

Tecnica delle costruzioni

mod. A - Acciaio

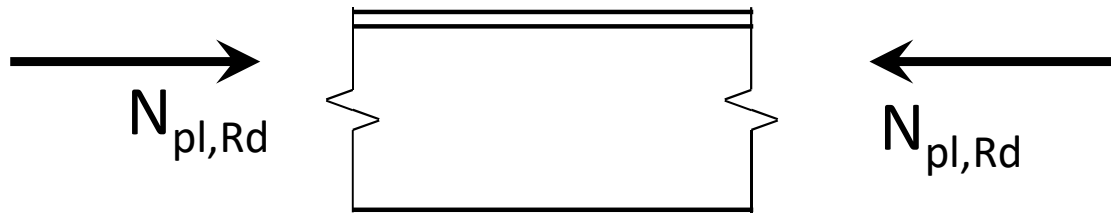
Catania, 2019/20

04 – Compressione

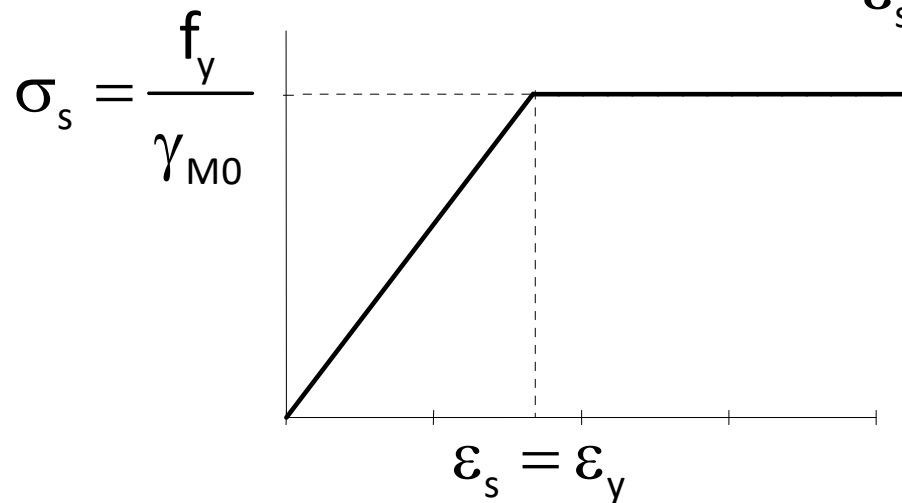
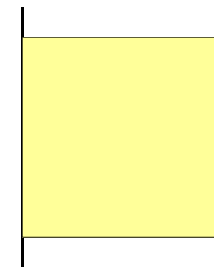
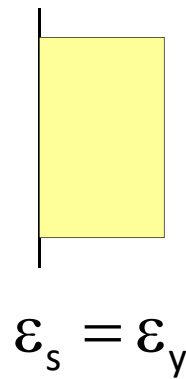
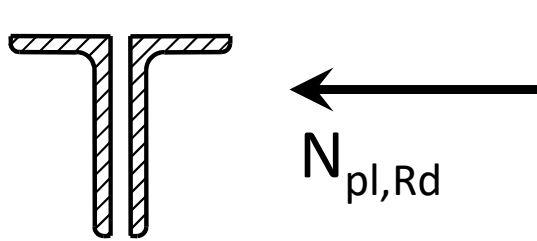
Aurelio Gheresi

Comportamento ultimo

resistenza plastica della sezione



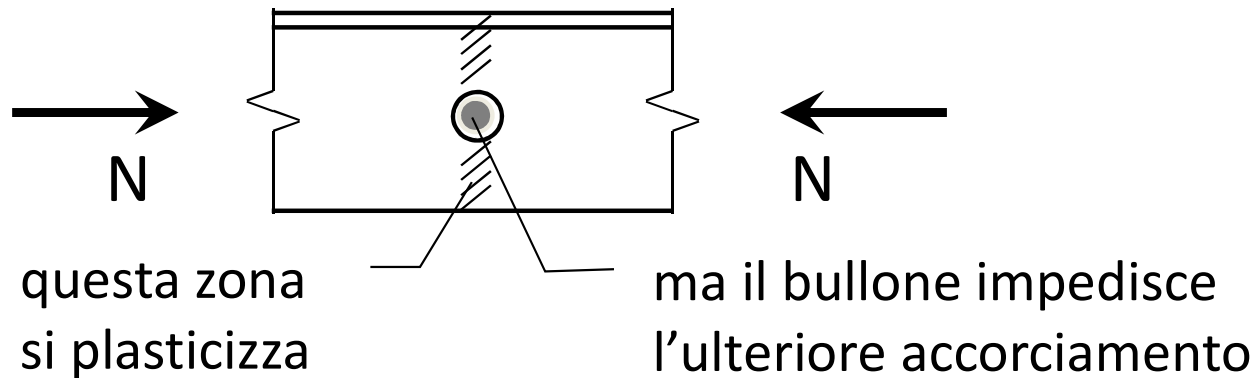
una sezione o un concio di
asta tozzo tende ad
accorciarsi plasticamente



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

come per trazione

Comportamento quando vi sono dei fori

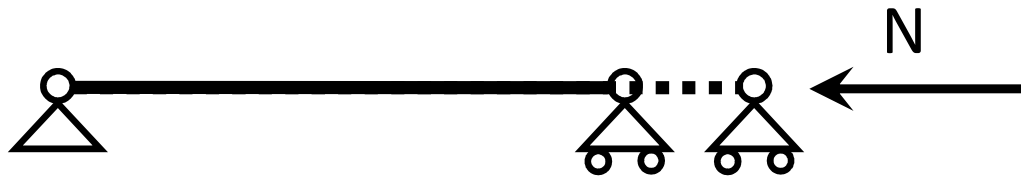


- Una sezione, o un'asta tozza, compressa hanno la stessa resistenza di una sezione compressa
 - La presenza di fori (che contengono bulloni) non inficia la resistenza
- ... ma questo vale solo per la sezione, o per un elemento tozzo, non per le aste usuali

Modalità di collasso di aste compresse



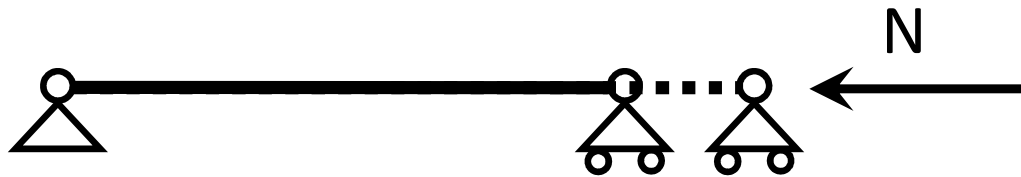
Modalità di collasso di aste compresse



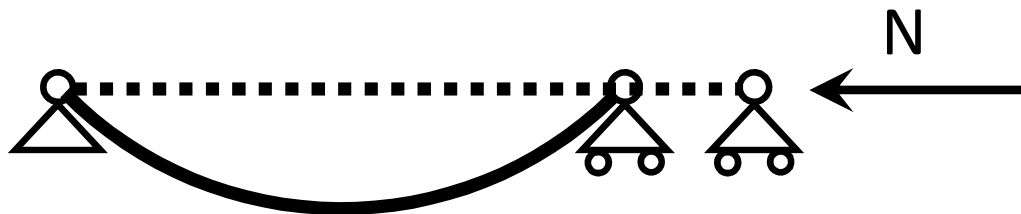
Plasticizzazione della
sezione trasversale
dell'asta



Modalità di collasso di aste compresse



Plasticizzazione della
sezione trasversale
dell'asta



Instabilità laterale dell'asta

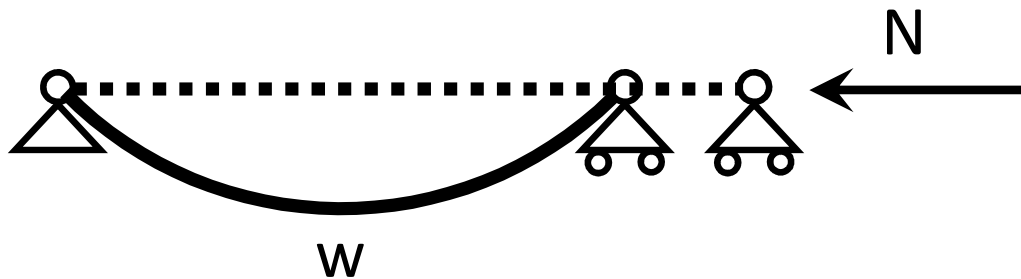
Comportamento di aste compresse (ideali)

instabilità laterale

Come esaminare questo caso?

- Provare se esiste una deformata alternativa a quella rettilinea

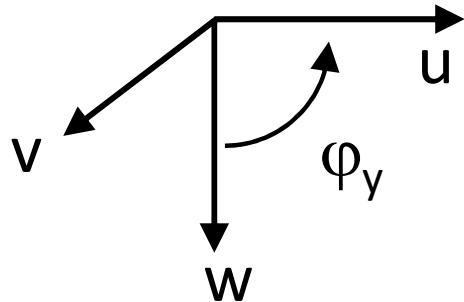
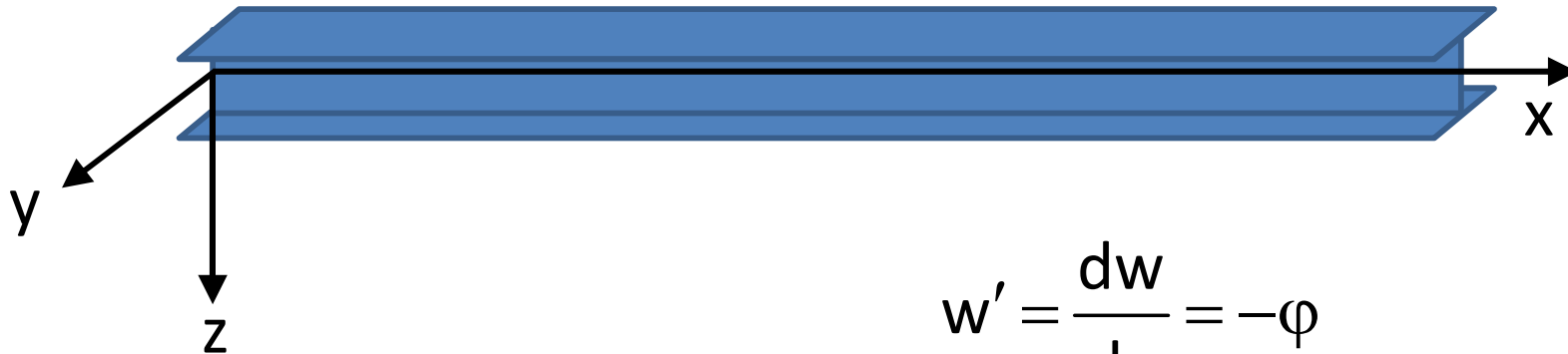
$$M = N w \quad w'' = -\frac{M}{EI}$$



Instabilità laterale dell'asta

Richiami

Equazioni indefinite d'equilibrio



$$w' = \frac{dw}{dx} = -\varphi$$

$$-w'' = \frac{d\varphi_y}{dx} = \frac{M_y}{EI}$$

$$-EI w''' = \frac{dM_y}{dx} = V_z$$

$$-EI w'''' = \frac{dV_z}{dx} = -q_z$$

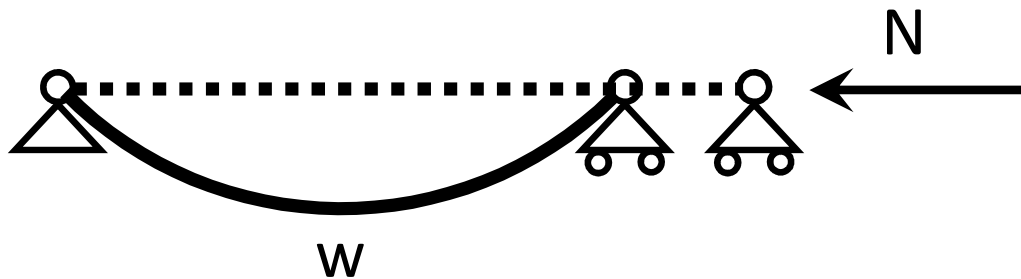
Comportamento di aste compresse

instabilità laterale

Come esaminare questo caso?

