

Corso di aggiornamento  
Progettazione strutturale e  
Norme Tecniche per le Costruzioni

**Progetto di aste e collegamenti in acciaio**

3 - Sforzo normale centrato: trazione; compressione

Spoletto  
8-10 novembre 2012  
Aurelio Gherzi

# Verifica e progetto di sezioni allo SLU

# Criteri generali

Tensione di snervamento  $f_y$  o tensione ultima  $f_u$ ?

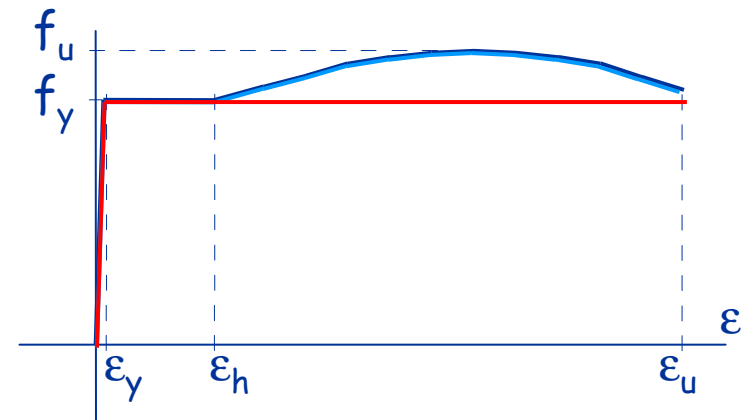
La tensione ultima  $f_u$  si raggiunge con deformazioni plastiche molto elevate

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  
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)

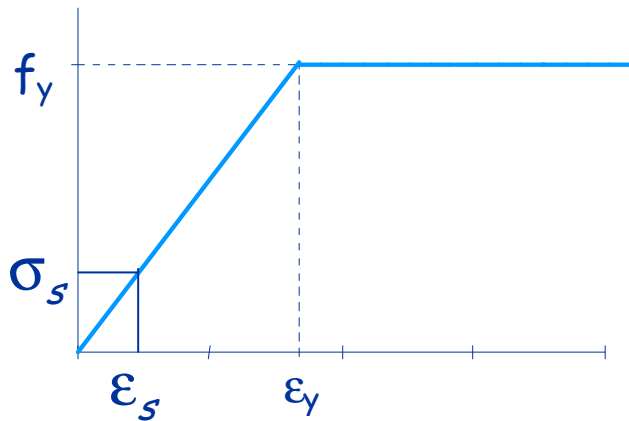
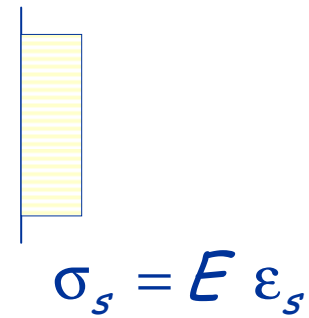
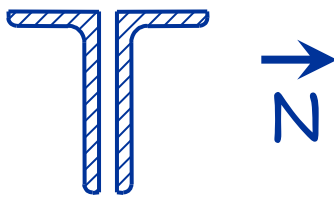
Le sezioni sono divise in 4 classi, in base a quanto l'instabilità locale ne condiziona il comportamento

