

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

Progetto di aste e collegamenti in acciaio

3 - Sforzo normale centrato: trazione; compressione

Spoletto
2-4 febbraio 2012
Aurelio Gherzi

Verifica e progetto di sezioni allo SLU

Criteri generali

Tensione di snervamento f_y o tensione ultima f_u ?

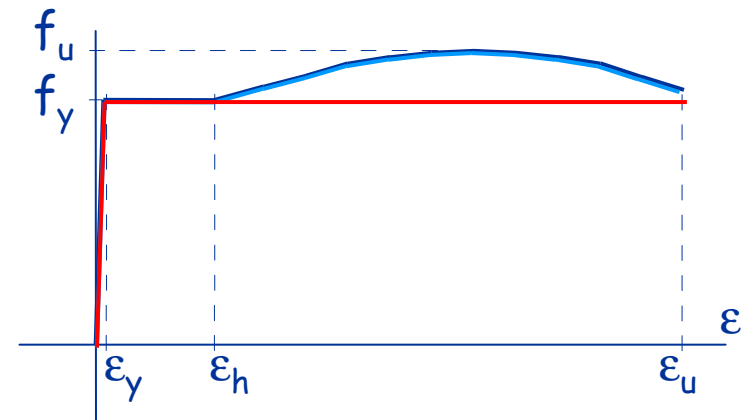
La tensione ultima f_u si raggiunge con deformazioni plastiche molto elevate

Se la zona plasticizzata è molto piccola, queste hanno scarso effetto globale:

si può accettare di raggiungere f_u

Se la zona plasticizzata è estesa, le deformazioni plastiche non sono accettabili:

ci si deve fermare a f_y



zone in corrispondenza di fori, collegamenti

aste, in generale

Criteri generali

Coefficienti parziali di sicurezza per il materiale

Vengono usati valori diversi, a seconda del problema

- resistenza di sezioni $\gamma_{M0} = 1.05$
- resistenza di aste all'instabilità $\gamma_{M1} = 1.05$
- resistenza ultima di sezioni $\gamma_{M2} = 1.25$
resistenza di bulloni, saldature
- resistenza di collegamenti ad attrito
per SLU $\gamma_{M3} = 1.25$
per SLE $\gamma_{M3,ser} = 1.10$

Criteri generali

Classificazione delle sezioni

Le parti compresse di una sezione sono soggette al rischio di instabilità (instabilità locale)

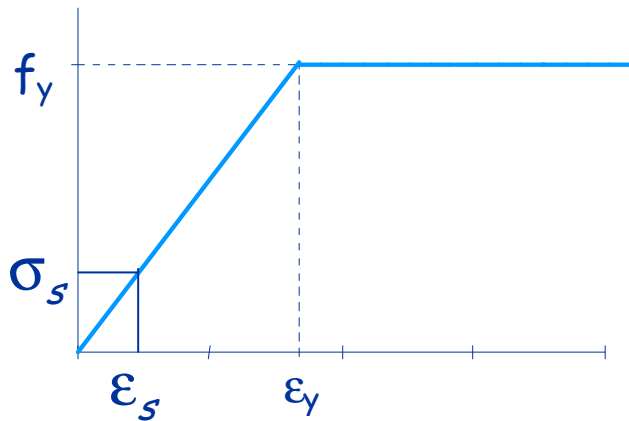
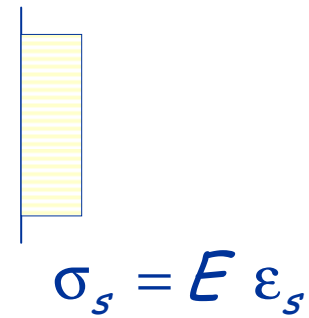
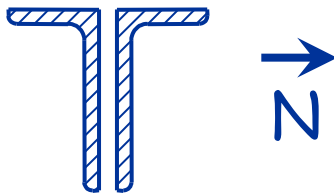
Le sezioni sono divise in 4 classi, in base a quanto l'instabilità locale ne condiziona il comportamento

- classe 1 - massima resistenza, massima duttilità
- classe 2 - massima resistenza, limitata duttilità
- classe 3 - resistenza limitata al raggiungimento della prima plasticizzazione
- classe 4 - instabilità precoce che avviene prima dello snervamento

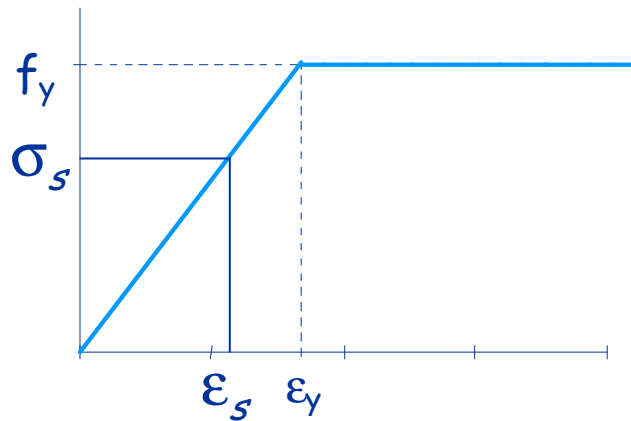
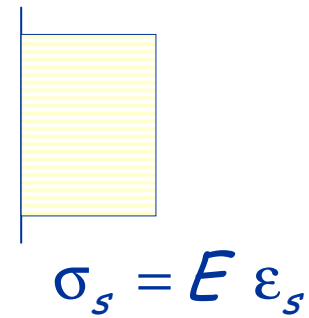
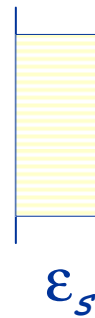
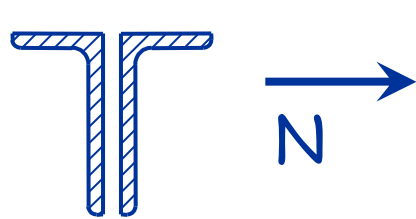
Verranno presentate in seguito

Sforzo normale
Trazione

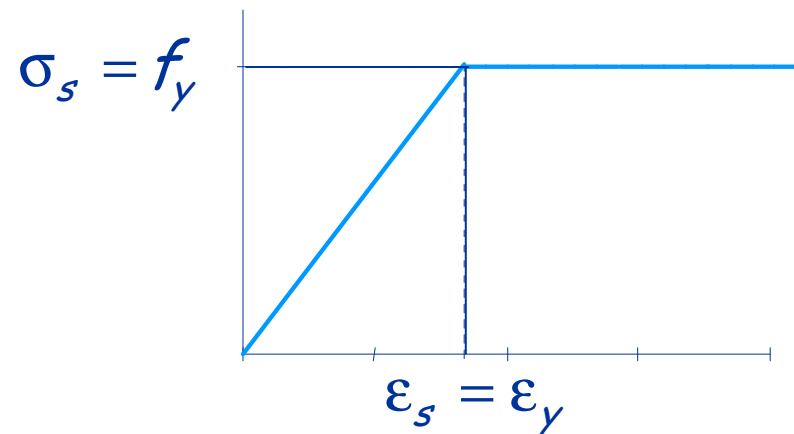
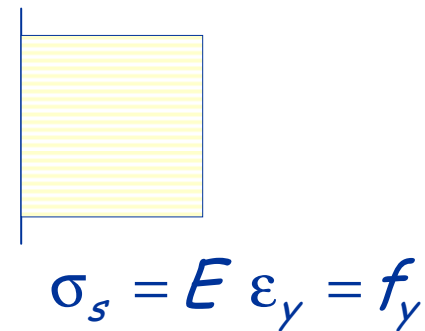
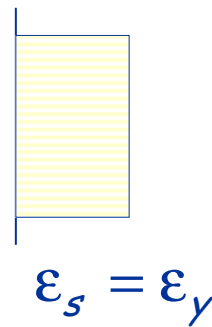
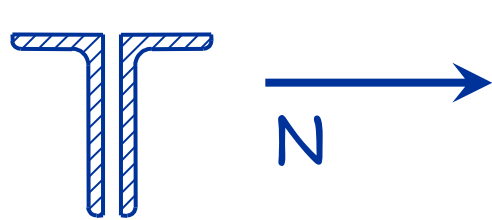
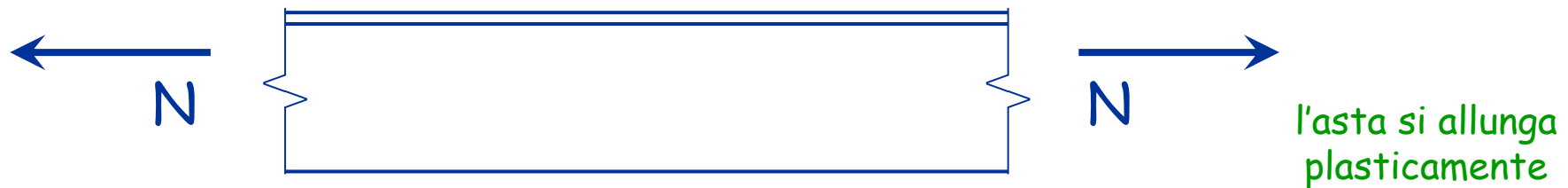
Comportamento al crescere delle deformazioni



Comportamento al crescere delle deformazioni

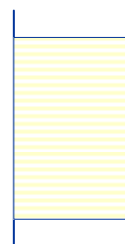
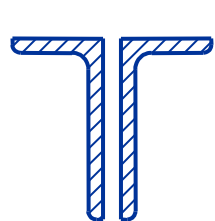
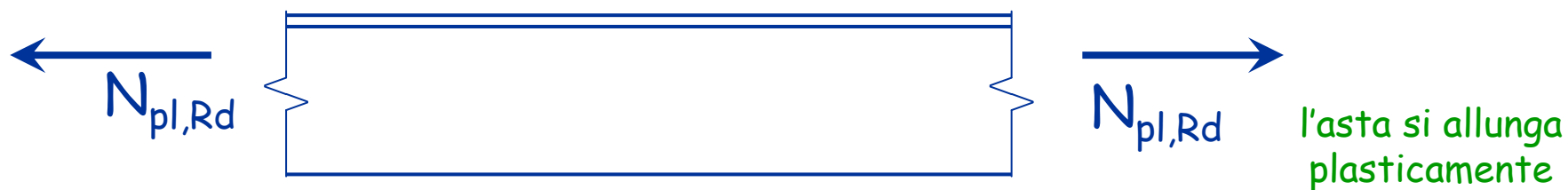


Comportamento al crescere delle deformazioni

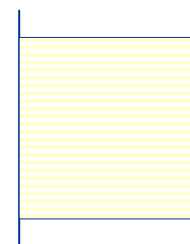


$$N_{pl} = A f_y$$

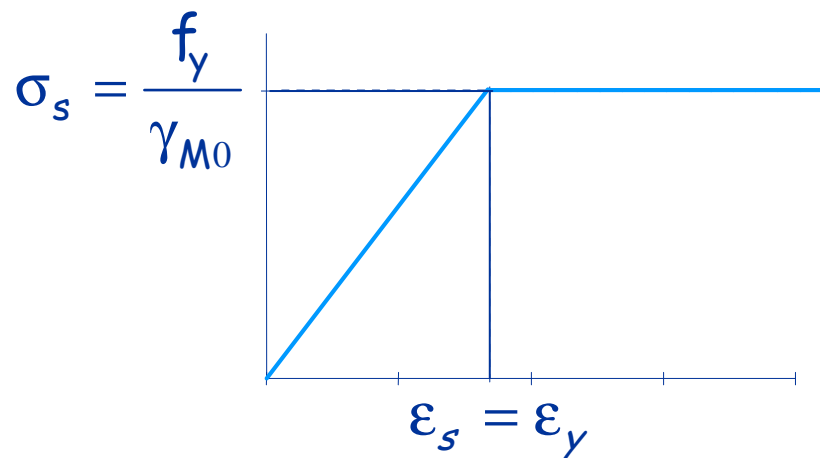
Comportamento ultimo resistenza plastica della sezione



$$\epsilon_s = \epsilon_y$$

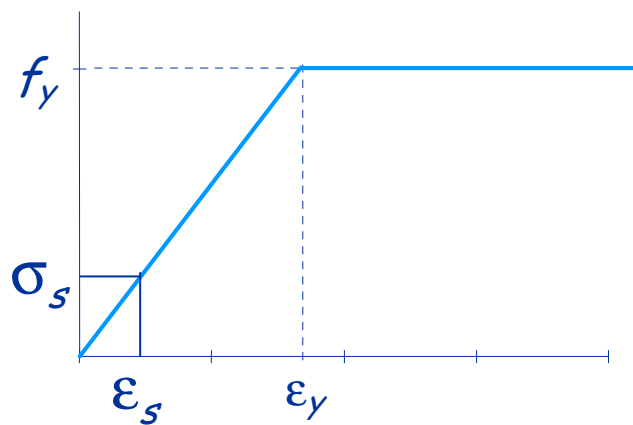
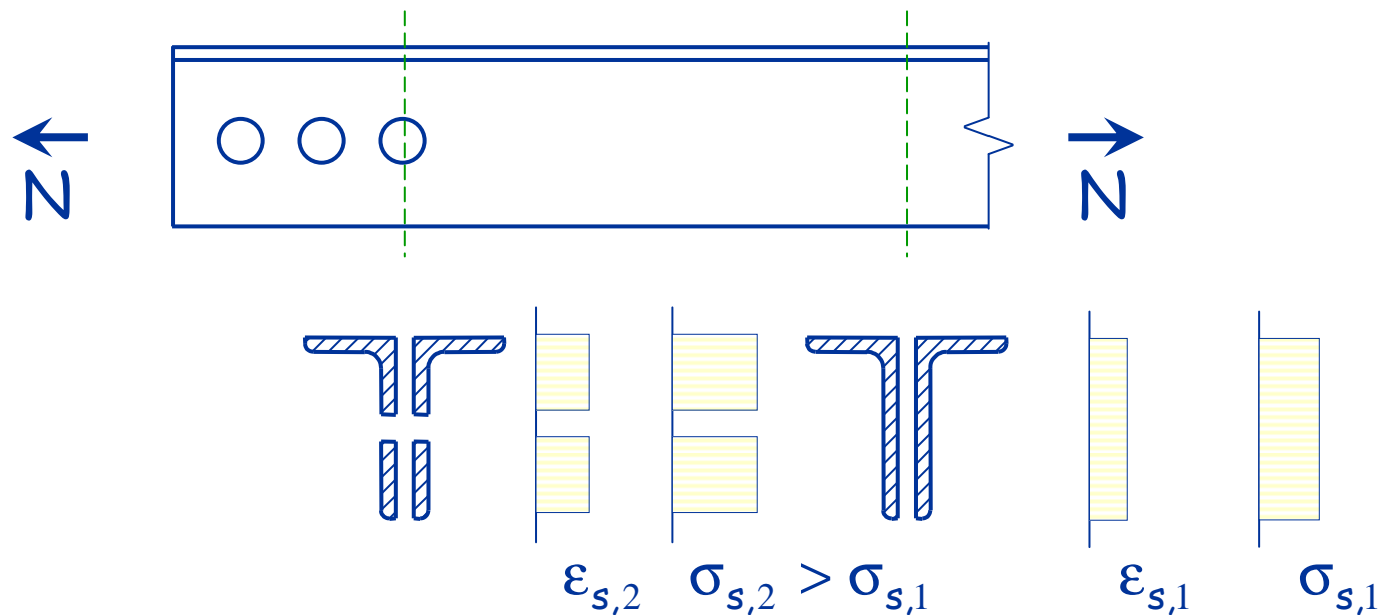


