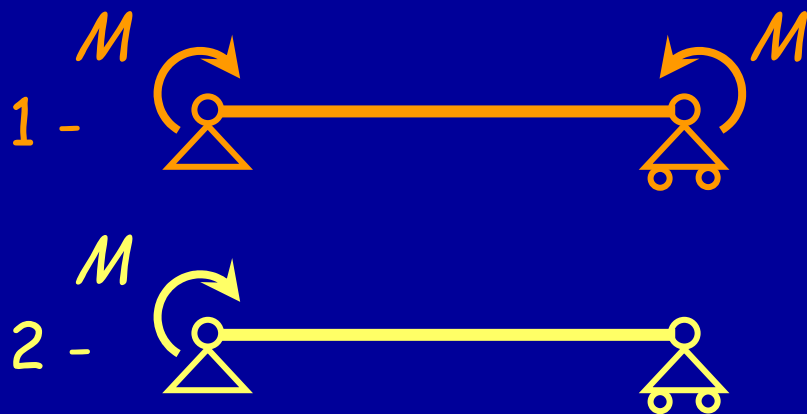
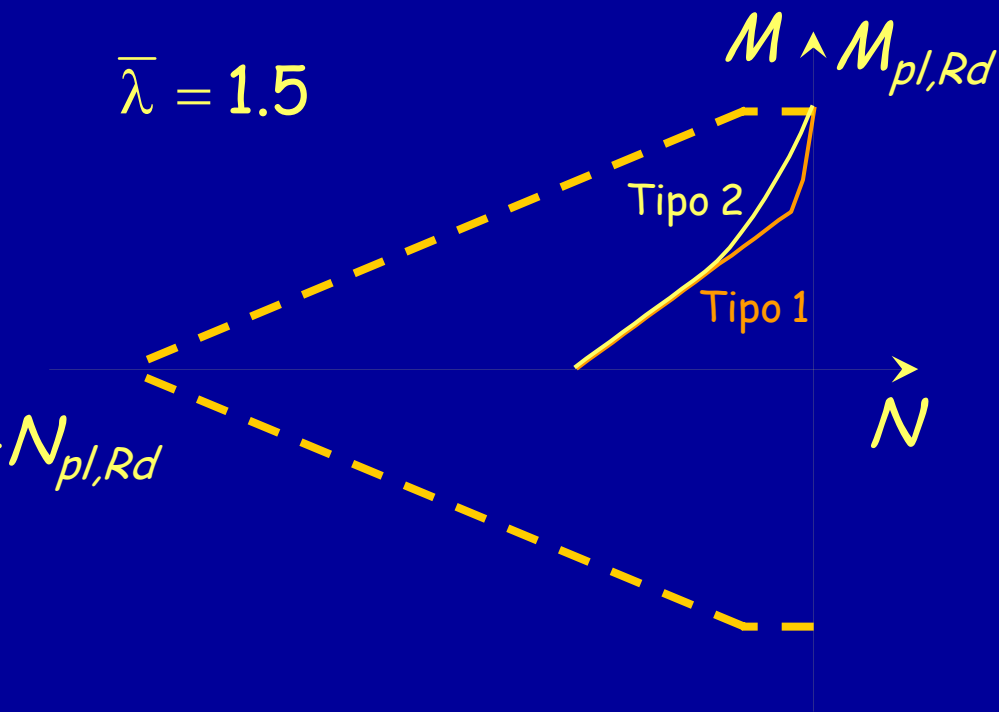
Domini di resistenza - stato limite ultimo



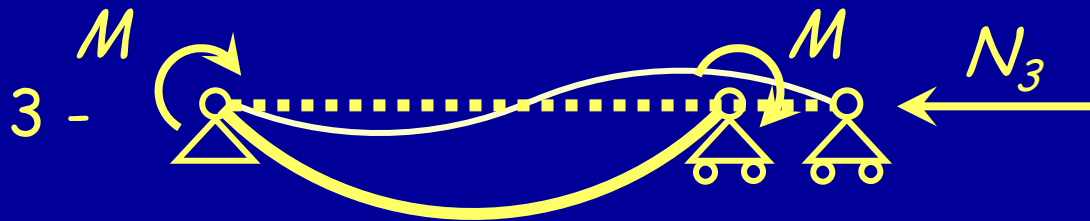
Domini di resistenza - stato limite ultimo



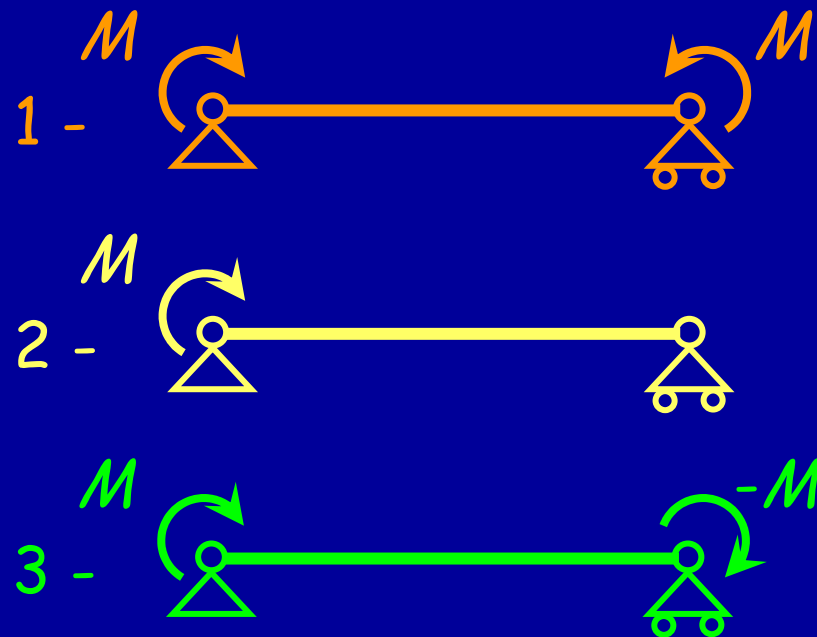
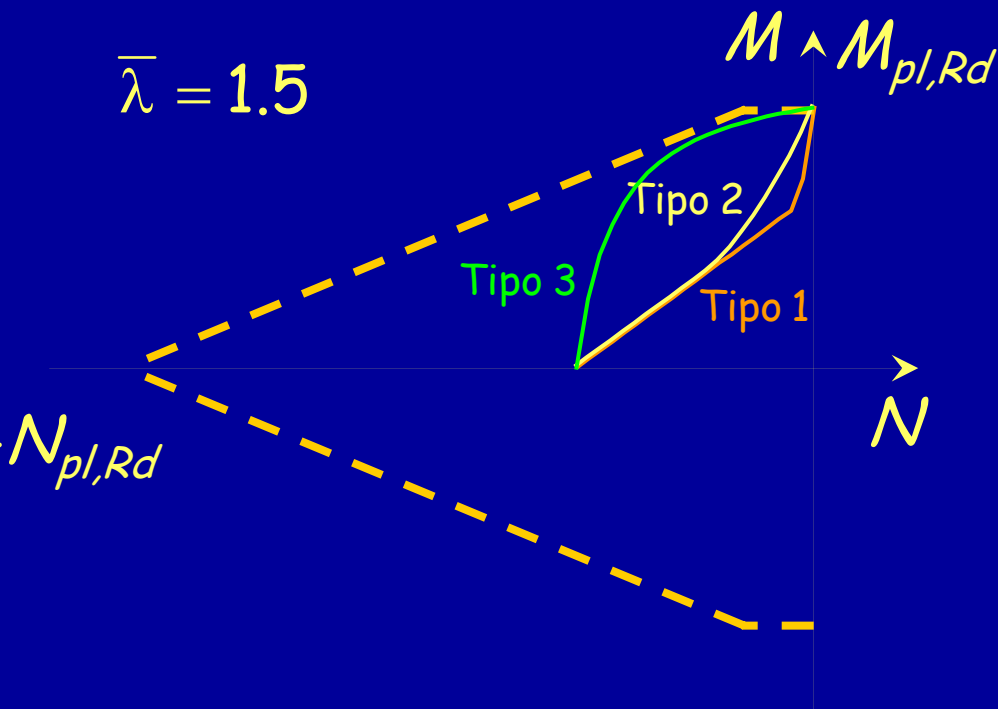
Momento tipo 3



Domini di resistenza - stato limite ultimo



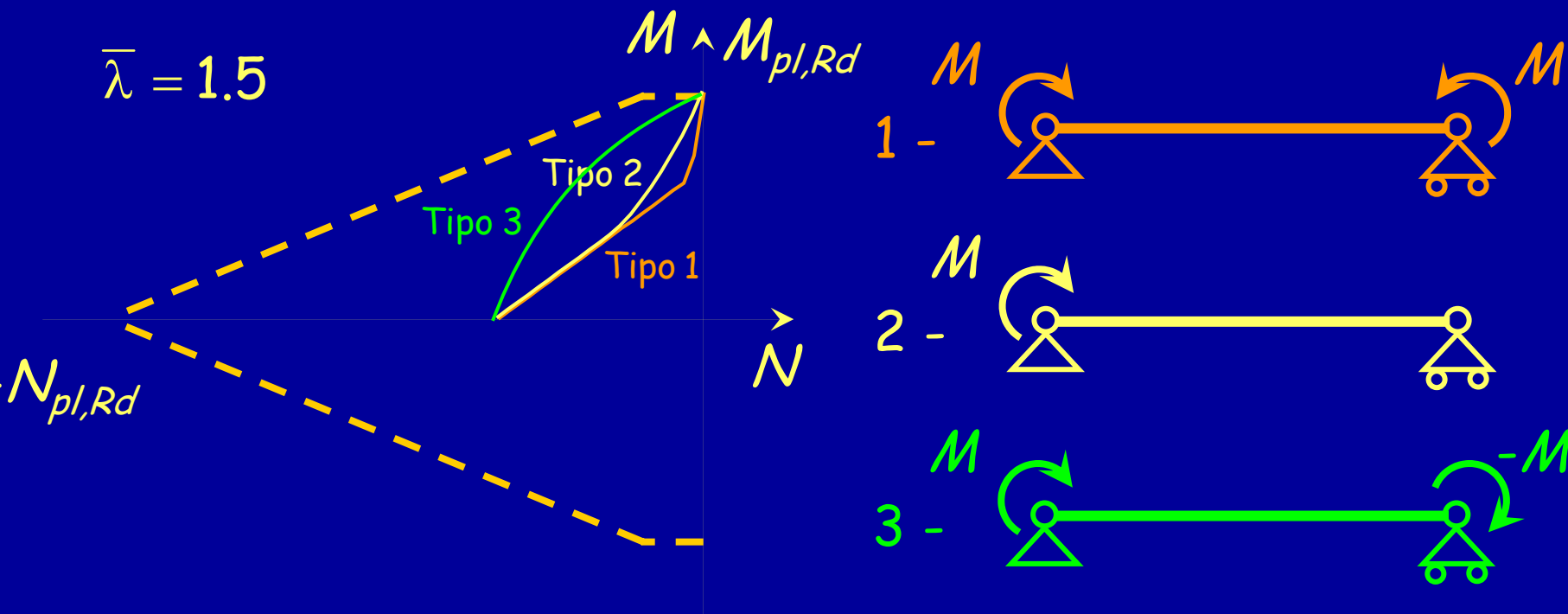
Momento tipo 3



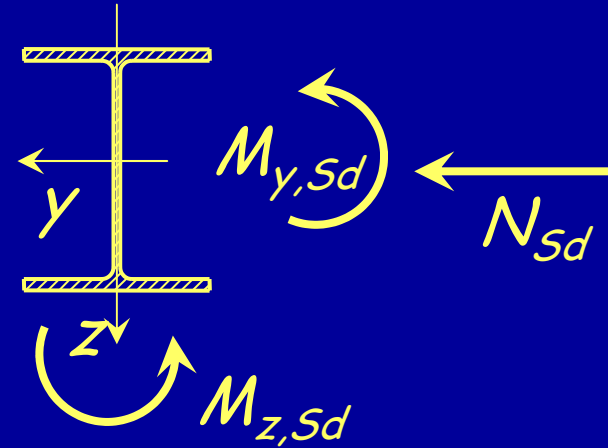
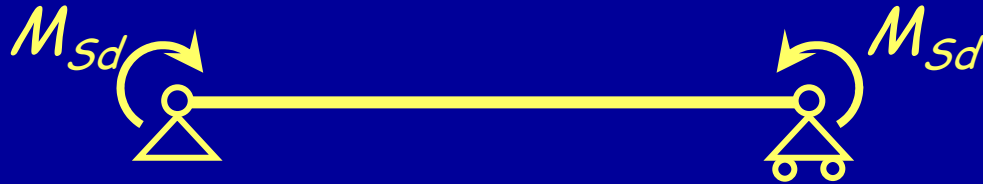
Domini di resistenza - stato limite ultimo