- 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

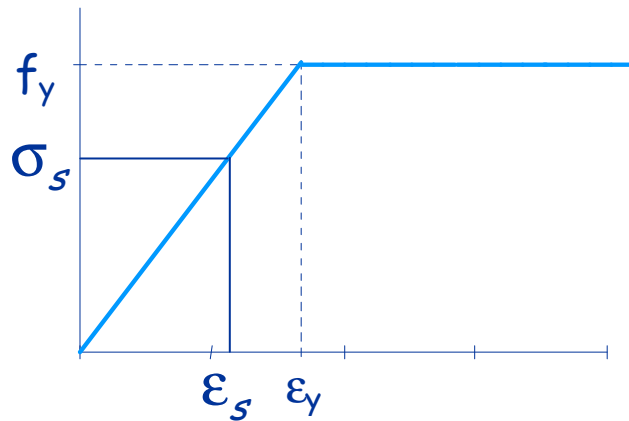
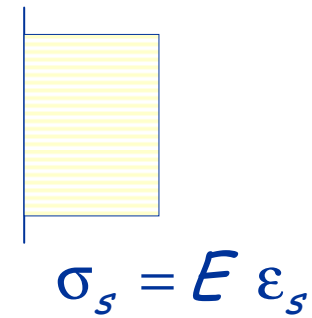
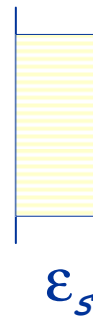
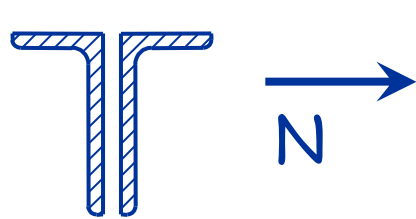
Verranno presentate in seguito

Sforzo normale  
Trazione

# Comportamento al crescere delle deformazioni

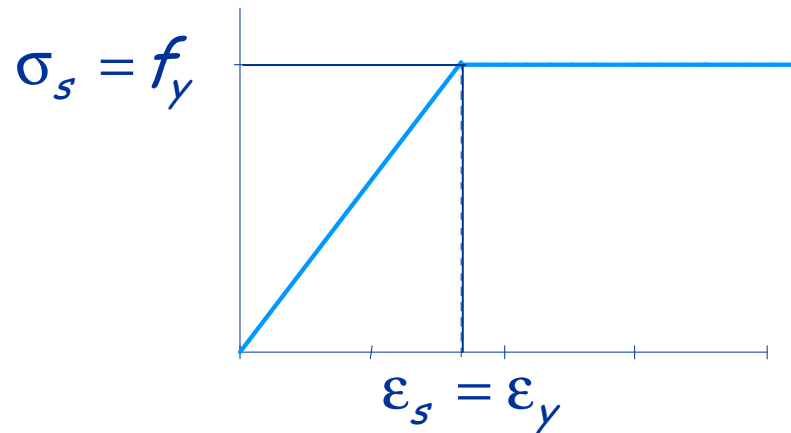
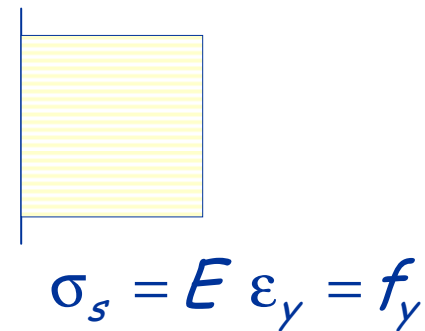
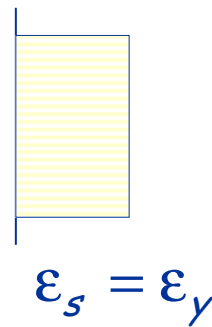
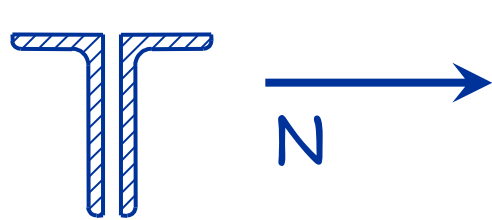
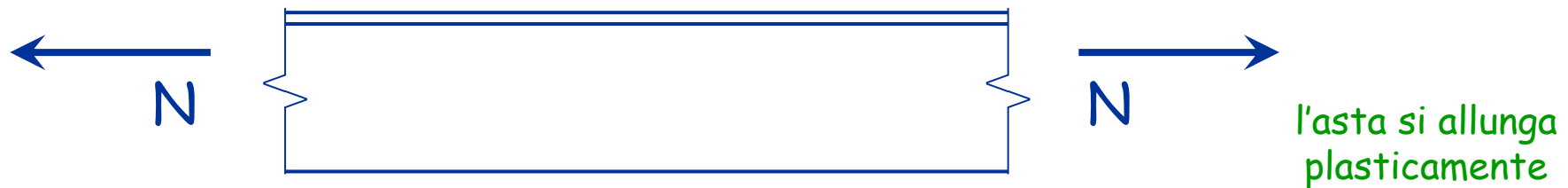