- Provare se esiste una deformata alternativa a quella rettilinea

$$M = N w \quad w'' = -\frac{M}{EI} \quad EI w'' + N w = 0$$



Instabilità laterale dell'asta

Possibile soluzione

$$w = a \sin \frac{\pi x}{l}$$

Comportamento di aste compresse

instabilità laterale

Come esaminare questo caso?

- Provare se esiste una deformata alternativa a quella rettilinea

$$M = N w \quad w'' = -\frac{M}{EI} \quad EI w'' + N w = 0$$

Possibile soluzione

$$w = a \sin \frac{\pi x}{l} \quad w'' = -\frac{\pi^2}{l^2} a \sin \frac{\pi x}{l}$$

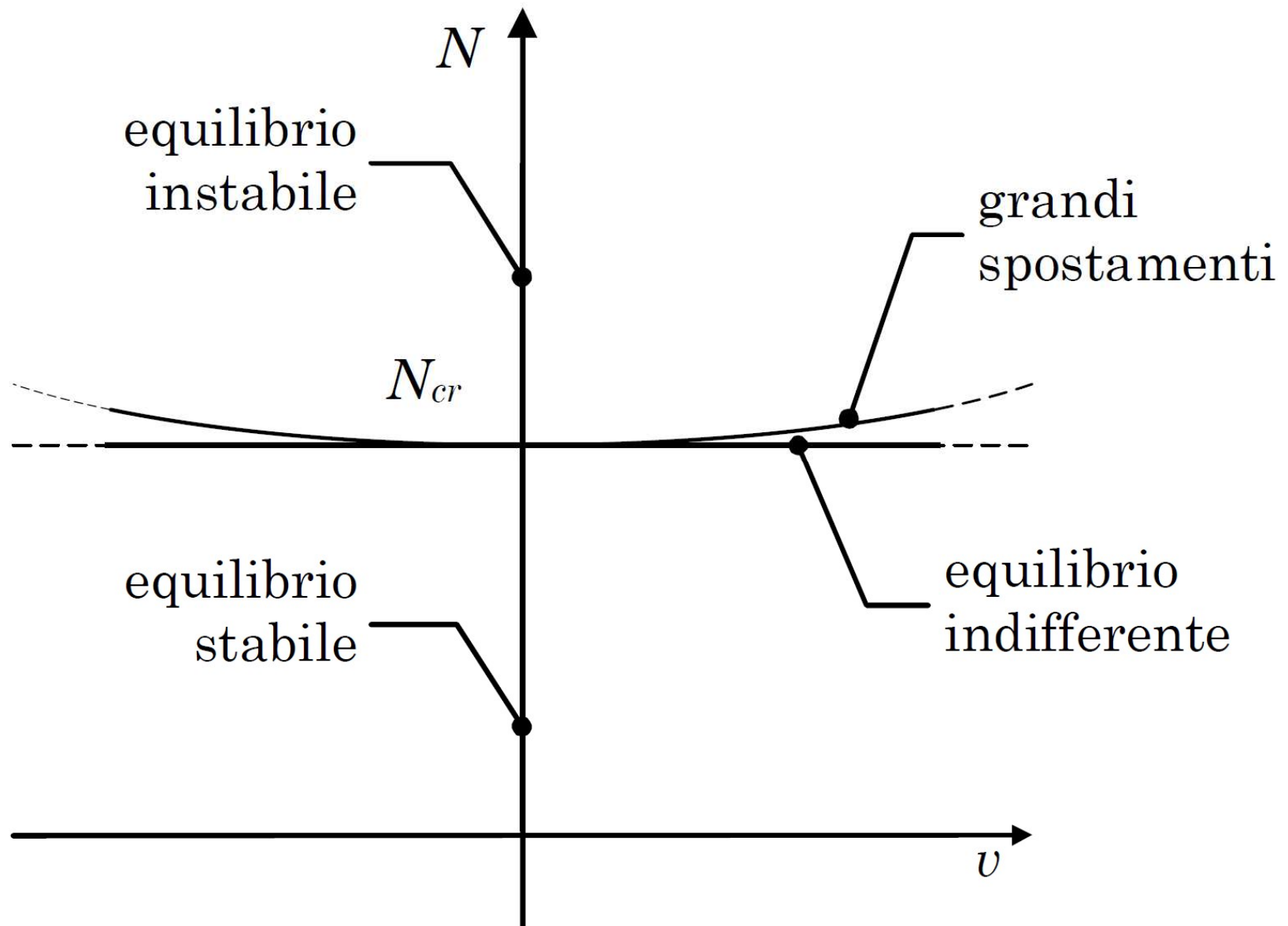
$$-EI \frac{\pi^2}{l^2} a \sin \frac{\pi x}{l} + N a \sin \frac{\pi x}{l} = 0$$

$$\left(-EI \frac{\pi^2}{l^2} + N \right) a \sin \frac{\pi x}{l} = 0$$

$$N = \frac{\pi^2 EI}{l^2}$$

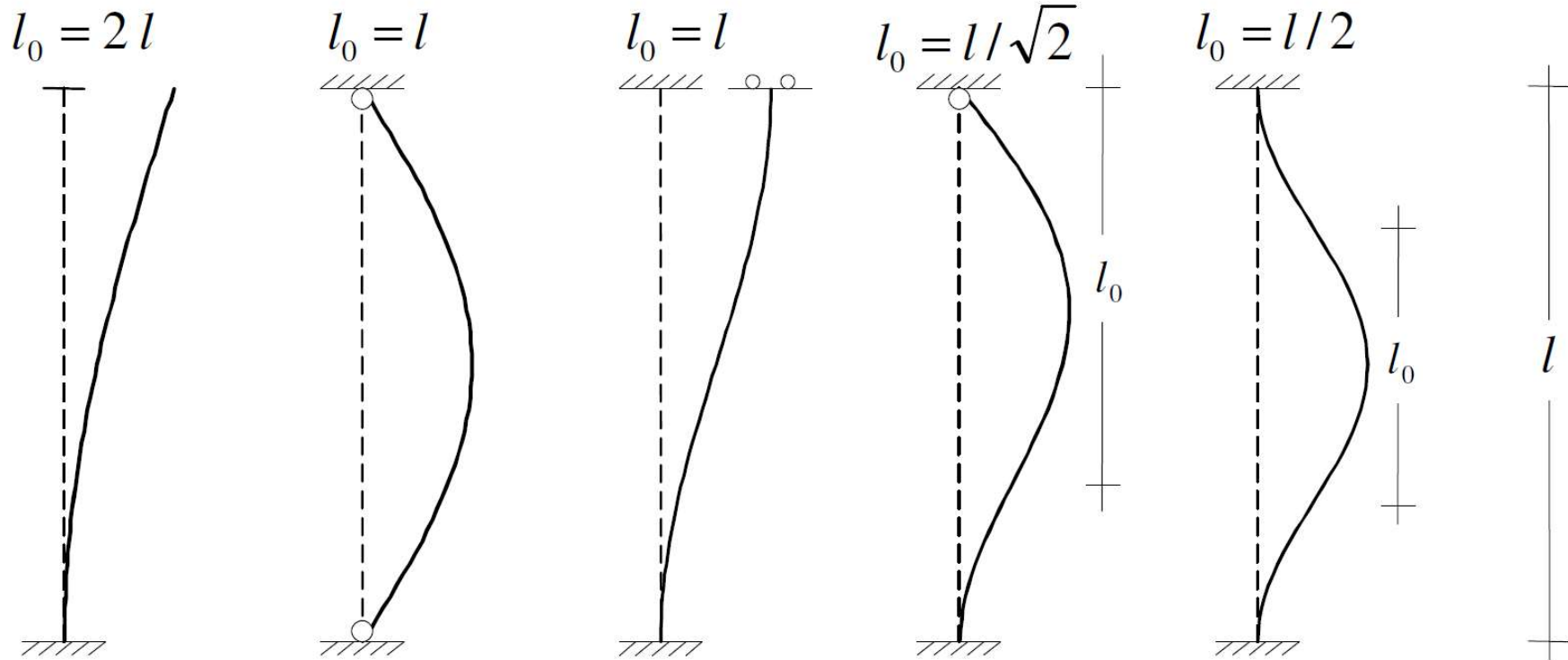
Comportamento di aste compresse

instabilità laterale



Più in generale

per varie situazioni di vincolo



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

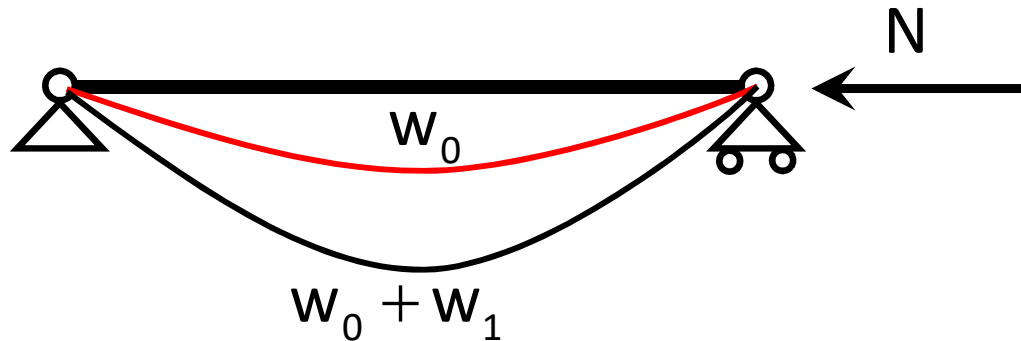
Comportamento delle aste reali

Imperfezioni

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 di aste compresse in presenza di imperfezioni



$$M = N(w_0 + w_1)$$

$$w_1'' = -\frac{M}{EI}$$

$$EI w_1'' = -N(w_0 + w_1)$$

$$w_0 = e \sin \frac{\pi x}{l}$$

$$-EI \frac{\pi^2}{l^2} a \sin \frac{\pi x}{l} = -N(e + a) \sin \frac{\pi x}{l}$$