Il dominio dipende dalla snellezza dell'asta:

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



Verifica - stato limite ultimo



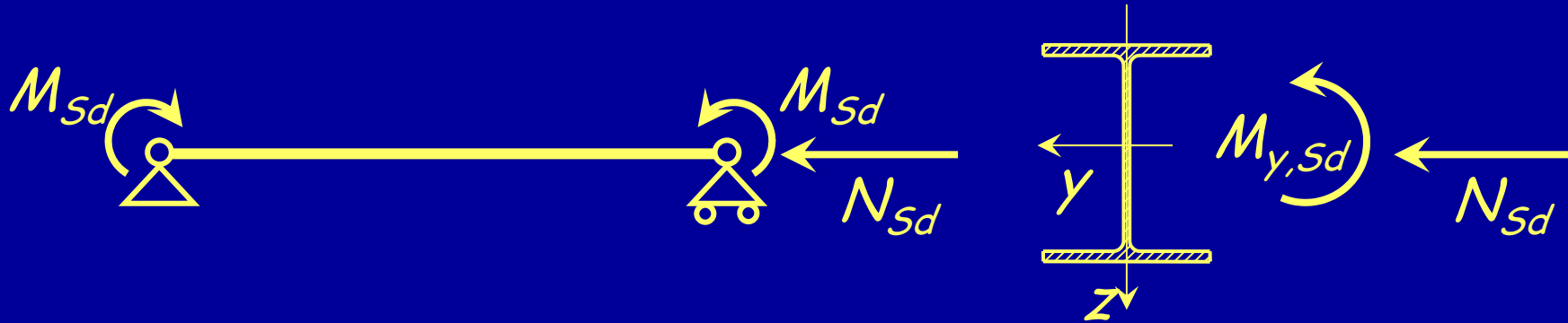
Per sezioni di classe 1 e 2:

$$\frac{N_{Sd}}{N_{b,Rd}} + \frac{k_y M_{y,Sd}}{W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z,Sd}}{W_{pl,z} f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$$

$k_y, k_z \leq 1.5$ Dipende da:

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

Verifica - stato limite ultimo

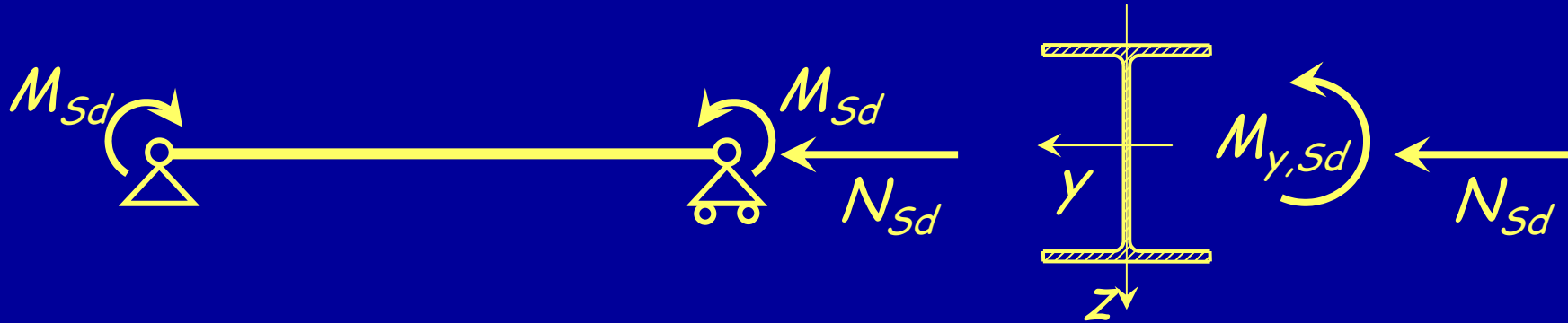


Nel caso più frequente in cui esiste un unico momento flettente:

$$\frac{N_{Sd}}{N_{b,Rd}} + \frac{k_y M_{y,Sd}}{W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1} M_{pl,Rd}} \leq 1$$

$$k_y \leq 1.5$$

Verifica - stato limite ultimo



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

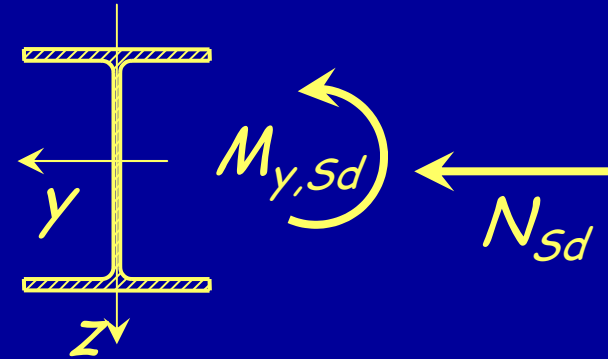
$$\frac{N_{Sd}}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{pl,Rd} / k_y} \leq 1$$

$$k_y \leq 1.5$$

Verifica - stato limite ultimo

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

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



β_{My} dipende dal diagramma del momento flettente



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

$$-1 \leq \psi \leq 1$$

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

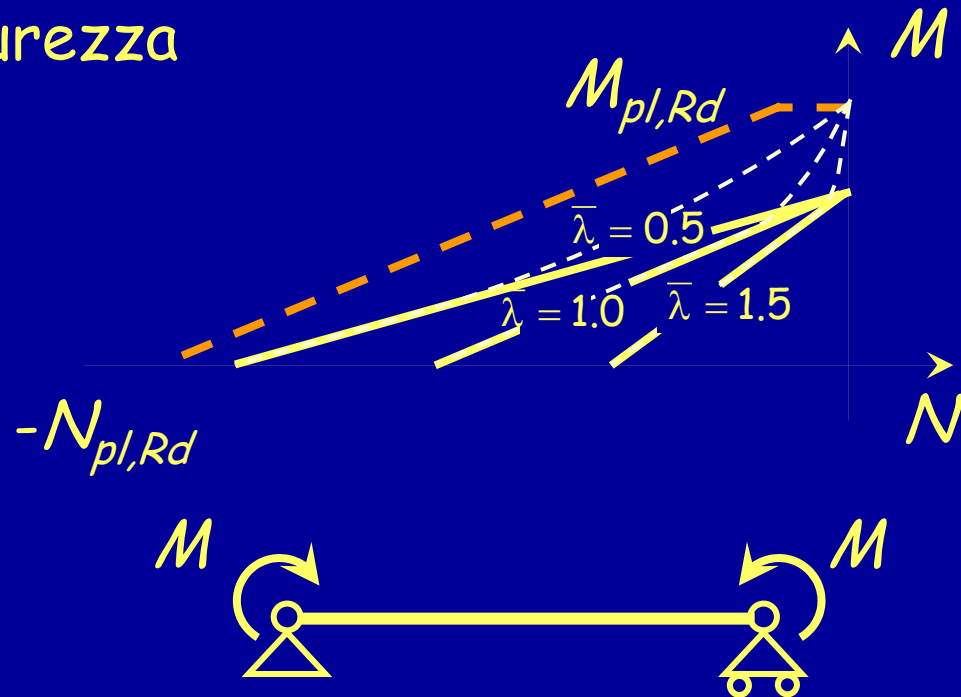
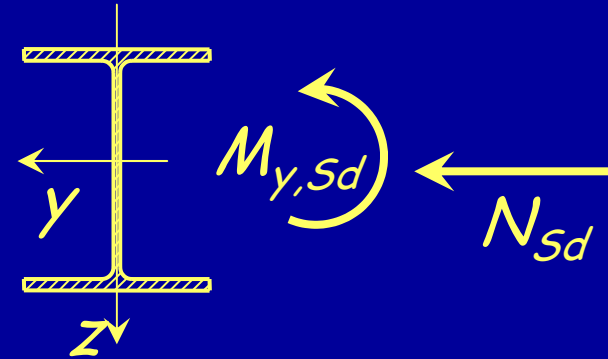
Verifica - stato limite ultimo

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

oppure

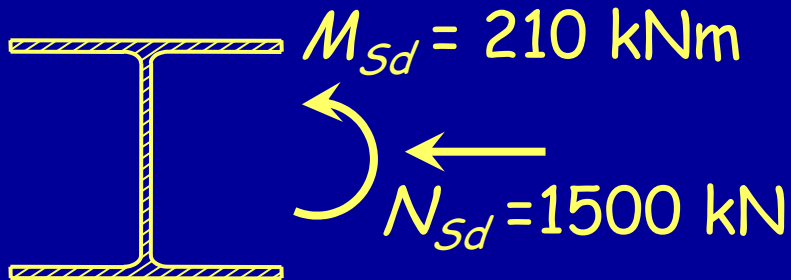
$$k_y = 1.5 \quad \text{a favore di sicurezza}$$

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



Esempio

Dati:

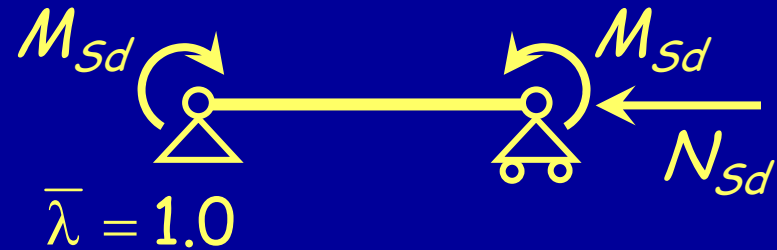


Sezione

HEB300

Acciaio

Fe360



1 - Classe della sezione

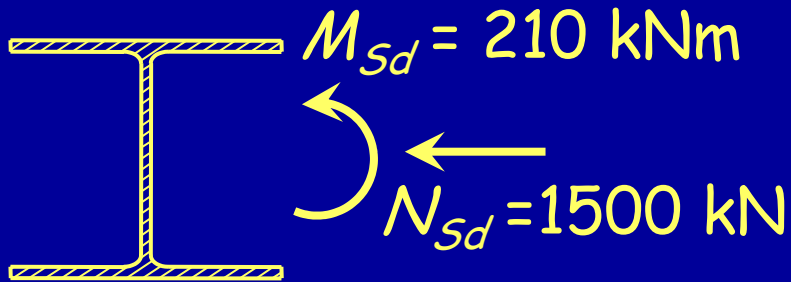
Anima: $\frac{d}{t_w} = \frac{208}{11} = 19 \leq 48 \varepsilon = 48$

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

La sezione appartiene alla classe 1.

