

Corso di aggiornamento

Elementi strutturali e collegamenti in acciaio

3 - Sforzo normale centrato: trazione; compressione

Villa Redenta, Spoleto

2-4 marzo 2017

Francesca Barbagallo

Verifica e progetto di sezioni allo SLU

Criteri generali

Tensione di snervamento f_y o tensione ultima f_u ?

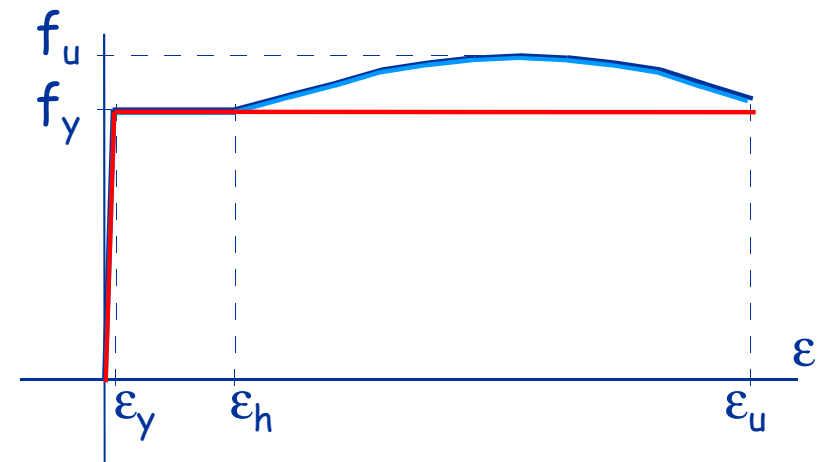
La tensione ultima f_u si raggiunge con deformazioni plastiche molto elevate

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
resistenza di bulloni, saldature $\gamma_{M2} = 1.25$
- 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)

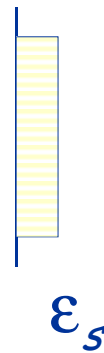
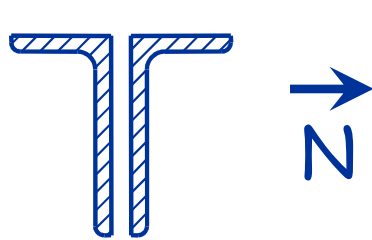
Le sezioni sono divise in 4 classi, in base a quanto l'instabilità locale ne condiziona il comportamento

- 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

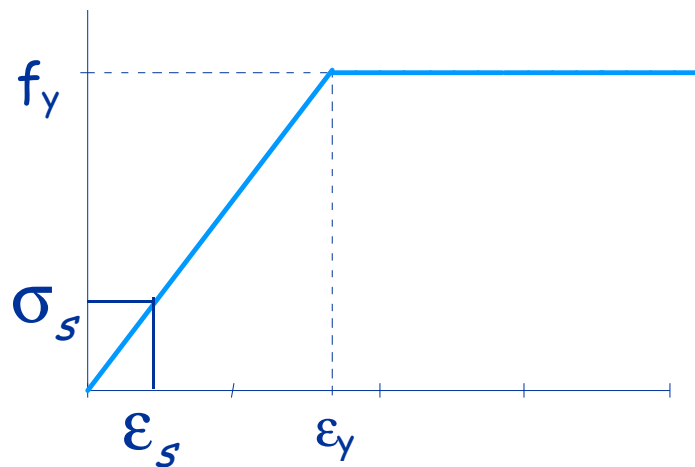
Verranno presentate in seguito

Sforzo normale
Trazione

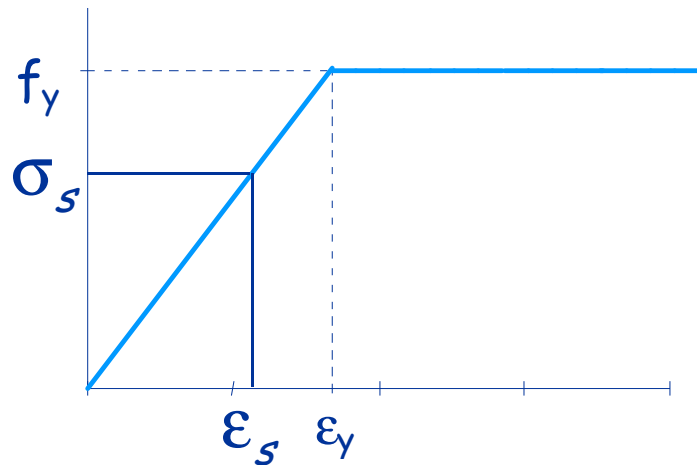
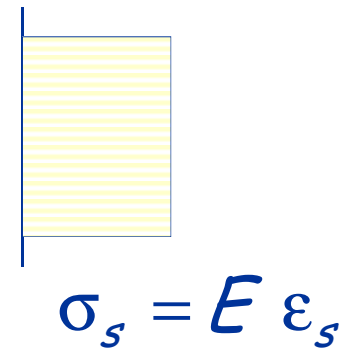
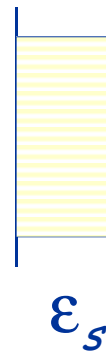
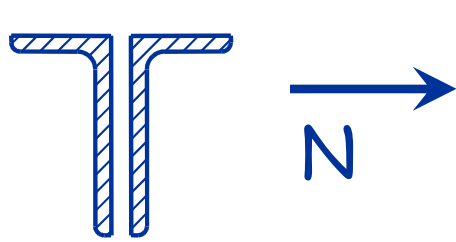
Comportamento al crescere delle deformazioni



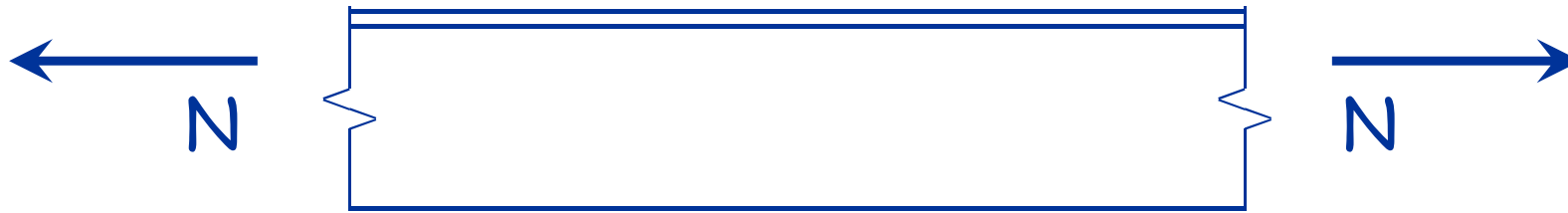
$$\sigma_s = E \epsilon_s$$



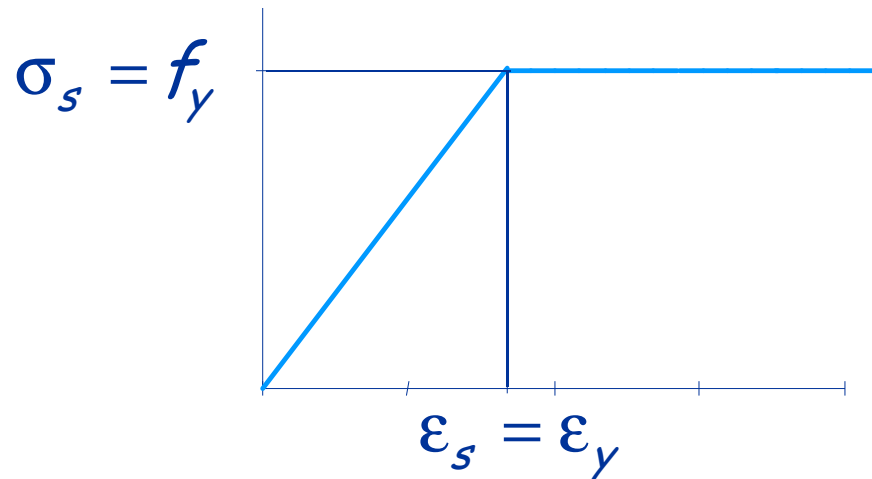
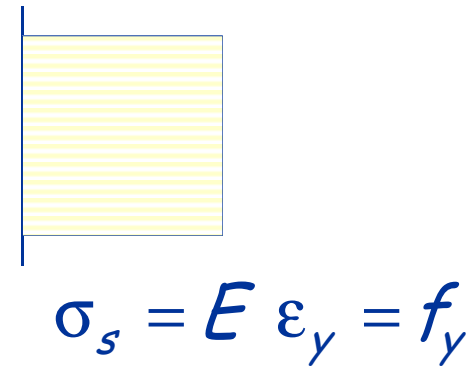
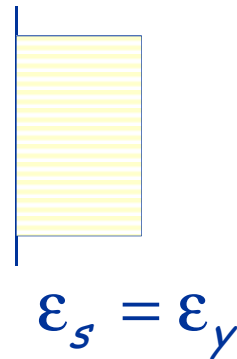
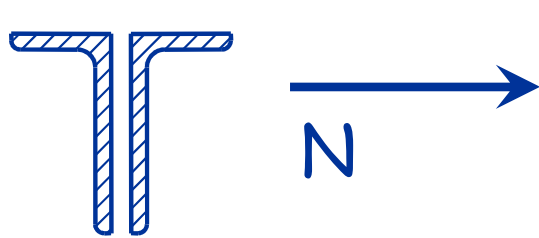
Comportamento al crescere delle deformazioni



Comportamento al crescere delle deformazioni



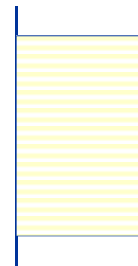
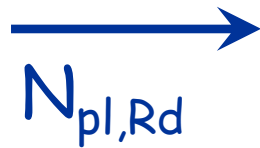
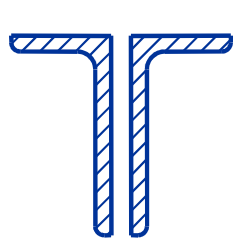
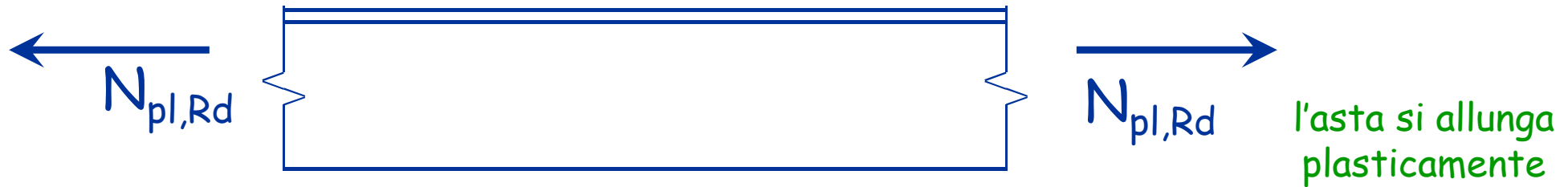
l'asta si allunga
plasticamente



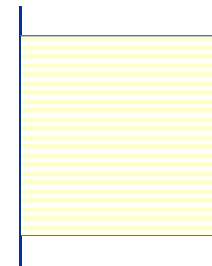
$$N_{pl} = A f_y$$

Comportamento ultimo

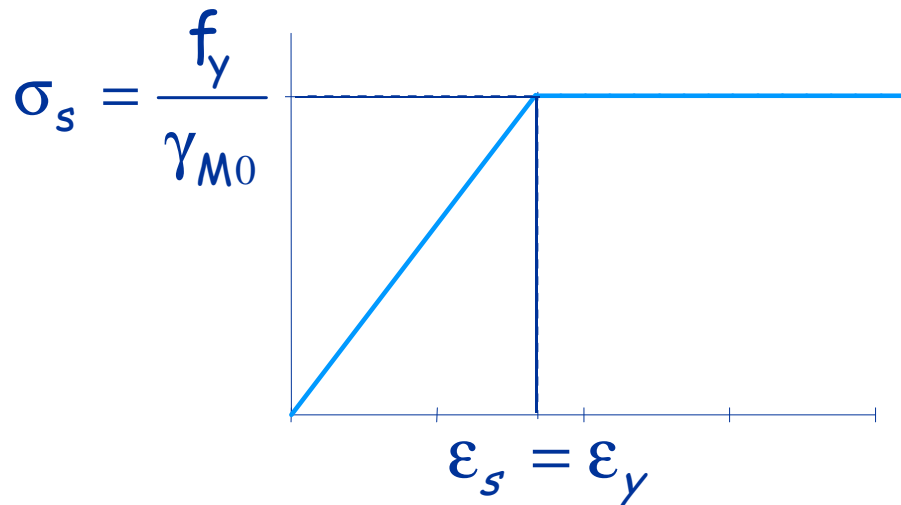
resistenza plastica della sezione



$$\varepsilon_s = \varepsilon_y$$

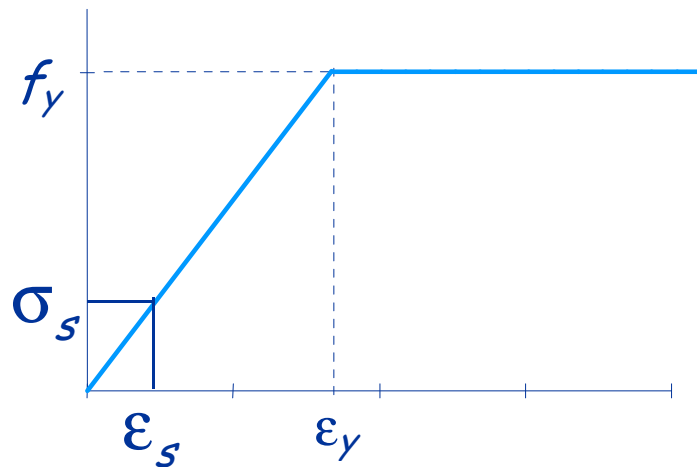
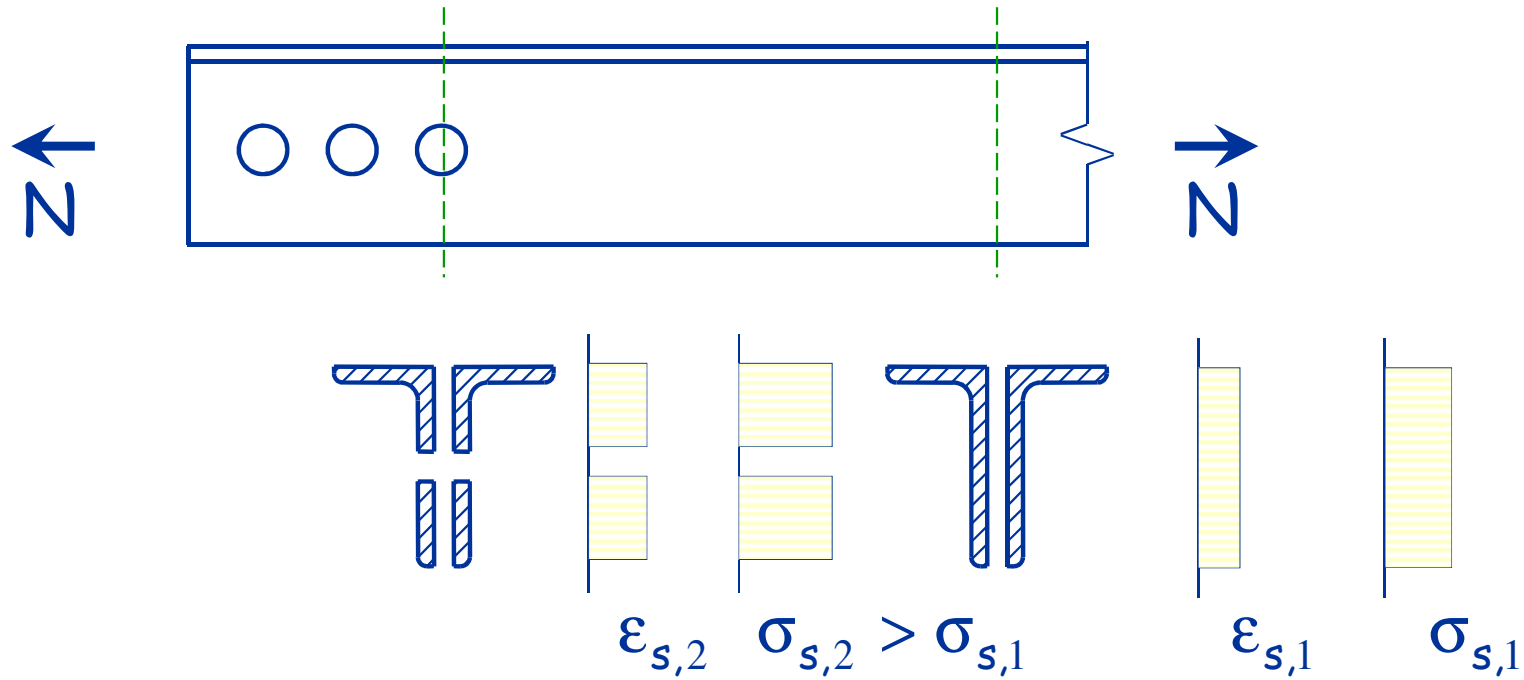