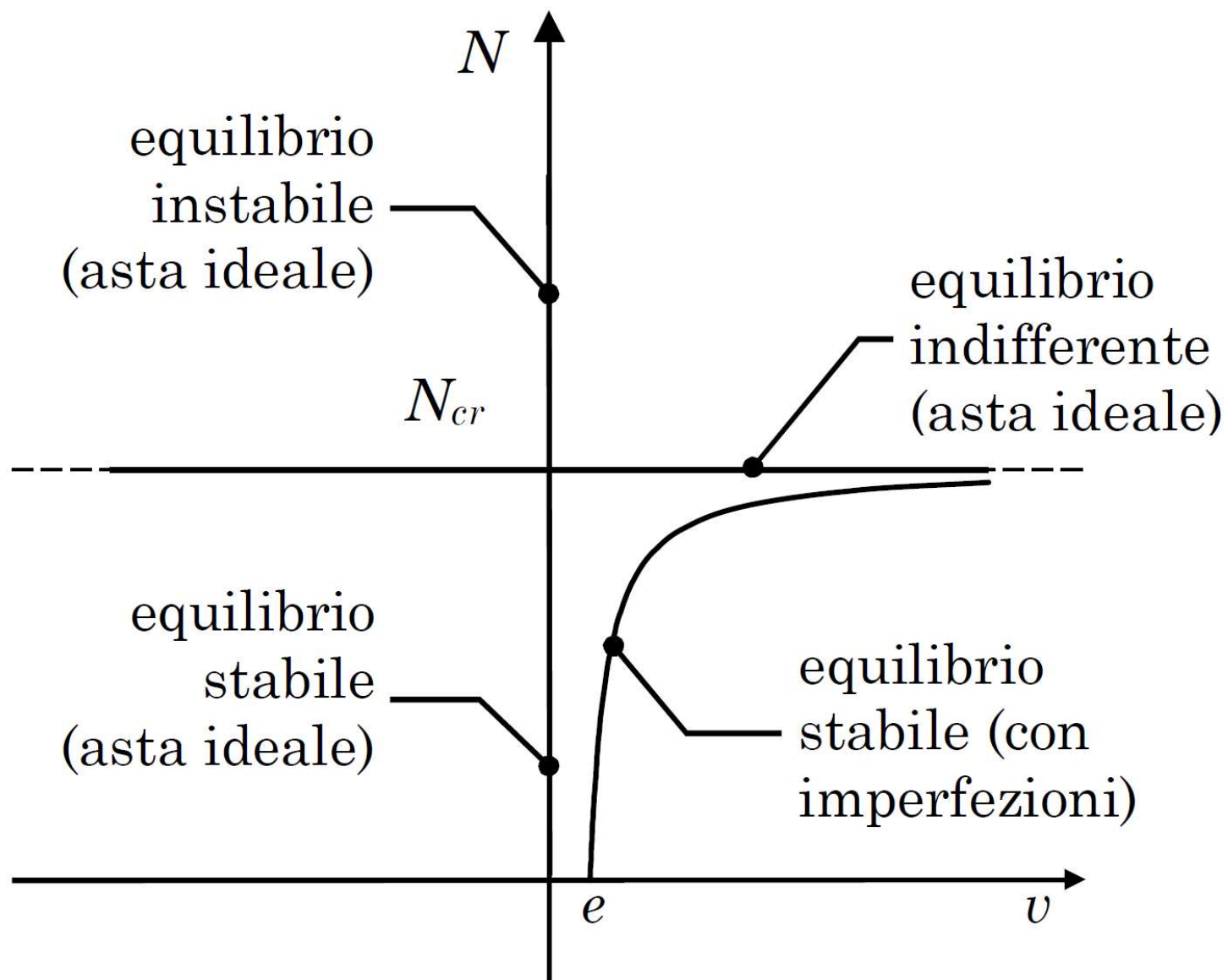
$$w_1 = a \sin \frac{\pi x}{l}$$

$$-EI \frac{\pi^2}{l^2} a = -N(e + a)$$

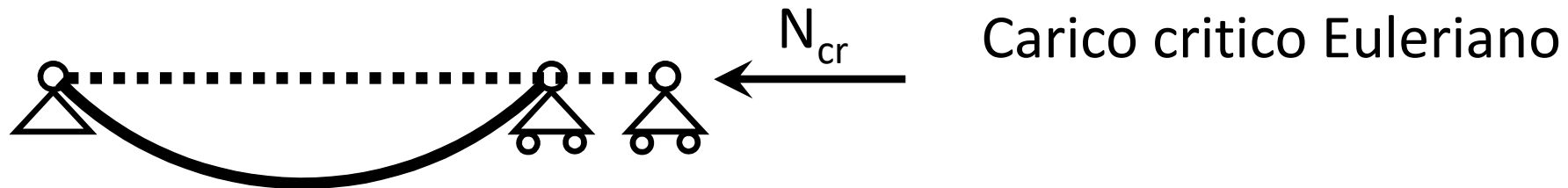
$$-N_{cr} a = -N(e + a)$$

$$a = \frac{N}{N_{cr} - N} e$$

Comportamento di aste compresse in presenza di imperfezioni



Comportamento ultimo di un'asta ideale tenendo conto dello snervamento



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

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:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E I}{l_0^2 A} = \frac{\pi^2 E i^2}{l_0^2} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

λ = snellezza dell'asta

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

$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$ = raggio d'inerzia della sezione

Comportamento ultimo di un'asta ideale tenendo conto dello snervamento

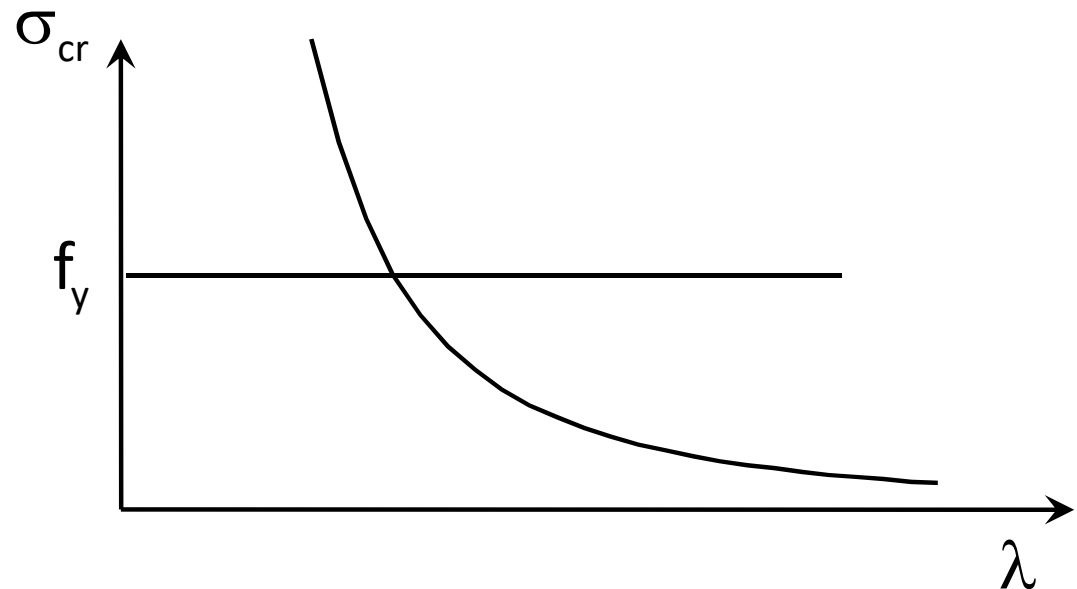
$$\sigma = \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

Instabilità dell'asta

inoltre $\sigma = f_y$

Collasso plastico

Quando $\sigma = f_y$ l'intera sezione si plasticizza



Comportamento ultimo di un'asta ideale tenendo conto dello snervamento

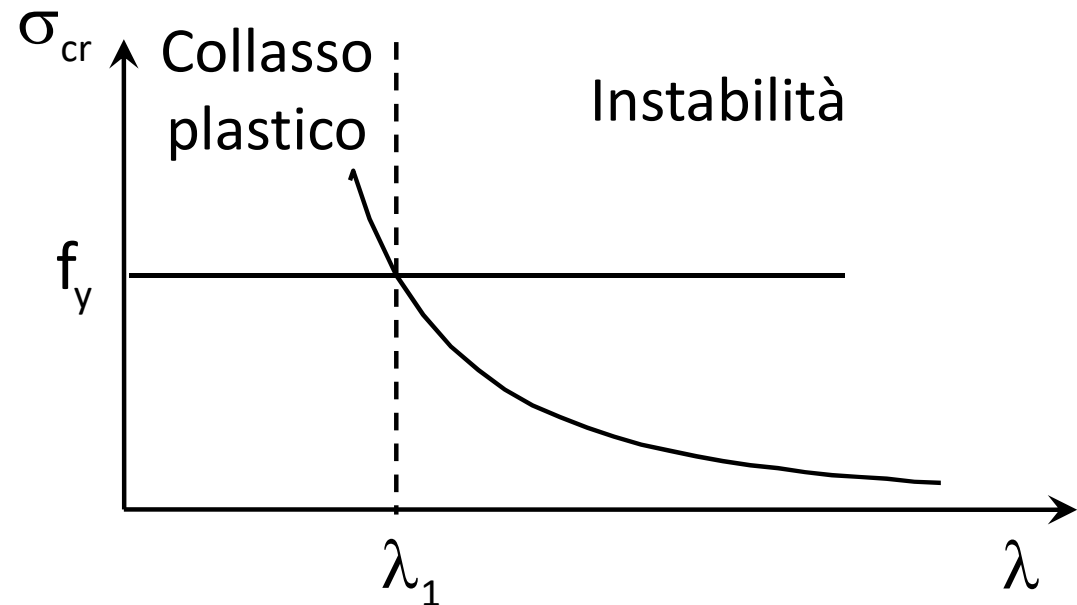
$$\sigma = \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

Instabilità dell'asta

inoltre $\sigma = f_y$

Collasso plastico

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

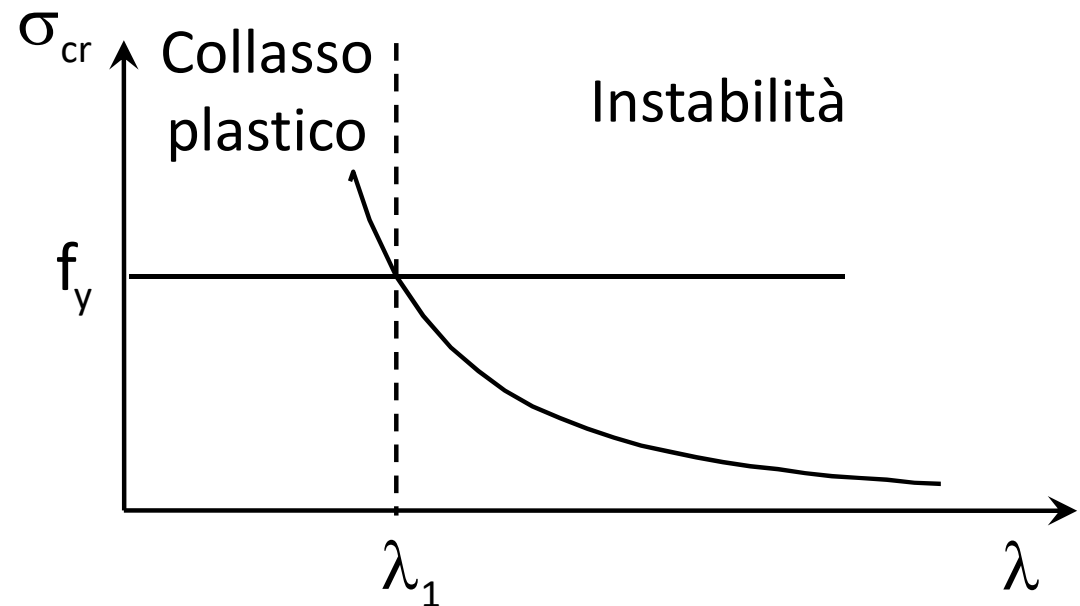
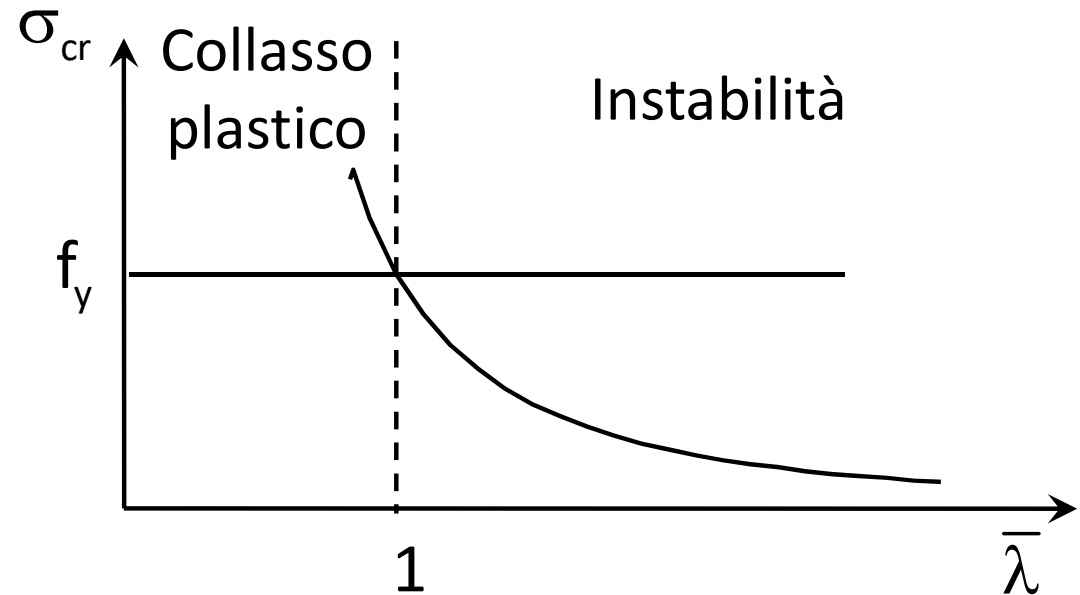