Esempio

Dati:

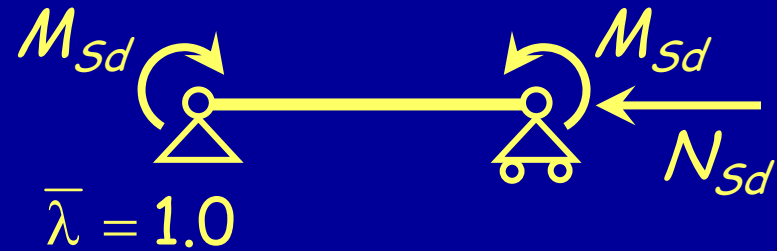


Sezione

HEB300

Acciaio

Fe360



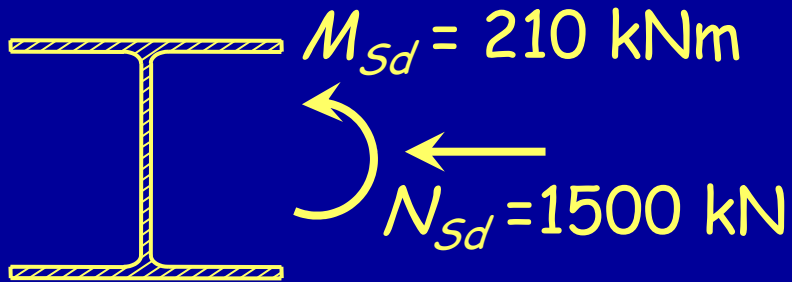
2 - Determinazione di $M_{pl,Rd}$

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

Era già stato determinato

Esempio

Dati:

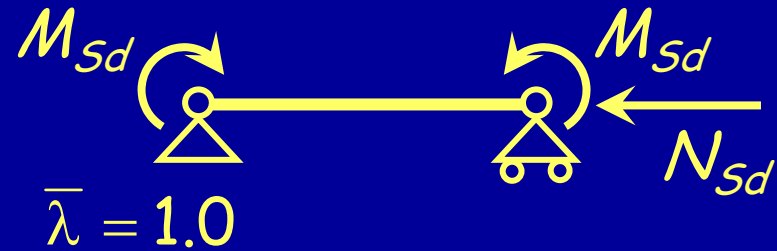


Sezione

HEB300

Acciaio

Fe360



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

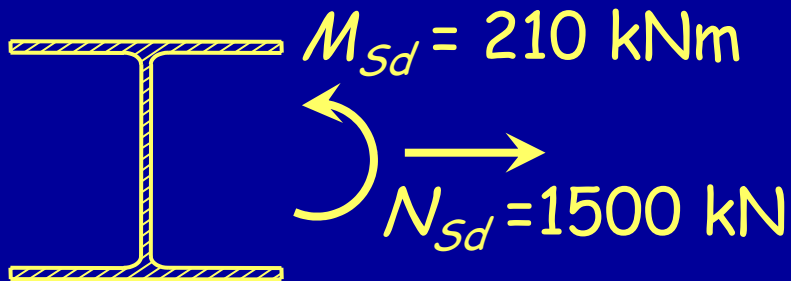
Quale curva dobbiamo utilizzare?

Scelta della curva di instabilità

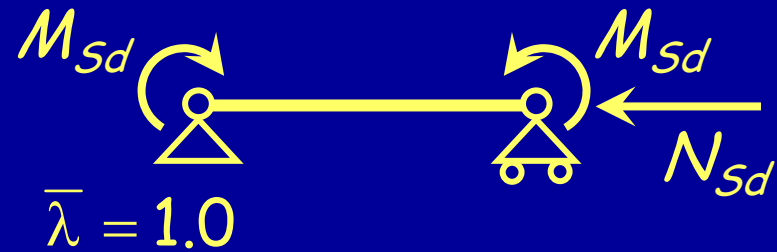
| Sezione trasversale | Limiti | Intorno all'asse | Curva di instabilità |
|--|--|------------------|----------------------|
| <p>Sezioni laminate ad I</p>  | $h/b > 1.2$: $t_f \leq 40 \text{ mm}$ $40 \text{ mm} < t_f \leq 100 \text{ mm}$ | | |
| | | y-y | a |
| | | z-z | b |
| | | y-y | b |
| | | z-z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

Esempio

Dati:



Sezione HEB300
Acciaio Fe360



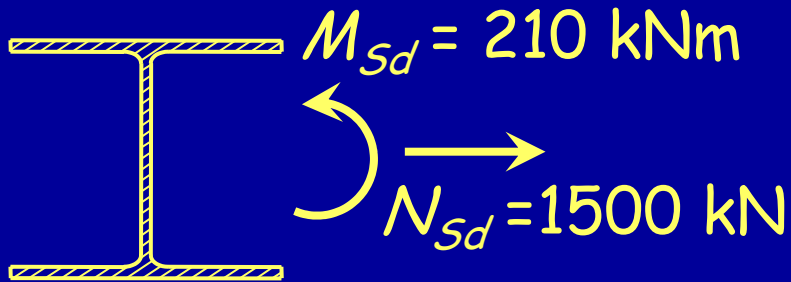
3 - Determinazione di $N_{b,Rd}$

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

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

Esempio

Dati:

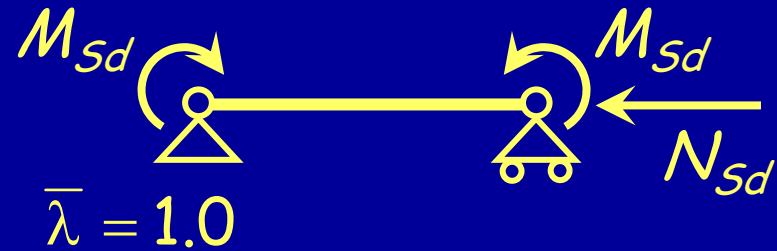


Sezione

HEB300

Acciaio

Fe360



4 - Verifica

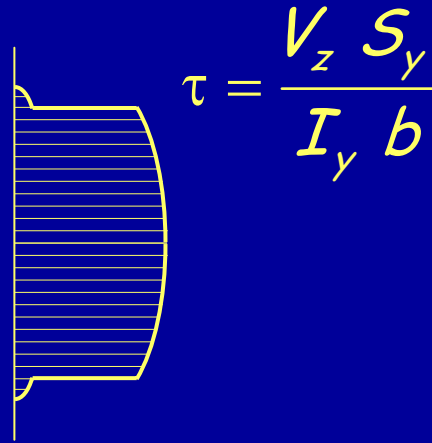
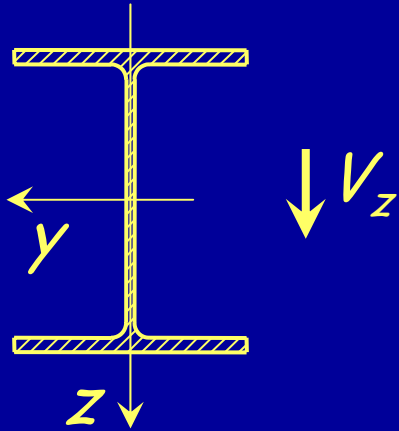
$$k_y = 1.5$$

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

La sezione non è verificata

Taglio

Comportamento ultimo



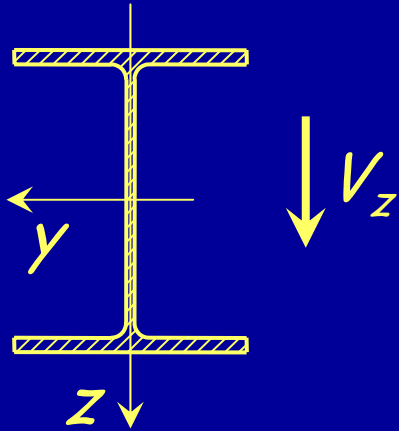
In campo lineare le tensioni si valutano con la formula di Jouraski:

S_y momento statico della sezione al di sopra (o al di sotto) della corda rispetto all'asse baricentrico;

I_y momento d'inerzia della sezione rispetto all'asse baricentrico;

b ampiezza della corda.

Comportamento ultimo

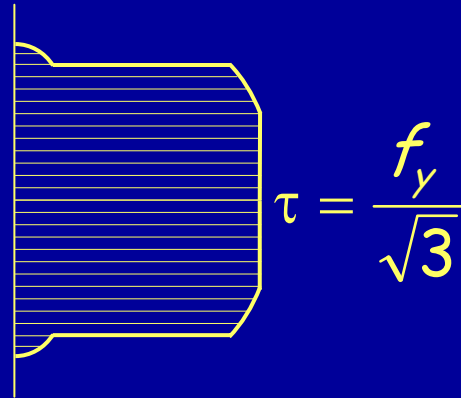
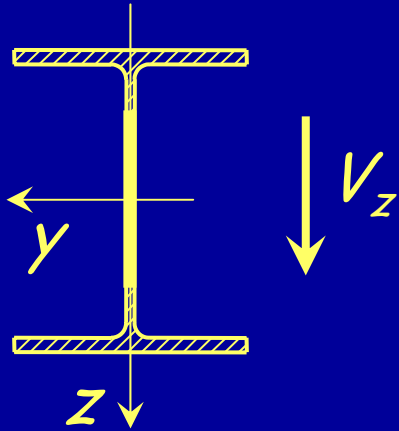


A diagram of a rectangular cross-section showing the distribution of shear stress τ . The distribution is parabolic, with the maximum value at the neutral axis. The area is filled with horizontal lines.

$$\tau = \frac{V_z S_y}{I_y b}$$
$$\tau = \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

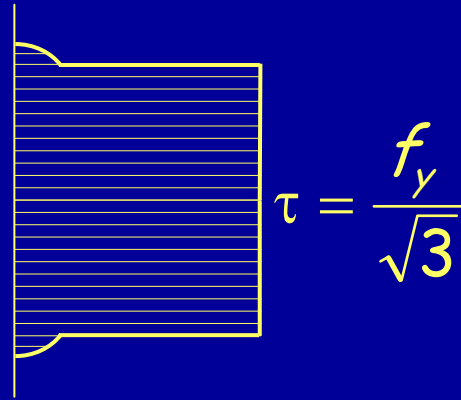
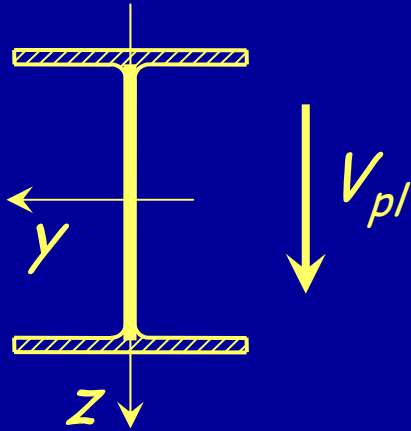
Facendo crescere il taglio, la fibra che sta sull'asse baricentrico (la più sollecitata) si plasticizza.

Comportamento ultimo



La plasticizzazione si propaga fino a che ...

Comportamento ultimo



... si plasticizza tutta l'anima.

$$V_{pl} = A_{anima} \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

$$V_{pl} = A_v \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

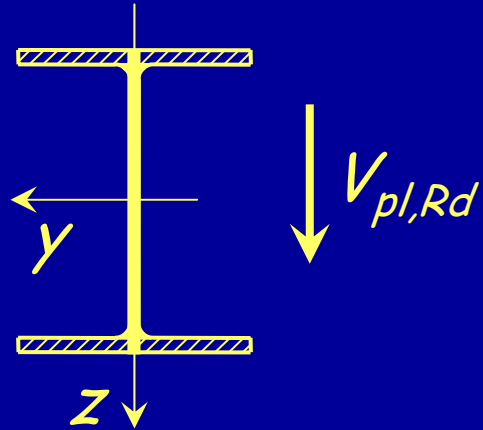
A_v

per sezioni a doppio T

in generale

area resistente a taglio

Verifica - stato limite ultimo



Per profili a doppio T

Si plasticizza tutta l'anima ed i raccordi circolari

Taglio resistente secondo l'Eurocodice 3

$$V_{pl,Rd} = A_v \frac{f_y / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}}$$

A_v

area resistente a taglio

Collegamenti

Tipi di collegamenti

1 - Collegamento a parziale ripristino di resistenza

In grado di trasmettere le caratteristiche di sollecitazione di progetto

2 - Collegamento a completo ripristino di resistenza

In grado di trasmettere le caratteristiche di sollecitazione ultime del meno resistente tra gli elementi collegati