$$\sigma_s = f_y / \gamma_{M0}$$

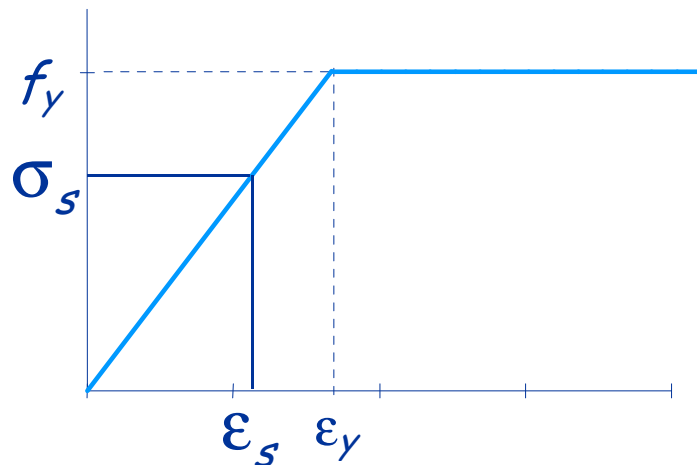
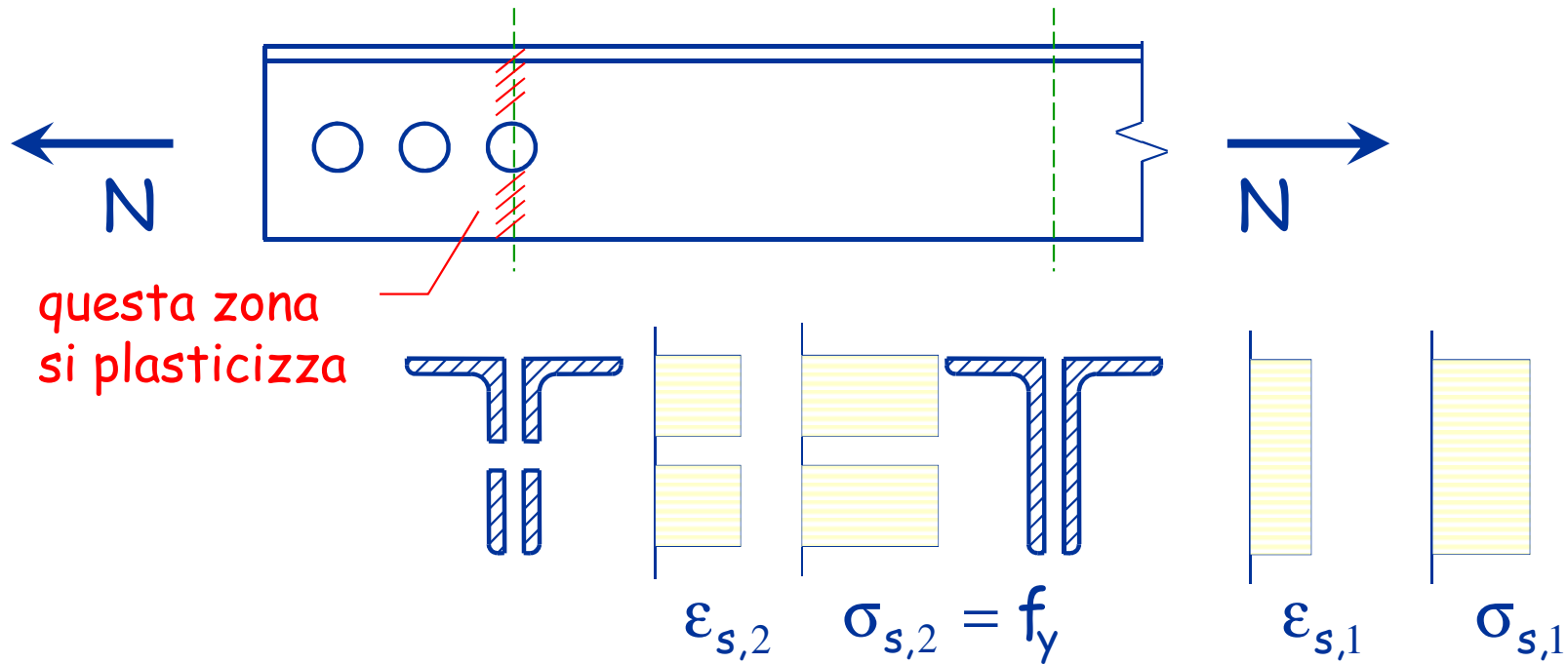


$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

Comportamento quando nell'asta vi sono dei fori



Comportamento quando nell'asta vi sono dei fori

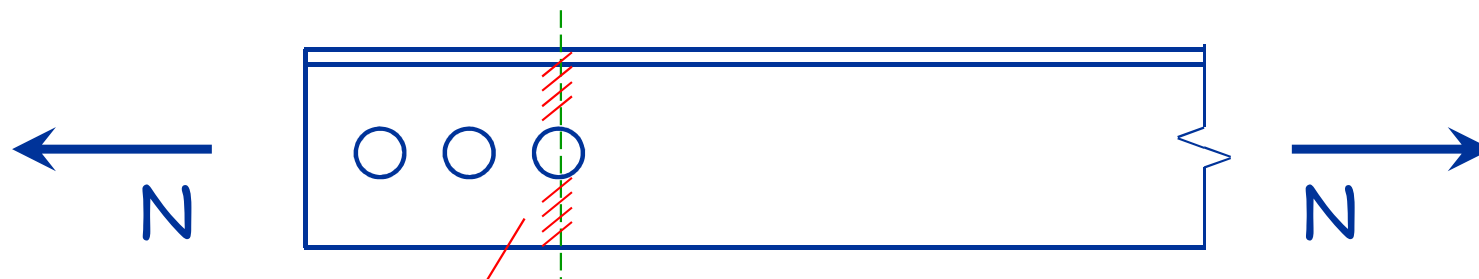


l'asta si allunga pochissimo perché la zona plasticizzata è molto piccola

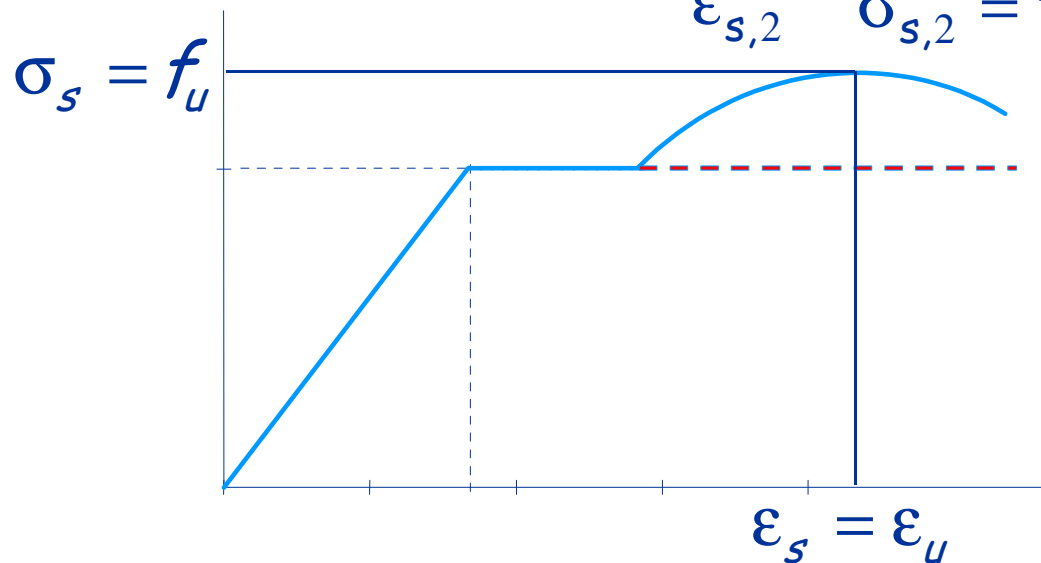
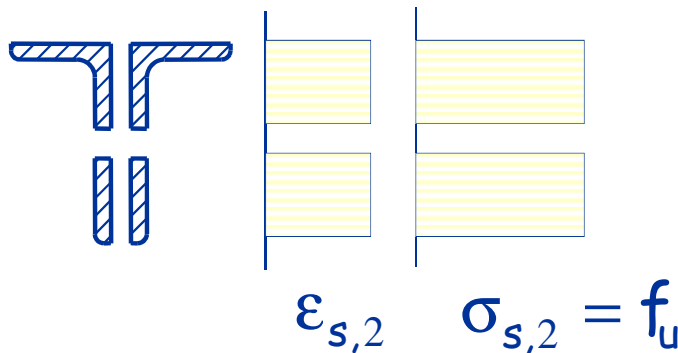
incrementando la forza si ha incrudimento in prossimità del foro

Comportamento ultimo

resistenza ultima della sezione forata



questa zona
arriva a
rottura

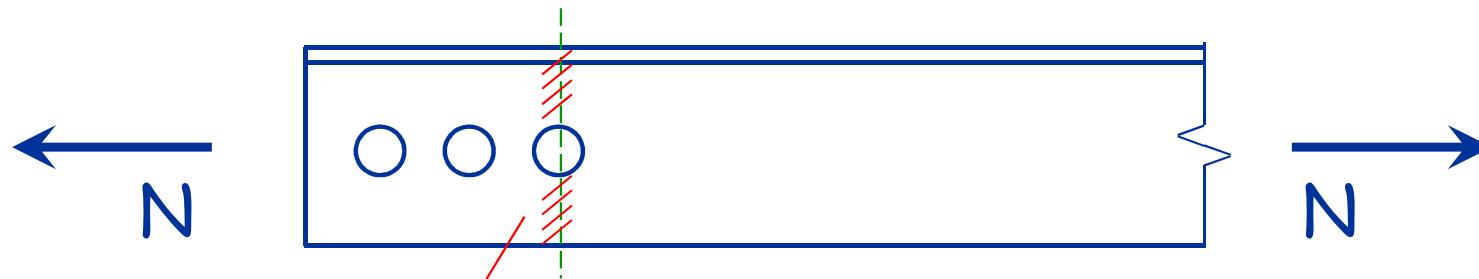


In realtà le tensioni in
prossimità del foro non
sono costanti, quindi si
usa $0.9 f_u$

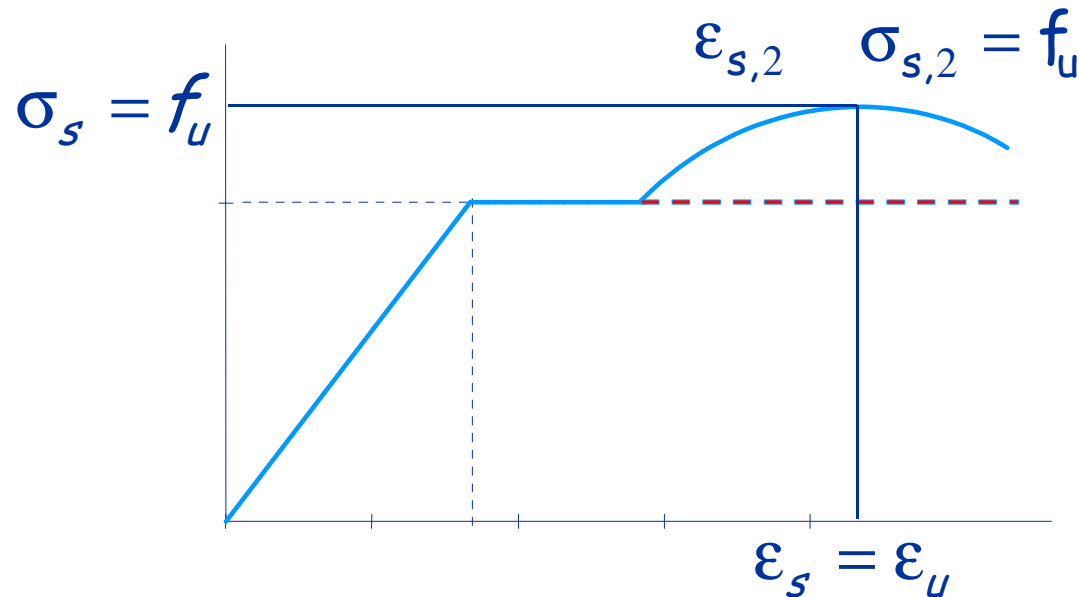
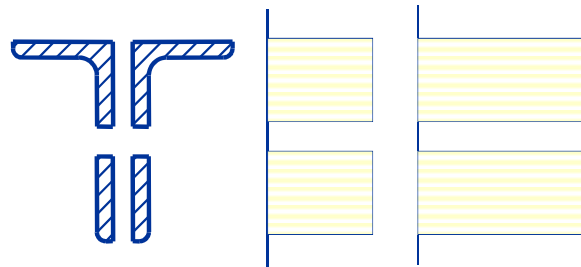
$$N_u = A_{\text{net}} f_u$$

Comportamento ultimo

resistenza ultima della sezione forata



questa zona
arriva a
rottura



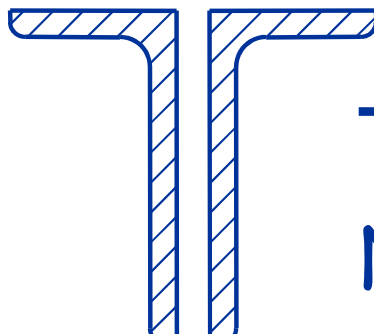
$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

Verifica

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.

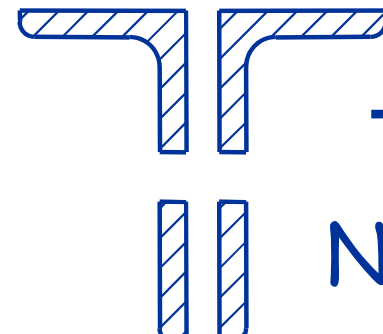
$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

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



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.