# Comportamento al crescere delle deformazioni



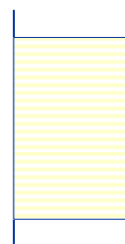
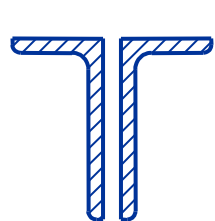


# Comportamento al crescere delle deformazioni

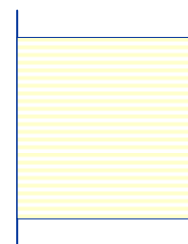


$$N_{pl} = A f_y$$

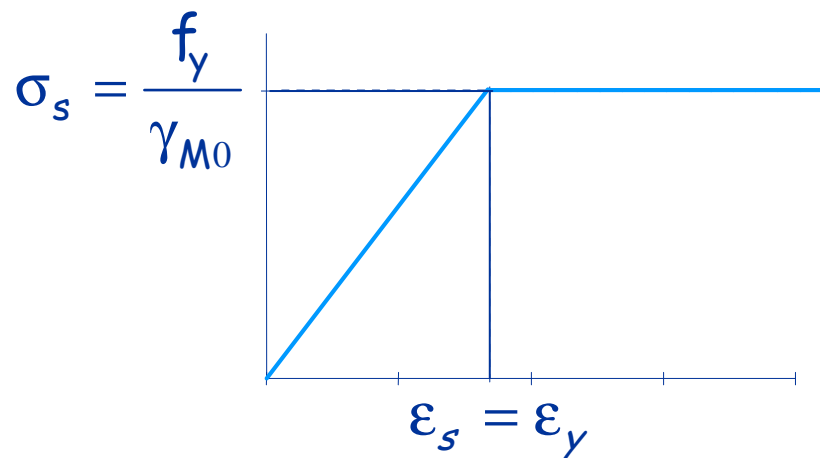
# Comportamento ultimo resistenza plastica della sezione



$$\varepsilon_s = \varepsilon_y$$

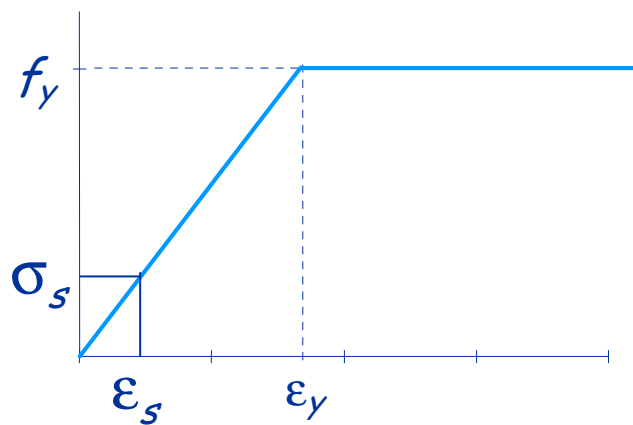
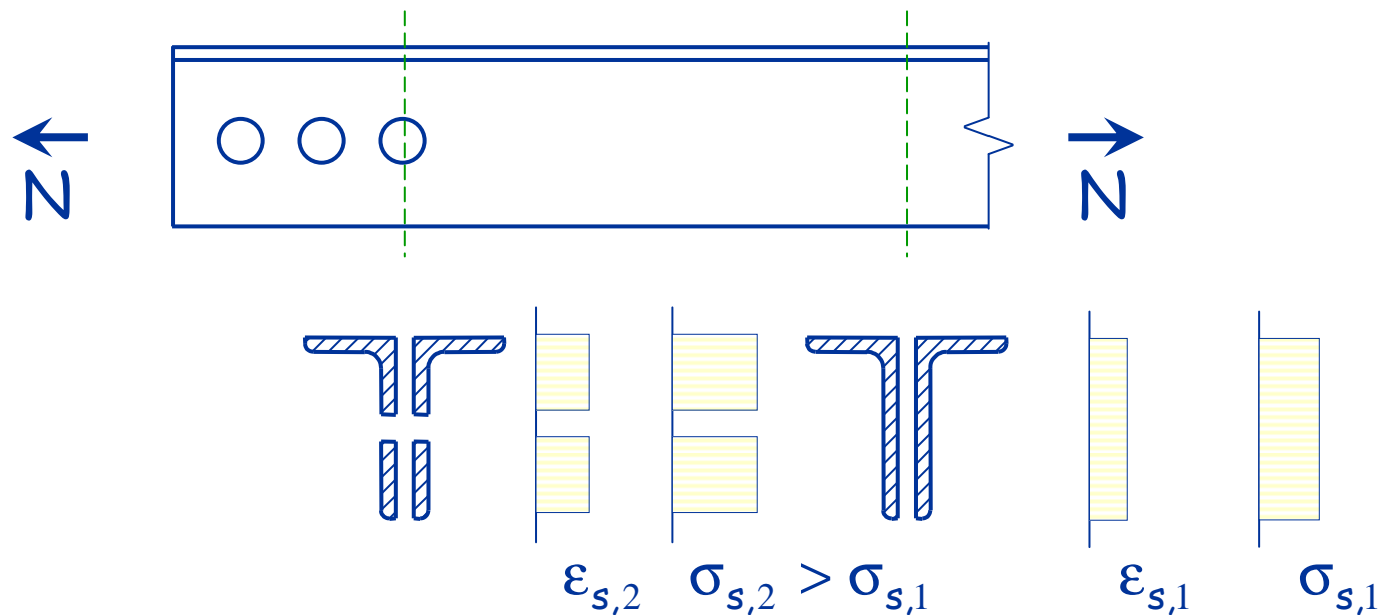