$$\sigma_s = f_y / \gamma_{M0}$$

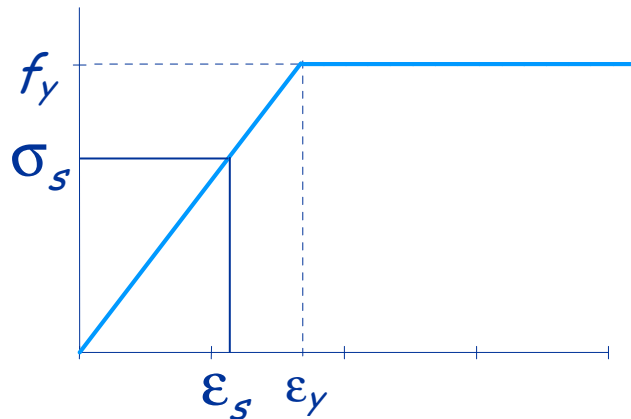
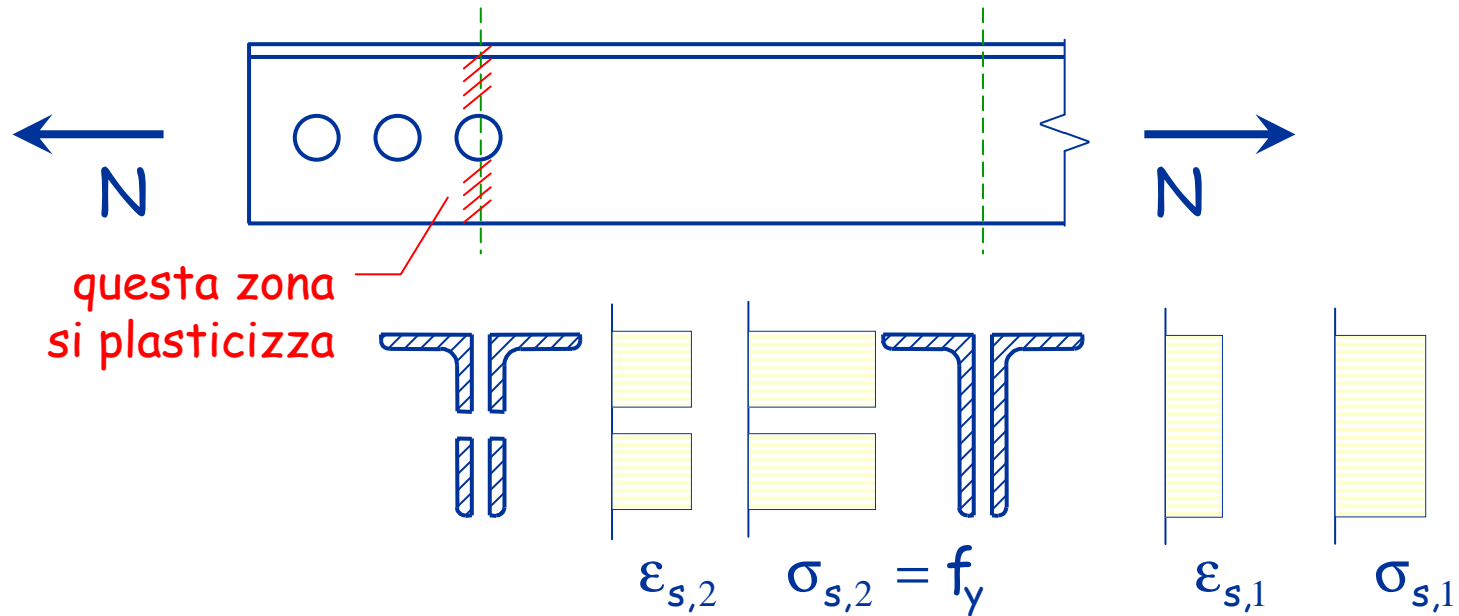


$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

Comportamento quando nell'asta vi sono dei fori



Comportamento quando nell'asta vi sono dei fori



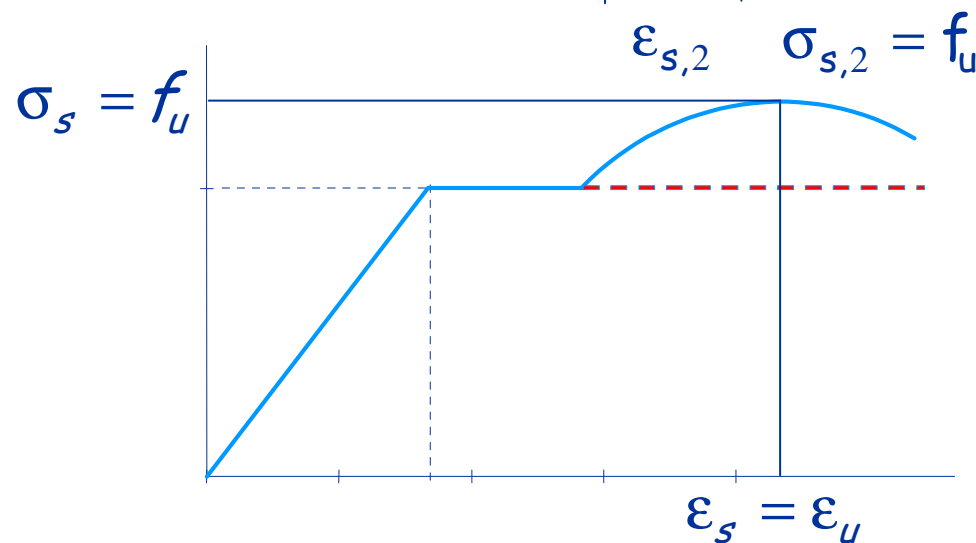
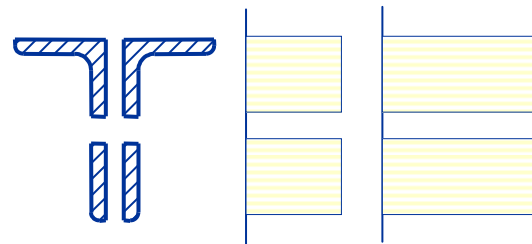
l'asta si allunga pochissimo perché la zona plasticizzata è molto piccola

incrementando la forza si ha incrudimento in prossimità del foro

Comportamento ultimo resistenza ultima della sezione forata



questa zona
arriva a
rottura

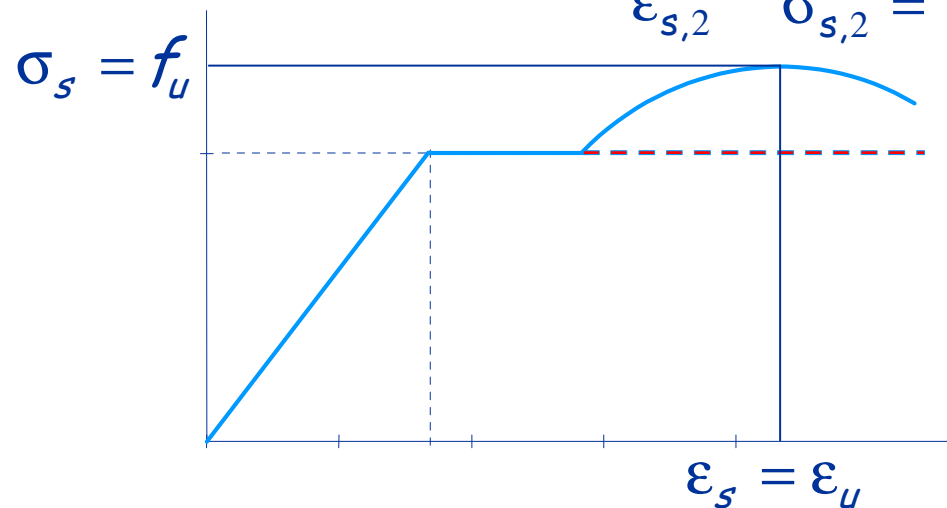
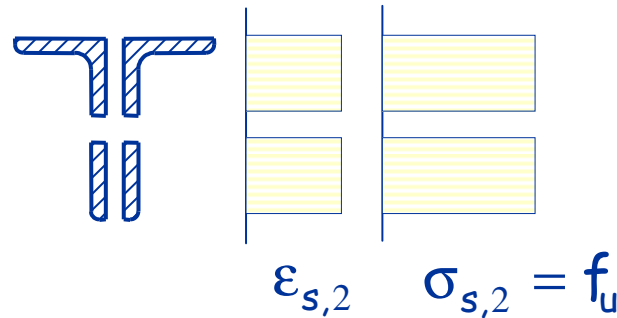


$$N_u = A_{\text{net}} f_u$$

Comportamento ultimo resistenza ultima della sezione forata



questa zona
arriva a
rottura



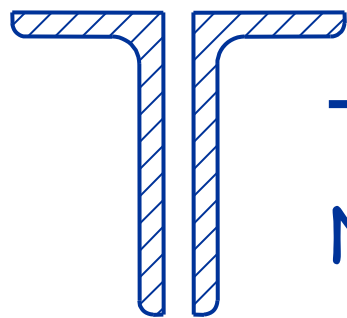
$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

Verifica - stato limite ultimo

La resistenza a trazione di un'asta è pari al minore tra i valori della resistenza plastica della sezione piena e della resistenza ultima della sezione indebolita.

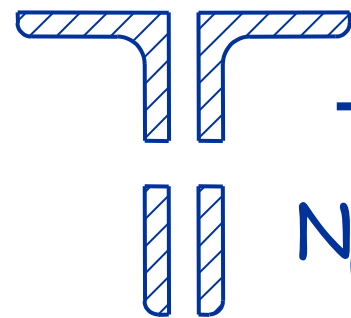
$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

$$N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd} , N_{u,Rd})$$



A diagram of a solid I-beam cross-section, represented by two vertical rectangles with diagonal hatching. An arrow points from the section to the formula for plastic resistance.

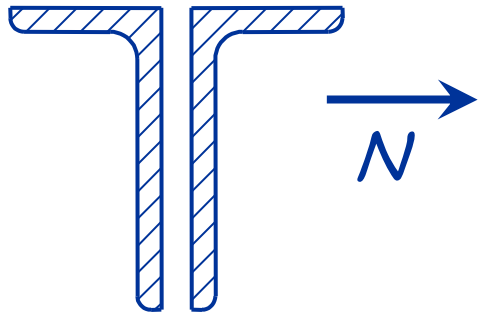
$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$



A diagram of a reduced I-beam cross-section, represented by two vertical rectangles with diagonal hatching. An arrow points from the section to the formula for ultimate resistance.

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

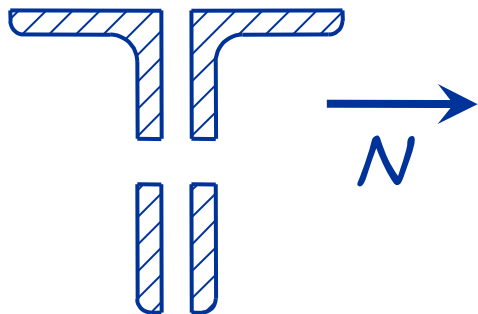
Verifica - tensioni ammissibili



$$\sigma = \frac{N}{A} \leq \bar{\sigma}$$

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

Inoltre, se l'asta presenta sezioni indebolite ...



$$\sigma = \frac{N}{A_{net}} \leq \bar{\sigma}$$

$$N_{\max} = \bar{\sigma} A_{net} \geq N$$

Verifica - confronto

Sezione piena

Sezione indebolita

TA

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

$$N_{\max} = \bar{\sigma}_s A_{\text{net}}$$

ma i carichi
per SLU sono
1.4 volte tanto

$$160$$

$$160 \times 1.4 = 224$$

$$160 \times 1.4 = 224$$

SLU

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

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 f_u}{\gamma_{M2}} A_{\text{net}}$$

$$235 / 1.05 = 224$$

$$0.9 \times 360 / 1.25 = 259$$

Acciaio S235 (Fe 360)

Verifica - confronto

Sezione piena

Sezione indebolita

TA

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

$$240$$

$$240 \times 1.4 = 336$$

$$N_{\max} = \bar{\sigma}_s A_{\text{net}}$$

$$240 \times 1.4 = 336$$

SLU

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

$$355 / 1.05 = 338$$

Acciaio S355 (Fe 510)

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 f_u}{\gamma_{M2}} A_{\text{net}}$$

$$0.9 \times 510 / 1.25 = 367$$

Verifica - commento

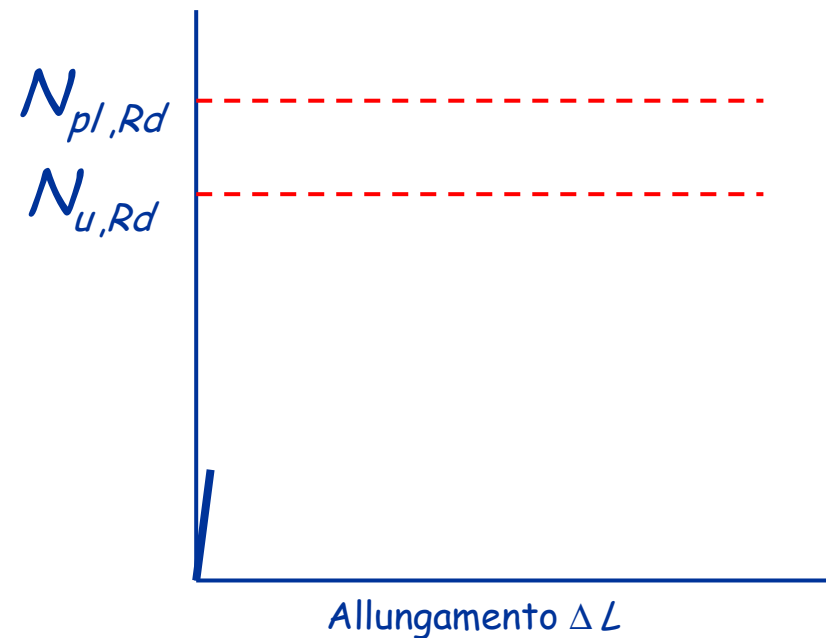
Tenendo conto delle differenze tra i carichi agenti, la resistenza a trazione valutata allo stato limite ultimo è:

- Sostanzialmente simile a quella valutata alle tensioni ammissibili per la sezione piena;
- Sensibilmente maggiore (tra il 10 ed 15% più grande) a quella valutata alle tensioni ammissibili per la sezione indebolita.