Comportamento ultimo di un'asta ideale tenendo conto dello snervamento

- Il diagramma può essere anche rappresentato in forma normalizzata

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}}$$

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



Comportamento ultimo di un'asta ideale tenendo conto dello snervamento

- Il diagramma può essere anche rappresentato in forma normalizzata

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}}$$

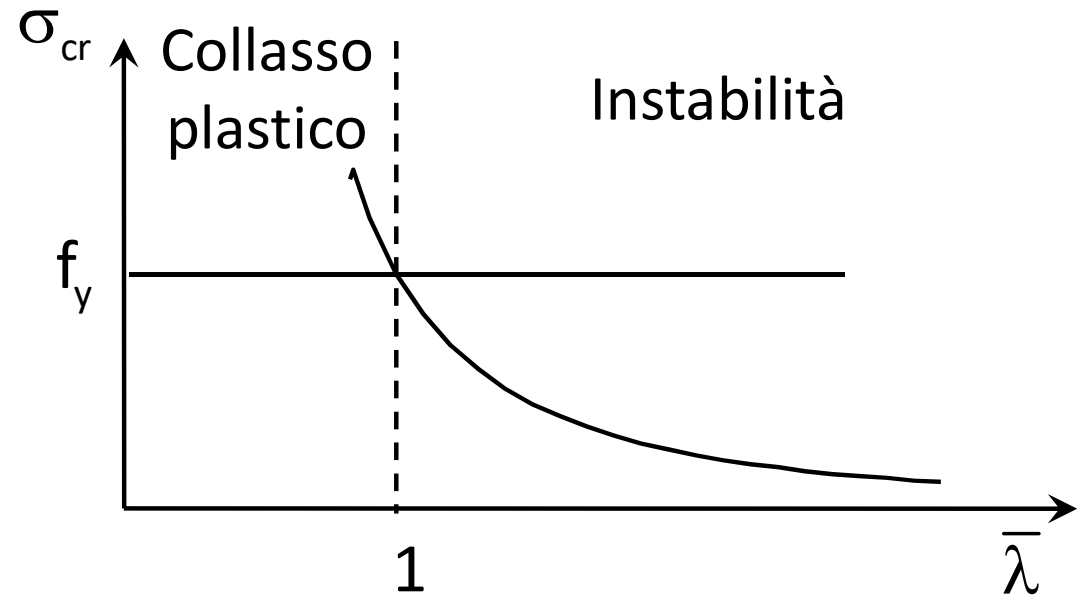
$$\bar{\lambda}^2 = \frac{A f_y}{N_{cr}}$$

$$N_{cr} = \frac{1}{\bar{\lambda}^2} A f_y$$

- Indicando con N_b il valore per cui si ha l'instabilità o il collasso plastico

$$N_b = \chi A f_y$$

$$\chi = \frac{1}{\bar{\lambda}^2} \leq 1$$



Comportamento ultimo di un'asta reale tenendo conto dello snervamento

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 ultimo di un'asta reale

tenendo conto dello snervamento

- Nell'asta reale, a causa di un asse non rettilineo nasce momento flettente
 $M_{\max} = N (e+a)$
- Possiamo ritenere che quando la sezione inizia a plasticizzarsi (cioè la σ_{\max} diventa pari a f_y) la sezione abbia raggiunto la sua capacità massima
 - Nota 1: appena l'asta inizia a plasticizzarsi perde rigidità e quindi è maggiormente soggetta al rischio di instabilità

- Nota 2: abbiamo visto che
$$a = \frac{N}{N_{cr} - N} e$$

quindi
$$e + a = \left(1 + \frac{N}{N_{cr} - N} \right) e = \frac{N_{cr}}{N_{cr} - N} e = \frac{1}{1 - N/N_{cr}} e$$

Comportamento ultimo di un'asta reale tenendo conto dello snervamento

- $M_{\max} = N (e+a)$

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{A} + \frac{M_{\max}}{W} = \frac{N}{A} + \frac{N(e+a)}{W} = \frac{N}{A} \left(1 + \frac{1}{1 - N/N_{cr}} e \frac{A}{W} \right)$$

- Ponendo $\eta = e \frac{A}{W}$ si ha

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{A} \left(\frac{1 - N/N_{cr} + \eta}{1 - N/N_{cr}} \right)$$

- Indico con N_b il valore di N per cui si ha $\sigma_{\max} = f_y$

$$f_y = \frac{N_b}{A} \left(\frac{1 - N_b/N_{cr} + \eta}{1 - N_b/N_{cr}} \right)$$

$$1 - \frac{N_b}{N_{cr}} = \frac{N_b}{A} \left(\frac{1 - N_b/N_{cr} + \eta}{f_y} \right)$$

$$1 - \frac{N_b}{N_{cr}} = \frac{N_b}{A f_y} (1 + \eta - N_b/N_{cr})$$

Comportamento ultimo di un'asta reale tenendo conto dello snervamento

- L'espressione

$$1 - \frac{N_b}{N_{cr}} = \frac{N_b}{A f_y} (1 + \eta - N_b / N_{cr})$$

essendo $N_{cr} = \frac{1}{\bar{\lambda}^2} A f_y$

diventa $1 - \underbrace{\frac{N_b}{A f_y}}_{\chi} \bar{\lambda}^2 = \underbrace{\frac{N_b}{A f_y}}_{\chi} \left(1 + \eta - \underbrace{\frac{N_b}{A f_y}}_{\chi} \bar{\lambda}^2 \right)$

$$1 - \chi \bar{\lambda}^2 = \chi (1 + \eta - \chi \bar{\lambda}^2)$$

$$1 - \chi \bar{\lambda}^2 = \chi (1 + \eta) - \chi^2 \bar{\lambda}^2$$

$$\chi^2 \bar{\lambda}^2 - \chi (1 + \eta + \bar{\lambda}^2) + 1 = 0$$

Pongo

$$\varphi = \frac{1}{2} (1 + \eta + \bar{\lambda}^2)$$

$$\bar{\lambda}^2 \chi^2 - 2\varphi \chi + 1 = 0$$

Equazione di
secondo grado in χ

Comportamento ultimo di un'asta reale tenendo conto dello snervamento

- L'equazione $\bar{\lambda}^2 \chi^2 - 2\varphi \chi + 1 = 0$

$$\text{con } \varphi = \frac{1}{2} (1 + \eta + \bar{\lambda}^2)$$

ha come soluzione

$$\chi = \frac{\varphi - \sqrt{\varphi^2 - \bar{\lambda}^2}}{\bar{\lambda}^2} \quad \frac{\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \bar{\lambda}^2}}{\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\chi = \frac{1}{\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

Avevamo posto, con riferimento all'asse non rettilineo $\eta = e \frac{A}{W}$

Più in generale poniamo $\eta = \alpha (\bar{\lambda} - 0.2)$ con α fattore di imperfezione

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

Comportamento ultimo di un'asta reale tenendo conto dello snervamento

- Riepilogando

$$N_b = \chi A f_y$$

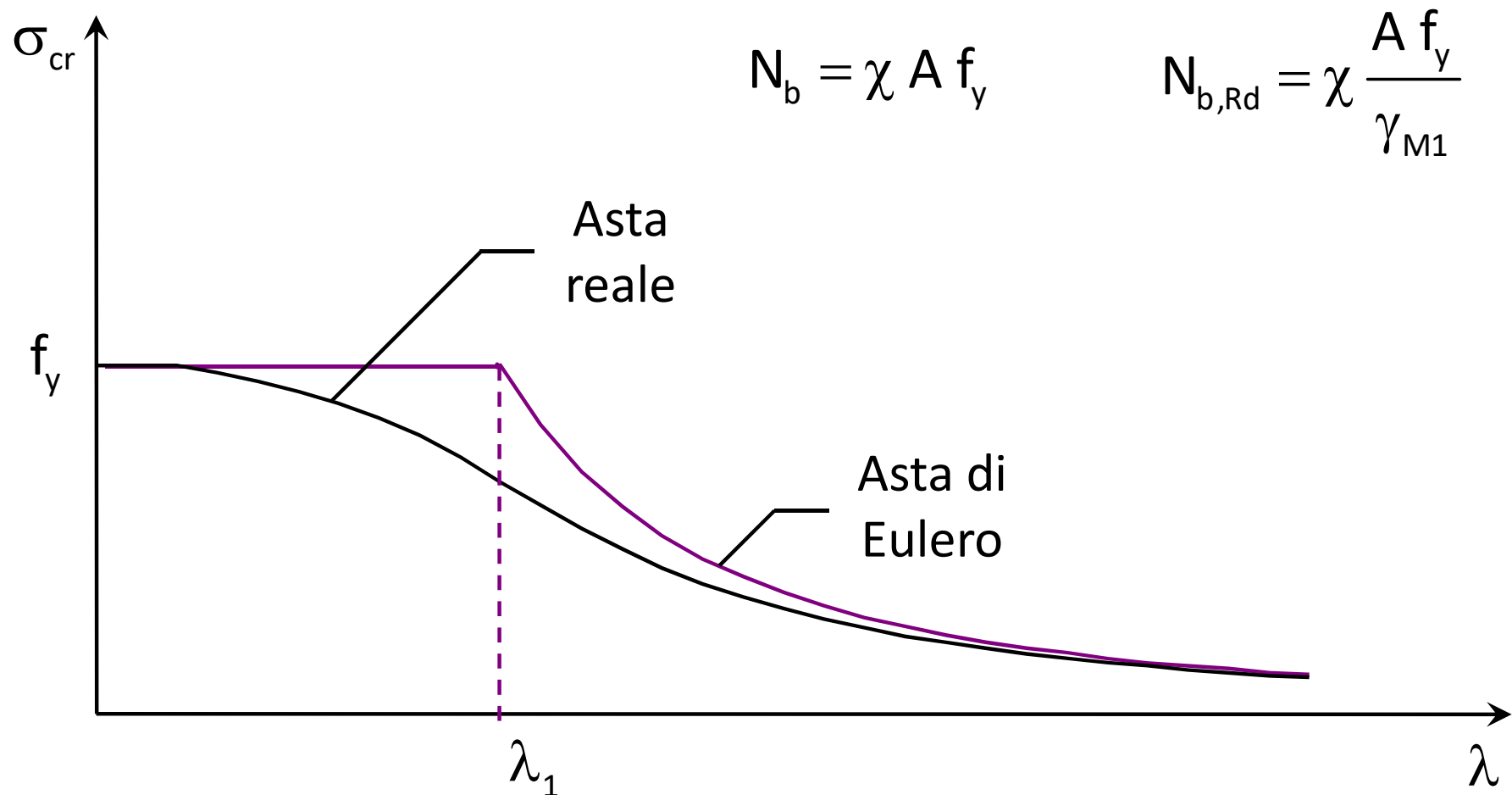
$$\chi = \frac{1}{\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1$$

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

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

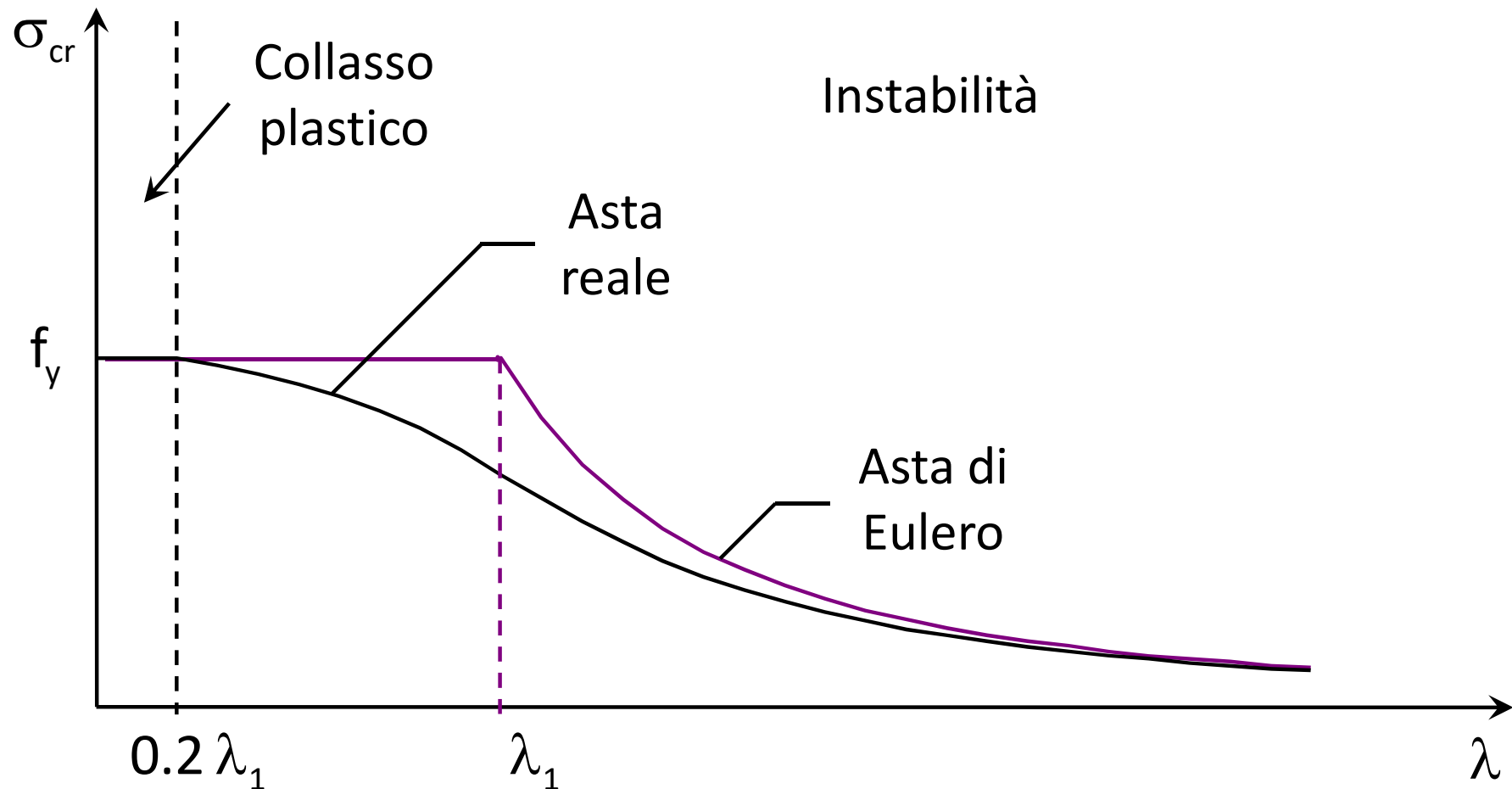
Comportamento ultimo di un'asta reale tenendo conto dello snervamento