$$\sigma_s = f_y / \gamma_{M0}$$

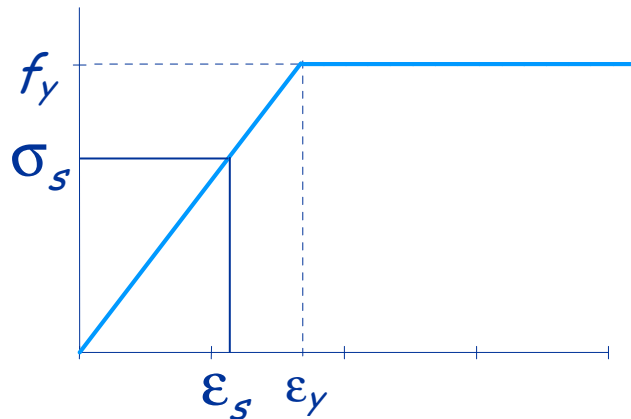
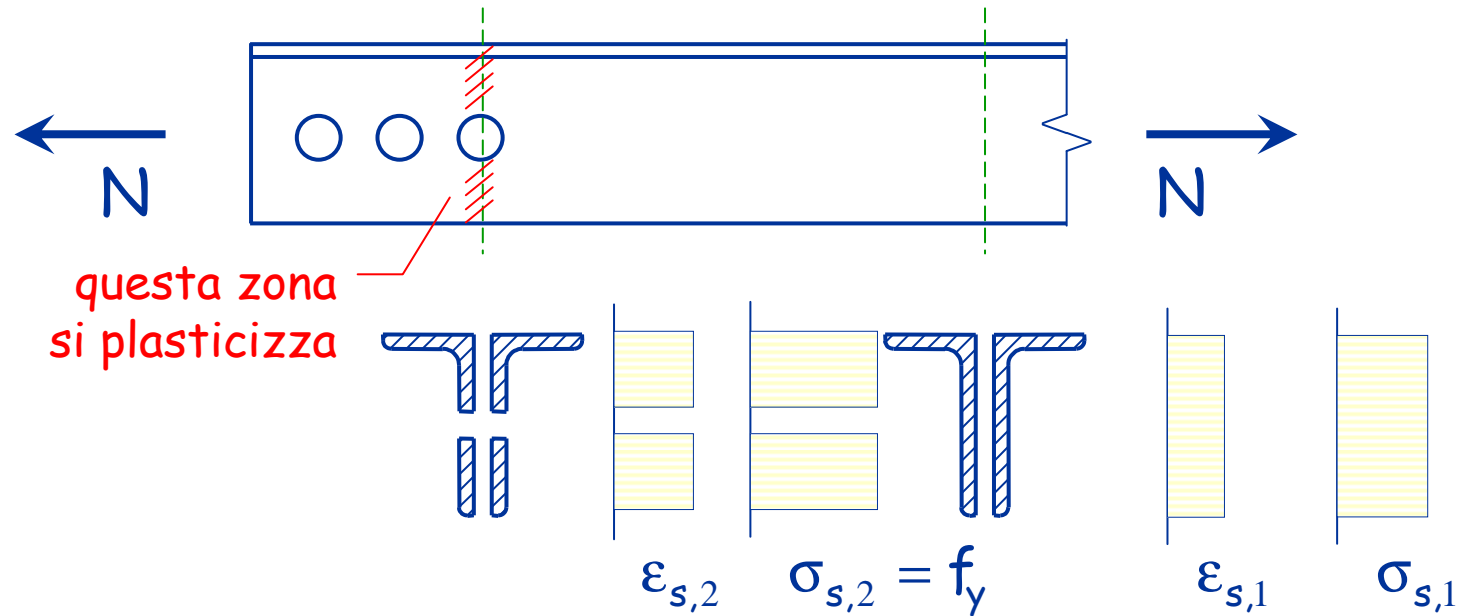