Duttilità

Il comportamento dell'asta (con fori) dipende da chi è più grande tra $N_{pl,Rd}$ e $N_{u,Rd}$

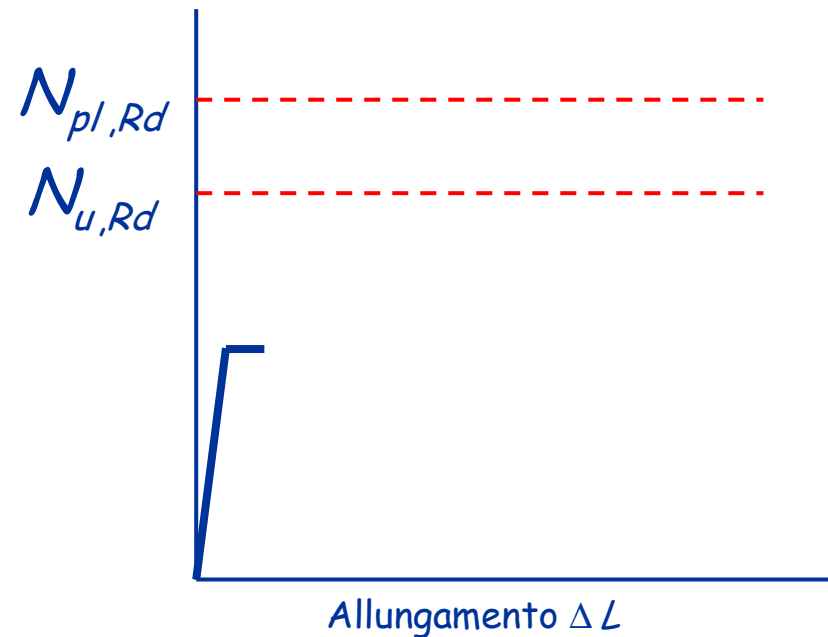
Duttilità di aste tese: caso $N_{pl,Rd} > N_{u,Rd}$



Duttilità di aste tese: caso $N_{pl,Rd} > N_{u,Rd}$



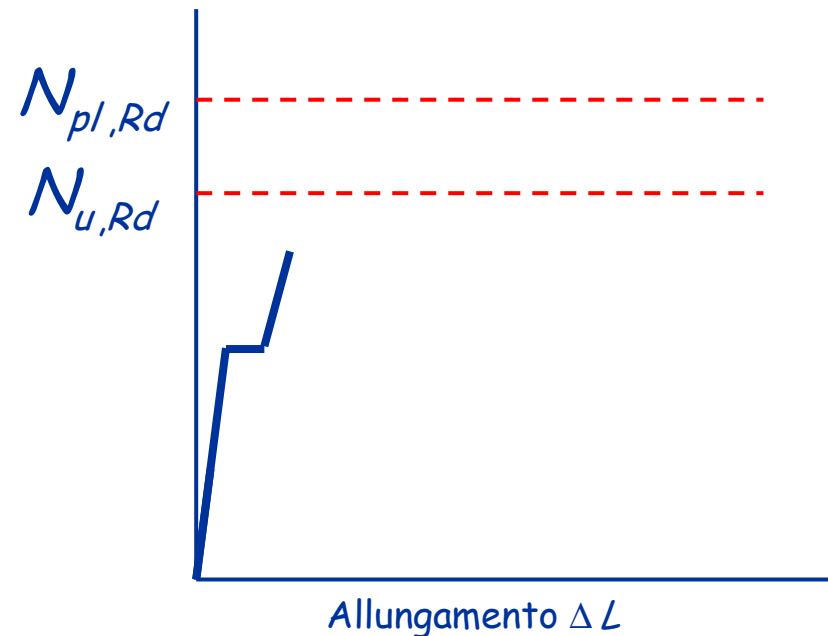
- Plasticizzazione delle sezioni indebolite



Duttilità di aste tese: caso $N_{pl,Rd} > N_{u,Rd}$



- Plasticizzazione delle sezioni indebolite
- Incrudimento delle sezioni indebolite

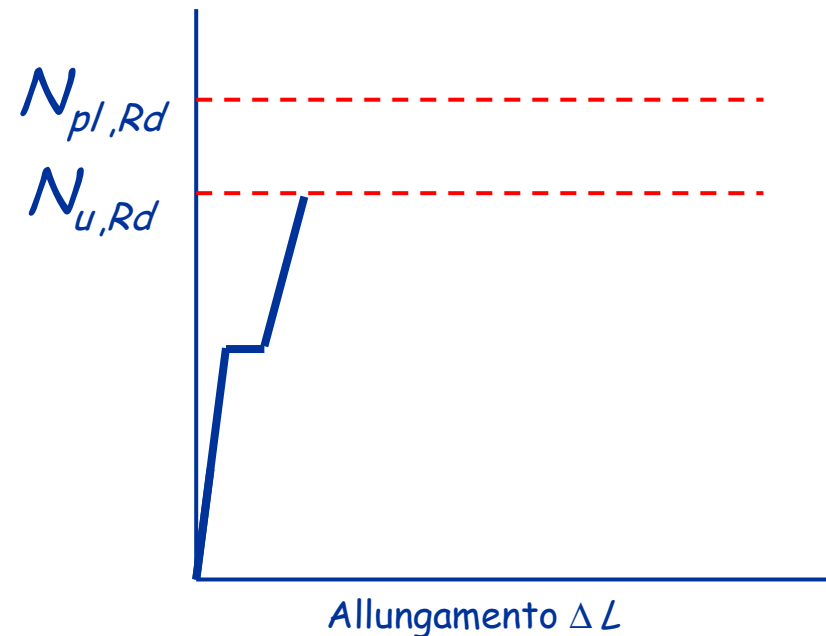


Duttilità di aste tese: caso $N_{pl,Rd} > N_{u,Rd}$

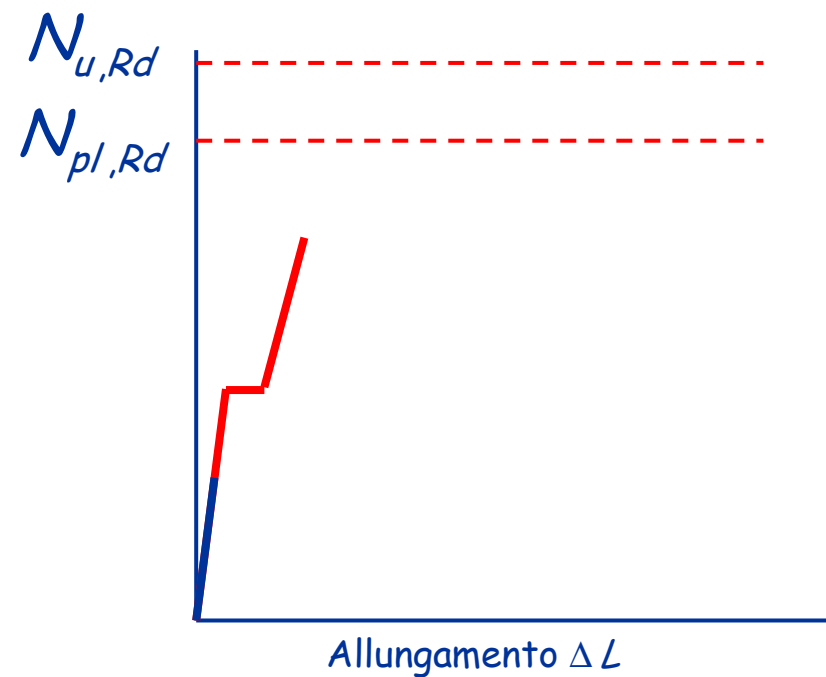


- Plasticizzazione delle sezioni indebolite
- Incrudimento delle sezioni indebolite
- Rottura della sezione più debole

L'asta è fragile



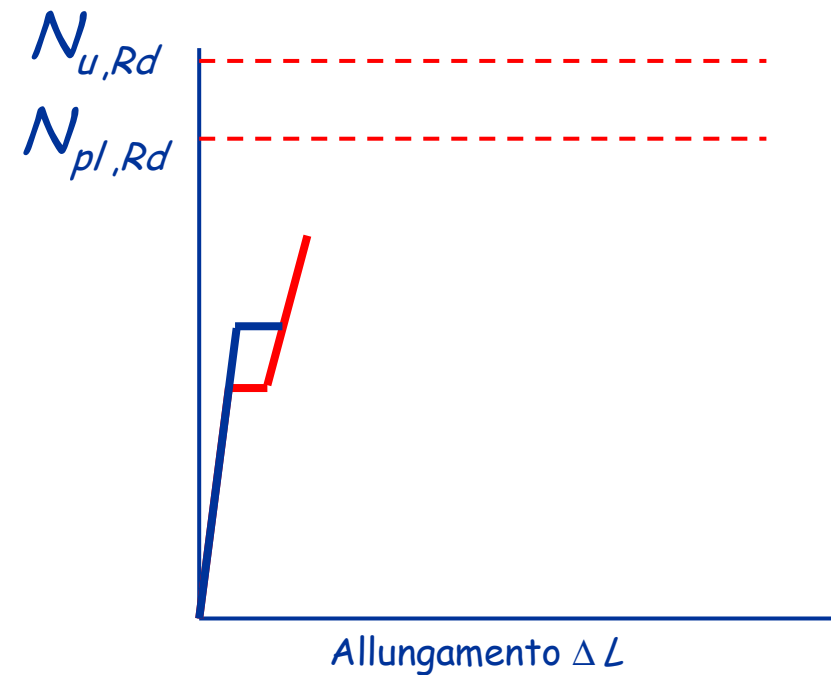
Duttilità di aste tese: caso $N_{pl,Rd} < N_{u,Rd}$



Duttilità di aste tese: caso $N_{pl,Rd} < N_{u,Rd}$



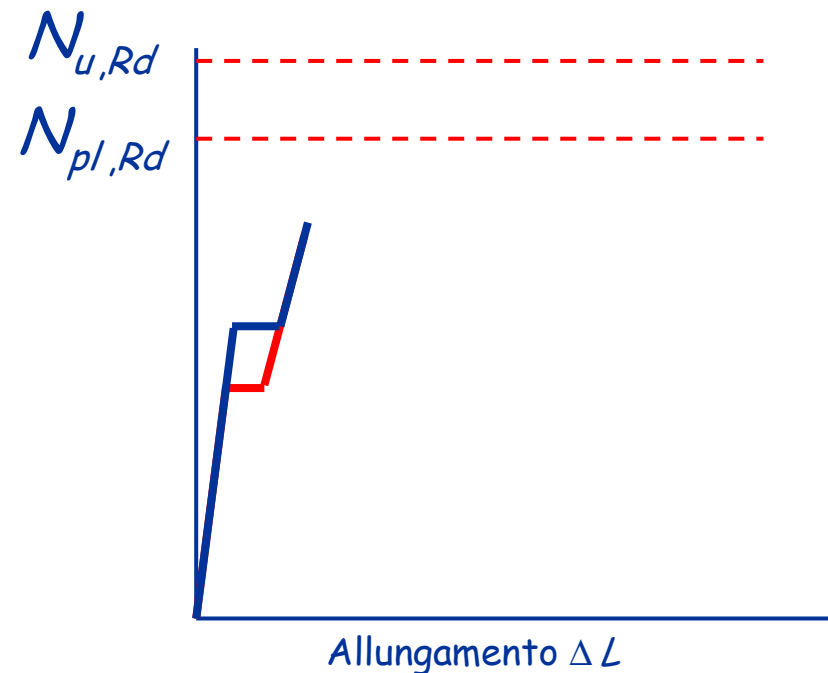
- Plasticizzazione delle sezioni indebolite



Duttilità di aste tese: caso $N_{pl,Rd} < N_{u,Rd}$



- Plasticizzazione delle sezioni indebolite
- Incrudimento delle sezioni indebolite