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



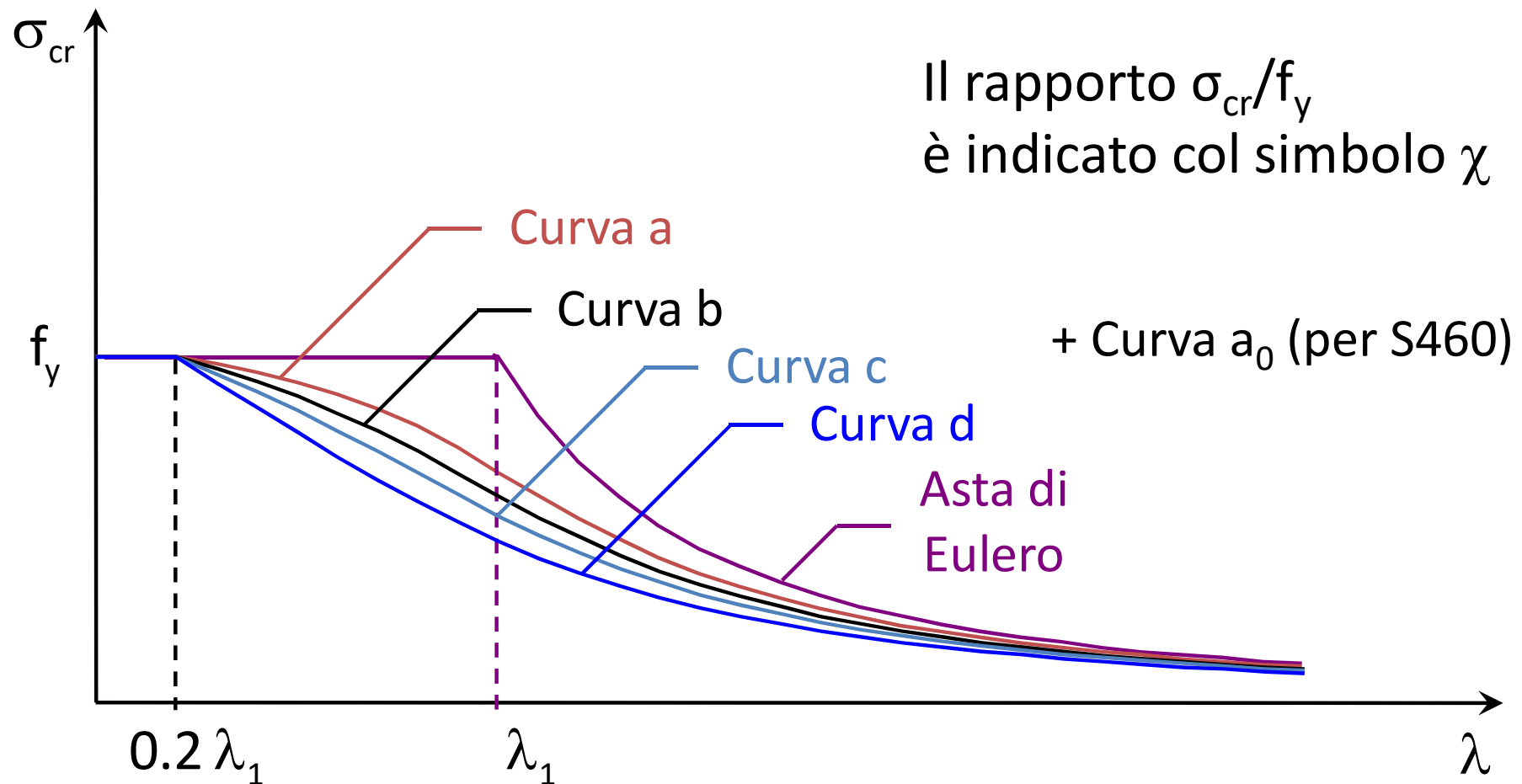
Comportamento delle aste reali

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



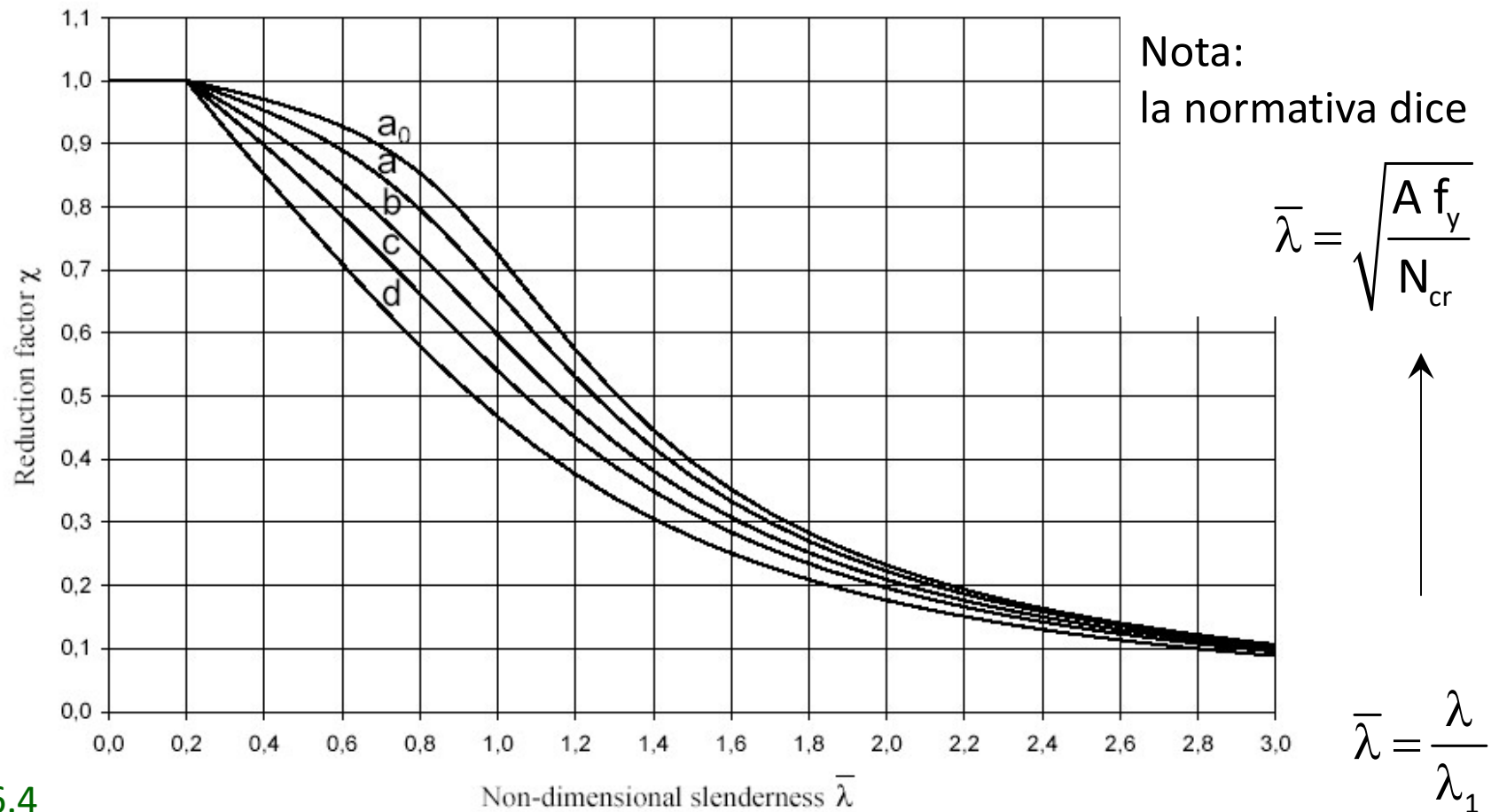
Comportamento delle aste reali

- Il comportamento dipende dal tipo di profilato. La normativa (NTC18, EC3) distingue 5 curve di stabilità



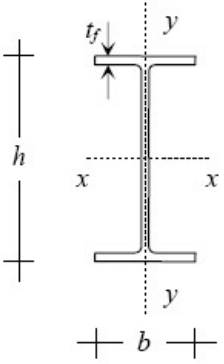
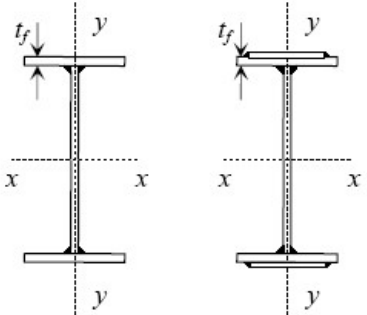
Comportamento delle aste reali

- Il comportamento dipende dal tipo di profilato. La normativa (NTC18, EC3) distingue 5 curve di stabilità




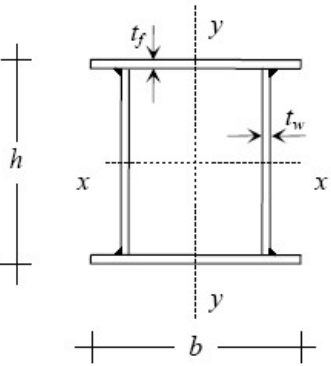
Comportamento delle aste reali

- 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	
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	

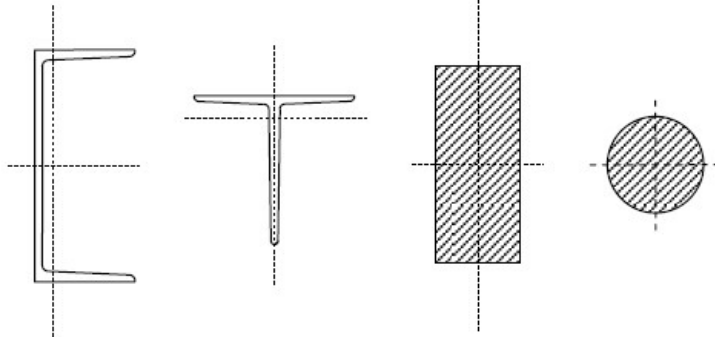
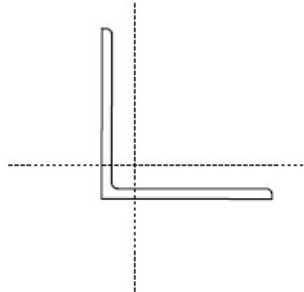
Comportamento delle aste reali

- 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
Sezioni ad L			qualunque	b