Tipi di collegamenti

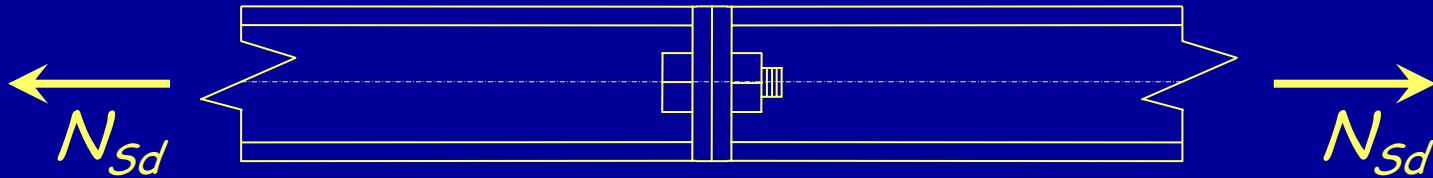
1 - Collegamento bullonati

2 - Collegamenti saldati

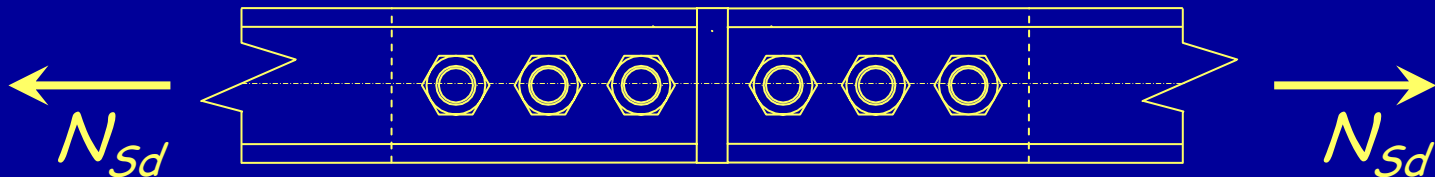
Collegamenti bullonati

Collegamenti bullonati

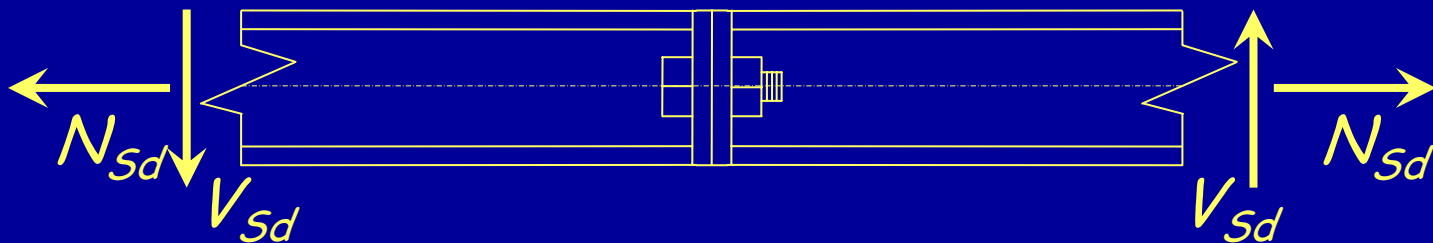
1 - Con bulloni sollecitati a trazione



2 - Con bulloni sollecitati a taglio

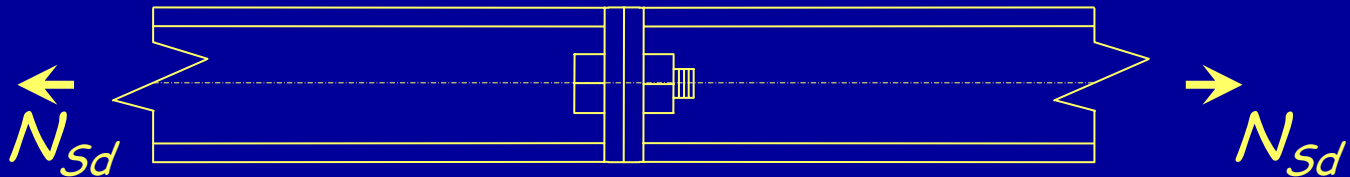


3 - Con bulloni sollecitati a trazione e taglio



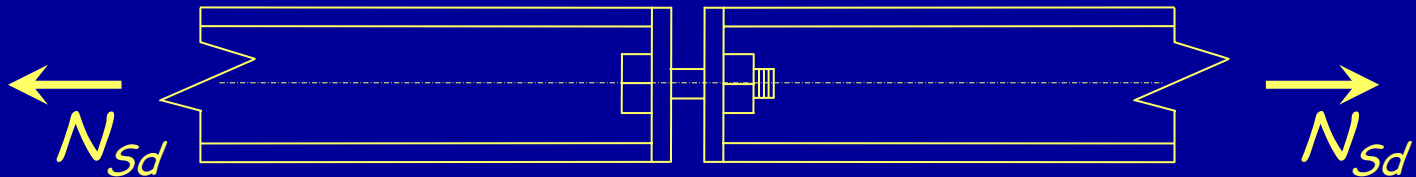
Collegamenti bullonati bulloni sollecitati a trazione

Meccanismi di rottura



Collegamenti bullonati bulloni sollecitati a trazione

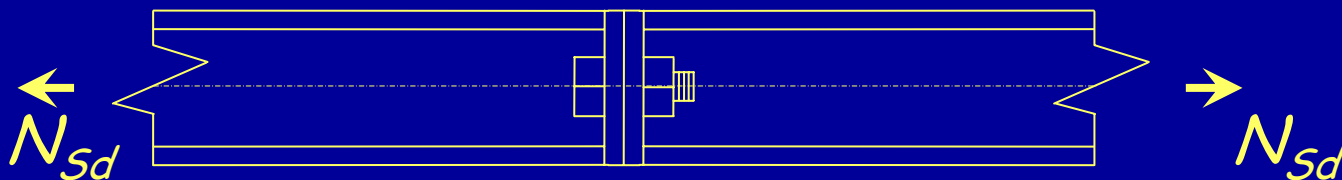
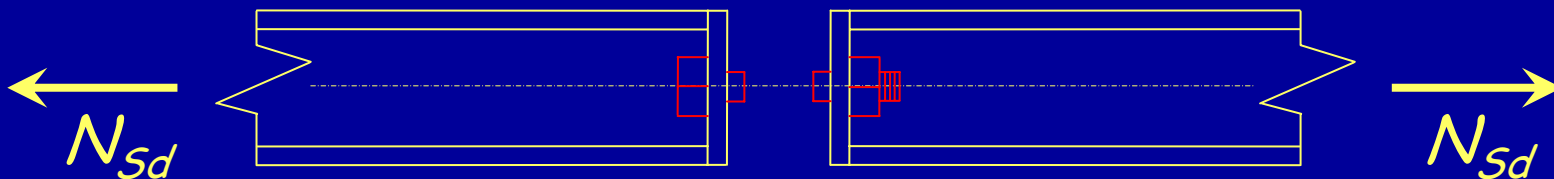
Meccanismi di rottura



Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

Meccanismi di rottura

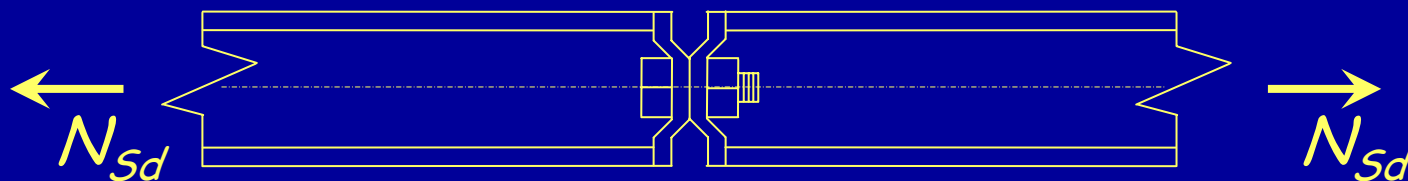
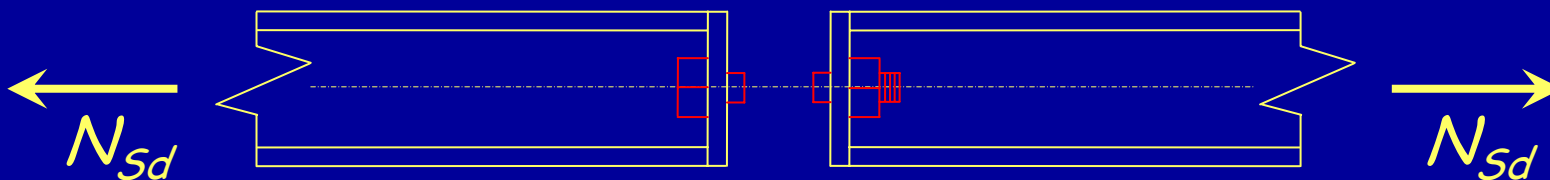
1 - Rottura dei bulloni a trazione



Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

Meccanismi di rottura

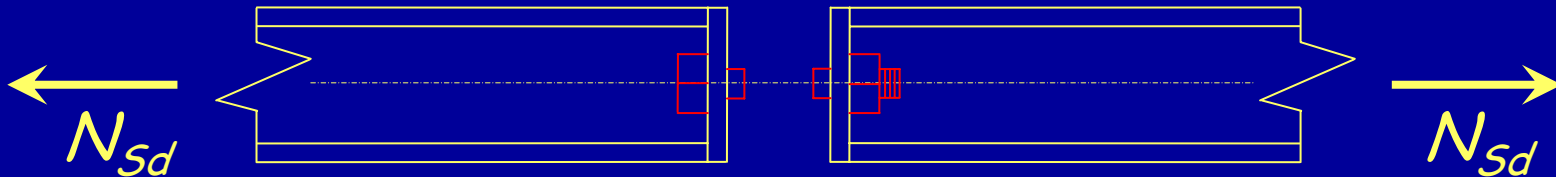
1 - Rottura dei bulloni a trazione



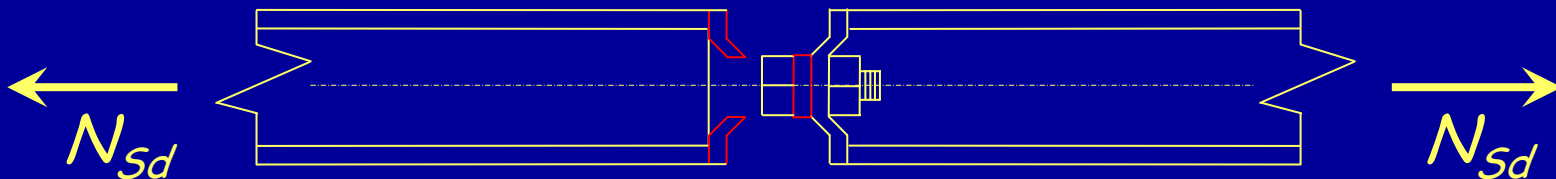
Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

Meccanismi di rottura

1 - Rottura dei bulloni a trazione

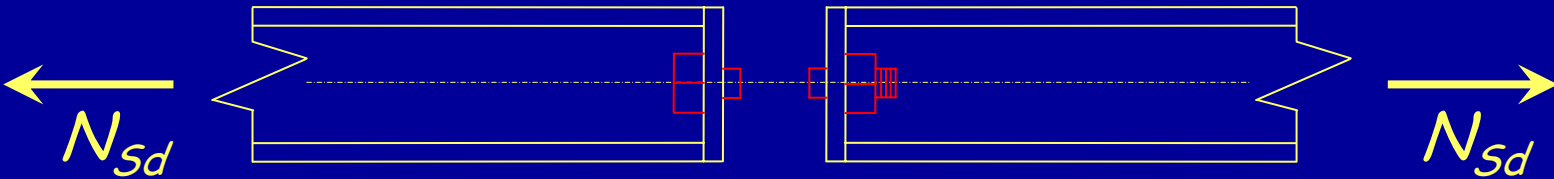


2 - Punzonamento della piastra



Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

1 - Rottura dei bulloni a trazione



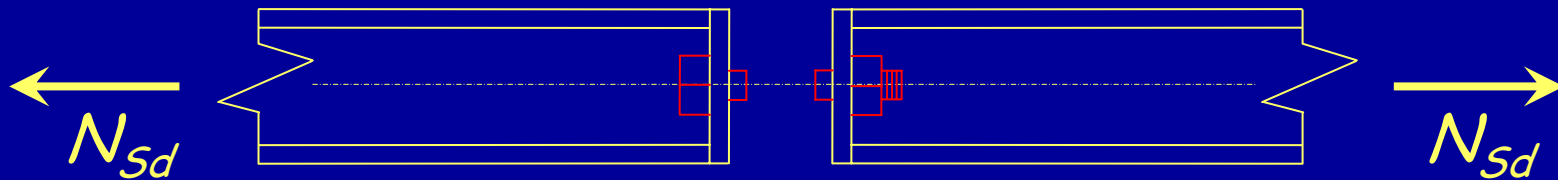
Il bullone si rompe quando la tensione sul bullone è pari a f_{ub}

$$F_{t,\max} = A_{res} f_{ub}$$

A_{res} Area resistente del bullone

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

1 - Rottura dei bulloni a trazione



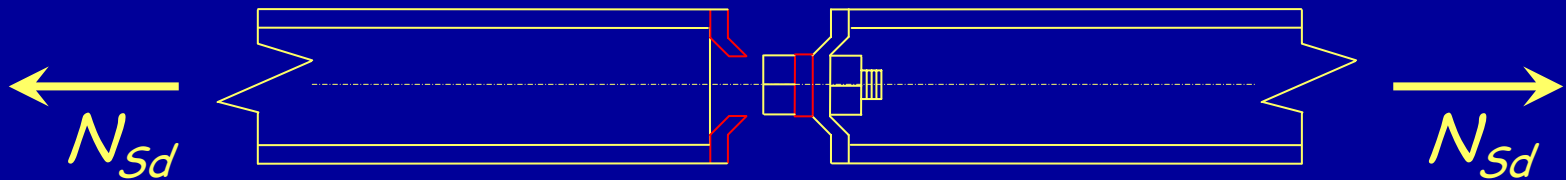
Il bullone si rompe quando la tensione sul bullone è pari a f_{ub}