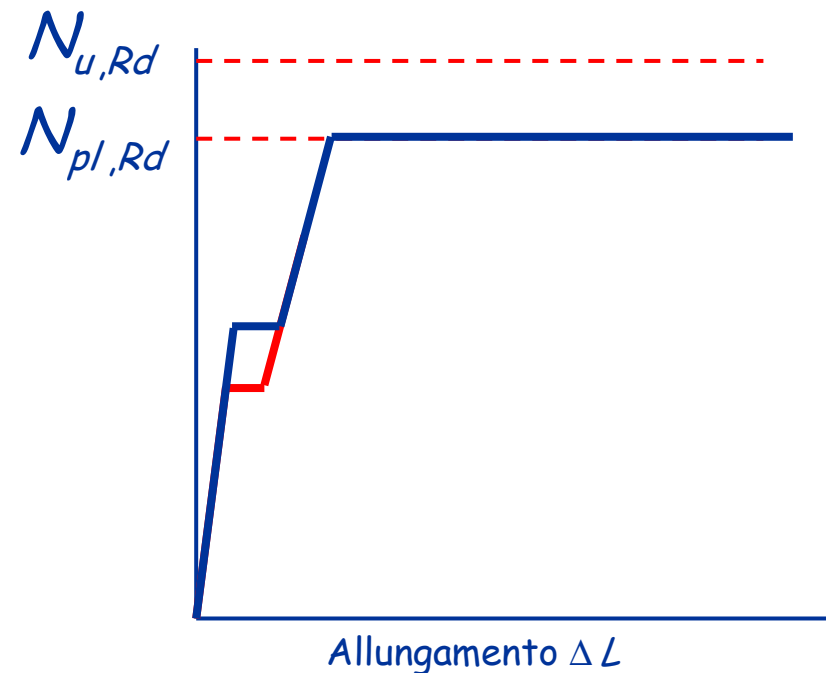


Duttività di aste tese: caso $N_{pl,Rd} < N_{u,Rd}$



- Plasticizzazione delle sezioni indebolite
- Incrudimento delle sezioni indebolite
- Plasticizzazione della sezione piena

L'asta è duttile



Duttilità

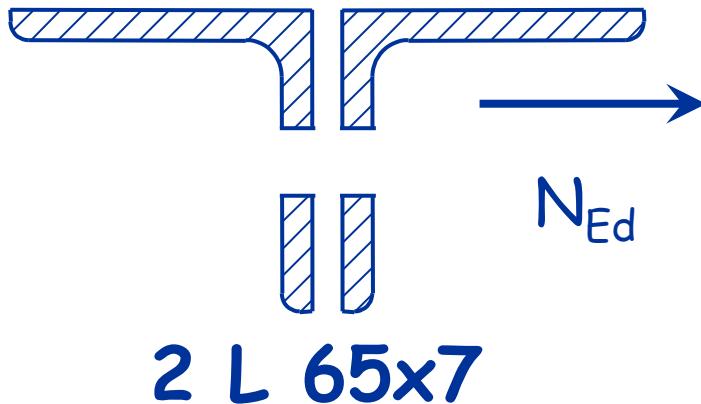
Il comportamento dell'asta (con fori) dipende da chi è più grande tra $N_{pl,Rd}$ e $N_{u,Rd}$

- Se $N_{pl,Rd} > N_{u,Rd}$
si arriva alla rottura della sezione forata prima dello
snervamento dell'intera asta
il comportamento complessivo è fragile
- Se $N_{pl,Rd} < N_{u,Rd}$
si arriva allo snervamento dell'intera asta prima della rottura
della sezione forata
il comportamento complessivo è duttile

Esempio

Calcolo della resistenza e verifica di duttilità

Dati:



$$N_{Ed} = 339 \text{ kN}$$

Acciaio S235

Bulloni M14

Fori 15 mm

$$A = 2 \times 870 = 1740 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = 1740 - 2 \times 15 \times 7 = 1530 \text{ cm}^2$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1740 \times 235}{1.05 \times 10^3} = 389.4 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 \times 1530 \times 360}{1.25 \times 10^3} = 396.6 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} < N_{u,Rd}$$

L'asta resiste ed è duttile

Per ottenere sezioni duttili ...

- Dovendo essere $N_{pl,Rd} < N_{u,Rd}$

si deve verificare che

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \geq N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

ovvero

$$\frac{A_{net}}{A} \geq \frac{\gamma_{M2} f_y}{0.9 \gamma_{M0} f_u}$$

acciaio	S235	S275	S355
$A_{net}/A \geq$	0.863	0.846	0.921

Progetto - stato limite ultimo

- 1 - Invertendo l'espressione di verifica si ottiene la formula di progetto della sezione.

$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd} = \frac{f_y A}{\gamma_{M0}} \quad \Rightarrow \quad A = \frac{N_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}$$

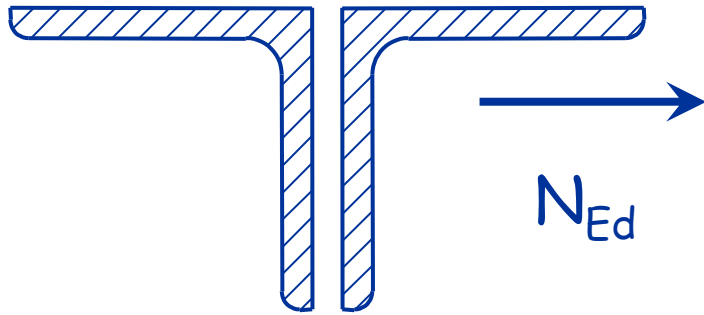
- 2 - Si sceglie il profilato.

- 3 - Se esistono sezioni indebolite (per fori, intagli, ecc.) bisogna verificare anche che:

$$N_{Ed} \leq N_{u,Rd} = \frac{0.9 f_u A_{net}}{\gamma_{M2}}$$

Esempio

Dati:



$$N_{Ed} = 339 \text{ kN}$$

Acciaio S235

Bulloni M14

Fori 15 mm

1 - Determinazione dell'area necessaria.

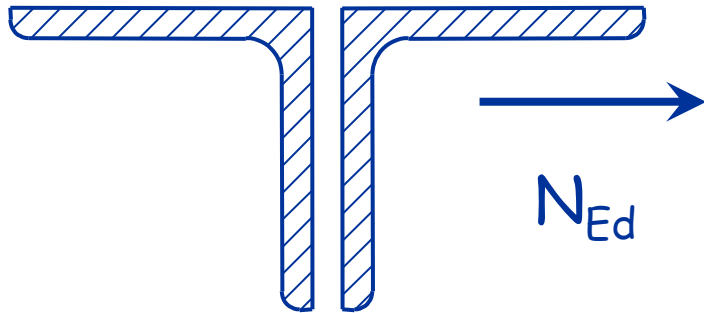
$$A = \frac{\gamma_{M0} N_{Ed}}{f_y} = \frac{339.9 \times 10^3}{235/1.05} = 1518 \text{ mm}^2$$

2 - Scelta della sezione.

Uso 2 L 65x7 $A = 1740 \text{ mm}^2$

Esempio

Dati:



$$N_{Ed} = 339 \text{ kN}$$

Acciaio S235

Bulloni M14

Fori 15 mm

3 - Verifica della sezione indebolita.

$$A_{net} = A - A_{foro} = 1740 - 2 \times 15 \times 7 = 1530 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 f_u A_{net}}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 \times 360 \times 1530}{1.25 \times 10^3} = 396.6 \text{ kN} > N_{Ed}$$

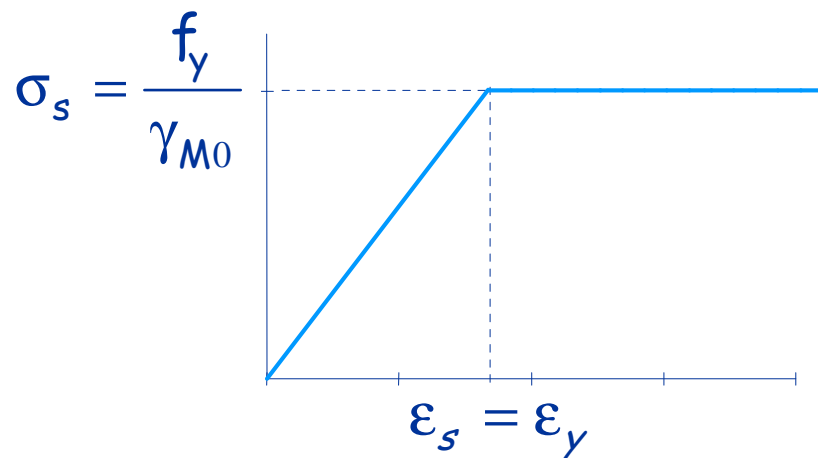
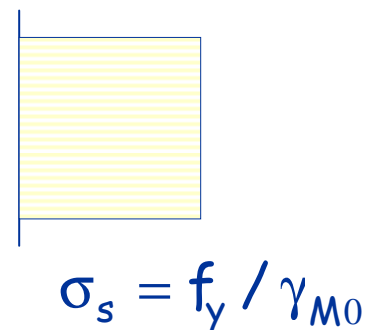
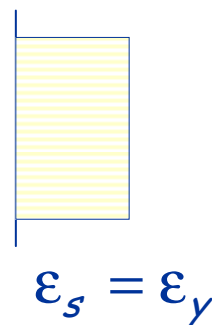
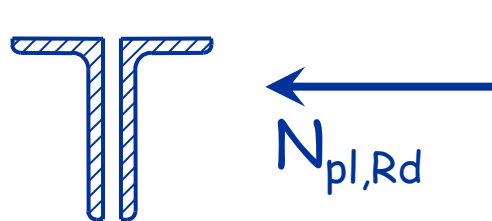
Anche la sezione indebolita è verificata

Sforzo normale
Compressione

Comportamento ultimo resistenza plastica della sezione



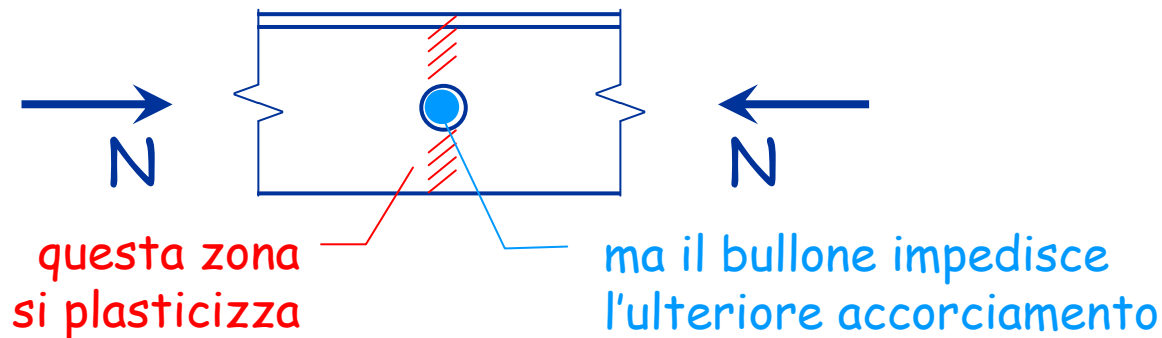
una sezione o un concio di
asta tozzo tende ad
accorciarsi plasticamente



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

come per trazione

Comportamento quando vi sono dei fori



- Una sezione, o un'asta tozza, compressa hanno la stessa resistenza di una sezione compressa
 - La presenza di fori (che contengono bulloni) non inficia la resistenza
- ... ma questo vale solo per la sezione, o per un elemento tozzo, non per le aste usuali

Modalità di collasso di aste compresse



Modalità di collasso di aste compresse



Plasticizzazione della
sezione trasversale
dell'asta



Modalità di collasso di aste compresse

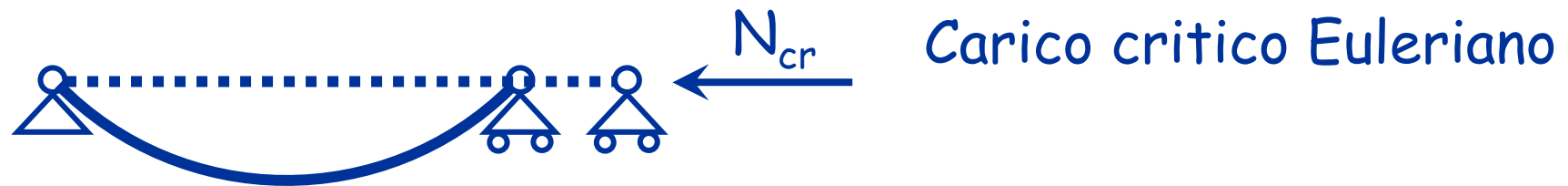


Plasticizzazione della
sezione trasversale
dell'asta



Instabilità laterale
dell'asta

Comportamento ultimo di un'asta ideale



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

I = momento d'inerzia della sezione

l_0 = lunghezza libera d'inflessione

Dividendo per l'area della sezione si ottiene la tensione critica di un'asta ideale:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

λ = snellezza dell'asta

$$\lambda = \frac{l_0}{i}$$

i = raggio d'inerzia della sezione

Comportamento ultimo di un'asta ideale

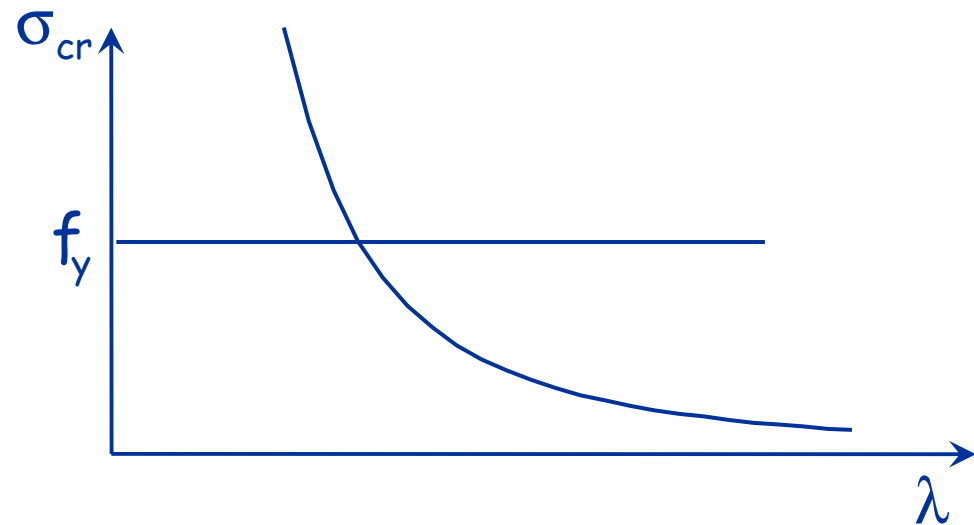
$$\sigma = \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