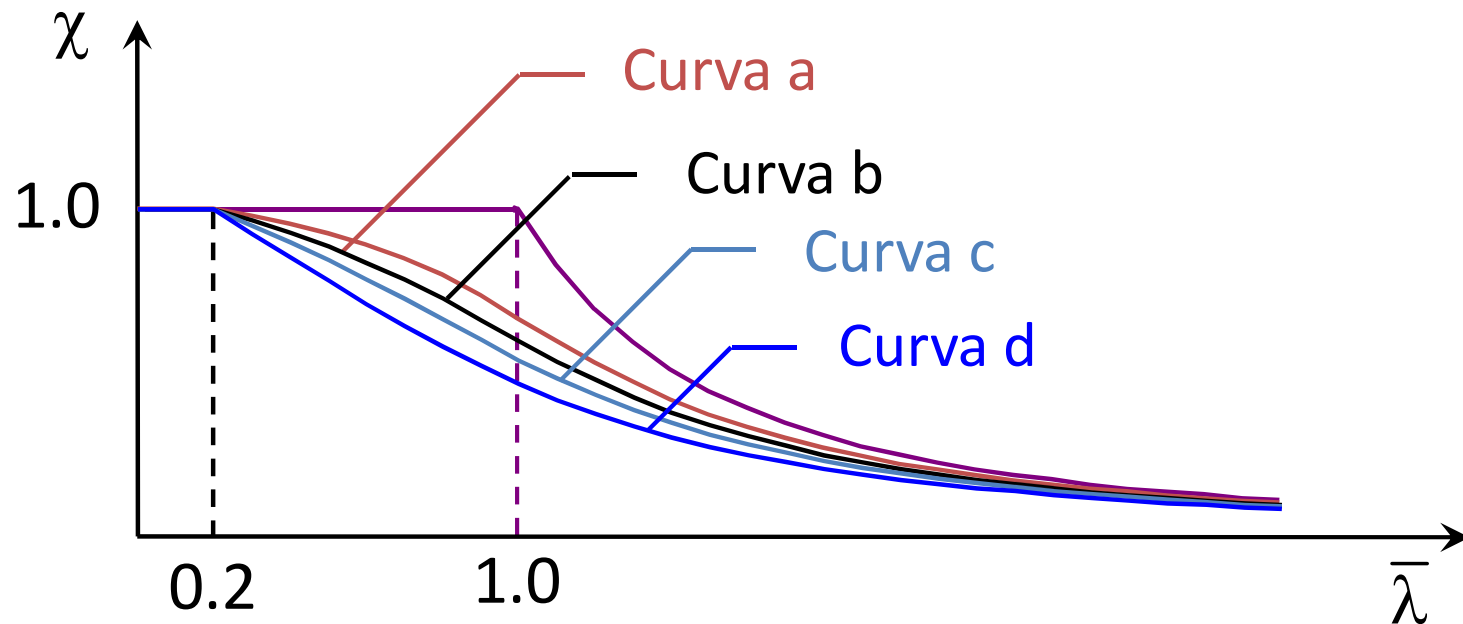
Verifica

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

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

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

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

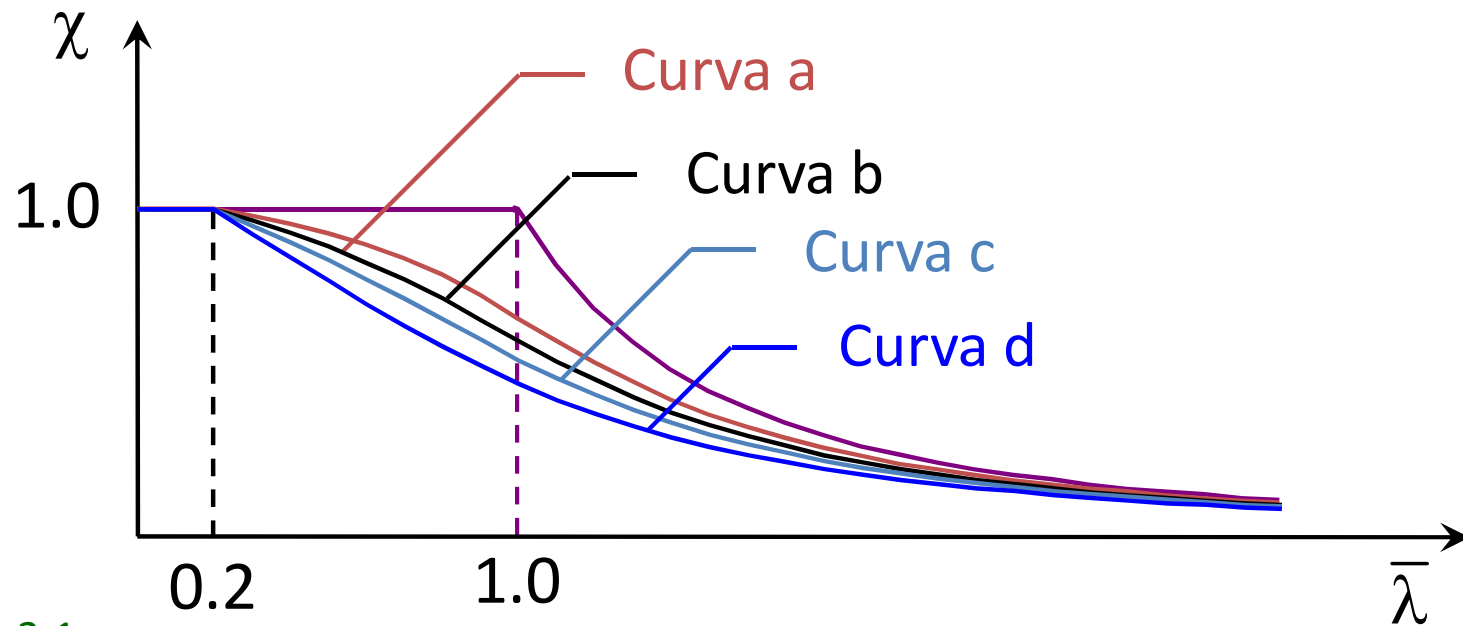


Verifica

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

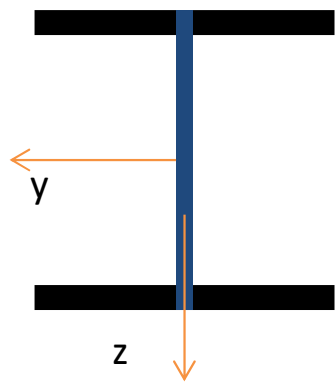
Resistenza all'instabilità

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



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

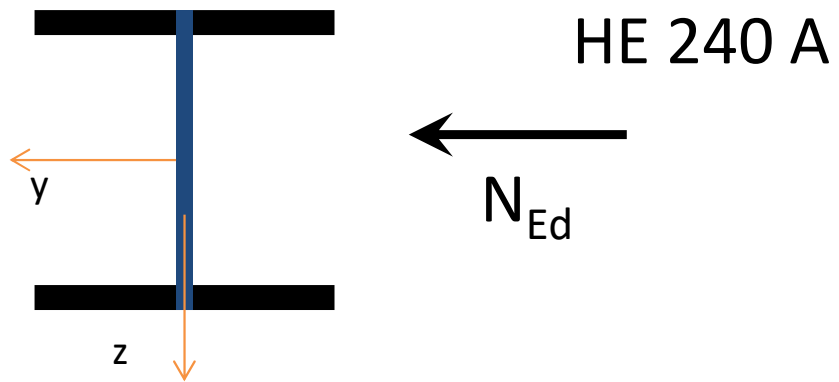
Piano di maggiore snellezza: z-z

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

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

Esempio

Dati:



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

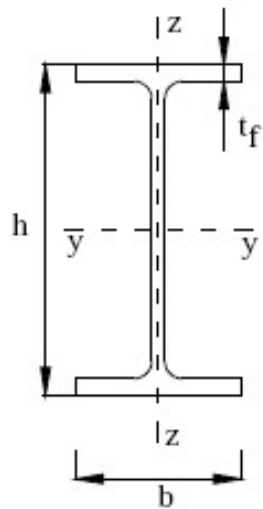
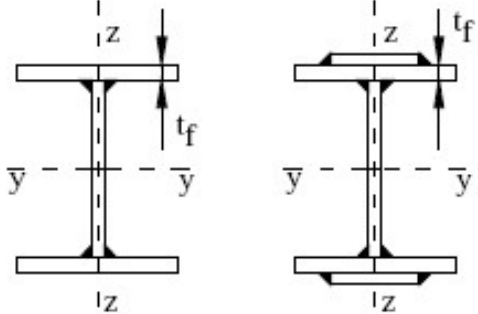
Acciaio S235

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

(uguale nei due piani)

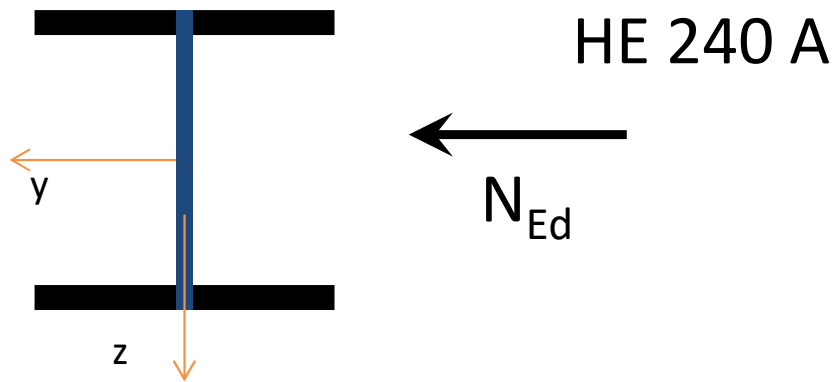
2 - Individuazione della curva di instabilità

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:



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

Acciaio S235

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

(uguale nei due piani)

2 - Individuazione della curva di instabilità

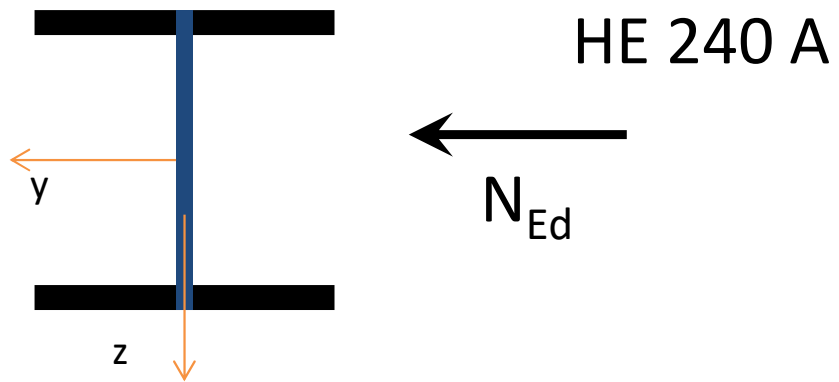
curva c

$$\alpha = 0.49$$

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:



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

Acciaio S235

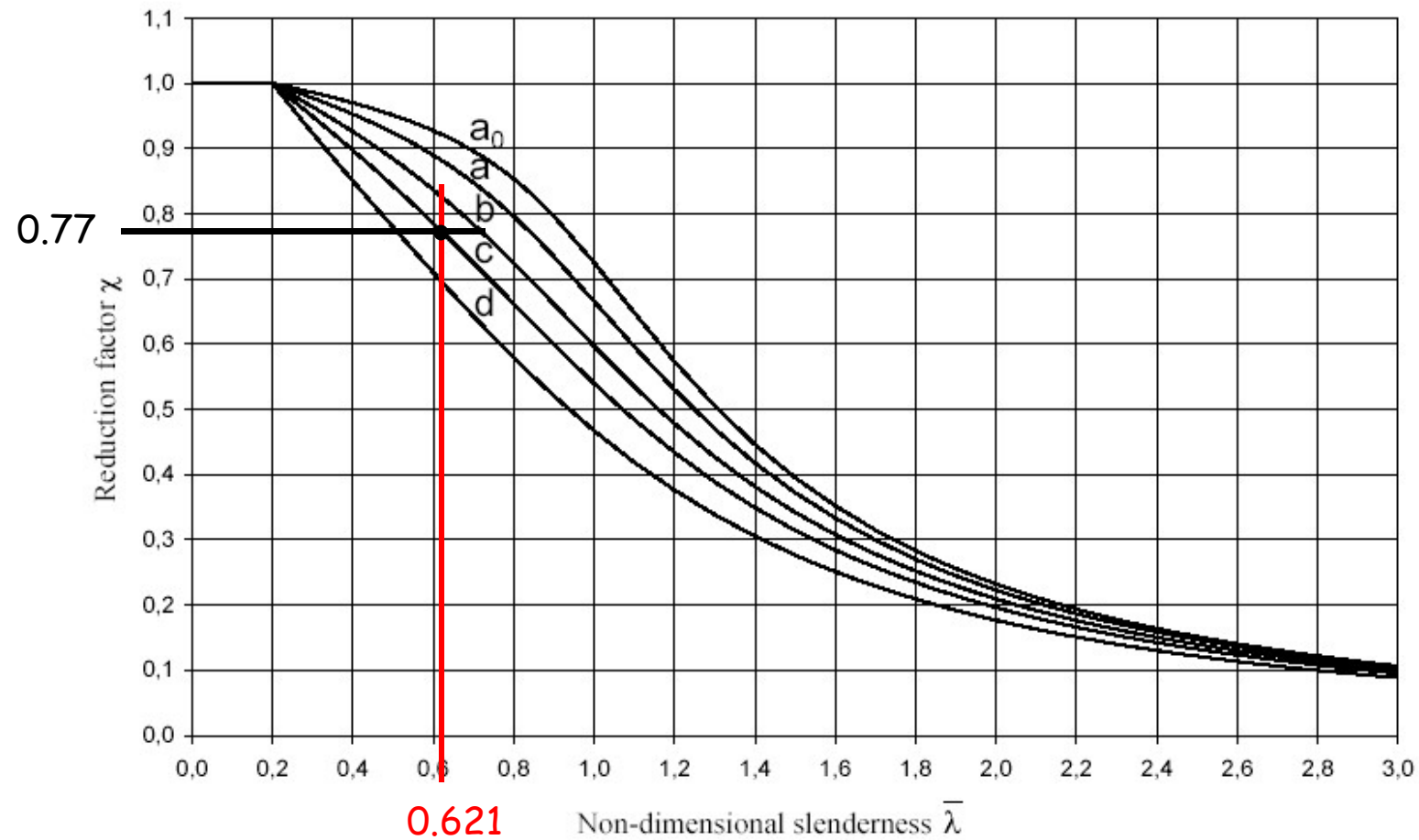
$$I_0 = 3.50 \text{ m}$$

(uguale nei due piani)