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 A_{res} f_{ub}}{\gamma_{Mb}}$$

A_{res} Area resistente del bullone

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

2 - Punzonamento della piastra



La piastra si rompe quando la tensione tangenziale sulla giacitura di rottura è pari a $f_u / \sqrt{3}$

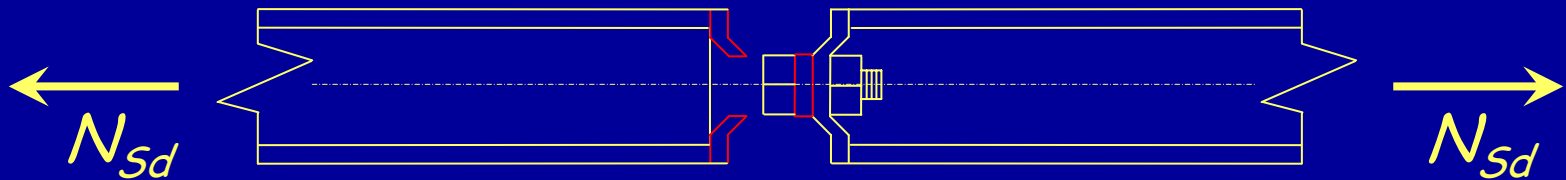
$$B_{p,max} = \pi d_m t_p (f_u / \sqrt{3})$$

d_m Diametro della giacitura di rottura

t_p Spessore della piastra

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

2 - Punzonamento della piastra



La piastra si rompe quando la tensione tangenziale sulla giacitura di rottura è pari a $f_u / \sqrt{3}$

$$B_{p,Rd} = \frac{\pi d_m t_p (0.6 f_u)}{\gamma_{Mb}}$$

d_m Diametro della giacitura di rottura

t_p Spessore della piastra

Verifica di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

1 - Rottura dei bulloni a trazione

$$F_{t,Sd} \leq F_{t,Rd} = \frac{0.9 A_{res} f_{ub}}{\gamma_{Mb}}$$

A_{res} Area resistente del bullone

2 - Punzonamento della piastra

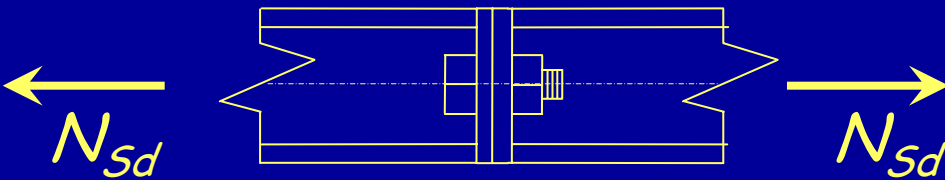
$$F_{t,Sb} \leq B_{p,Rb} = \frac{\pi d_m t_p (0.6 f_u)}{\gamma_{Mb}}$$

d_m Diametro della giacitura di rottura

t_p Spessore della piastra

Esempio

Dati:



| | |
|-----------|--------------|
| N_{Sd} | 100 kN |
| 2 Bulloni | M16 |
| | classe 5.6 |
| Lamiera | Fe360 |
| | $t_p = 5$ mm |

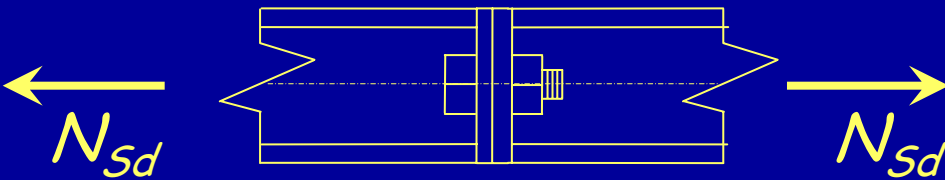
1 - Determinazione di $F_{t,Rd}$

$$A_{res} = 157 \text{ mm}^2$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 A_{res} f_{ub}}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.9 \times 157 \times 500}{1.35 \times 10^3} = 52.3 \text{ kN}$$

Esempio

Dati:



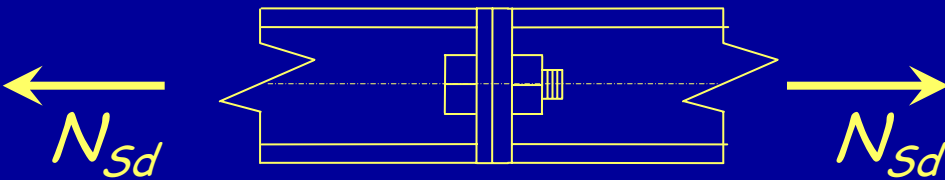
| | |
|-----------|--------------|
| N_{Sd} | 100 kN |
| 2 Bulloni | M16 |
| | classe 5.6 |
| Lamiera | Fe360 |
| | $t_p = 5$ mm |

2 - Determinazione di $B_{p,Rd}$

$$B_{p,Rd} = \frac{\pi d_m t_p (0.6 f_u)}{\gamma_{Mb}} = \frac{\pi \times 25 \times 5 \times (0.6 \times 360)}{1.35 \times 10^3} = 62.8 \text{ kN}$$

Esempio

Dati:



| | |
|-----------|--------------|
| N_{Sd} | 100 kN |
| 2 Bulloni | M16 |
| | classe 5.6 |
| Lamiera | Fe360 |
| | $t_p = 5$ mm |

3 - Verifica

$$F_{t,Sd} = \frac{N_{Sd}}{n_b} = \frac{100}{2} = 50.0 \text{ kN} < F_{t,Rd} < B_{p,Rd}$$

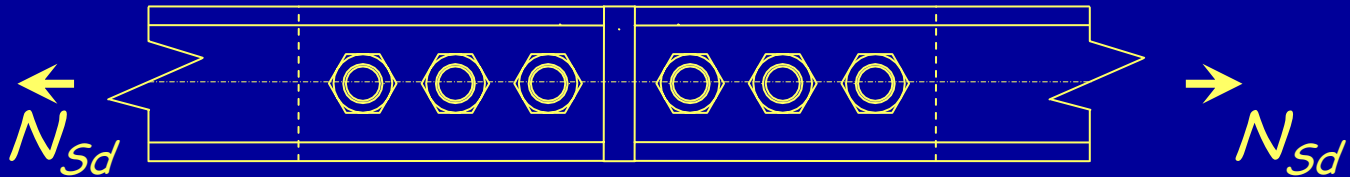
$$F_{t,Rd} = 52.3 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = 62.8 \text{ kN}$$

Il collegamento è verificato

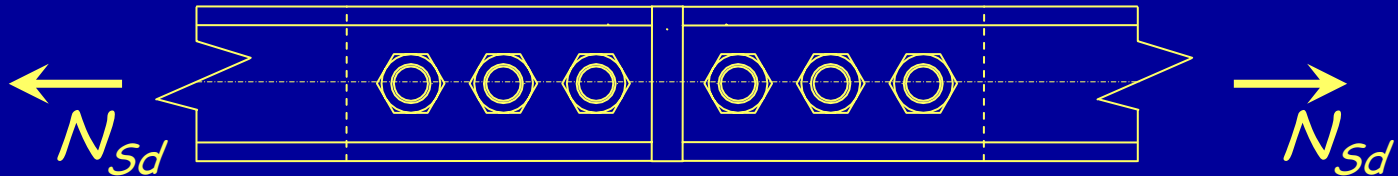
Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

Meccanismi di rottura



Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

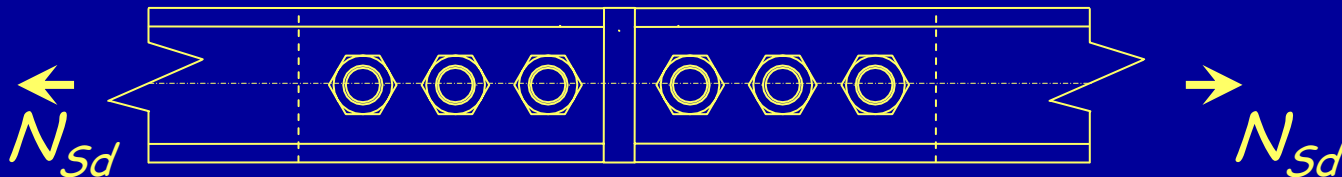
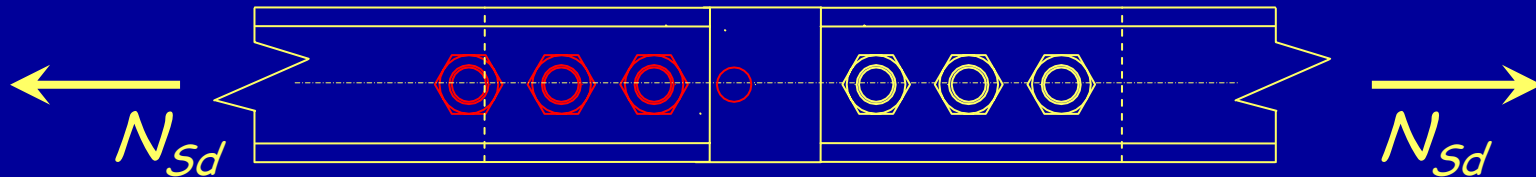
Meccanismi di rottura



Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

Meccanismi di rottura

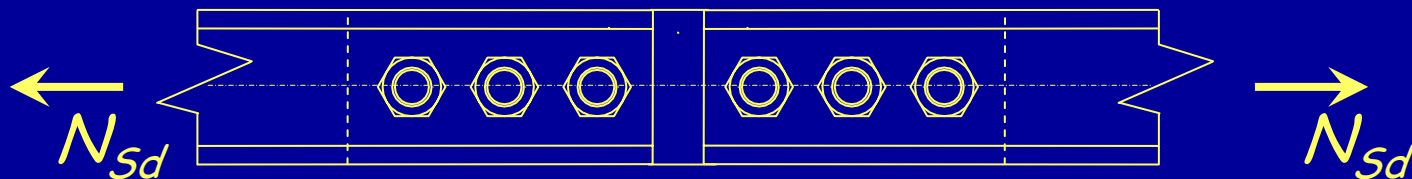
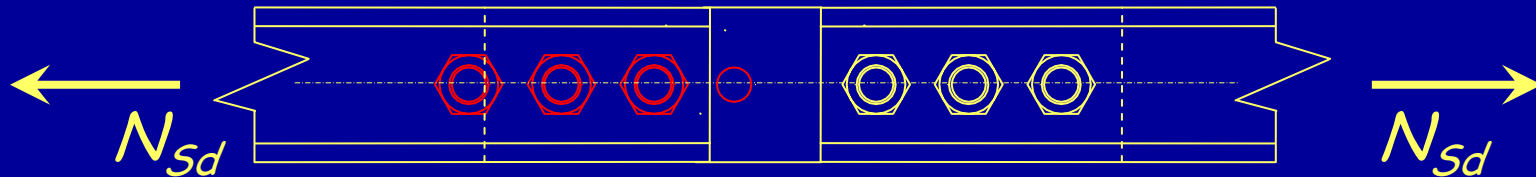
1 - Rottura dei bulloni a taglio



Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

Meccanismi di rottura

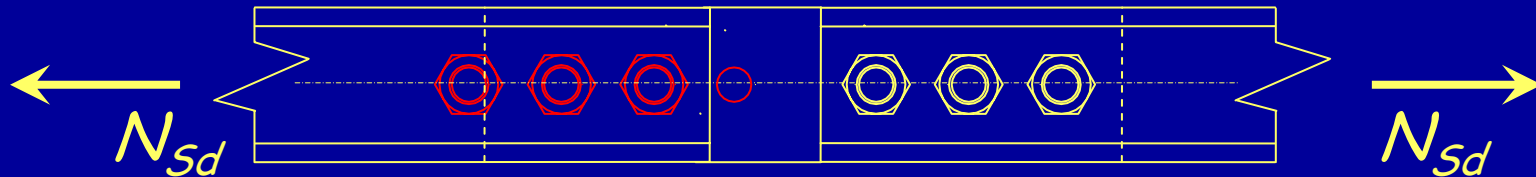
1 - Rottura dei bulloni a taglio



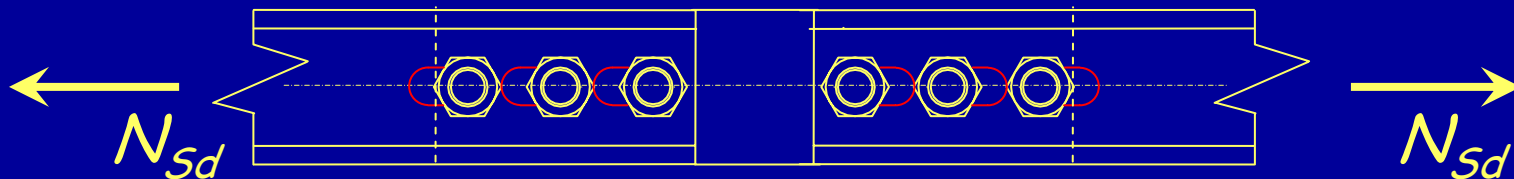
Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

Meccanismi di rottura

1 - Rottura dei bulloni a taglio

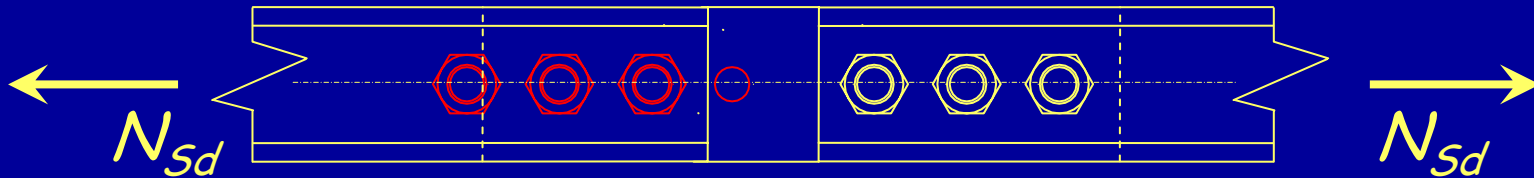


2 - Rifollamento delle lamiere



Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

1 - Rottura dei bulloni a taglio



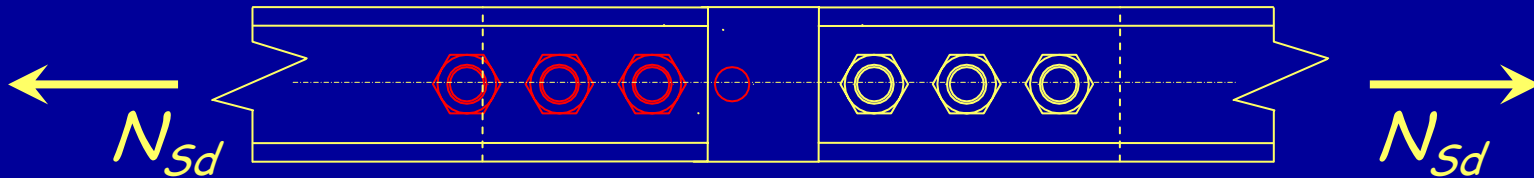
Il bullone si rompe quando la tensione tangenziale sul bullone è pari a $f_{ub} / \sqrt{3}$

$$F_{V,max} = A (f_{ub} / \sqrt{3})$$

A Area nominale del bullone

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

1 - Rottura dei bulloni a taglio



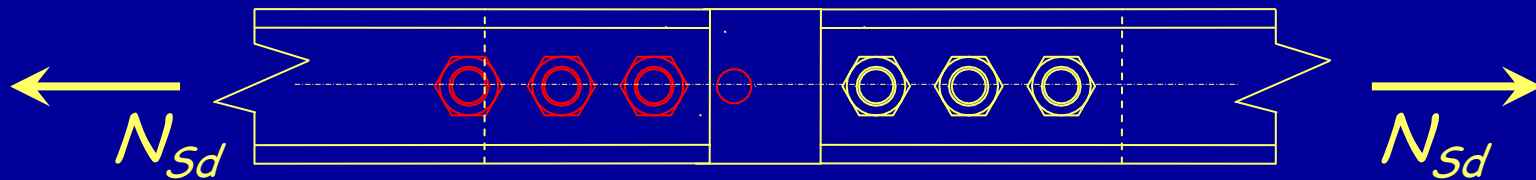
Il bullone si rompe quando la tensione tangenziale sul bullone è pari a $f_{ub} / \sqrt{3}$

$$F_{v,Rd} = \frac{A (0.6 f_{ub})}{\gamma_{Mb}}$$

A Area nominale del bullone

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

1 - Rottura dei bulloni a taglio



Se il piano di taglio attraversa la parte filettata del bullone:

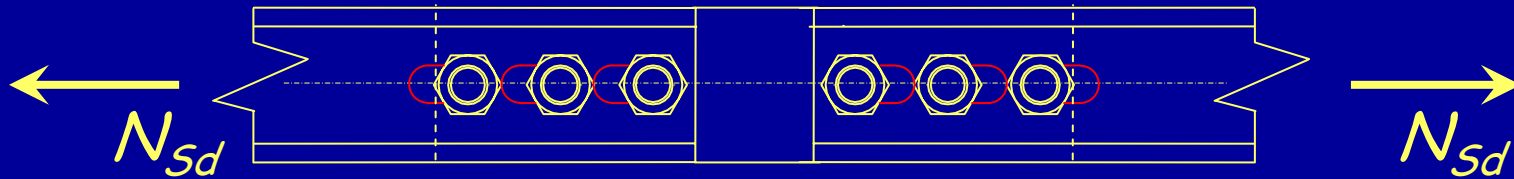
$$F_{v,Rd} = \frac{A_{res} (0.6 f_{ub})}{\gamma_{Mb}} \quad (\text{per bulloni di classe 4.6, 5.6 ed 8.8})$$

$$F_{v,Rd} = \frac{A_{res} (0.5 f_{ub})}{\gamma_{Mb}} \quad (\text{per bulloni di classe 4.8, 5.8 ed 10.9})$$

A_{res} Area resistente del bullone

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

2 - Rifollamento delle lamiere



Si ottiene quando la tensione esercitata dal bullone sulla lamiera raggiunge il valore convenzionale $2.5 \alpha f_u$:

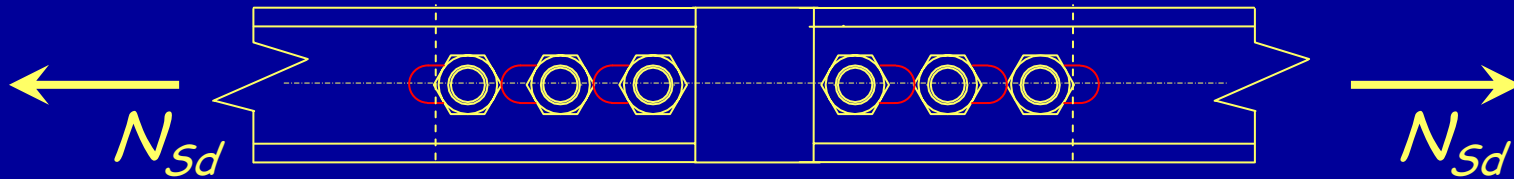
$$F_{b,max} = 2.5 \alpha d t_p f_u$$

d Diametro del bullone

t_p Spessore della lamiera

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

2 - Rifollamento delle lamiere



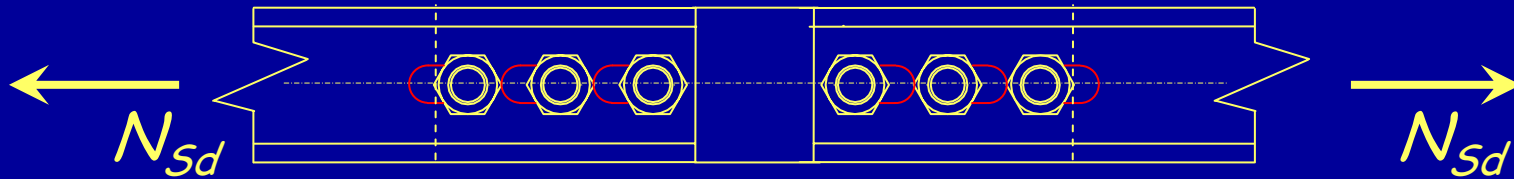
Si ottiene quando la tensione esercitata dal bullone sulla lamiera raggiunge il valore convenzionale $2.5 \alpha f_u$

$$F_{b,max} = 2.5 \alpha d t_p f_u$$

$$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3 d_0}, \frac{p_1}{3 d_0} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right)$$

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

2 - Rifollamento delle lamiere



Si ottiene quando la tensione esercitata dal bullone sulla lamiera raggiunge il valore convenzionale $2.5 \alpha f_u$:

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 \alpha d t_p f_u}{\gamma_{Mb}}$$
$$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3 d_0}, \frac{p_1}{3 d_0} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right)$$

Verifica di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

1 - Rottura dei bulloni a taglio (rottura sulla sezione nominale)

$$F_{v,Sd} \leq F_{v,Rd} = \frac{0.6 A f_{ub}}{\gamma_{Mb}}$$

A Area nominale del bullone

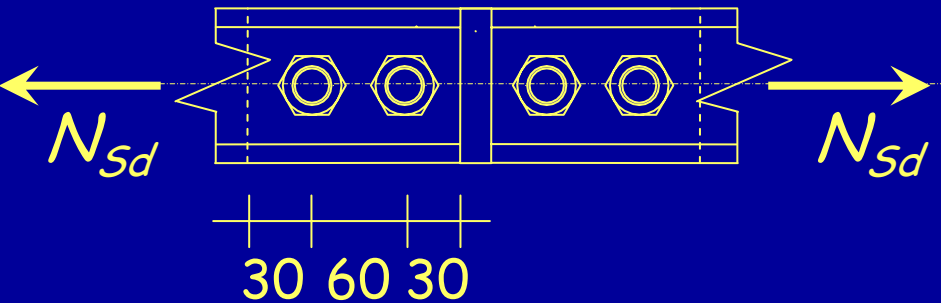
2 - Rifollamento della lamiera

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 \alpha d t_p f_u}{\gamma_{Mb}}$$

$$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3 d_0}, \frac{p_1}{3 d_0} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right)$$

Esempio

Dati:



| | |
|-------------------------|-------------------|
| N_{Sd} | 100 kN |
| 2 Bulloni (per lato) | M16 classe 5.6 |
| Lamiera | Fe360 |
| | $t_p = 10$ mm |

1 - Determinazione di $F_{v,Rd}$

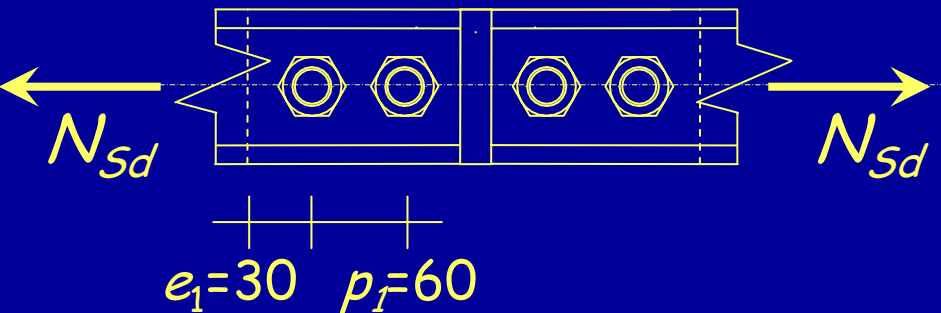
$$A = 201 \text{ mm}^2$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 A f_{ub}}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.6 \times 201 \times 500}{1.35 \times 10^3} = 44.7 \text{ kN}$$