Instabilità dell'asta

inoltre

$$\sigma = f_y$$

Collasso plastico



Verifica di un'asta ideale

$$\sigma = \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

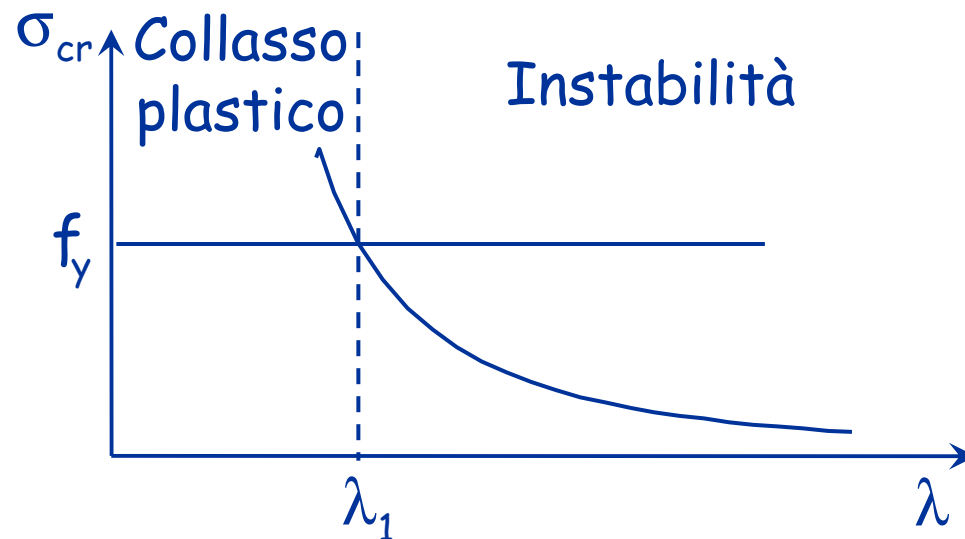
Instabilità dell'asta

inoltre

$$\sigma = f_y$$

Collasso plastico

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$



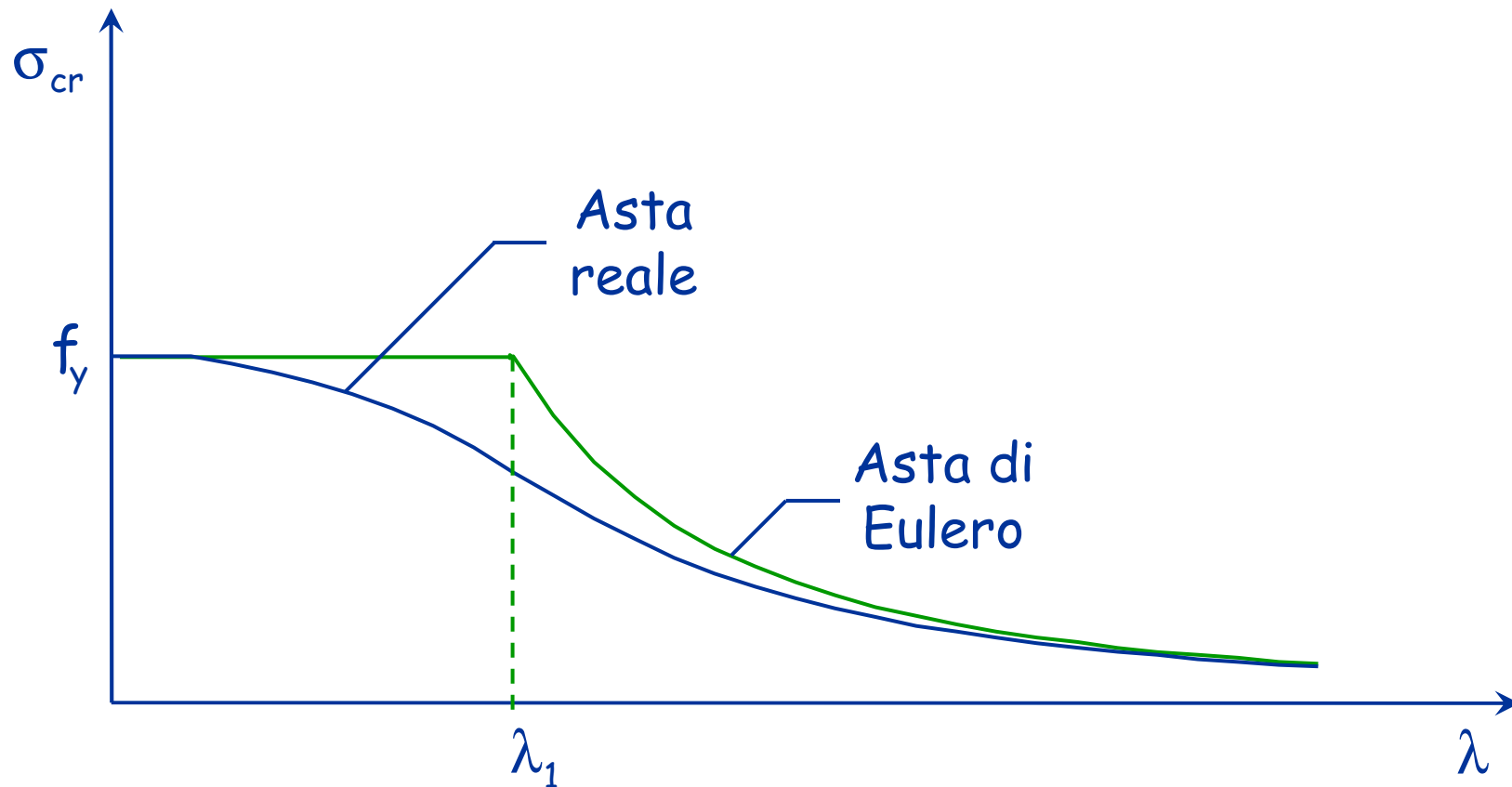
Aste reali

Nelle aste reali sono sempre presenti imperfezioni di tipo geometrico e meccanico:

- L'asse dell'asta non è mai perfettamente rettilineo;
- La sezione trasversale dell'asta è sede di tensioni (residue) ancor prima dell'applicazione dei carichi sulla struttura;
- La tensione di snervamento non è costante sulla sezione.

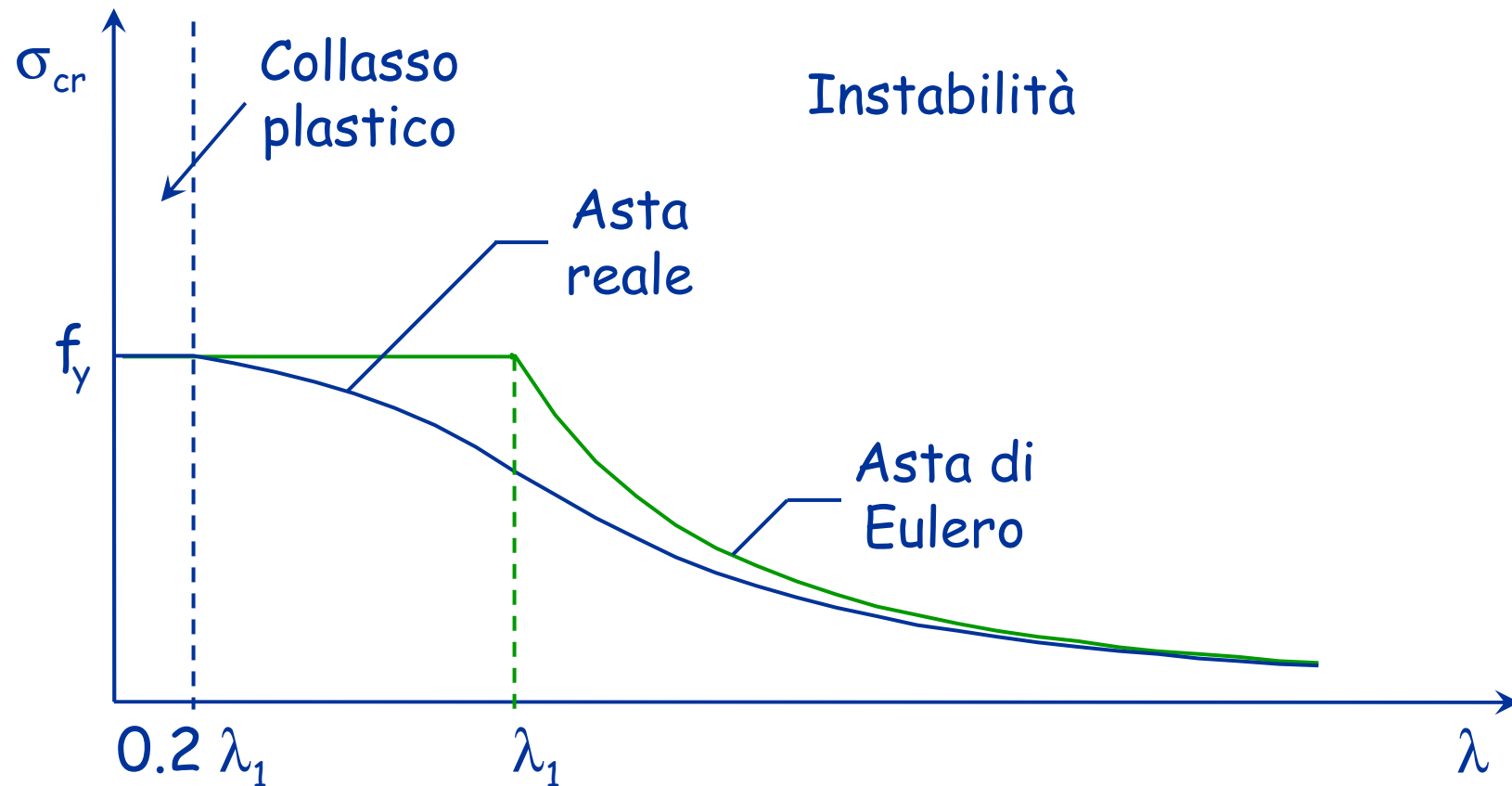
Comportamento delle aste reali

A causa delle imperfezioni la resistenza all'instabilità di un'asta reale è inferiore a quella dell'asta di Eulero.



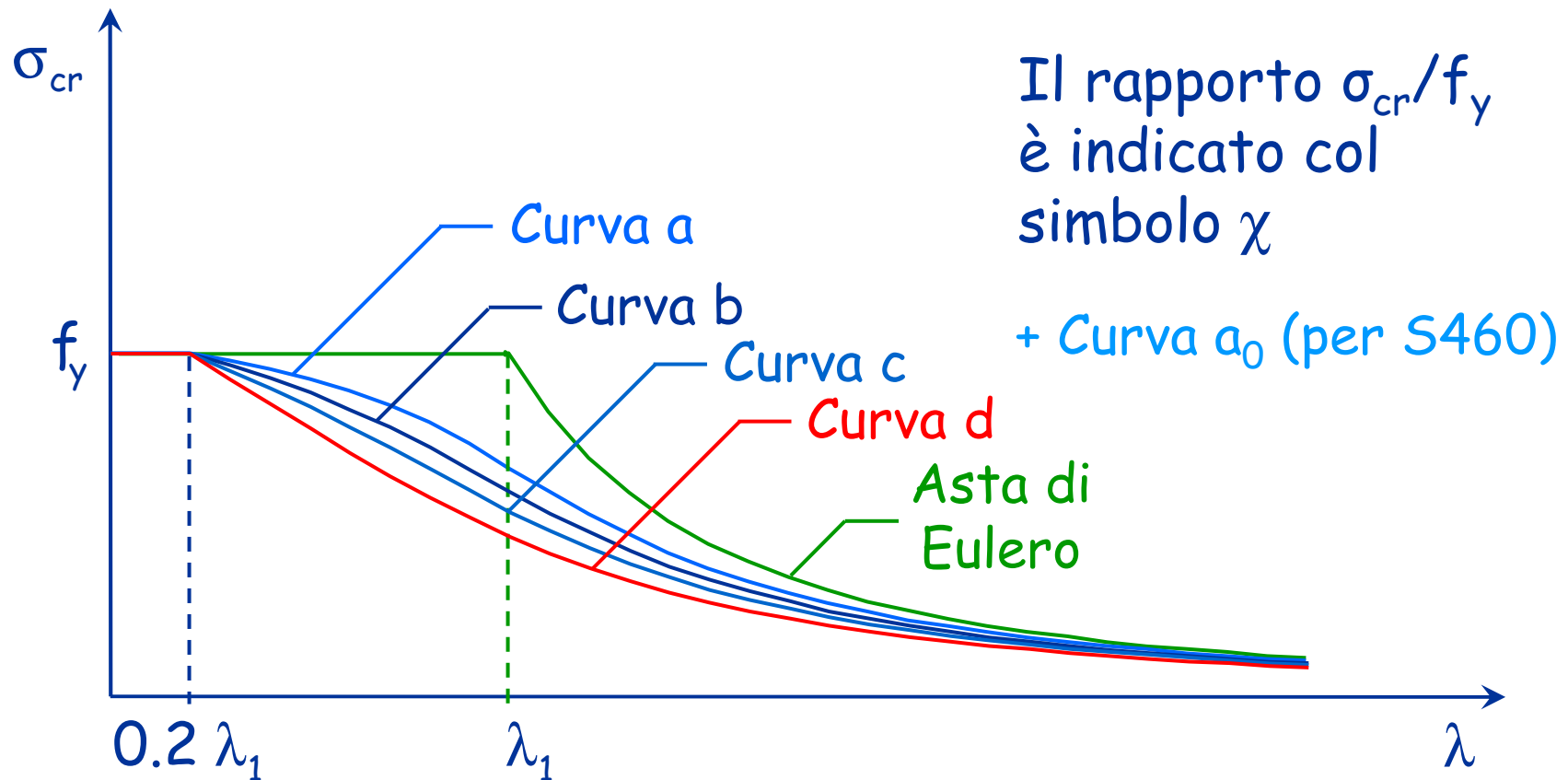
Comportamento delle aste reali

Il collasso plastico avviene solo per valori di snellezza molto bassi $\lambda \leq 0.2 \lambda_1$.