$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

# Comportamento quando nell'asta vi sono dei fori



# Comportamento quando nell'asta vi sono dei fori



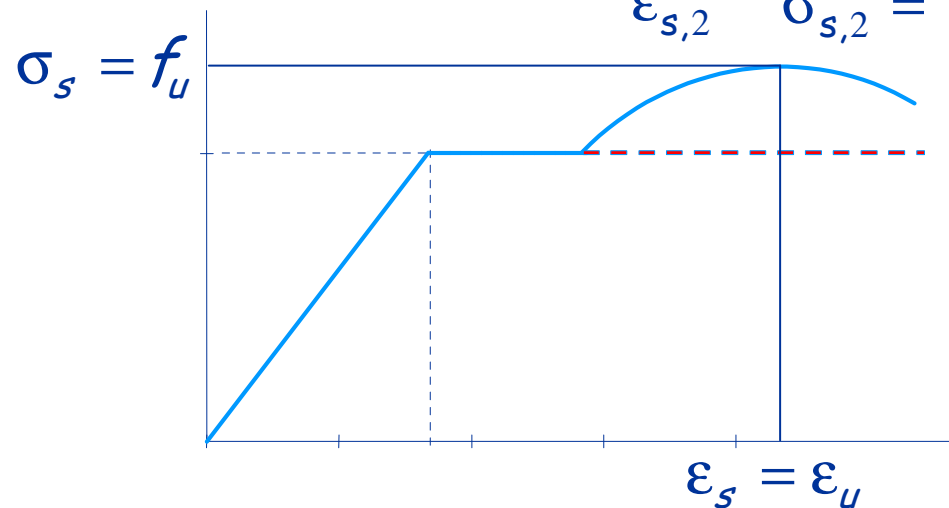
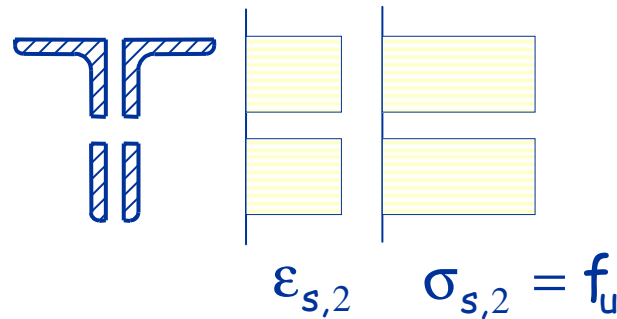
l'asta si allunga pochissimo perché la zona plasticizzata è molto piccola