N.B. In questo caso, ogni bullone porta 2 $F_{v,Rd}$

Esempio

Dati:



| | |
|-------------------------|-------------------|
| N_{Sd} | 100 kN |
| 2 Bulloni (per lato) | M16 classe 5.6 |
| Lamiera | Fe360 |
| | $t_p = 10$ mm |

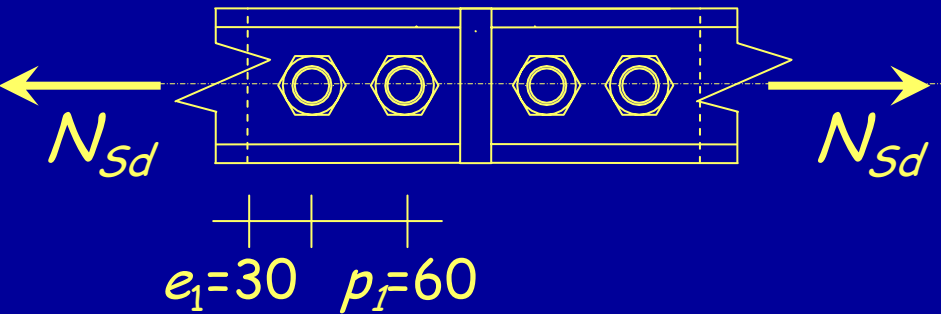
2 - Determinazione di $F_{b,Rd}$ (del piatto)

$$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3 d_0}, \frac{p_1}{3 d_0} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) = \min(0.555, 0.861, 1.39, 1)$$

$$d = 16 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad d_0 = 18 \text{ mm}$$

Esempio

Dati:



| | |
|-------------------------|-------------------|
| N_{Sd} | 100 kN |
| 2 Bulloni (per lato) | M16 classe 5.6 |
| Lamiera | Fe360 |
| | $t_p = 10$ mm |

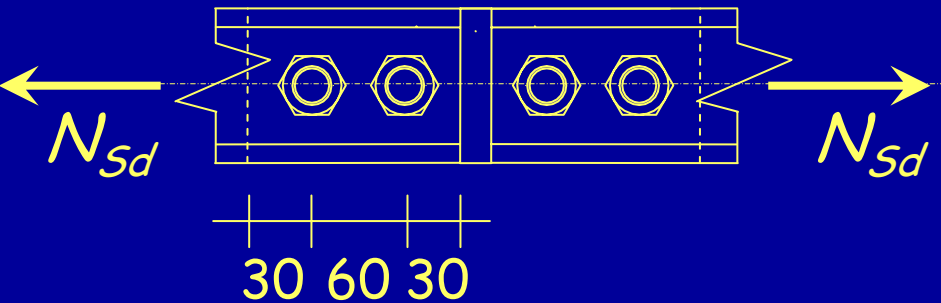
2 - Determinazione di $F_{b,Rd}$ (del piatto)

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 \times 0.555 \times 18 \times 10 \times 360}{1.35 \times 10^3} = 66.6 \text{ kN}$$

$$\alpha = 0.555$$

Esempio

Dati:



N_{Sd}

100 kN

2 Bulloni
(per lato)

M16
classe 5.6

Lamiera

Fe360

$t_p = 10$ mm

3 - Verifica

$$F_{v,Sd} = \frac{N_{Sd}}{n_b} = \frac{100}{2} = 50.0 \text{ kN} < 2 F_{v,Rd} < F_{b,Rd}$$

$$2 F_{v,Rd} = 2 \times 44.7 = 89.4 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 66.6 \text{ kN}$$

Il collegamento è verificato

Verifica di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio e trazione

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1.4 F_{t,Rd}} \leq 1$$

$$F_{t,Sd} \leq F_{t,Rd}$$

$F_{v,Sd}, F_{t,Sd}$ Sollecitazioni di taglio e trazione

$F_{v,Rd}$ Resistenza a taglio del bullone

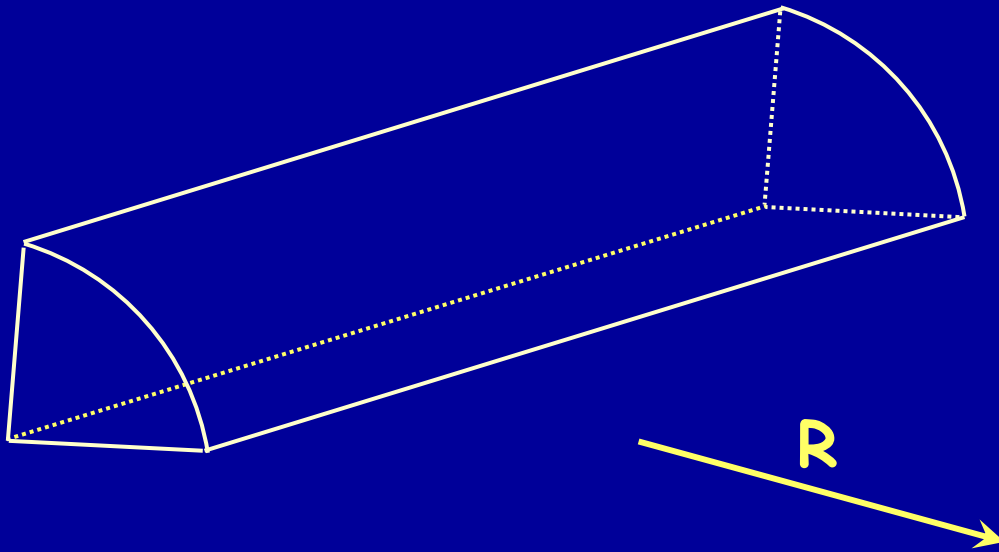
$F_{t,Rd}$ Resistenza a trazione del bullone

Collegamenti saldati

1 - A completa penetrazione

2 - Con cordoni d'angolo

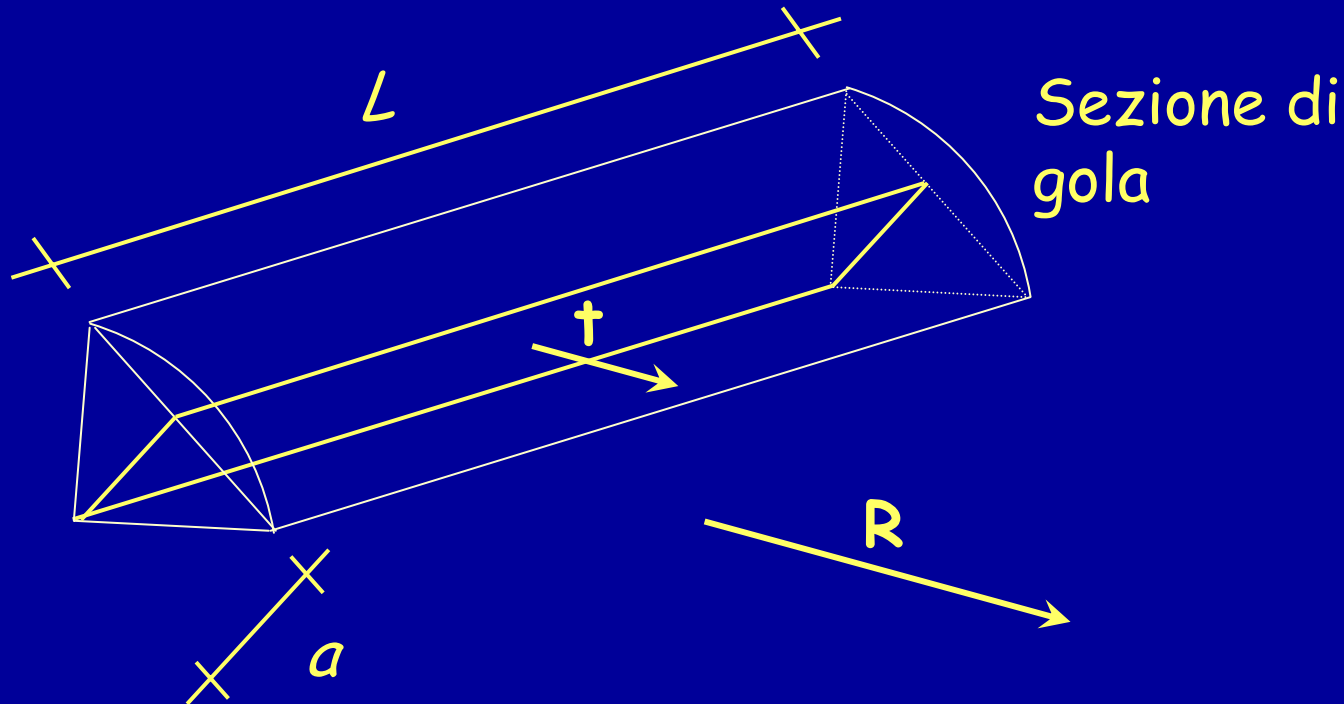
Resistenza dei cordoni di saldatura



R

Forza agente sul cordone d'angolo

Resistenza dei cordoni di saldatura



R

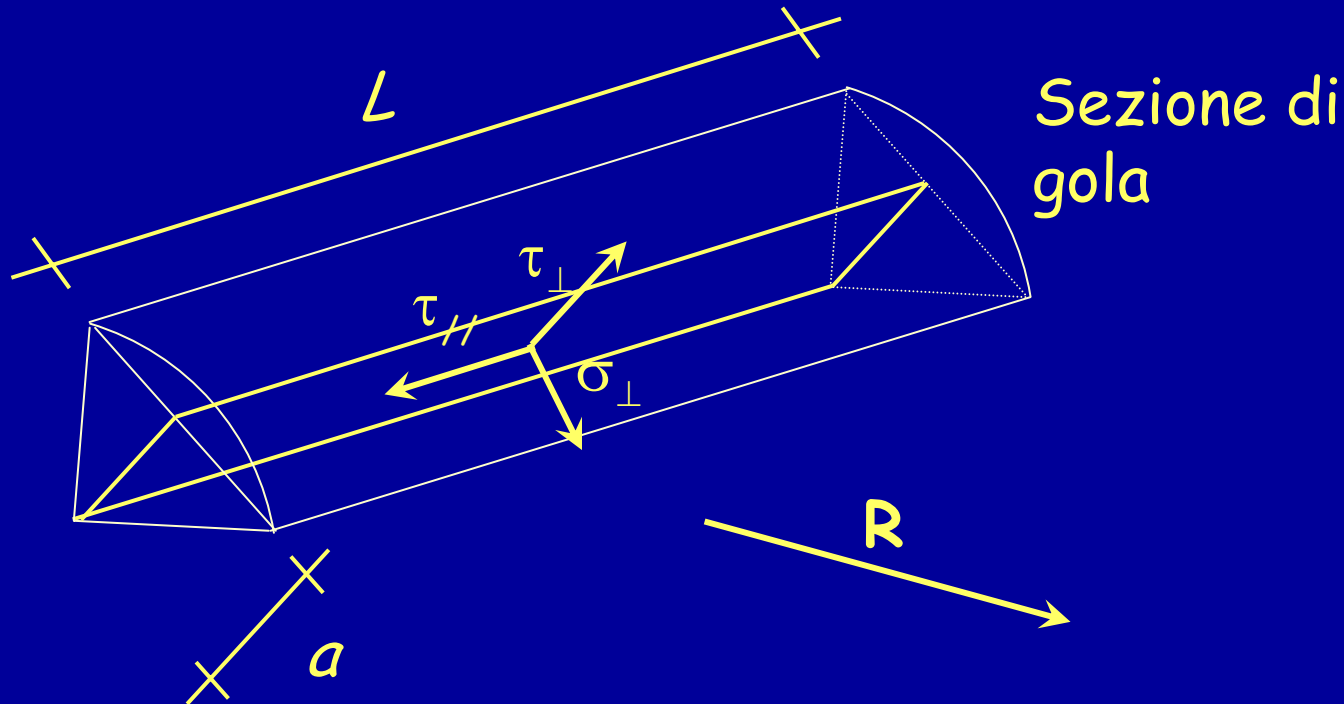
Forza agente sul cordone d'angolo

t

Tensione agente sulla sezione di gola

(ha lo stessa direzione di R e modulo pari a $t = R / a L$)