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



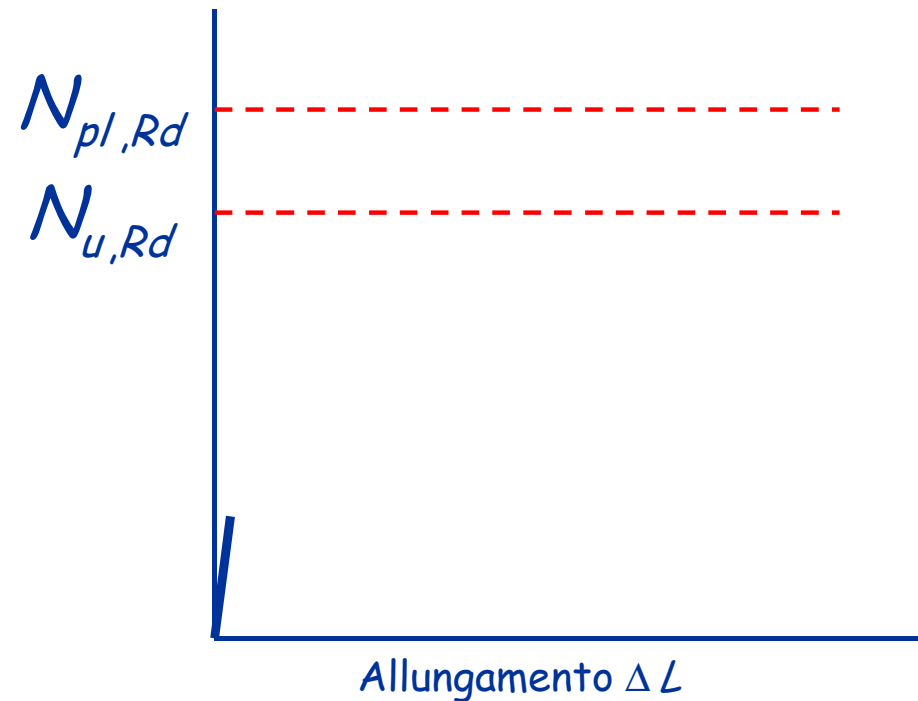
A diagram of a perforated I-beam cross-section, represented by two vertical rectangles with diagonal hatching and two small rectangular holes in the center. An arrow points from the section to the formula.

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

Duttilità

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

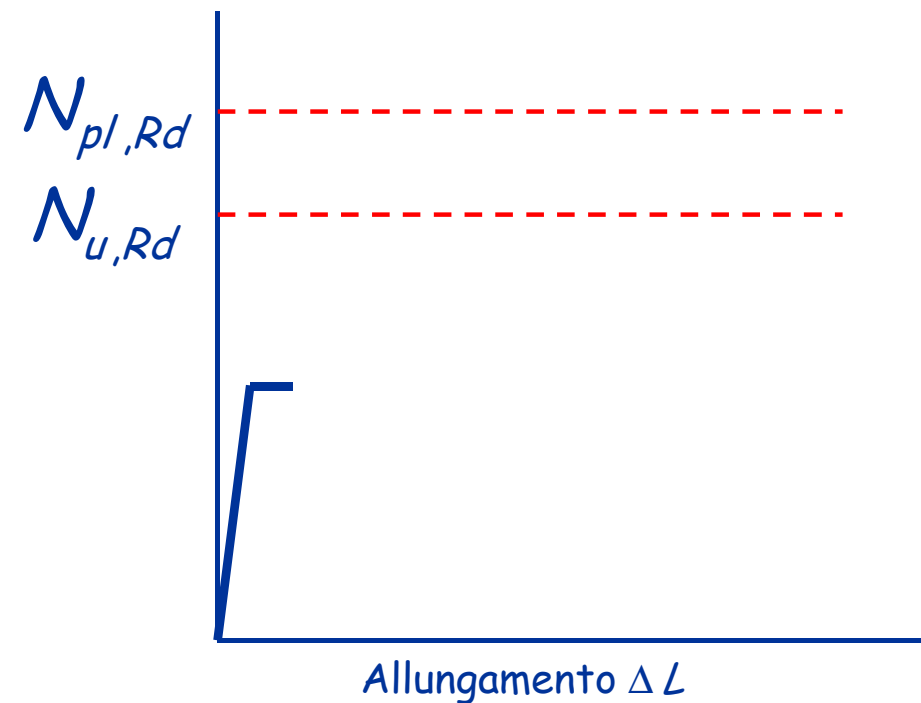
Duttilità di aste tese: caso $N_{pl,Rd} > N_{u,Rd}$



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



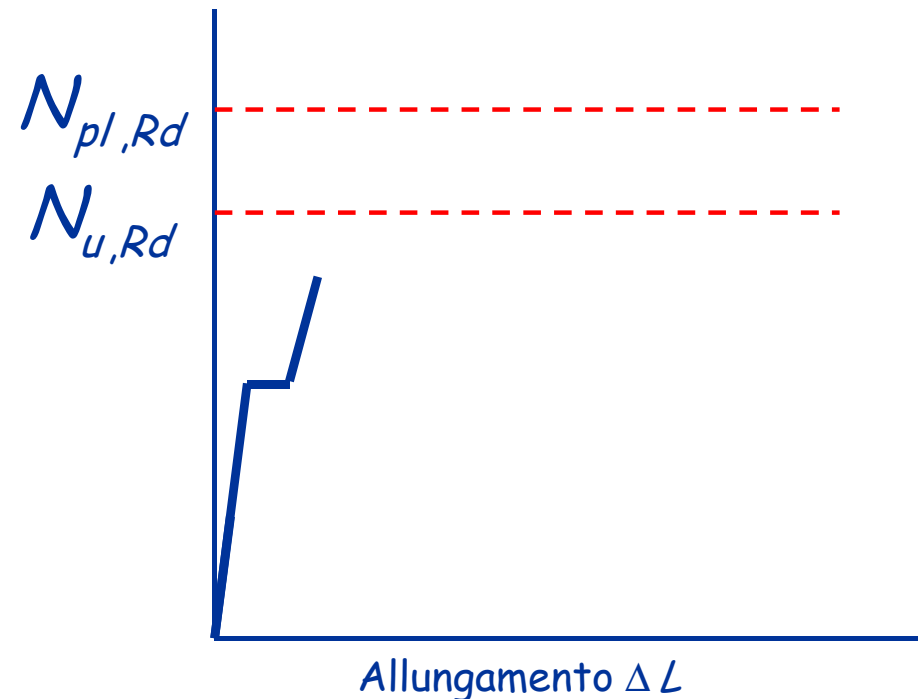
- Plasticizzazione delle sezioni indebolite



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



- Plasticizzazione delle sezioni indebolite
- Incrudimento delle sezioni indebolite

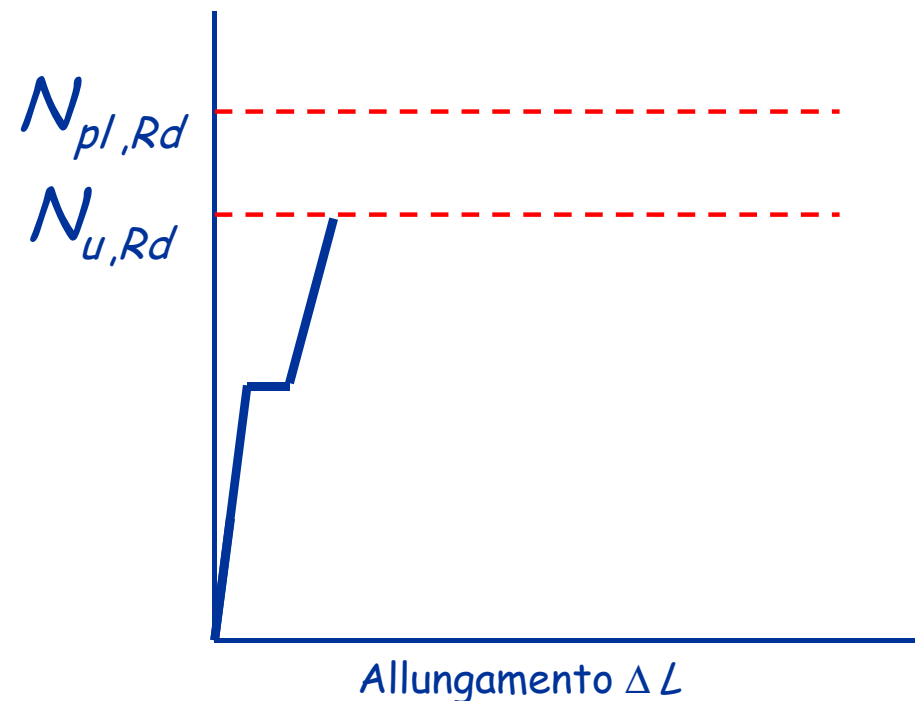


Duttilità di aste tese: caso $N_{pl,Rd} > N_{u,Rd}$

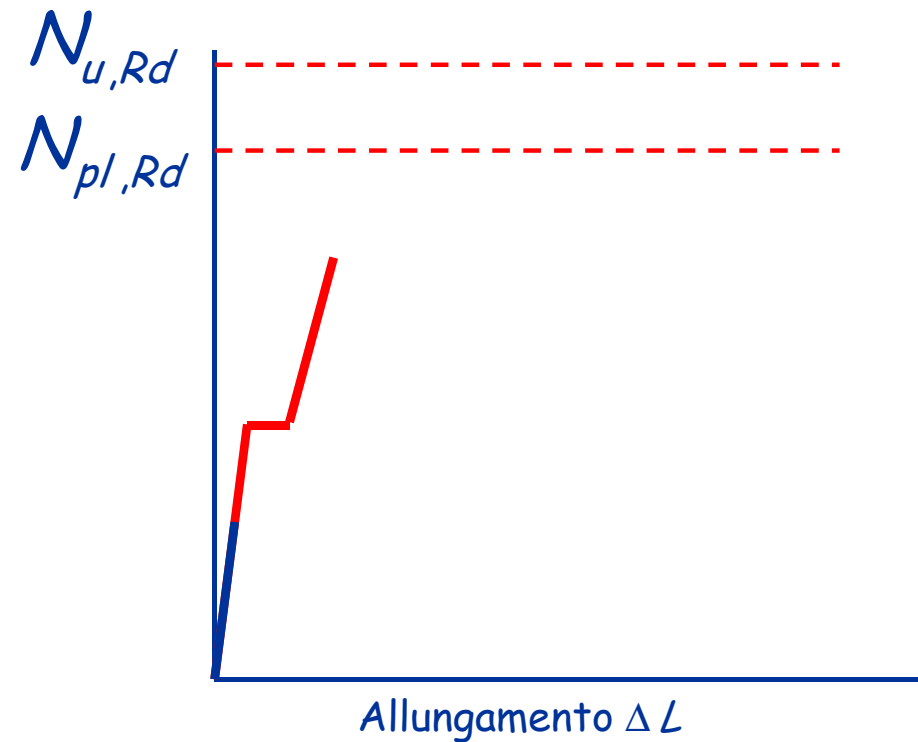


- Plasticizzazione delle sezioni indebolite
- Incrudimento delle sezioni indebolite
- Rottura della sezione più debole

L'asta è fragile



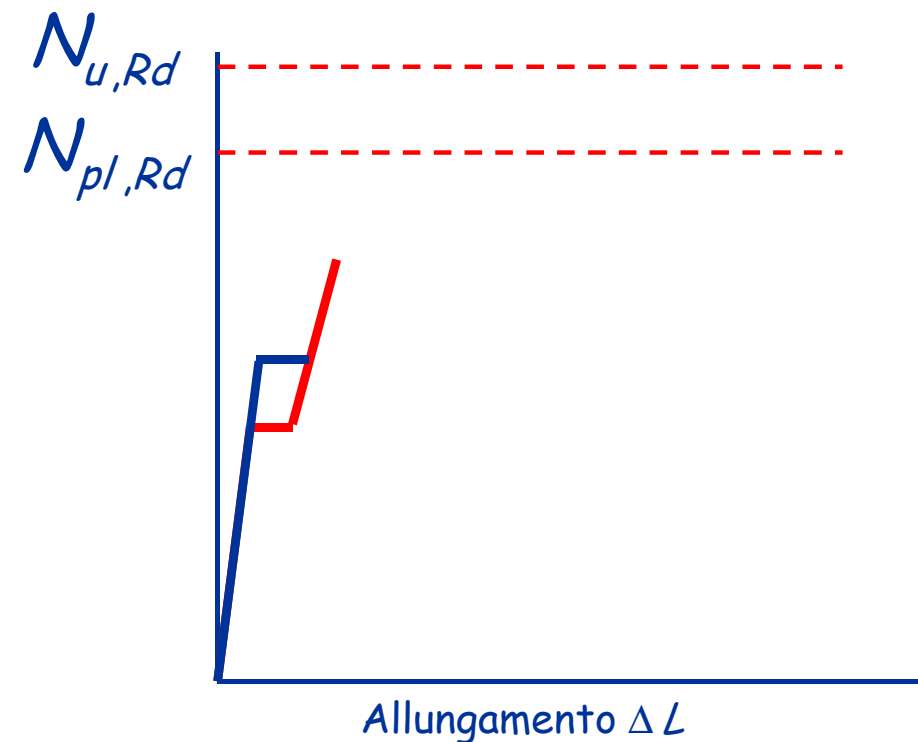
Duttilità di aste tese: caso $N_{pl,Rd} < N_{u,Rd}$



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



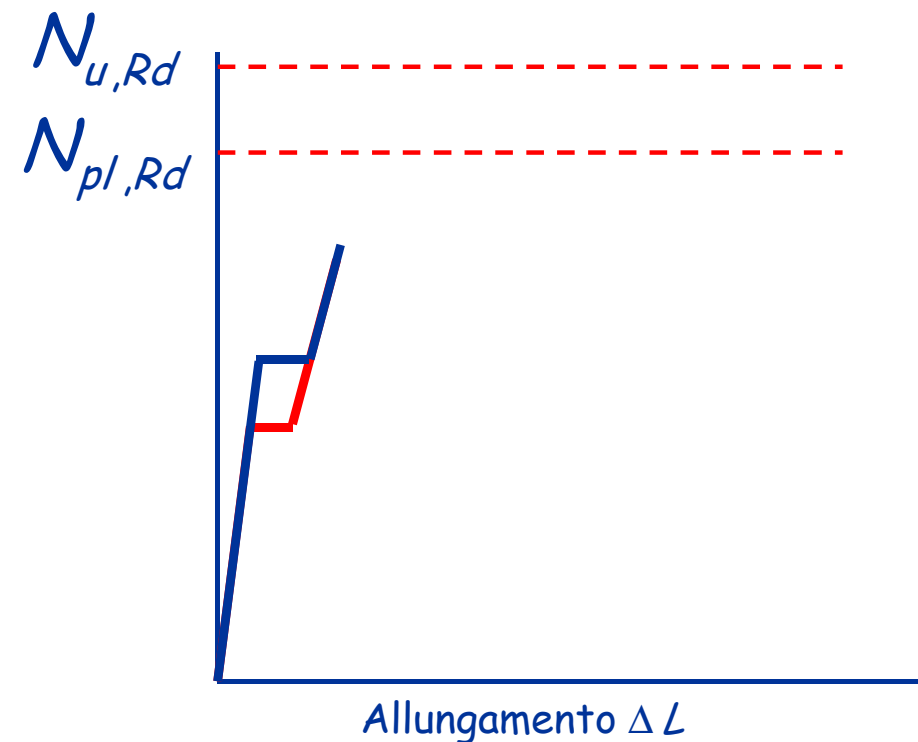
- Plasticizzazione delle sezioni indebolite