3 - Determinazione di χ

Esempio

- Graficamente



Esempio

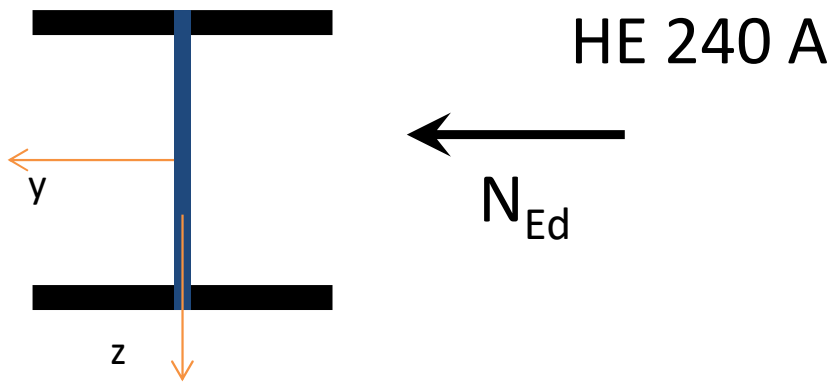
- Analiticamente $\bar{\lambda} = 0.621$ $\alpha = 0.49$

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

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

Esempio

Dati:



HE 240 A

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

Acciaio S235

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

(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

- 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

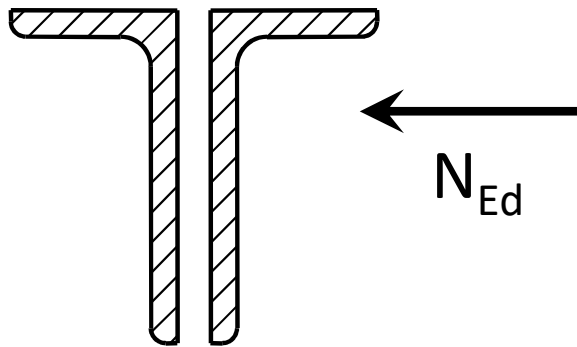
(evitare snellezze $\lambda > 200$ per membrature principali e $\lambda > 250$ per membrature secondarie)

- 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

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

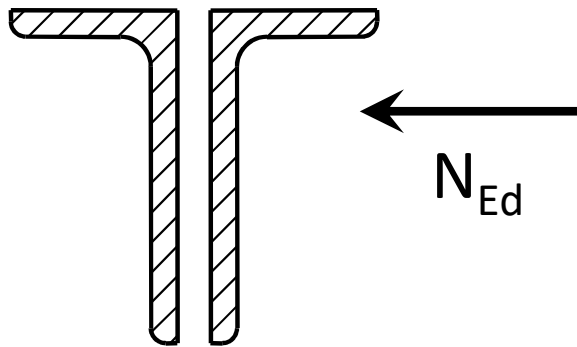
2 - Scelta della sezione

Uso **2 L 60x120x8**

$$A = 2780 \text{ mm}^2$$

Esempio

Dati:



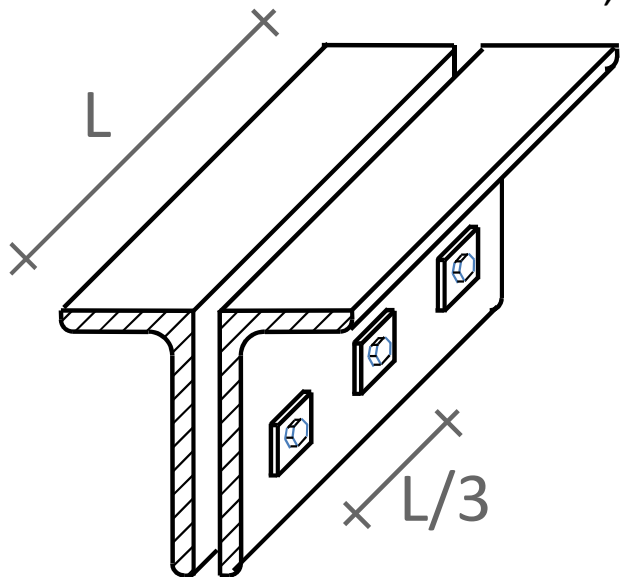
$$N_{Ed} = - 343 \text{ kN}$$

Acciaio S235

$$\lambda_1 = 93.9$$

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

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



Coppia di profili

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

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

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

Singolo profilo

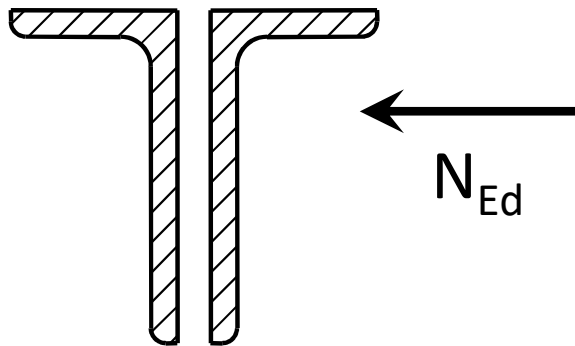
$$i_{sp} = 12.7 \text{ mm}$$

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

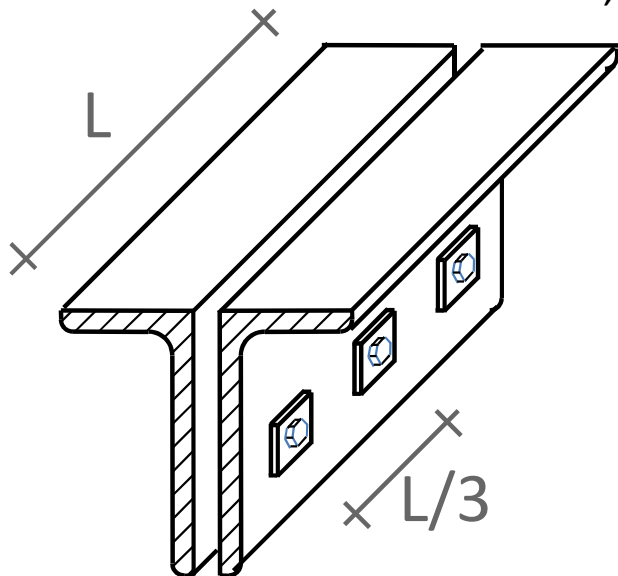
$$\bar{\lambda}_{eq} = \frac{\bar{\lambda}_{eq}}{\lambda_1} = \frac{88.9}{93.9} = 0.95$$

Esempi

Dati:



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



Coppia di profili

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

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

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

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

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

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

Singolo profilo

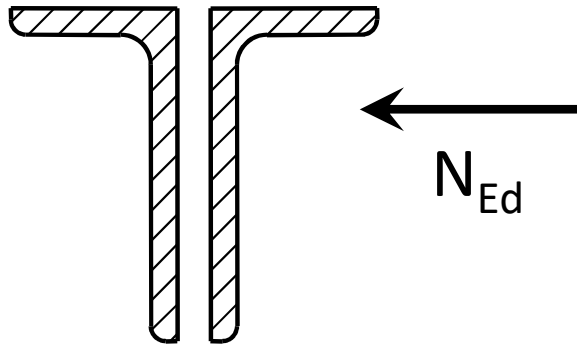
$$i_{sp} = 12.7 \text{ mm}$$

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

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

Esempio

Dati:



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

Acciaio S235

$$\lambda_1 = 93.9$$

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

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

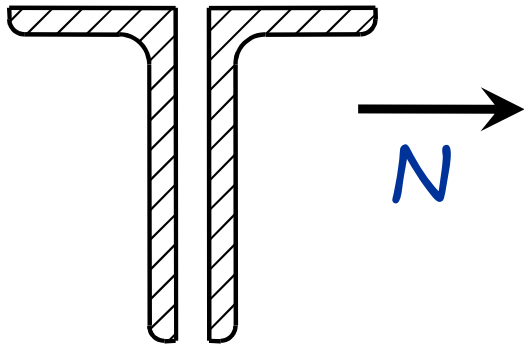
$$\bar{\lambda}_{eq} = 0.95 \quad \Rightarrow \quad \chi = 0.63$$

Curva b ————— per profili a L (un tempo era curva c)

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

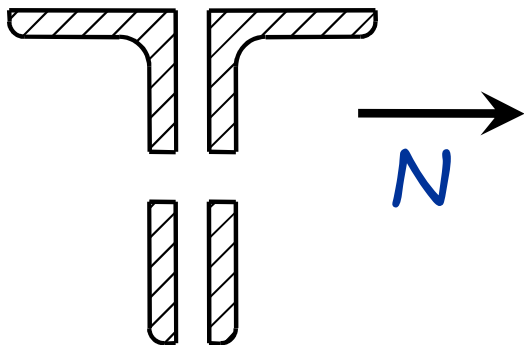
Confronto tra
tensioni ammissibili e SLU
(lasciato solo per documentazione)

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

Sezione indebolita

TA

$$N_{\max} = \frac{\bar{\sigma}_s}{160} A$$

ma i carichi
per SLU sono
1.4 volte tanto

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

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

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

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:

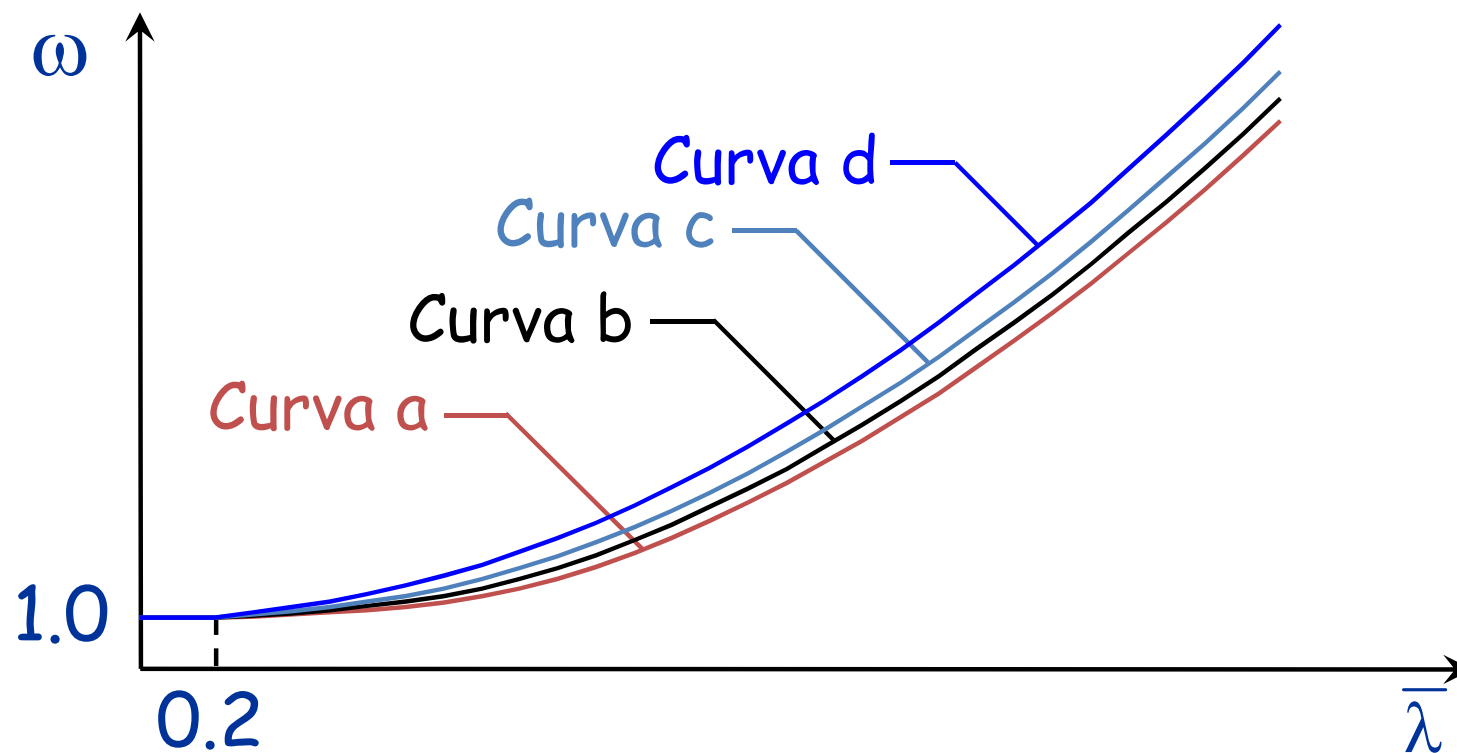
- Sostanzialmente simile a quella valutata alle tensioni ammissibili per la sezione piena;
- Sensibilmente maggiore (tra il 10 ed 15% più grande) a quella valutata alle tensioni ammissibili per la sezione indebolita.