Resistenza dei cordoni di saldatura

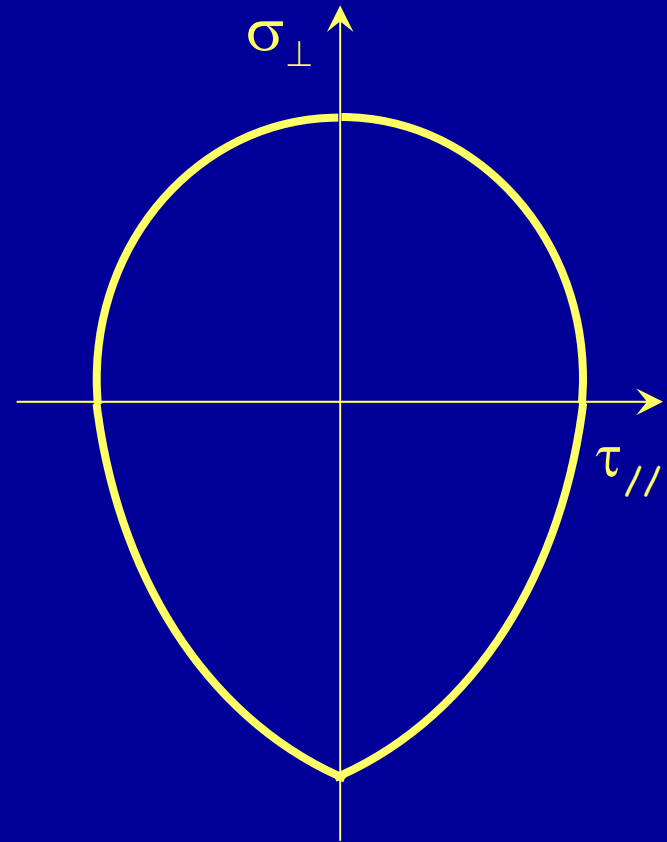
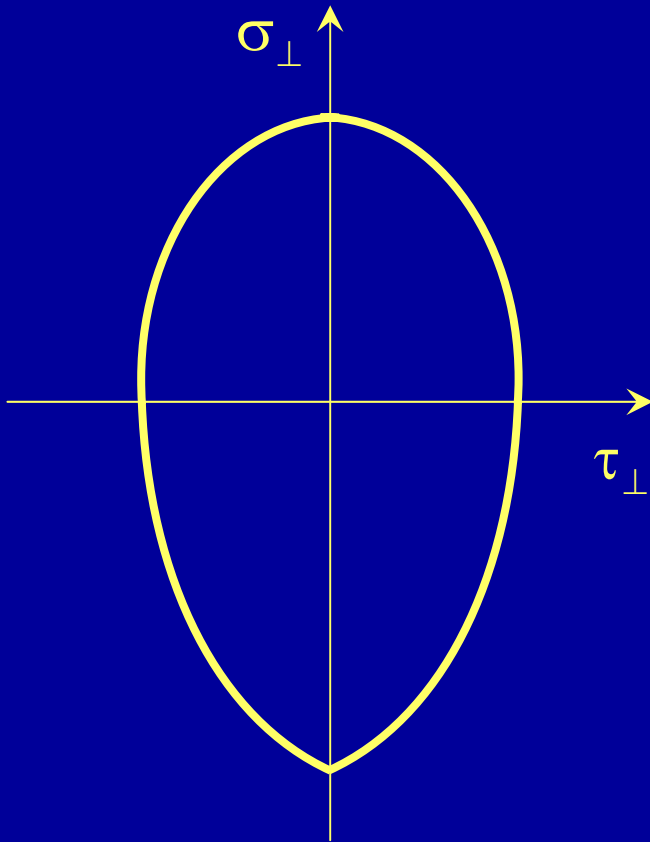


R Forza agente sul cordone d'angolo

t Tensione agente sulla sezione di gola
(ha lo stessa direzione di R e modulo pari a $t = R / a L$)

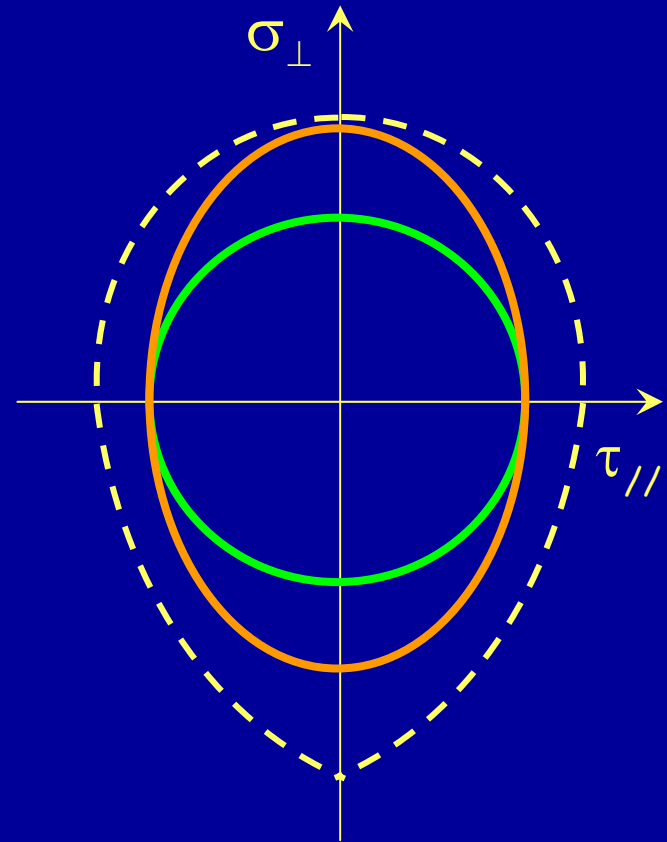
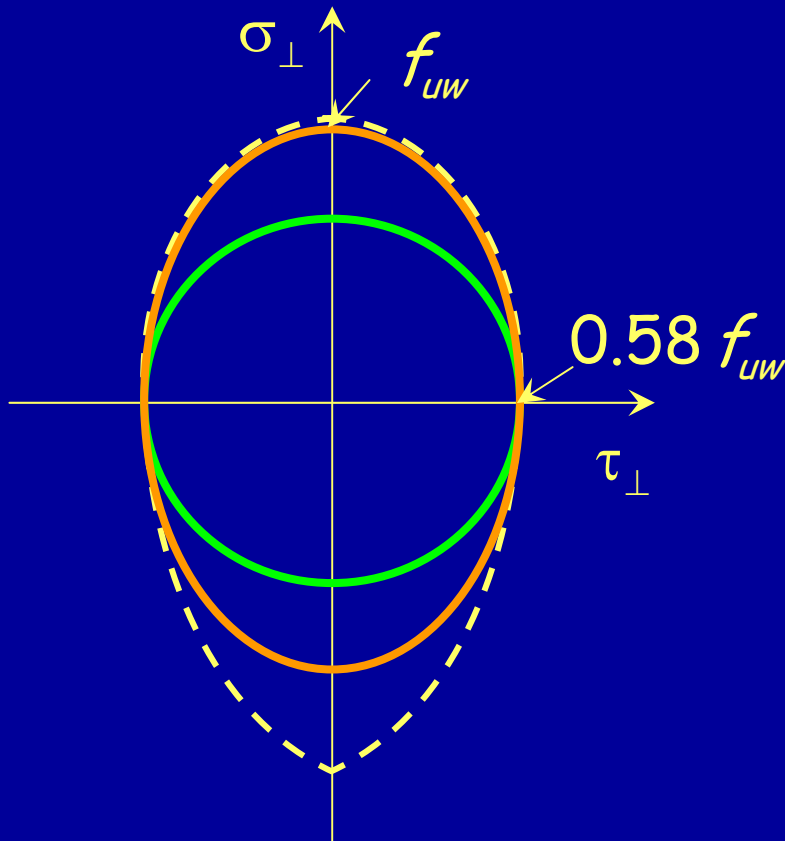
$\sigma_{\perp} \tau_{//} \tau_{\perp}$ Componenti di t

Resistenza dei cordoni di saldatura



Il dominio di rottura di un cordone di saldatura è stato determinato sperimentalmente e prende il nome di *peroide*.

Resistenza dei cordoni di saldatura



L'Eurocodice 3 propone due domini di rottura:
1 - dominio sferico;
2 - ellissoide di rotazione.

Resistenza dei cordoni di saldatura

Se si usa il dominio sferico:

$$f_{vw} = \frac{f_{uw}}{\sqrt{3}} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w}$$

f_{vw} Massima tensione sopportabile da cordone di saldatura

β_w Tiene conto della differenza tra il cordone di saldatura ed il materiale base

$\beta_w = 0.80$ Per Fe360

$\beta_w = 0.85$ Per Fe430

$\beta_w = 0.90$ Per Fe510

Resistenza dei cordoni di saldatura

Se si usa il dominio sferico:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{Mw}}$$

f_{vw} Massima tensione sopportabile da cordone di saldatura

β_w Tiene conto della differenza tra il cordone di saldatura ed il materiale base

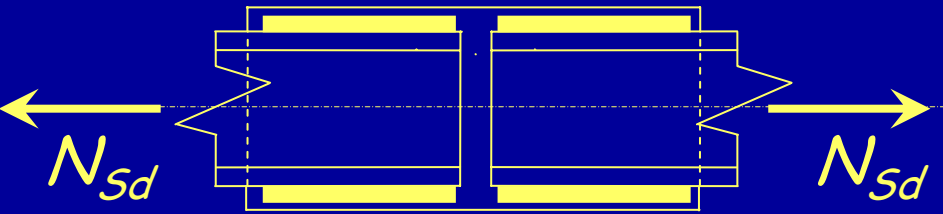
$\beta_w = 0.80$ Per Fe360

$\beta_w = 0.85$ Per Fe430

$\beta_w = 0.90$ Per Fe510

Esempio

Dati:



N_{Sd}

150 kN

4 Cordon
(per lato)

$a = 3 \text{ mm}$

$L = 80 \text{ mm}$

Lamiera

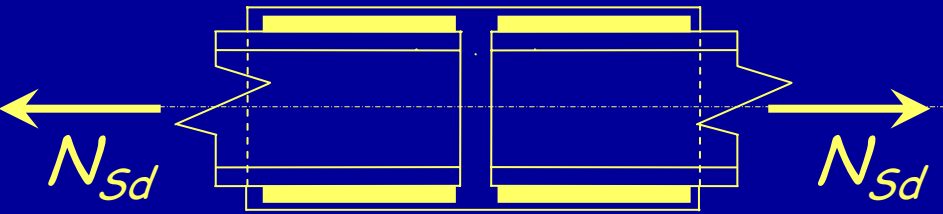
Fe360

1 - Determinazione di $f_{vw,d}$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{Mw}} = \frac{360 / \sqrt{3}}{0.80 \times 1.35} = 192.5 \text{ MPa}$$

Esempio

Dati:



| | |
|------------------------|-------------|
| N_{Sd} | 150 kN |
| 4 Cordon (per lato) | $a = 3$ mm |
| Lamiera | $L = 80$ mm |
| | Fe360 |

2 - Verifica

$$F_{v,Sd} = \frac{N_{Sd}}{n_c} = \frac{150}{4} = 37.5 \text{ kN}$$

$$F_{v,Sd} < a L f_{vw,d} = \frac{3 \times 80 \times 192.5}{10^3} = 46.2 \text{ kN}$$

$$f_{vw,d} = 192.5 \text{ MPa}$$

Il collegamento è verificato

Verifica di cordoni di saldatura (se si usa l'ellissoide di rotazione)

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{Mw}}$$

N.B. Questo metodo è molto più complesso perché richiede la valutazione delle diverse componenti di tensione sulla sezione di gola.

FINE

Tratta da:

Per questa presentazione:

coordinamento

A. Ghersi

realizzazione

E.M. Marino

ultimo aggiornamento

9/02/2007