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



- Plasticizzazione delle sezioni indebolite
- Incrudimento delle sezioni indebolite

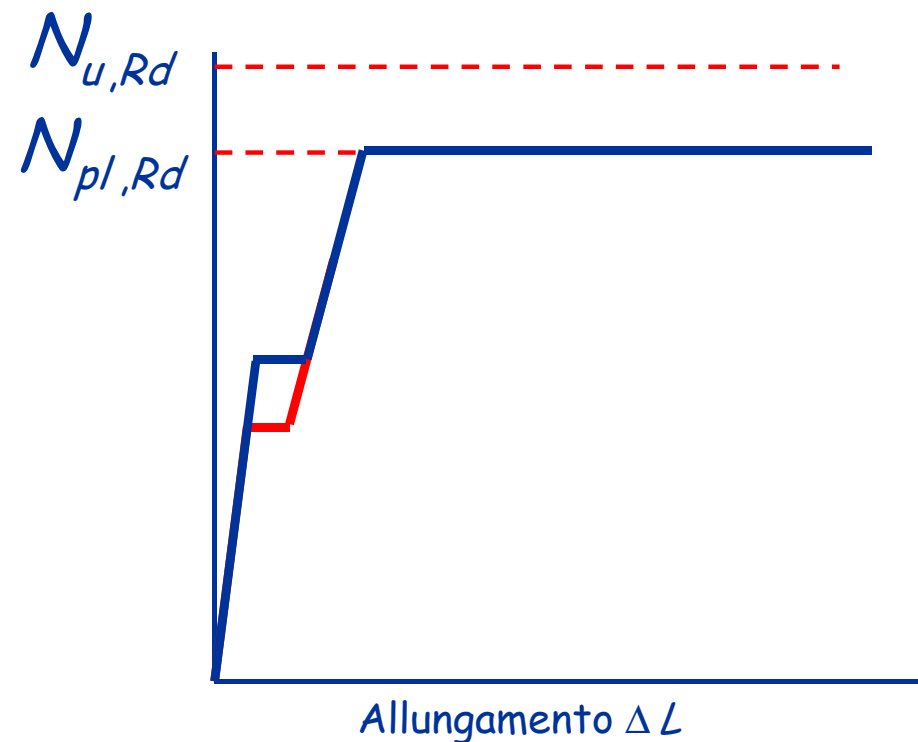


Duttilità di aste tese: caso $N_{pl,Rd} < N_{u,Rd}$



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

L'asta è duttile



Duttilità

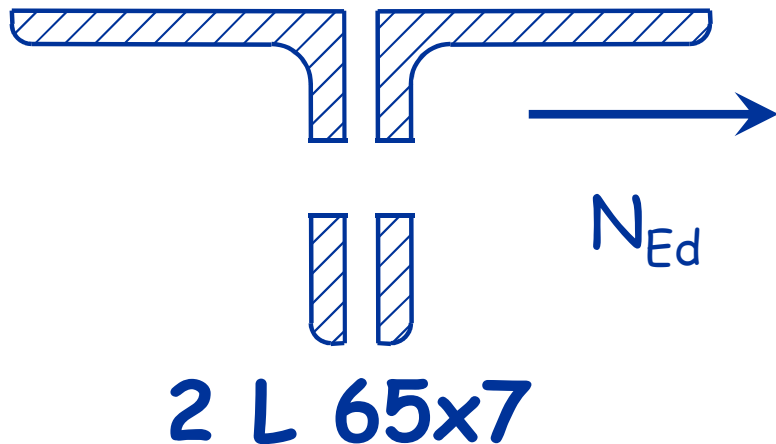
Il comportamento dell'asta (con fori) dipende da chi è più grande tra $N_{pl,Rd}$ e $N_{u,Rd}$

- 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

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

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

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

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

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

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

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

1.32

acciaio

S235

S275

S355

$A_{net}/A \geq$

0.863

0.846

0.921

Progetto

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

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

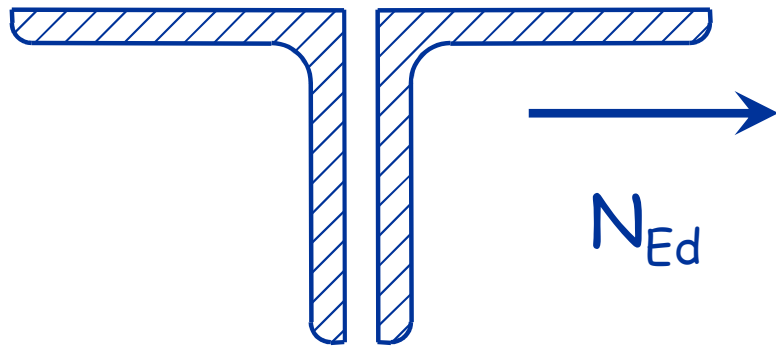
2 - Si sceglie il profilato.

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.

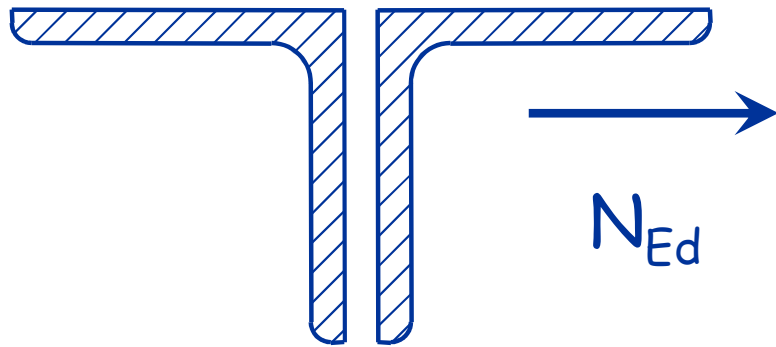
$$A = \frac{\gamma_{M0} N_{Ed}}{f_y} = \frac{339.9 \times 10^3}{235/1.05} = 1518 \text{ mm}^2$$

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

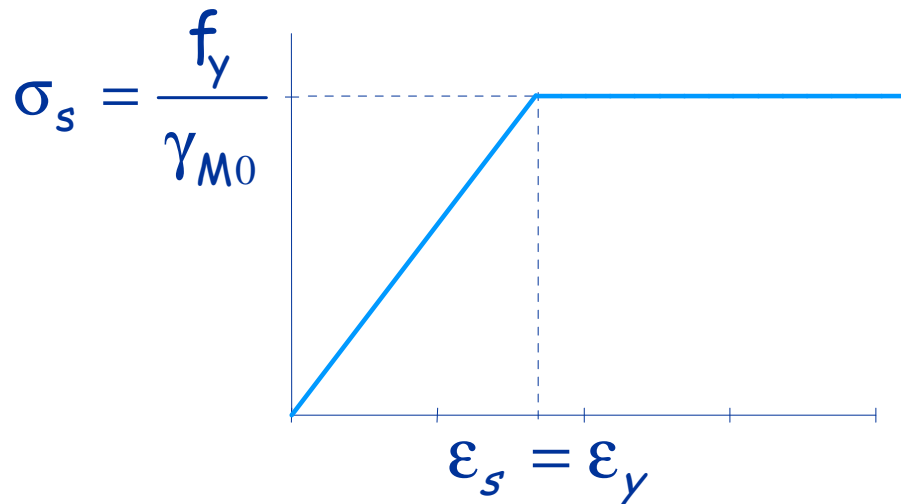
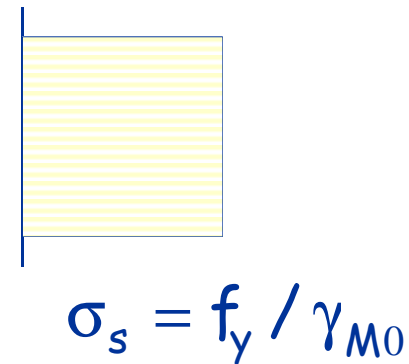
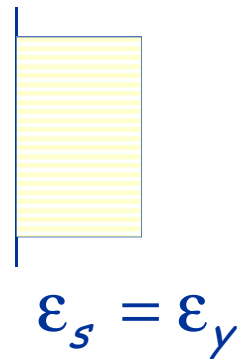
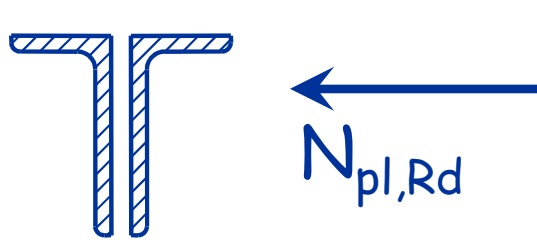
Sforzo normale
Compressione

Comportamento ultimo

resistenza plastica della sezione



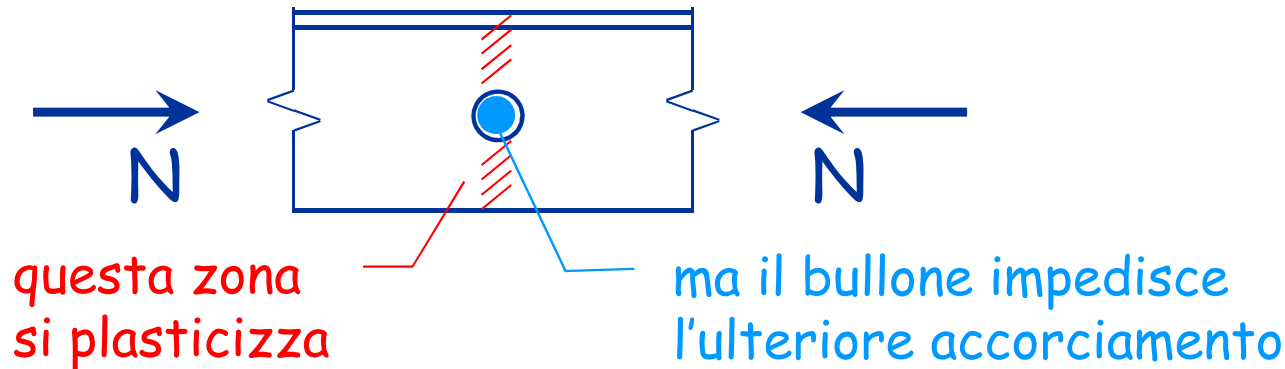
una sezione o un concio di
asta tozzo tende ad
accorciarsi plasticamente



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

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

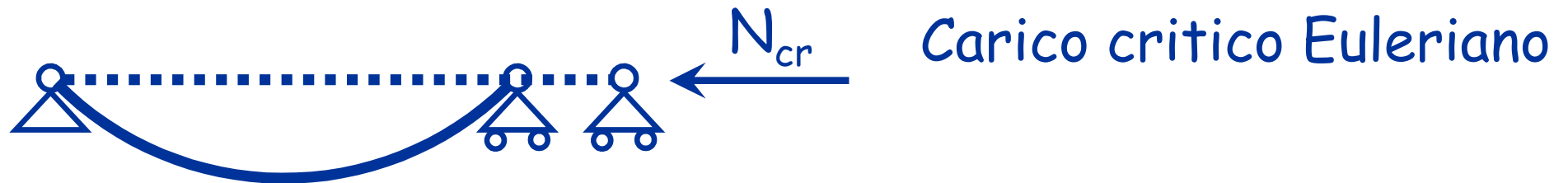


Plasticizzazione della
sezione trasversale
dell'asta



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



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

$$v'' = -\frac{Nv}{EI}$$

$$EIv'' + Nv = 0$$

$$v = \text{sen}\left(\frac{\pi z}{l}\right)$$

$$v'' = -\frac{\pi^2}{l^2} \text{sen}\left(\frac{\pi z}{l}\right)$$

$$\frac{dv}{dz} = -\varphi$$

$$\frac{d\varphi}{dz} = \frac{M}{EI}$$

$$M = Nv$$

Equazione

Soluzione tipo

Soluzione

Comportamento ultimo di un'asta ideale



Carico critico Euleriano

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

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

λ = snellezza dell'asta

A yellow sticky note with two red pushpins at the top. It contains the following equations:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{cr} &= \frac{\pi^2 EI}{l_0^2 A} \\ i &= \sqrt{\frac{I}{A}} \\ \lambda &= \frac{l_0}{i} \end{aligned} \right\} \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

Comportamento ultimo di un'asta ideale

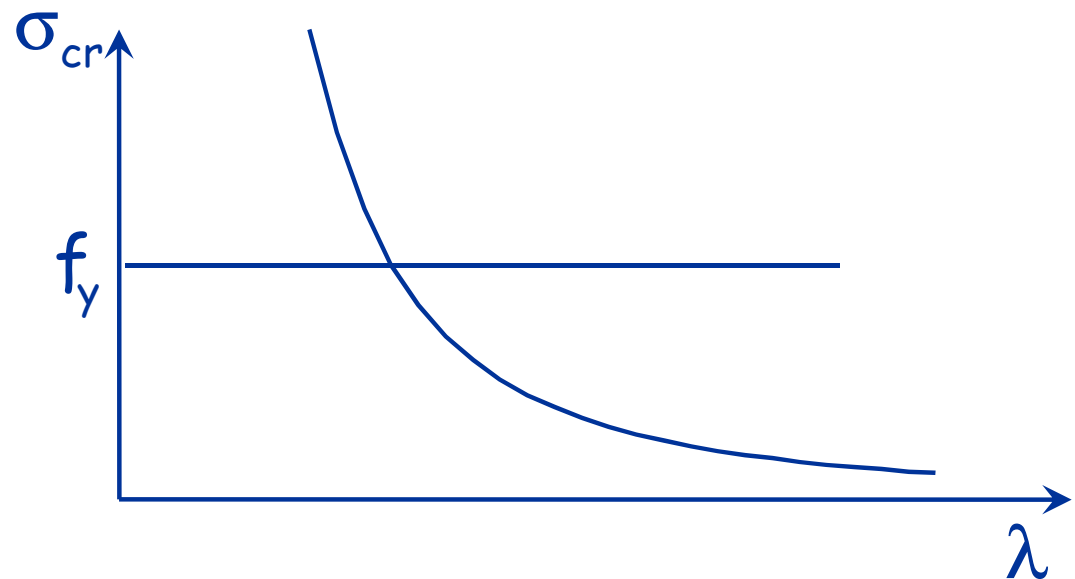
$$\sigma = \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

Instabilità dell'asta

inoltre

$$\sigma = f_y$$

Collasso plastico



Verifica di un'asta ideale

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

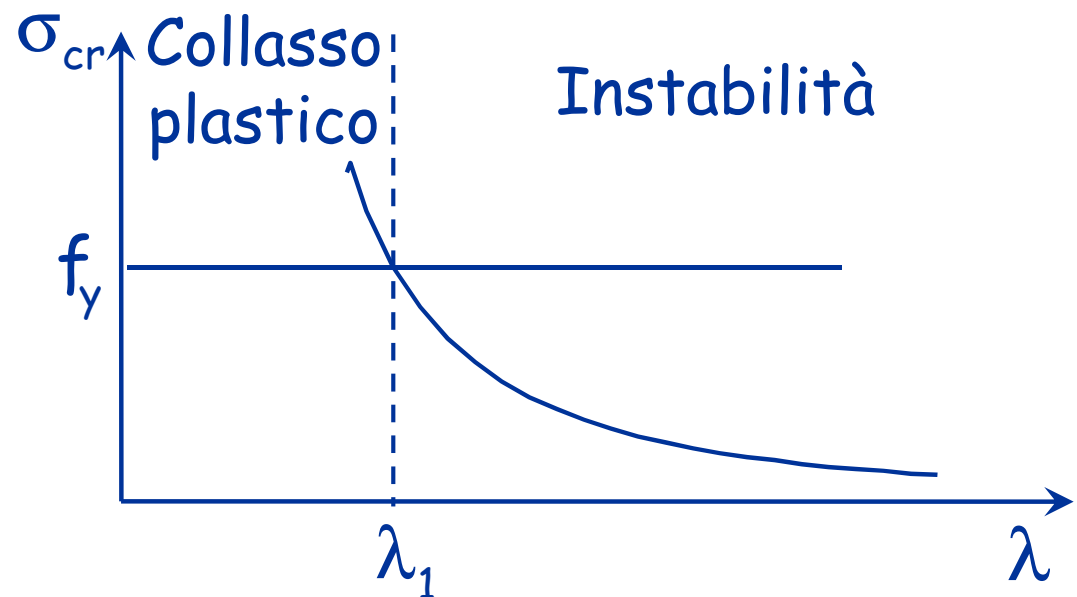
Instabilità dell'asta

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.