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

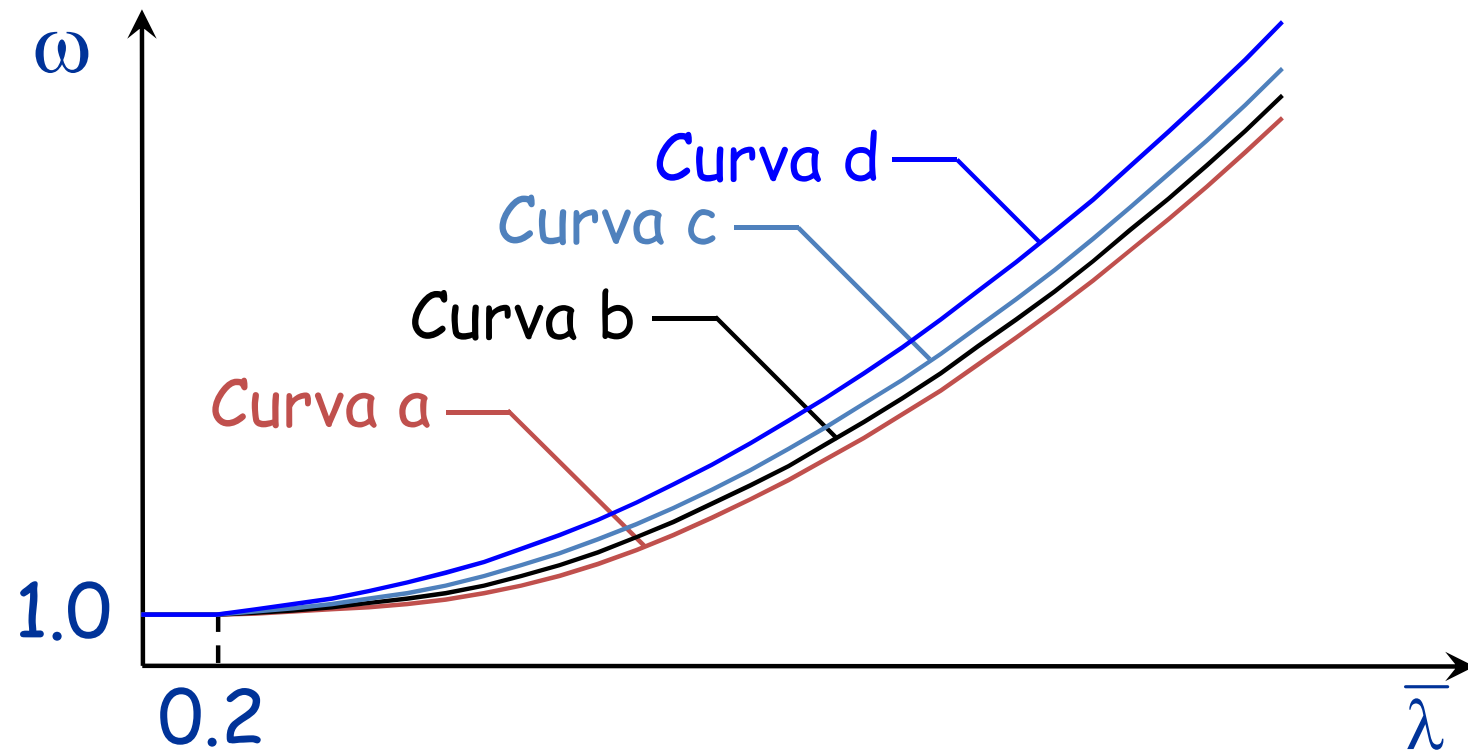
$$\sigma = \frac{N}{A} \leq \sigma_{cr} \leq \frac{\sigma_{cr}}{f_y} f_y \leq \frac{f_y}{\omega}$$

Applicando il coefficiente di sicurezza a f_y ...

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

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

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

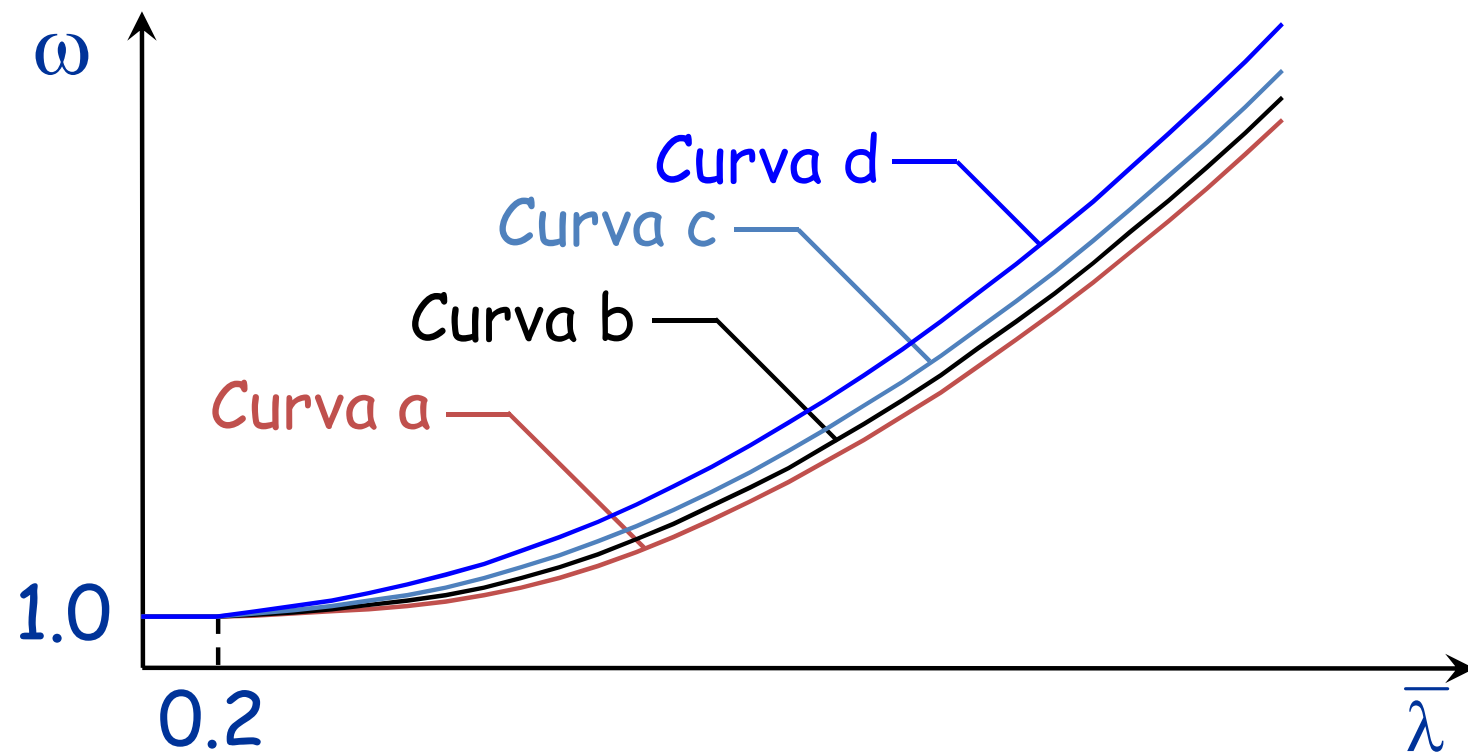


Verifica a compressione – tensioni ammissibili

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

Sforzo normale ammissibile

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



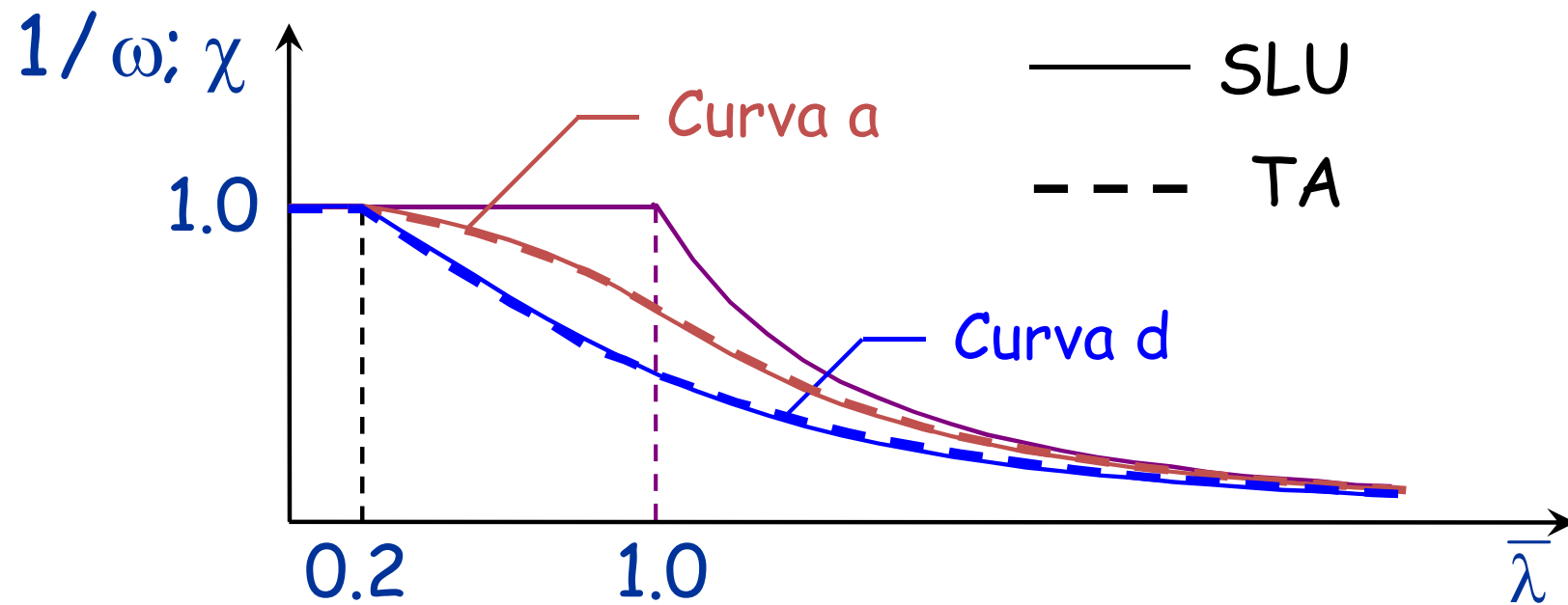
Verifica – confronto TA-SLU

TA

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

SLU

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



Verifica – confronto TA-SLU

TA

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

160 MPa

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

SLU

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi f_y A}{\gamma_{M1}}$$
$$235 / 1.05 = 224 \text{ MPa}$$

Acciaio S235 (Fe 360)