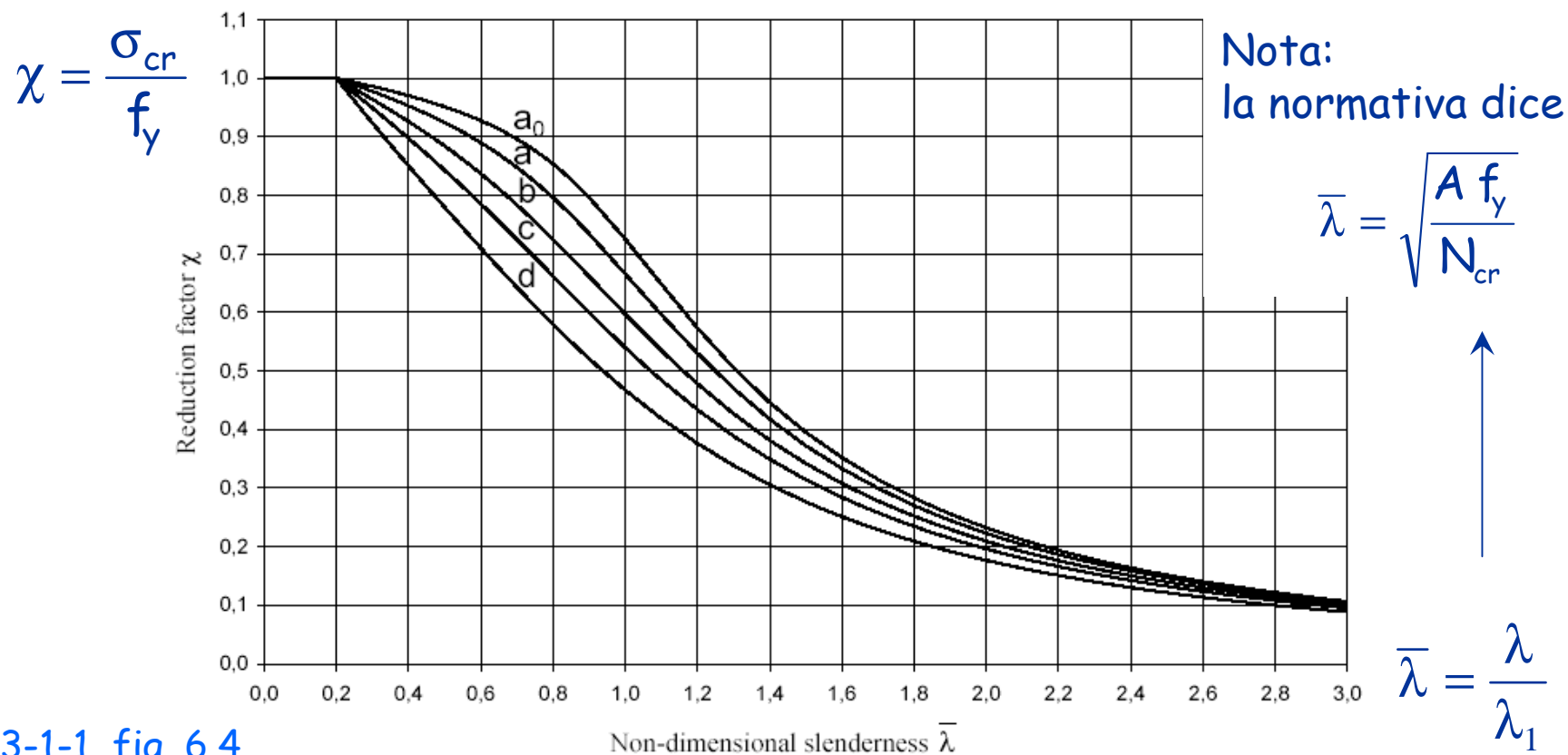
Comportamento delle aste reali

Il comportamento dipende dal tipo di profilato. La normativa (NTC08, EC3) distingue 5 curve di stabilità



Comportamento delle aste reali

Il comportamento dipende dal tipo di profilato. La normativa (NTC08, EC3) distingue 5 curve di stabilità



EC3-1-1, fig. 6.4

Comportamento delle aste reali

Vengono fornite anche formule per calcolare χ

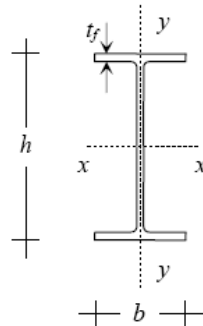
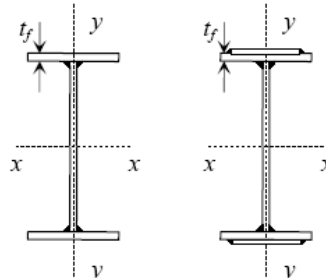
$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$$

$$\Phi = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

Curva di instabilità	a_0	a	b	c	d
Fattore di imperfezione α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76


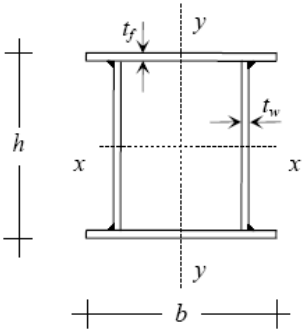
Comportamento delle aste reali

- Le imperfezioni (e quindi la scelta tra le curve) dipende dalla forma del profilo

			Curva di stabilità per:			
Tipo di sezione		Limiti	Asse di inflexione	S235 S275 S355 S420	S460	
Sezioni laminate		$h/b > 1.2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	$x - x$	a	a_0
				$y - y$	b	a_0
			$t_f > 40 \text{ mm}$	$x - x$	b	a
				$y - y$	c	a
		$h/b \leq 1.2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	$x - x$	b	a
				$y - y$	c	a
			$t_f > 100 \text{ mm}$	$x - x$	d	c
				$y - y$	d	c
Sez. ad I saldate		$t_f \leq 40 \text{ mm}$	$x - x$	b	b	
			$y - y$	c	c	
		$t_f > 40 \text{ mm}$	$x - x$	c	c	
			$y - y$	d	d	

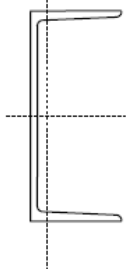
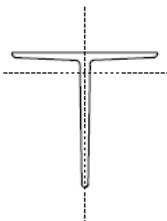
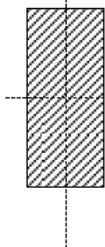
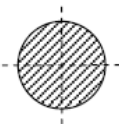
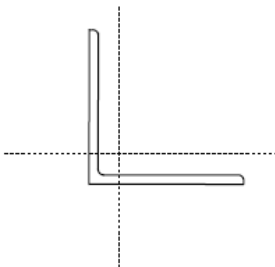
Comportamento delle aste reali

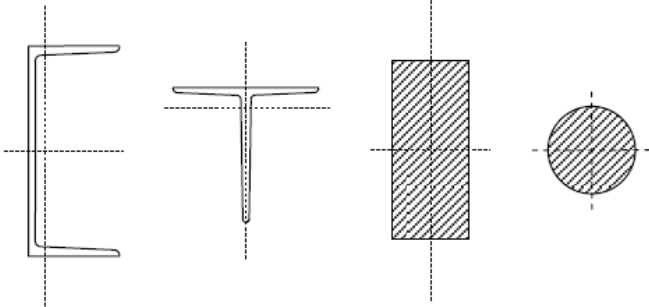
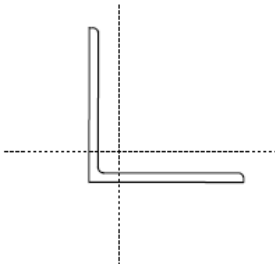
- Le imperfezioni (e quindi la scelta tra le curve) dipende dalla forma del profilo

Tipo di sezione		Limiti	Asse di inflessione	Curva di stabilità per: S235 S275 S355 S420 S460	
Sez. cave		formata a caldo	qualunque	a	a ₀
		formata a freddo	qualunque	c	c
Sez. scat. saldate		in generale	qualunque	b	b
		saldature con $a > 0.5 t_f$ $b/t_f < 30$; $h/t_w < 30$	qualunque	c	c

Comportamento delle aste reali

- Le imperfezioni (e quindi la scelta tra le curve) dipende dalla forma del profilo

Tipo di sezione		Limiti		Asse di inflexione		Curva di stabilità per: S235 S275 S355 S420		S460
Sez. piene, ad U e T					qualunque	c	c	
Sezioni ad L					qualunque	b	b	

				Curva di stabilità per:	
				S235	
				S275	
				S355	S460
				S420	
	Tipo di sezione	Limiti	Asse di inflexione		
Sez. piene, ad U e T			qualunque	c	c
Sezioni ad L			qualunque	b	b

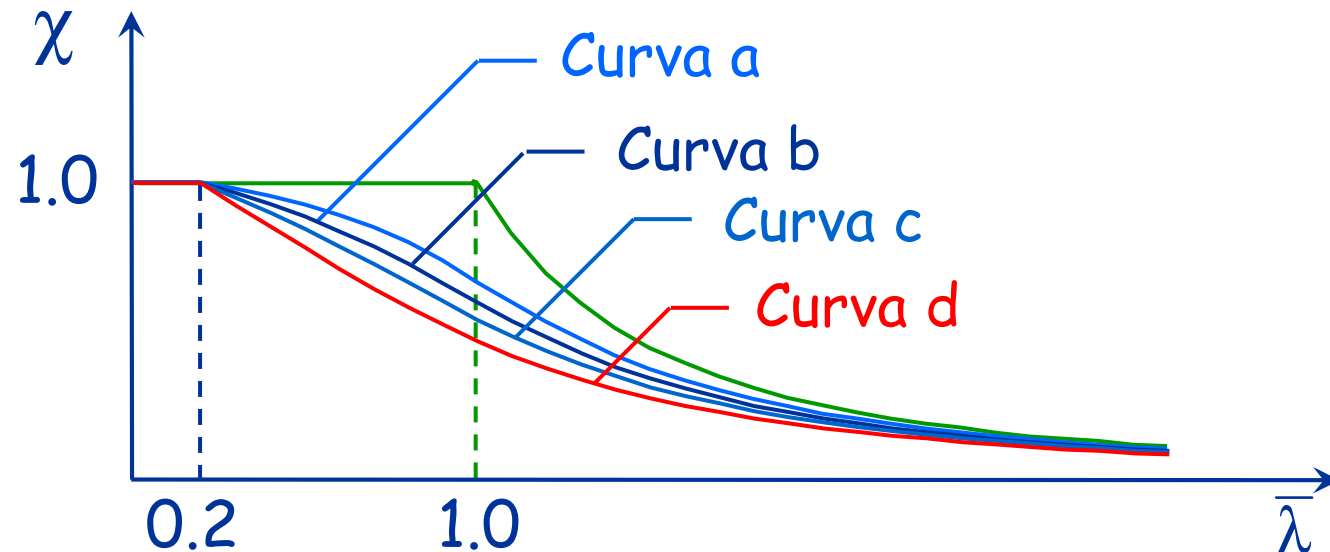
Verifica - stato limite ultimo

$$N_b = A \sigma_{cr} = \frac{\sigma_{cr}}{f_y} f_y A = \chi f_y A$$

$$\chi = \frac{\sigma_{cr}}{f_y} \leq 1$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$$