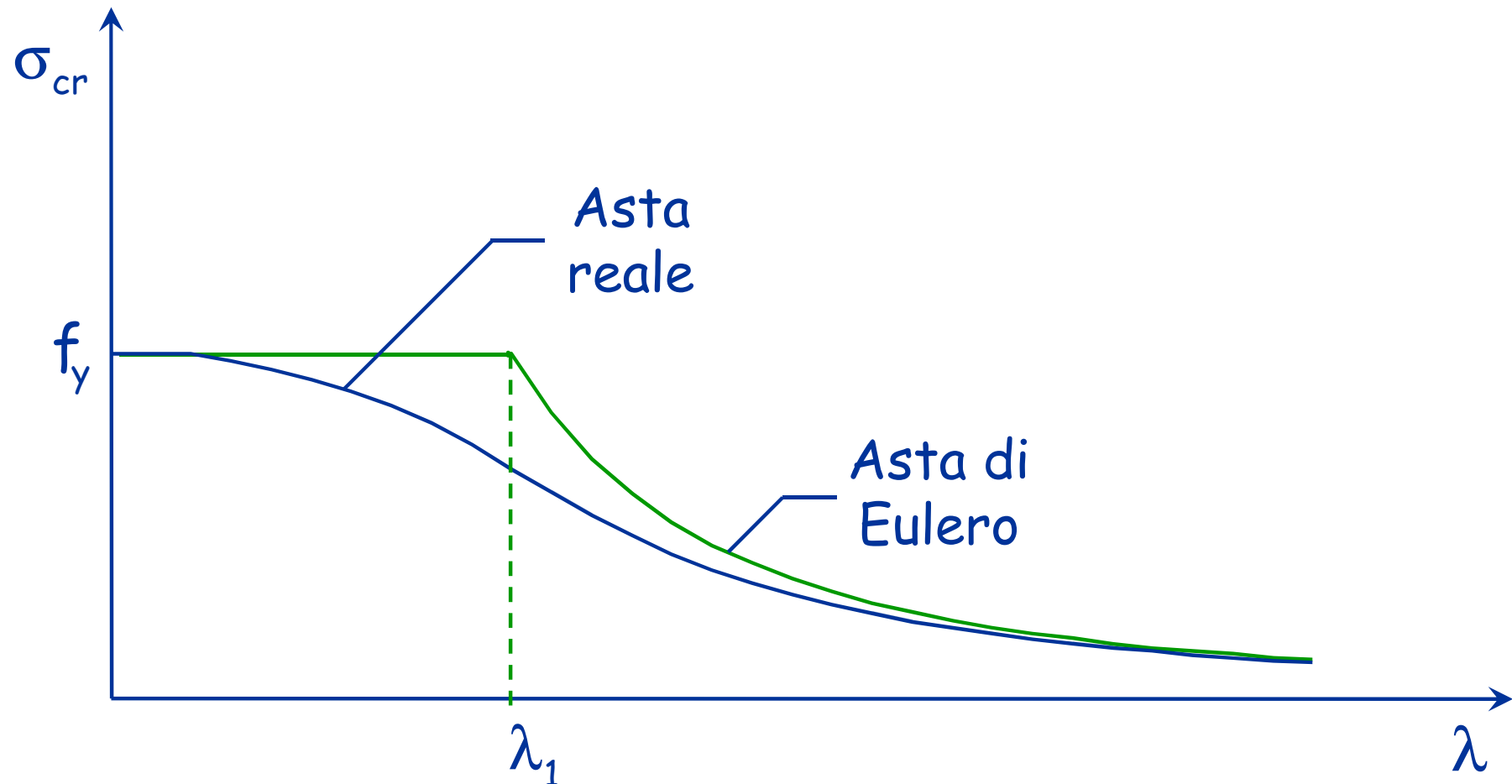
Per esempio, se l'asse dell'asta non è rettilineo nasce anche un momento flettente e le tensioni nella sezione non sono costanti.

La resistenza viene calcolata tenendo conto degli effetti del secondo ordine (incremento di freccia e di momento flettente al crescere di N) e considerando come limite il raggiungimento di f_u nel punto più sollecitato.

La σ_{cr} (calcolata come N_{cr}/A) è più piccola di quanto previsto per aste perfette.

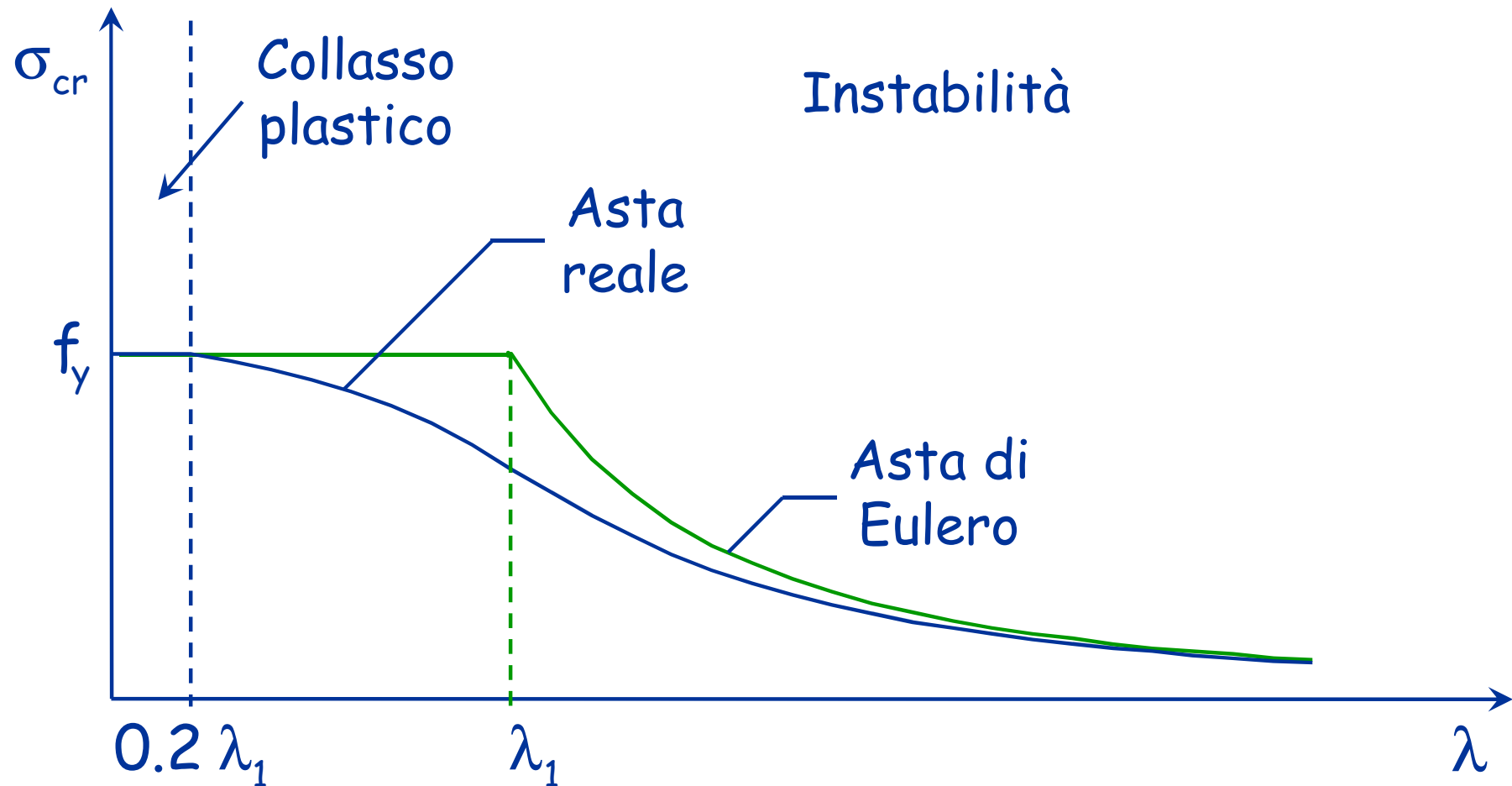
Comportamento delle aste reali

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



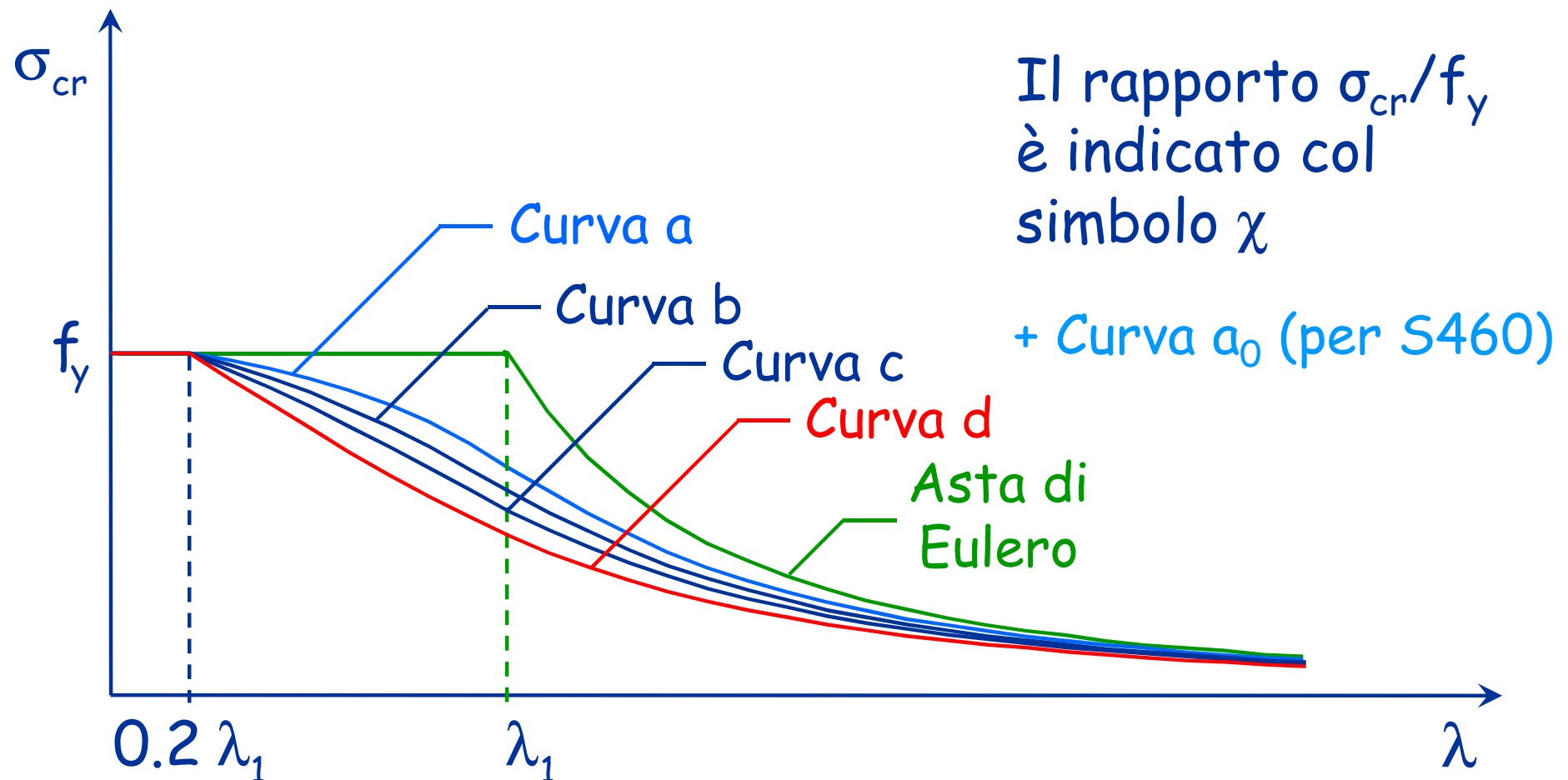
Comportamento delle aste reali

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



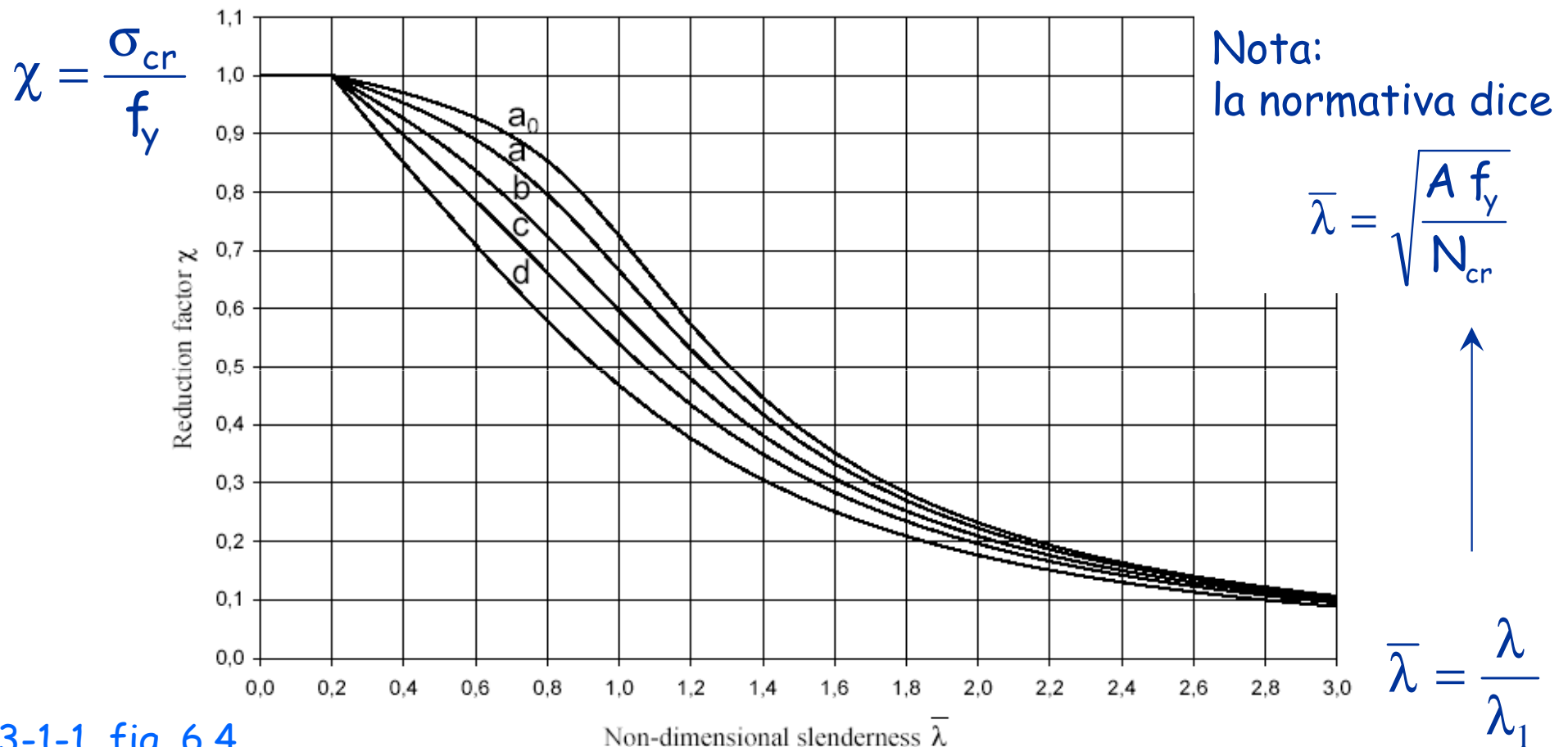
Comportamento delle aste reali

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



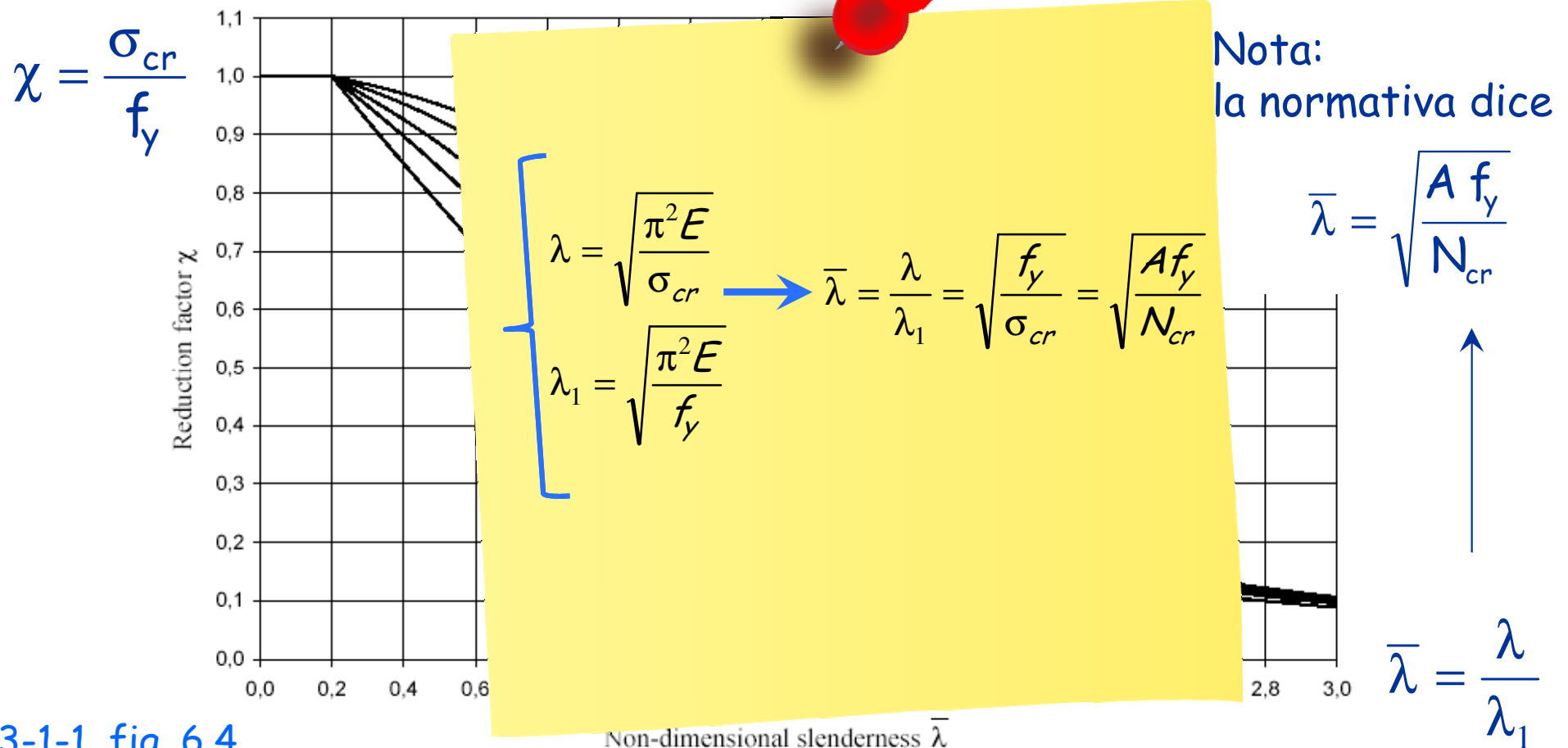
Comportamento delle aste reali

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



Comportamento delle aste reali

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



Comportamento delle aste reali

Vengono fornite anche formule per calcolare χ

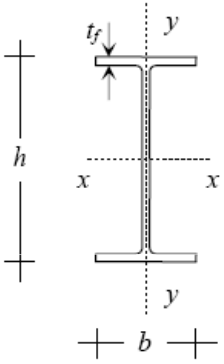
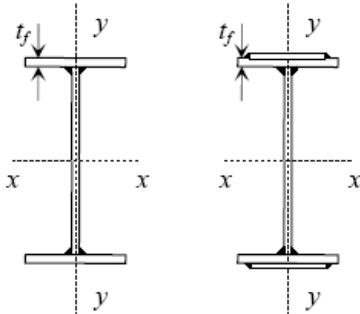
$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$$

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

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


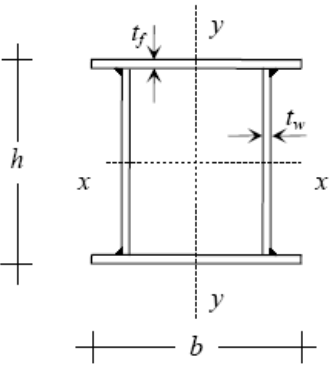
Comportamento delle aste reali

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

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
				$y - y$	b	a_0
		$h/b \leq 1.2$	$t_f > 40 \text{ mm}$	$x - x$	b	a
				$y - y$	c	a
			$t_f \leq 100 \text{ mm}$	$x - x$	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	

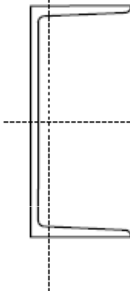
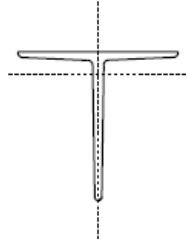
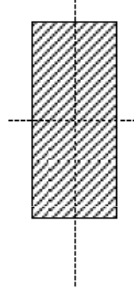
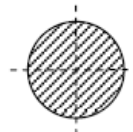
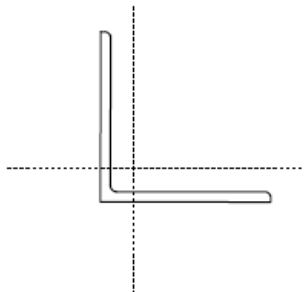
Comportamento delle aste reali

- 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	
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

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

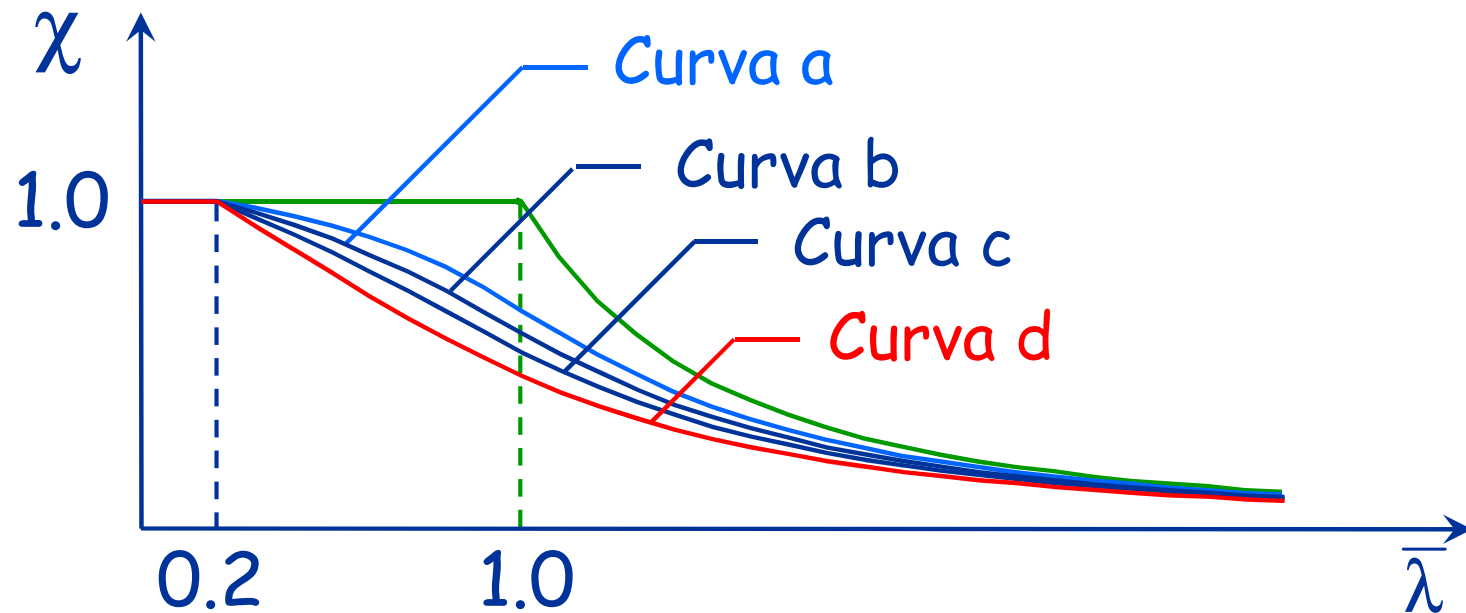
Verifica

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

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

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

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

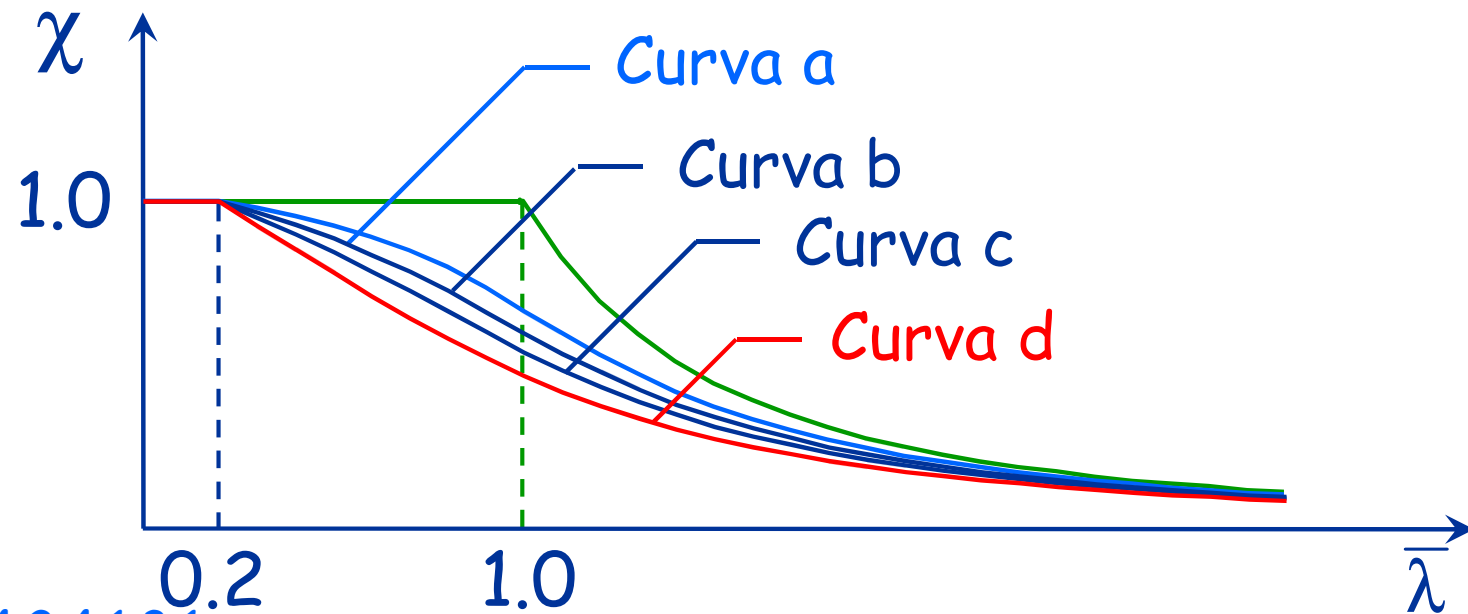


Verifica

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

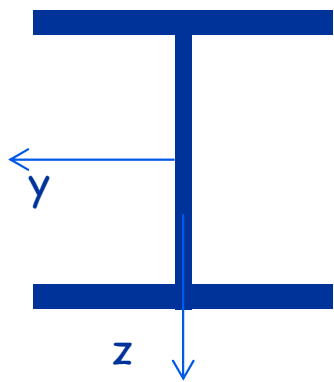
Resistenza all'instabilità

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



Esempio

Dati:



HE 240 A



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

Acciaio S235

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

(uguale nei due piani)

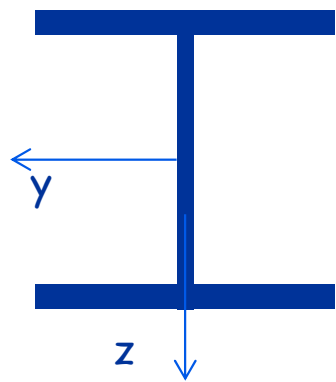
1 - Determinazione della snellezza

Piano di maggiore snellezza: z-z

$$i_z = 60.0 \text{ mm}$$
$$\lambda = \frac{l_0}{i_z} = \frac{3500}{60} = 58.33$$
$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{58.33}{93.91} = 0.621$$

Esempio

Dati:



HE 240 A



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

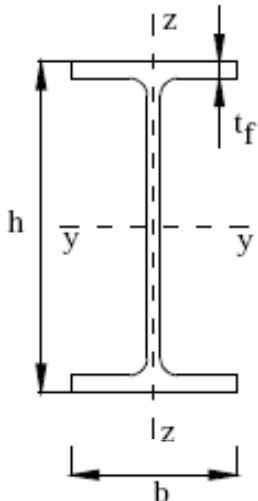
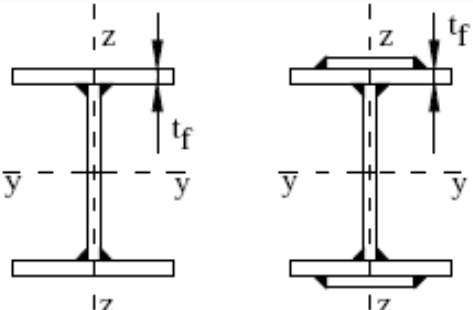
Acciaio S235