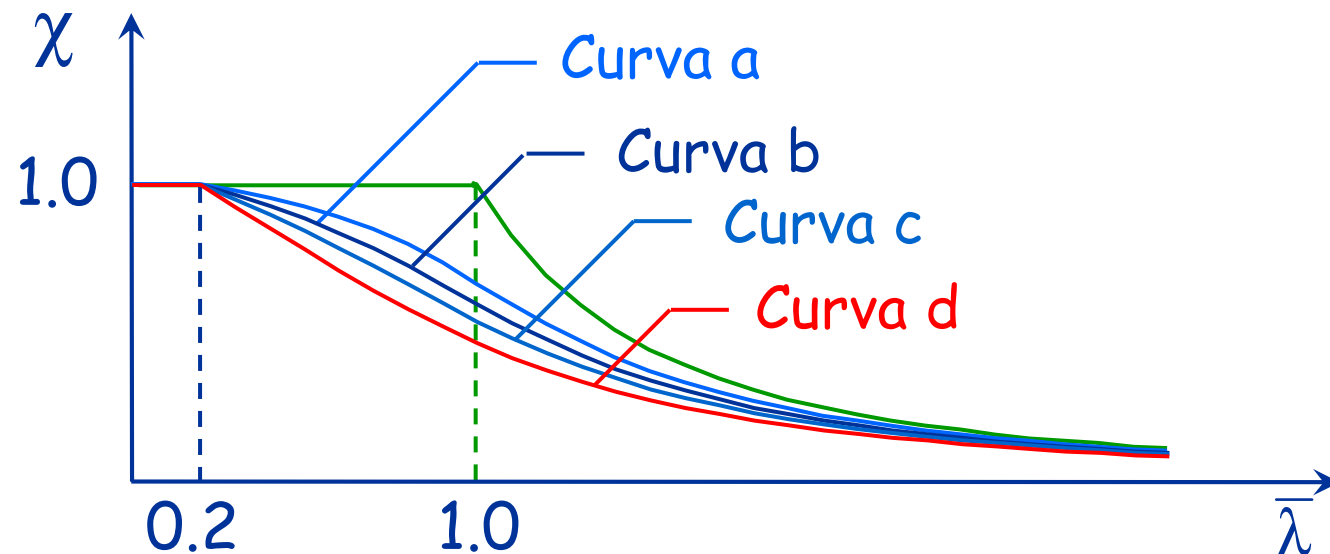


Verifica - stato limite ultimo

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$$

Resistenza all'instabilità

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$



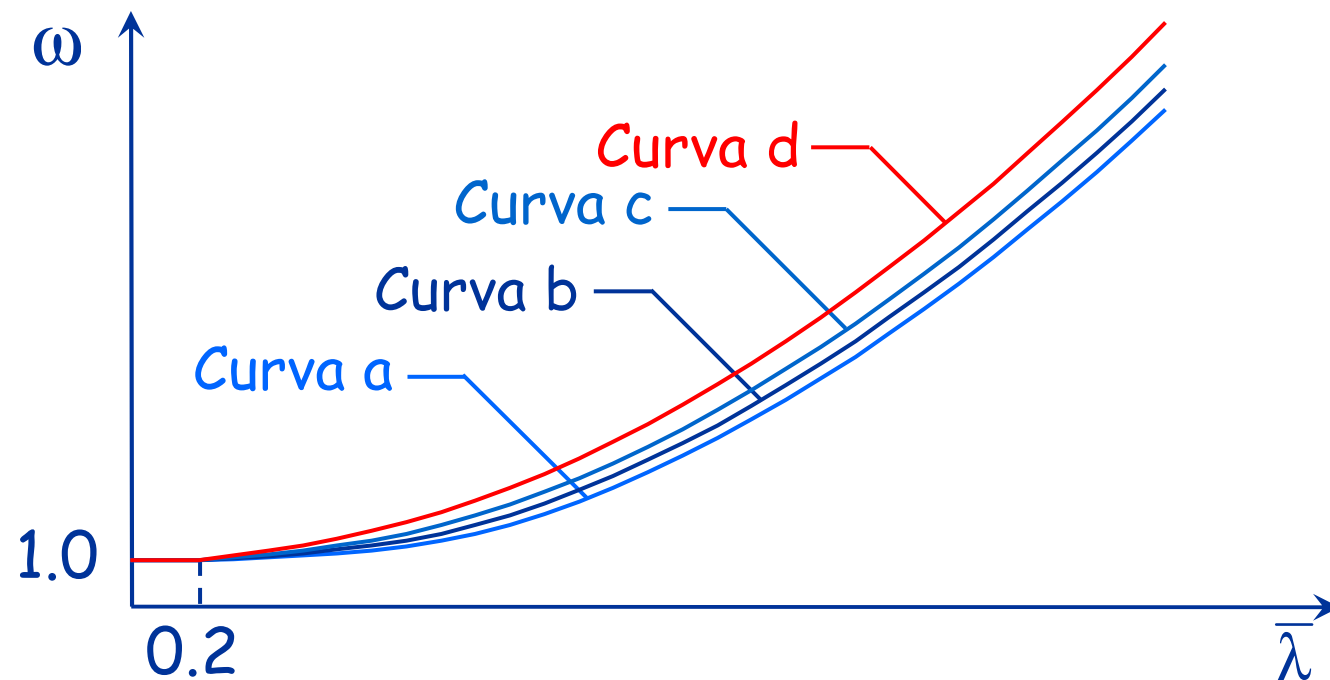
NTC 08, punto 4.2.4.1.3.1

Verifica - tensioni ammissibili

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq \sigma_{cr} \leq \frac{\sigma_{cr}}{f_y} f_y \leq \frac{f_y}{\omega}$$

$$\sigma = \omega \frac{N}{A} \leq f_y$$

$$\omega = \frac{f_y}{\sigma_{cr}} \geq 1 \quad \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$



Verifica - tensioni ammissibili

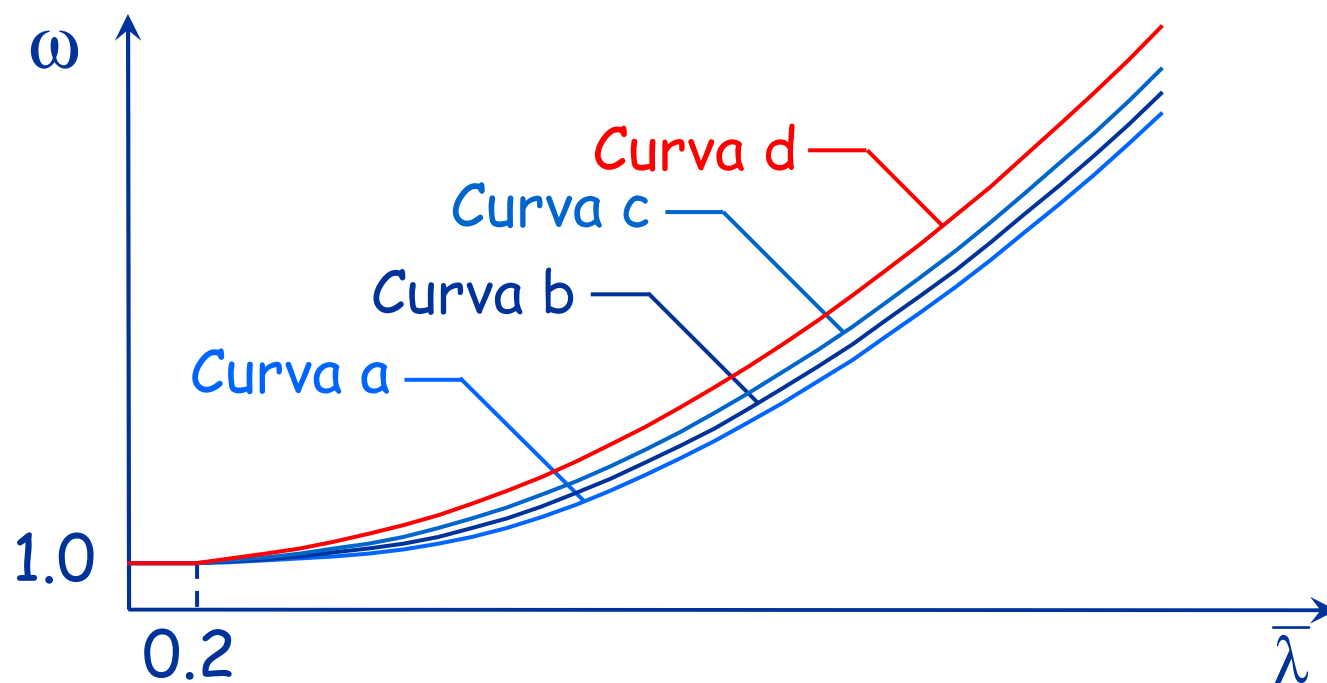
$$\sigma = \frac{N}{A} \leq \sigma_{cr} \leq \frac{\sigma_{cr}}{f_y} f_y \leq \frac{f_y}{\omega}$$

Applicando il coefficiente di sicurezza a f_y ...

$$\omega = \frac{f_y}{\sigma_{cr}} \geq 1$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

$$\sigma = \omega \frac{N}{A} \leq \bar{\sigma}$$

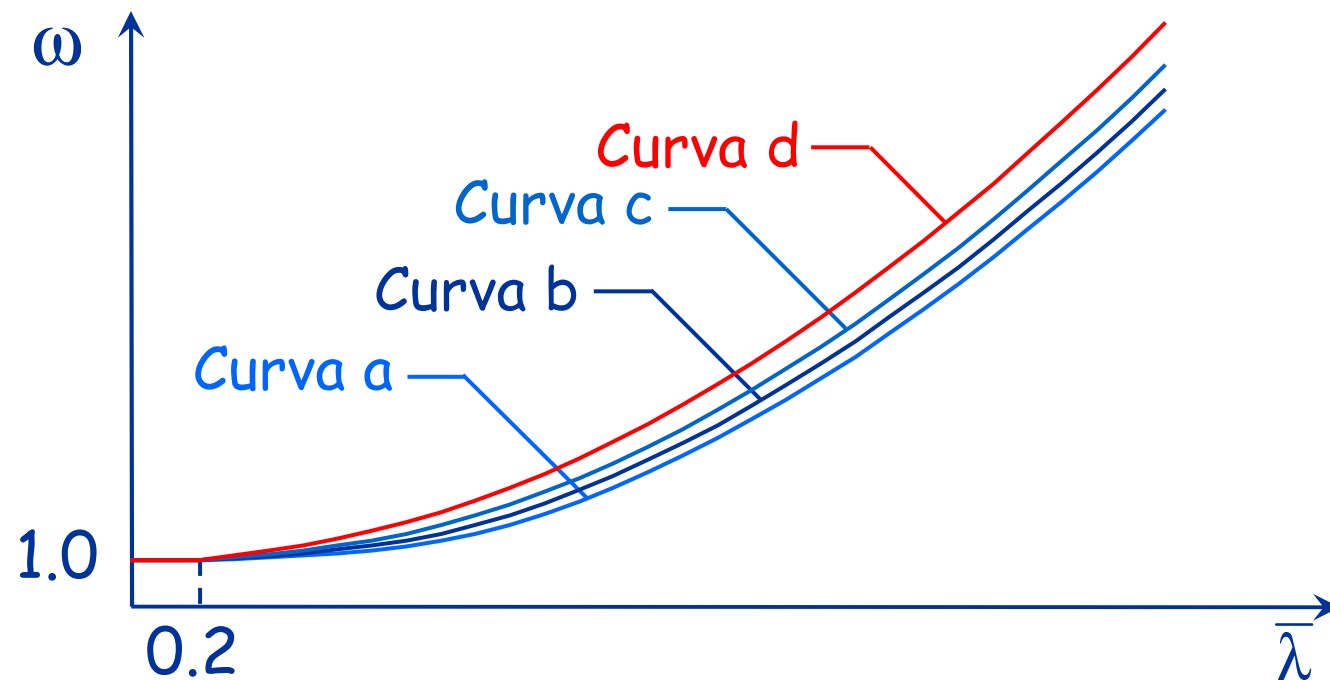


Verifica - tensioni ammissibili

$$N_{\max} = \frac{1}{\omega} \bar{\sigma} A$$

Sforzo normale ammissibile

$$N \leq N_{\max}$$



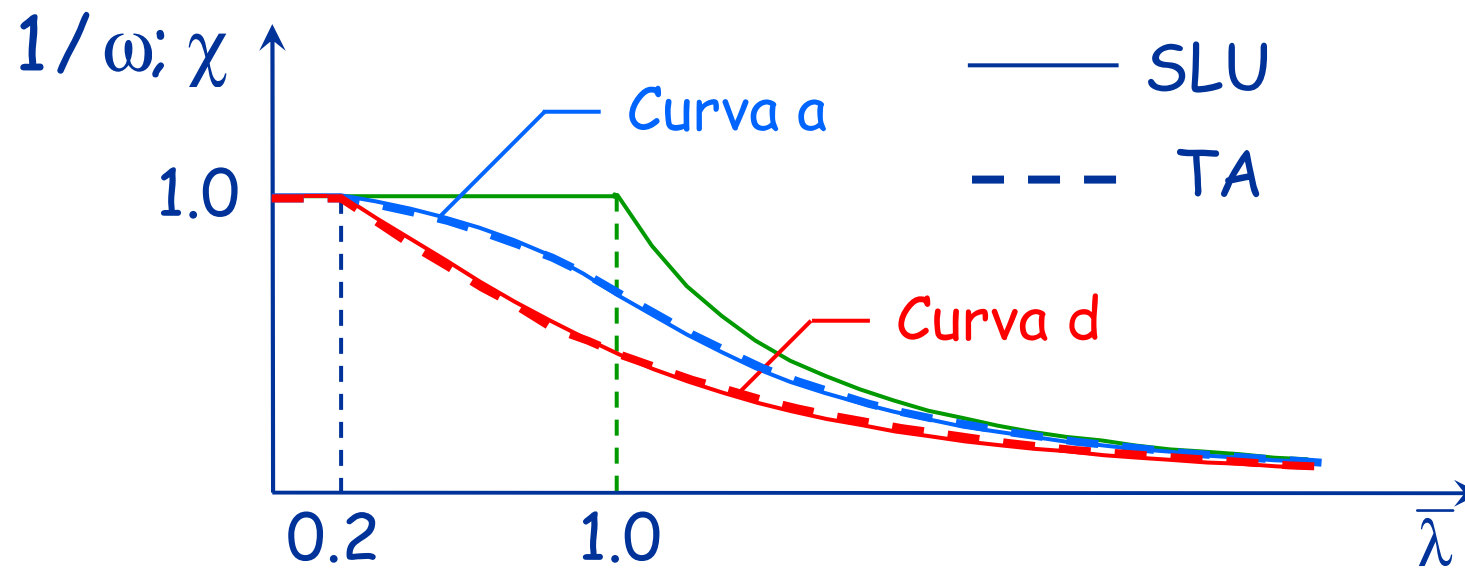
Verifica - confronto

$$N_{\max} = \frac{1}{\omega} \bar{\sigma} A$$

TA

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi f_y A}{\gamma_{M1}}$$

SLU



Verifica - confronto

TA

$$N_{\max} = \frac{1}{\omega} \bar{\sigma} A$$

160

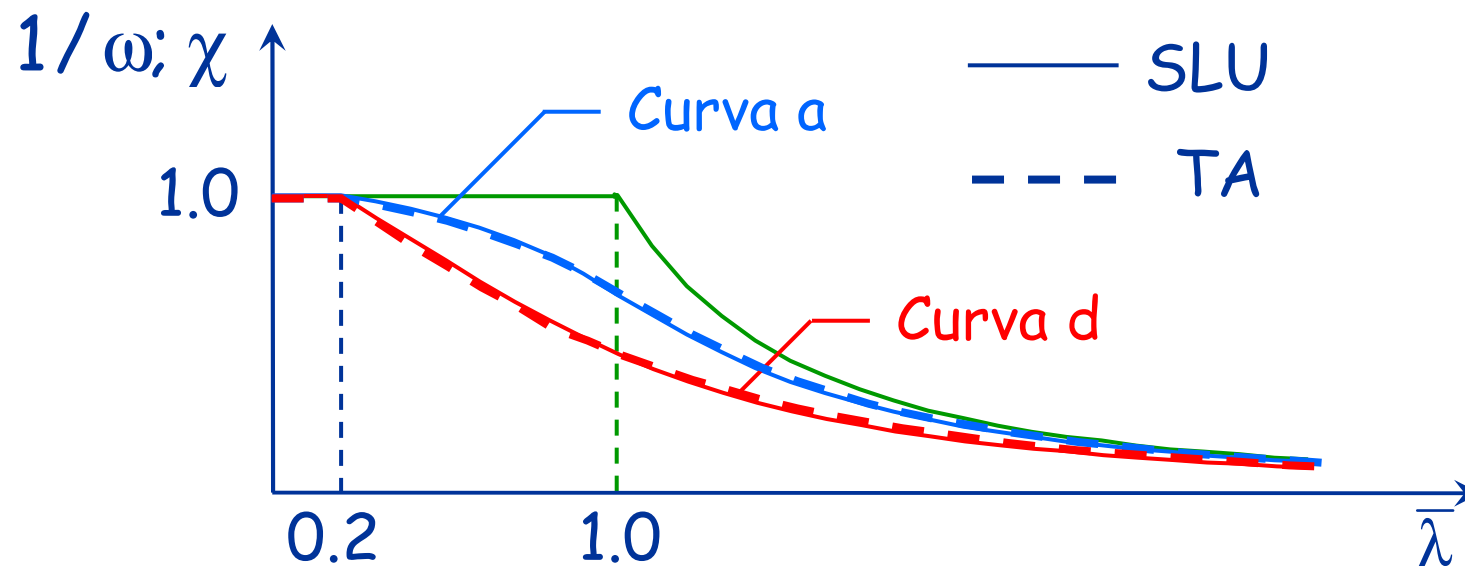
$$160 \times 1.4 = 224$$

SLU

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi f_y A}{\gamma_{M1}}$$

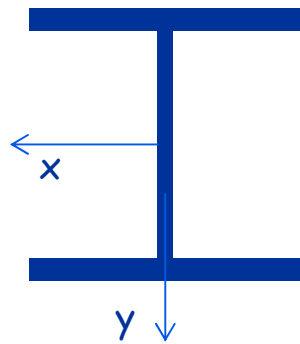
$$235 / 1.05 = 224$$

Acciaio S235 (Fe 360)