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

(uguale nei due piani)

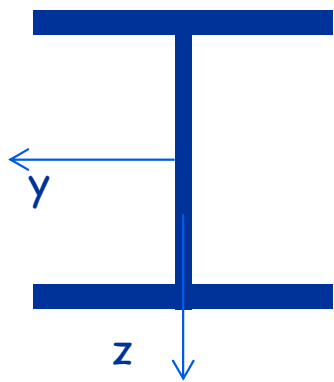
2 - Individuazione della curva di instabilità

Esempio

Sezione trasversale		Limiti		Inflessione intorno all'asse	Curva di instabilità	
					S235, S275, S355, S420	S460
Sezioni laminate		$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	a b	a_0 a_0
			$40 \text{ mm} < t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	a a
		$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	a a
			$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y z-z	d d	c c
Sezioni ad I saldate		$t_f \leq 40 \text{ mm}$		y-y z-z	b c	b c
		$t_f > 40 \text{ mm}$		y-y z-z	c d	c d

Esempio

Dati:



HE 240 A



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

Acciaio S235

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

(uguale nei due piani)

2 - Individuazione della curva di instabilità

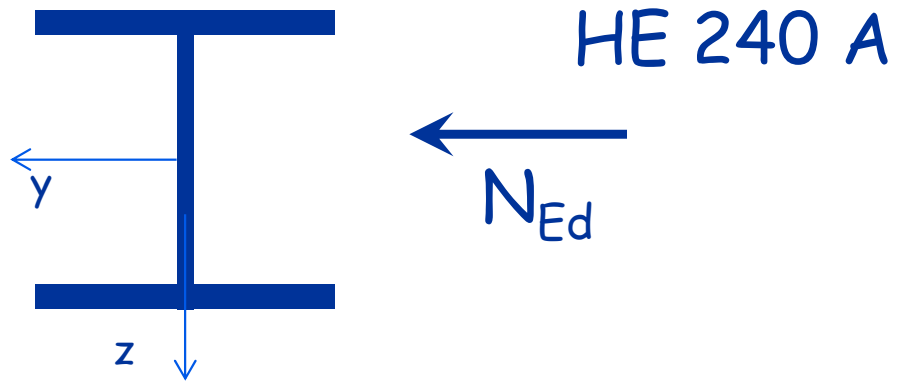
curva c

$$\alpha = 0.49$$

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:



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

Acciaio S235

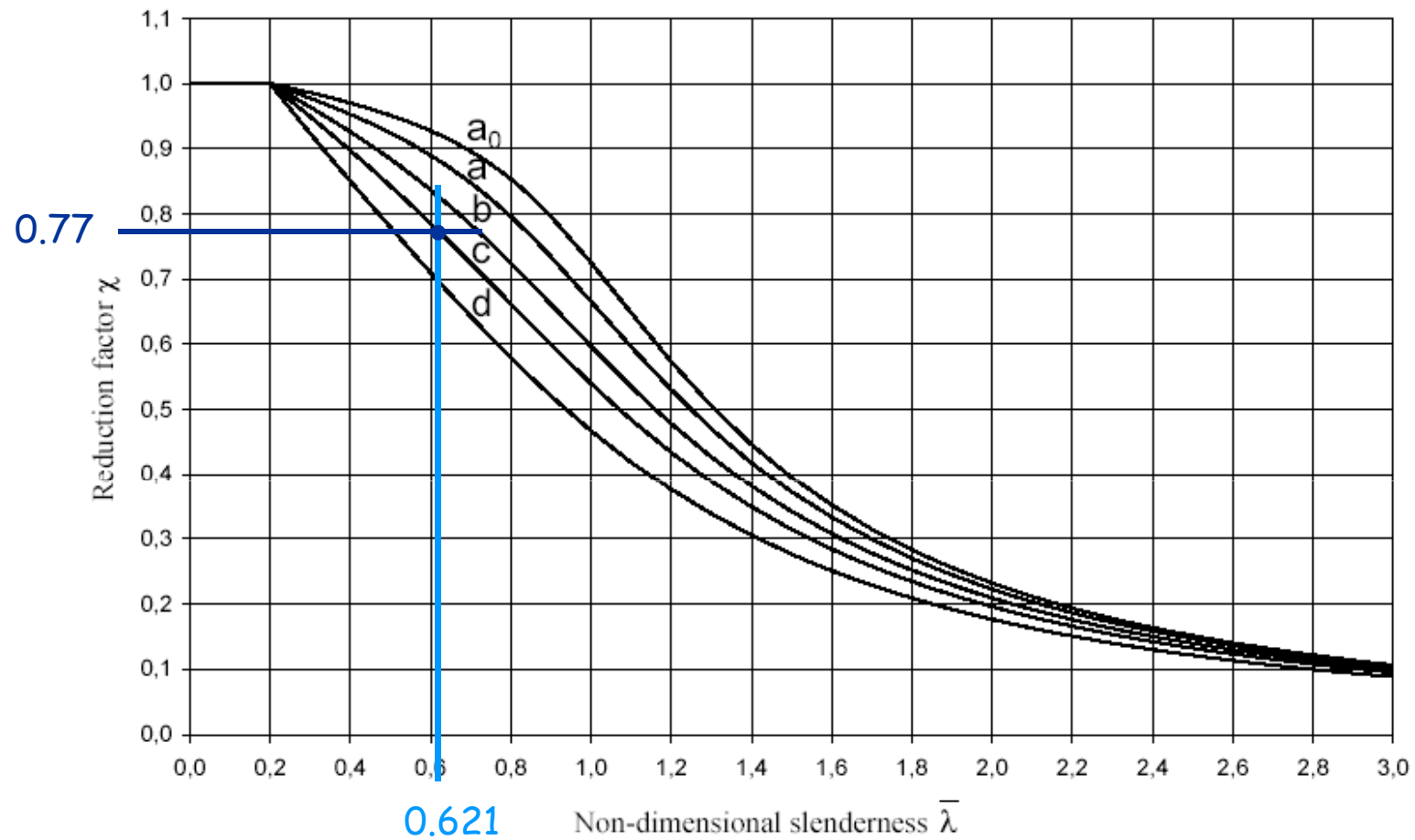
$$I_0 = 3.50 \text{ m}$$

(uguale nei due piani)

3 - Determinazione di χ

Esempio

- Graficamente



Esempio

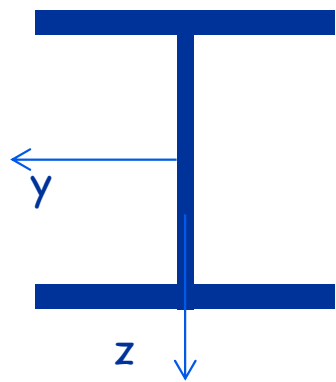
- Analiticamente $\bar{\lambda} = 0.621$ $\alpha = 0.49$

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

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

Esempio

Dati:



HE 240 A



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

Acciaio S235

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

(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

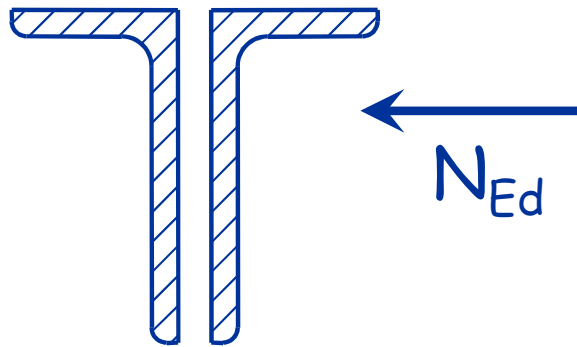
- 1 - Si assegna a χ un valore di tentativo e si ottiene la formula di progetto della sezione invertendo l'espressione di verifica

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

- 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

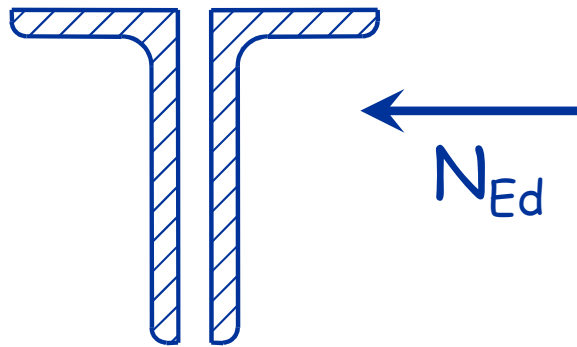
$$\chi = 0.6 \quad \Rightarrow \quad A = \frac{N_{Ed}}{\chi f_y / \gamma_{M1}} = \frac{342.9 \times 10^3}{0.6 \times 235 / 1.05} = 2554 \text{ mm}^2$$

2 - Scelta della sezione

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

Esempio

Dati:



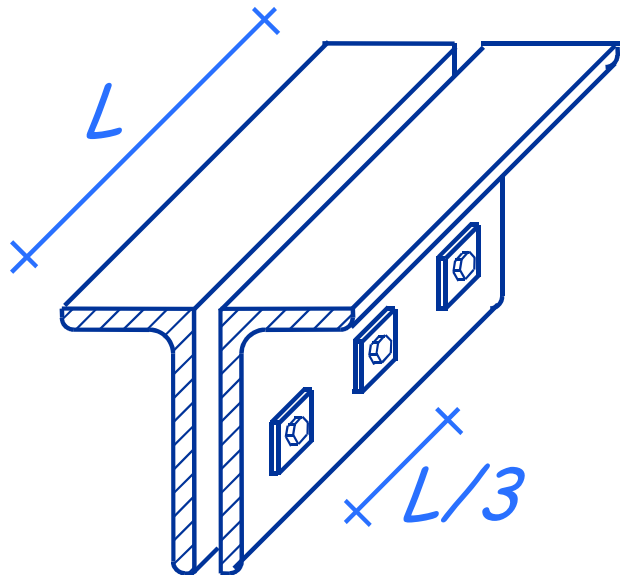
$$N_{Ed} = - 343 \text{ kN}$$

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

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

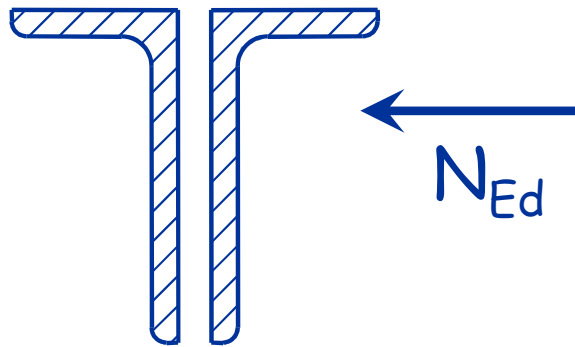
$$\lambda_{sp} = \frac{l_0 / 3}{i_{sp}} = \frac{600}{12.7} = 47.2$$

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

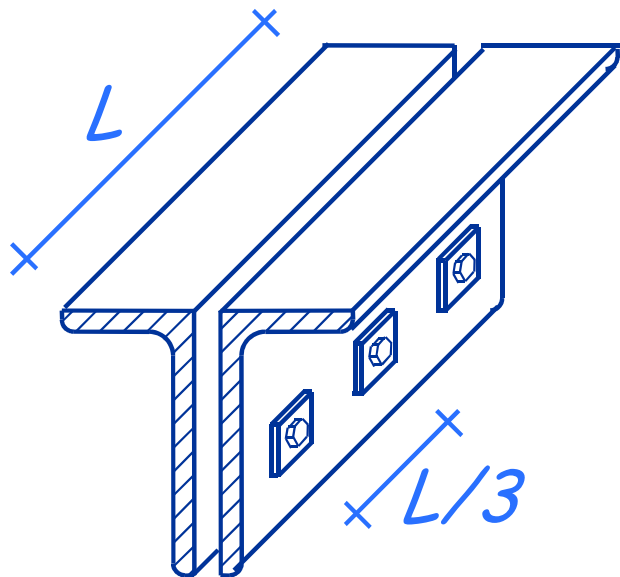
$$\bar{\lambda}_{eq} = \frac{\bar{\lambda}_{eq}}{\lambda_1} = \frac{88.9}{93.9} = 0.95$$

Esempi

Dati:



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



Coppia di profili

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

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

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

Singolo profilo

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

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

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

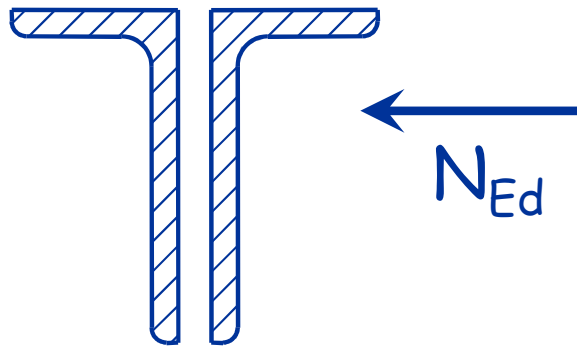
$$A_{cp} = 2 \cdot A_{sp}$$

$$I_{y,cp} = 2 \cdot I_{y,sp} \quad I_{z,cp} = 2 \cdot (I_{z,sp} + A_{sp} \cdot d)$$

$$i_{y,cp} = \sqrt{\frac{I_{y,cp}}{A_{cp}}} = i_{y,sp} \quad i_{z,cp} = \sqrt{\frac{I_{z,cp}}{A_{cp}}} \neq i_{y,sp}$$

Esempio

Dati:



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

Acciaio S235

$$\lambda_1 = 93.9$$

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

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

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



$$\chi = 0.63$$

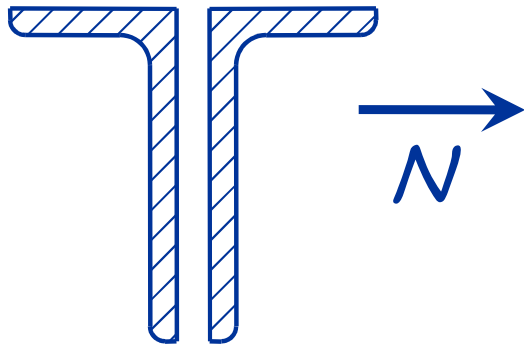
Curva b

per profili a L (un tempo era curva c)

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

Confronto tra
tensioni ammissibili e SLU
(lasciato solo per documentazione)

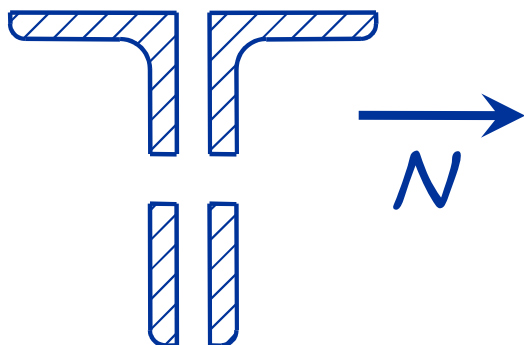
Verifica a trazione - tensioni ammissibili



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

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

Inoltre, se l'asta presenta sezioni indebolite



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

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

Verifica a trazione - confronto TA-SLU

Sezione piena

TA

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

160

ma i carichi
per SLU sono
1.4 volte tanto

$$160 \times 1.4 = 224 \text{ MPa}$$

Sezione indebolita

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

$$160 \times 1.4 = 224 \text{ MPa}$$

SLU

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

$$235 / 1.05 = 224 \text{ MPa}$$

Acciaio S235 (Fe 360)

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

$$0.9 \times 360 / 1.25 = 259 \text{ MPa}$$

Verifica a trazione - confronto TA-SLU

Sezione piena

Sezione indebolita

TA

$$N_{\max} = \frac{\bar{\sigma}_s}{240} A$$

$$240 \times 1.4 = 336 \text{ MPa}$$

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

$$240 \times 1.4 = 336 \text{ MPa}$$

SLU

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

$$355 / 1.05 = 338 \text{ MPa}$$

Acciaio S355 (Fe 510)

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

$$0.9 \times 510 / 1.25 = 367 \text{ MPa}$$

Verifica a trazione - confronto TA-SLU

commento

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

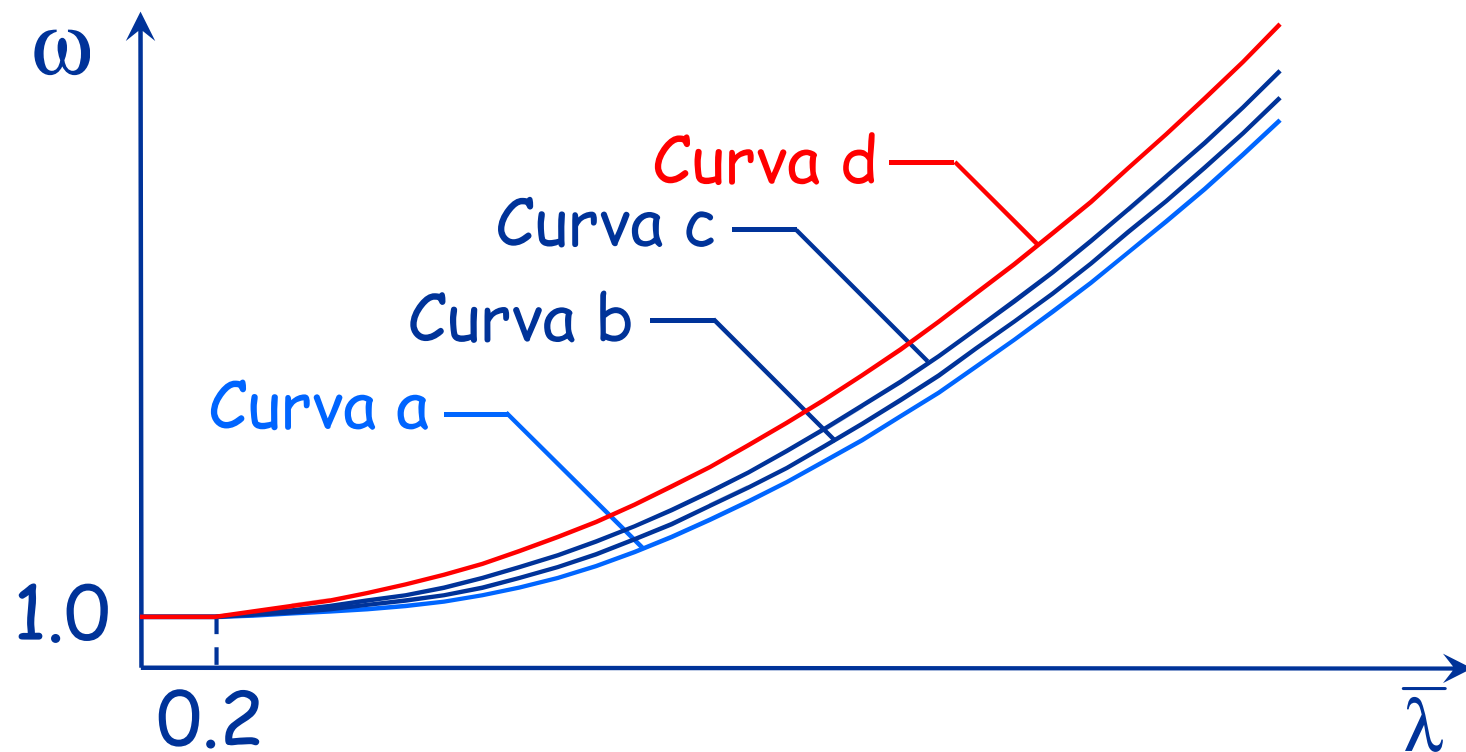
- Sostanzialmente simile a quella valutata alle tensioni ammissibili per la sezione piena;
- Sensibilmente maggiore (tra il 10 ed 15% più grande) a quella valutata alle tensioni ammissibili per la sezione indebolita.

Verifica a compressione - 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 a compressione - tensioni ammissibili

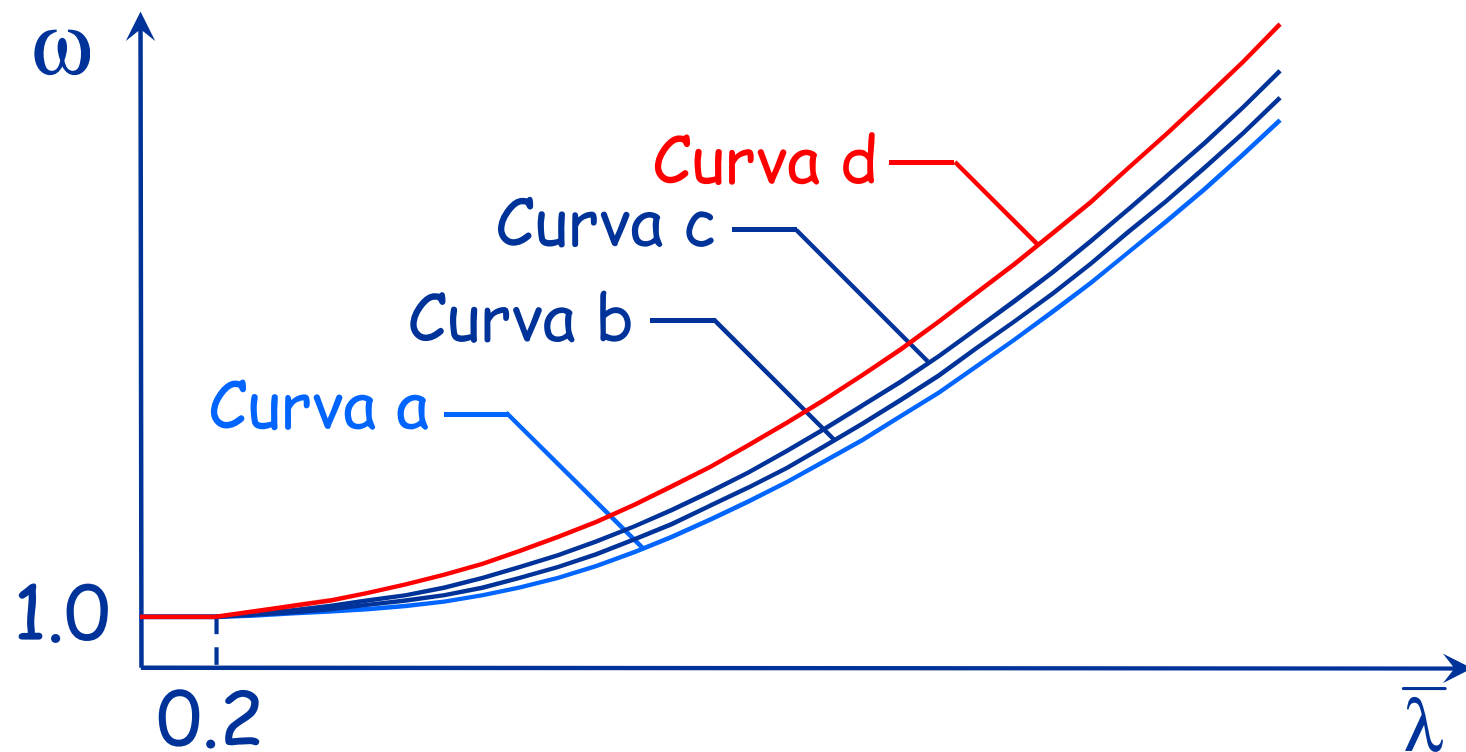
$$\sigma = \frac{N}{A} \leq \sigma_{cr} \leq \frac{\sigma_{cr}}{f_y} f_y \leq \frac{f_y}{\omega}$$

Applicando il coefficiente di sicurezza a f_y ...

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

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

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

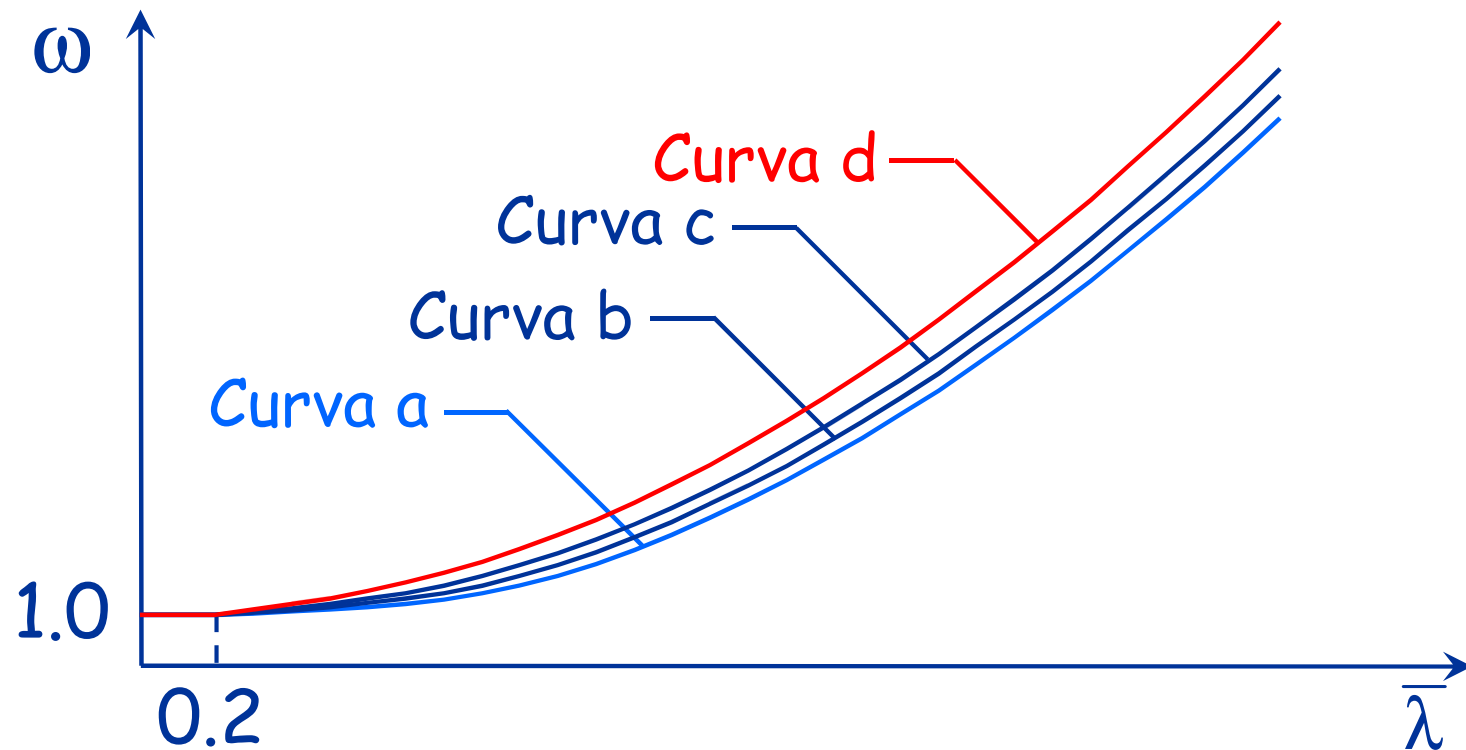


Verifica a compressione - tensioni ammissibili

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

Sforzo normale ammissibile

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



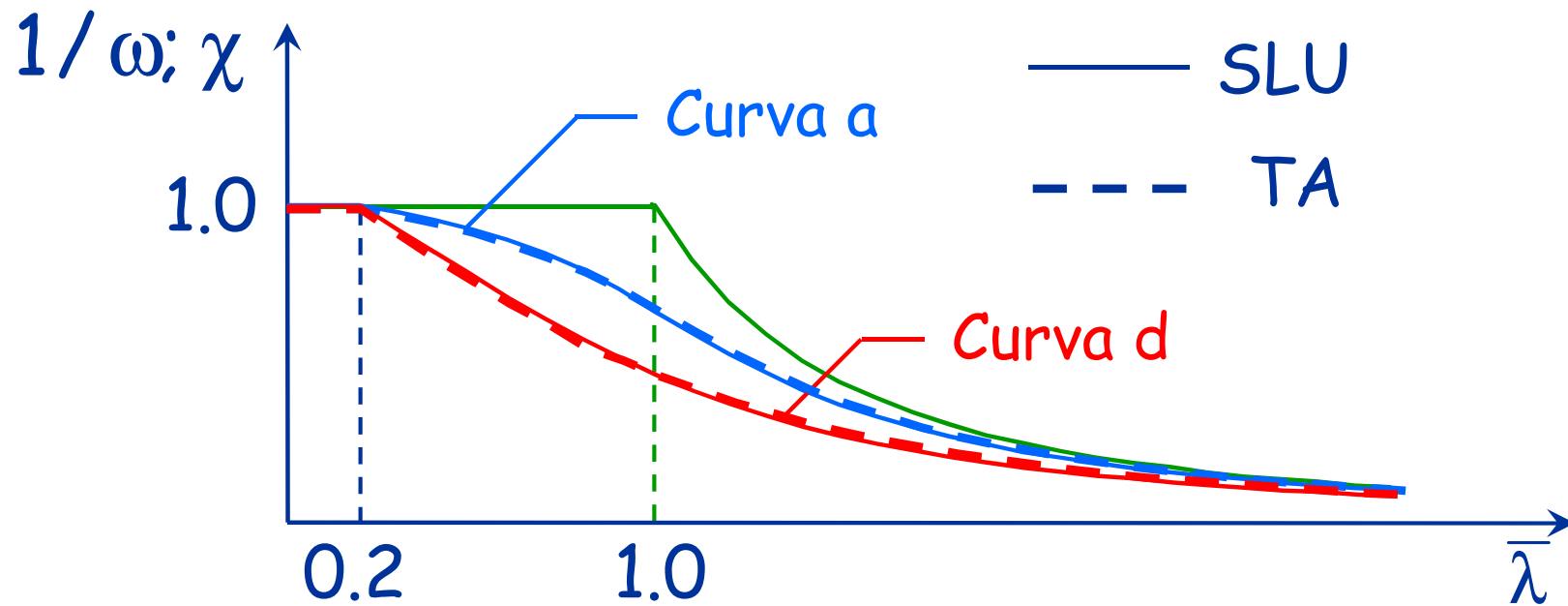
Verifica - confronto TA-SLU

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

TA

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

SLU



Verifica - confronto TA-SLU

TA

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

160 MPa

$$160 \times 1.4 = 224 \text{ MPa}$$

SLU

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

235 / 1.05 = 224 MPa

Acciaio S235 (Fe 360)