Esempio

Dati:



HE 240 A



$$N_{Ed} = -1250 \text{ kN}$$

Acciaio S235

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

(uguale nei due piani)

1 - Determinazione della snellezza

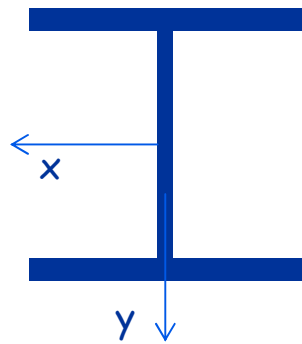
Piano di maggiore snellezza: xz

$$i_y = 60.0 \text{ mm} \quad \lambda = \frac{l_0}{i_y} = \frac{3500}{60} = 58.33$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{58.33}{93.91} = 0.621$$

Esempio

Dati:



HE 240 A



$$N_{Ed} = - 1250 \text{ kN}$$

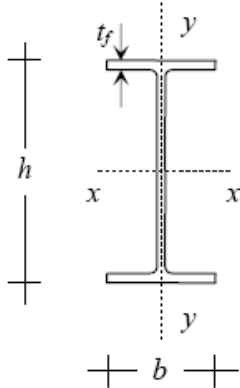
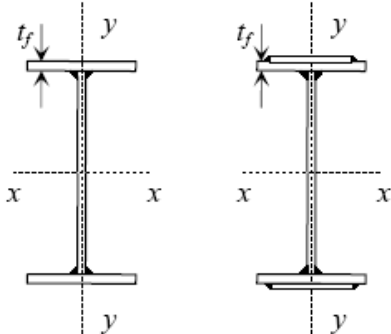
Acciaio S235

$$I_0 = 3.50 \text{ m}$$

(uguale nei due piani)

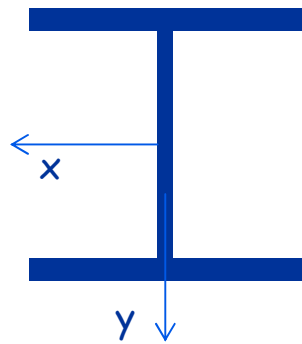
2 - Individuazione della curva di instabilità

Esempio

Tipo di sezione		Limiti	Asse di inflessione	Curva di stabilità per: S235 S275 S355 S420 S460		
Sezioni laminate		$h/b > 1.2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	$x - x$	a	a ₀
		$h/b \leq 1.2$	$t_f > 40 \text{ mm}$	$y - y$	b	a ₀
			$t_f \leq 100 \text{ mm}$	$x - x$	b	a
				$y - y$	c	a
				$x - x$	b	a
				$y - y$	c	a
Sez. ad I saldate		$t_f \leq 40 \text{ mm}$	$x - x$	b	b	
			$y - y$	c	c	
		$t_f > 40 \text{ mm}$	$x - x$	c	c	
			$y - y$	d	d	

Esempio

Dati:



HE 240 A



$$N_{Ed} = -1250 \text{ kN}$$

Acciaio S235

$$I_0 = 3.50 \text{ m}$$

(uguale nei due piani)

2 - Individuazione della curva di instabilità

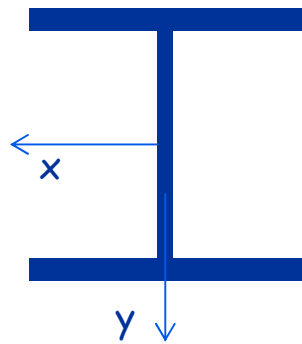
curva c

$$\alpha = 0.49$$

Curva di instabilità	a_0	a	b	c	d
Fattore di imperfezione α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Esempio

Dati:



HE 240 A



$$N_{Ed} = -1250 \text{ kN}$$

Acciaio S235

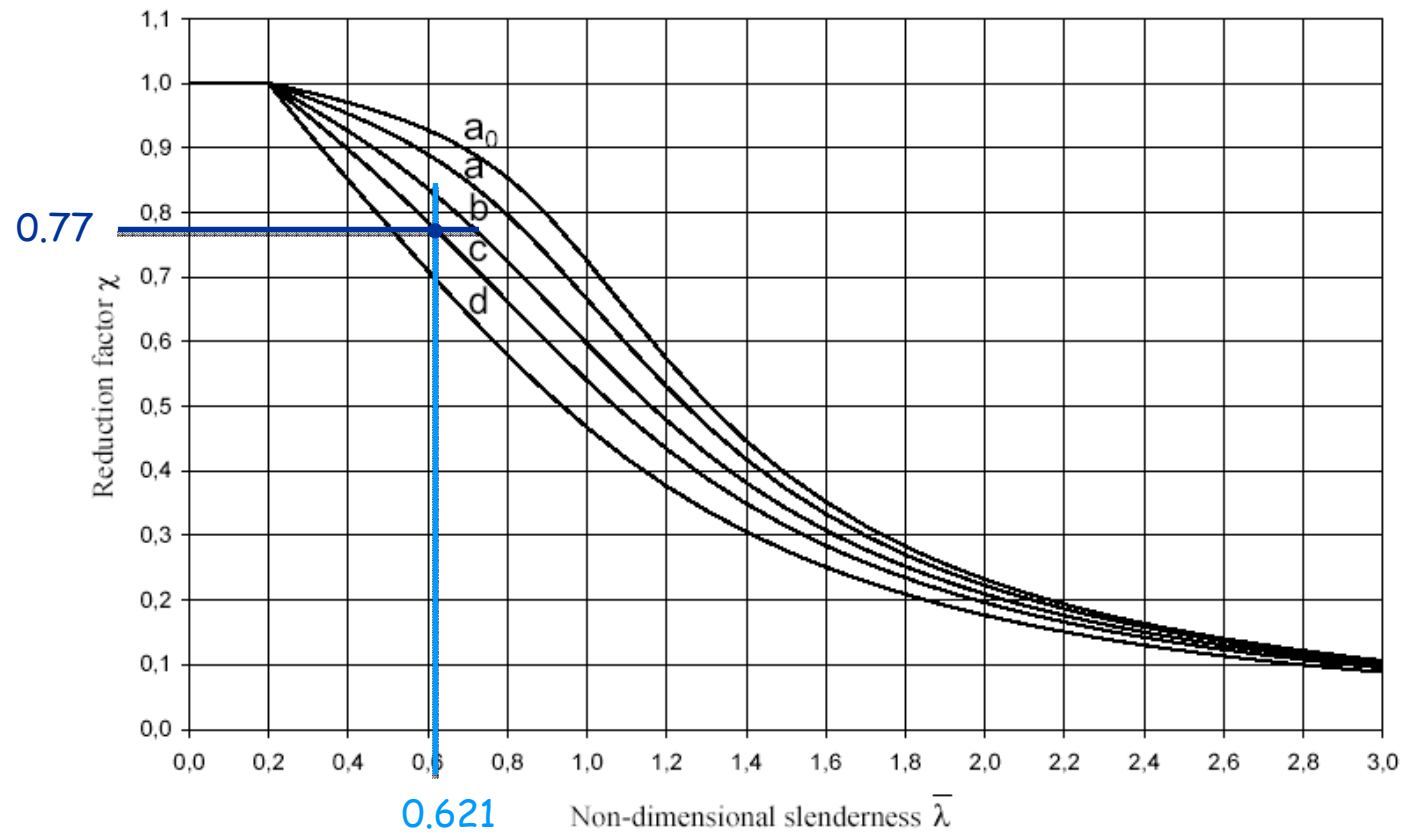
$$I_0 = 3.50 \text{ m}$$

(uguale nei due piani)

3 - Determinazione di χ

Esempio

- Graficamente



Esempio

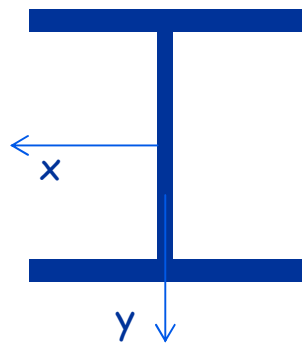
- Analiticamente $\bar{\lambda} = 0.621$ $\alpha = 0.49$

$$\Phi = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2] = 0.7961$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0 = 0.7728$$

Esempio

Dati:



HE 240 A



$$N_{Ed} = -1250 \text{ kN}$$

Acciaio S235

$$I_0 = 3.50 \text{ m}$$

(uguale nei due piani)

3 - Determinazione di χ

$$\chi = 0.7728$$

$$|N_{Ed}| < N_{bRd}$$

La sezione è verificata

4 - Calcolo di N_{bRd}

$$N_{bRd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.7728 \times 76.84 \times 235}{1.05} \times 10^{-1} = 1329 \text{ kN}$$

Progetto - stato limite ultimo

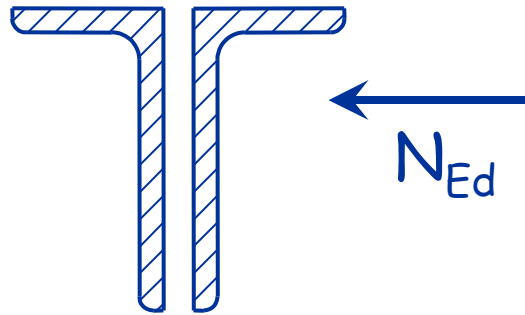
- 1 - Si assegna a χ un valore di tentativo e si ottiene la formula di progetto della sezione invertendo l'espressione di verifica

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} \quad \Rightarrow \quad A = \frac{N_{Ed}}{\chi f_y / \gamma_{M1}}$$

- 2 - Si sceglie il profilato
(evitare snellezze $\lambda > 200$ per membrature principali e $\lambda > 250$ per membrature secondarie)
- 3 - Si calcola $N_{b,Rd}$ e si confronta con N_{Ed}
Se $N_{b,Rd} < N_{Ed}$ oppure se $N_{b,Rd}$ è molto più grande di N_{Ed} si itera il procedimento.

Esempio

Dati:



$$N_{Ed} = - 343 \text{ kN}$$

Acciaio S235

$$\lambda_1 = 93.9$$

$$L = l_0 = 1.80 \text{ m}$$

1 - Determinazione dell'area necessaria

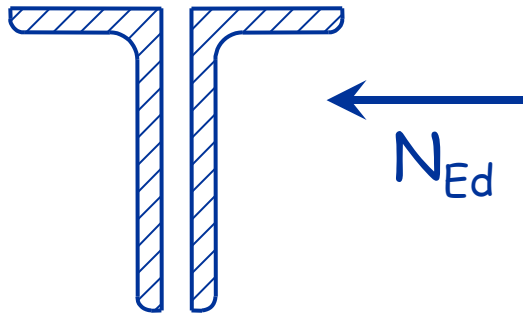
$$\chi = 0.6 \quad \Rightarrow \quad A = \frac{N_{Ed}}{\chi f_y / \gamma_{M1}} = \frac{342.9 \times 10^3}{0.6 \times 235 / 1.05} = 2554 \text{ mm}^2$$

2 - Scelta della sezione

Uso 2 L 60x120x8 $A = 2780 \text{ mm}^2$

Esempio

Dati:



$$N_{Ed} = - 343 \text{ kN}$$

Acciaio S235

$$\lambda_1 = 93.9$$

$$L = l_0 = 1.80 \text{ m}$$

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

Coppia di profili

$$i_{cp} = 23.9 \text{ mm}$$

$$\lambda_{cp} = \frac{l_0}{i_{cp}} = \frac{1800}{23.9} = 75.3$$

Singolo profilo

$$i_{sp} = 12.7 \text{ mm}$$

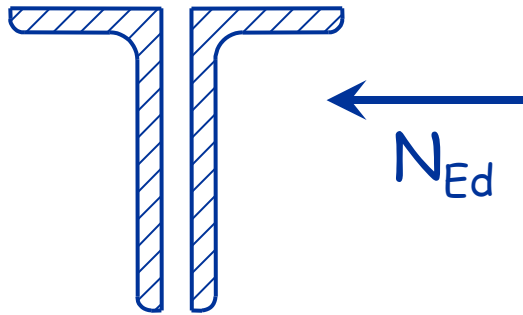
$$\lambda_{sp} = \frac{l_0/3}{i_{sp}} = \frac{600}{12.7} = 47.2$$

$$\lambda_{eq} = \sqrt{\lambda_{dp}^2 + \lambda_{sp}^2} = 88.9$$

$$\bar{\lambda}_{eq} = \frac{\bar{\lambda}_{eq}}{\lambda_1} = \frac{88.9}{93.9} = 0.95$$

Esempio

Dati:



$$N_{Ed} = - 343 \text{ kN}$$

Acciaio S235

$$\lambda_1 = 93.9$$

$$L = l_0 = 1.80 \text{ m}$$

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

$$\bar{\lambda}_{eq} = 0.95$$

Curva b



$$\chi = 0.63$$

per profili a L (un tempo era curva c)

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi f_y A}{\gamma_{M1}} = \frac{0.63 \times 235 \times 2780}{1.05 \times 10^3} = 392.6 \text{ kN} \geq N_{Ed}$$