incrementando la forza si ha incrudimento in prossimità del foro

# Comportamento ultimo resistenza ultima della sezione forata



questa zona  
arriva a  
rottura

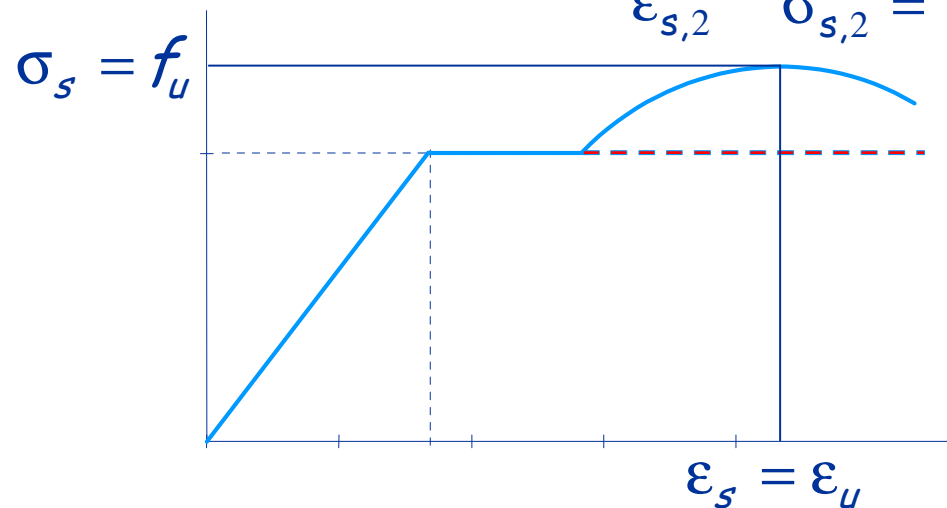
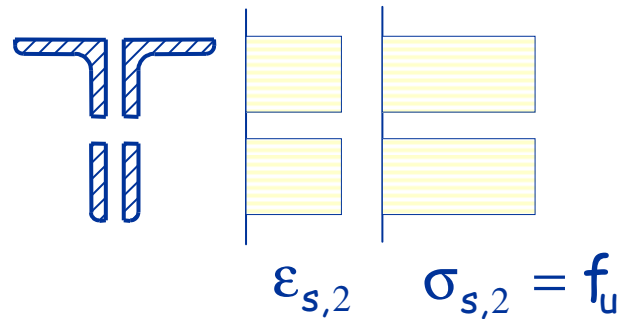


$$N_u = A_{\text{net}} f_u$$

# Comportamento ultimo resistenza ultima della sezione forata



questa zona  
arriva a  
rottura



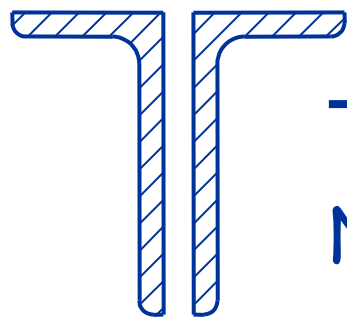
$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

# 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.

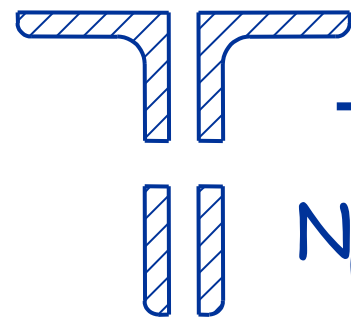
$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

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



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.

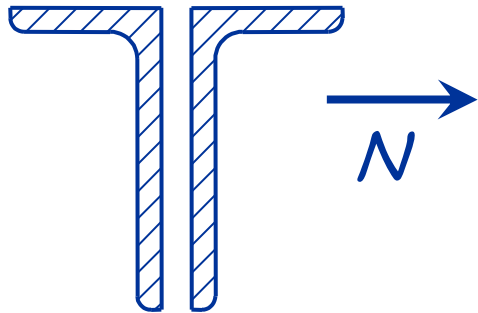
$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$



A diagram of a reduced I-beam cross-section, represented by two vertical rectangles with diagonal hatching. The right rectangle is narrower than the left one, indicating a reduction in width. An arrow points from the section to the formula for ultimate resistance.

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

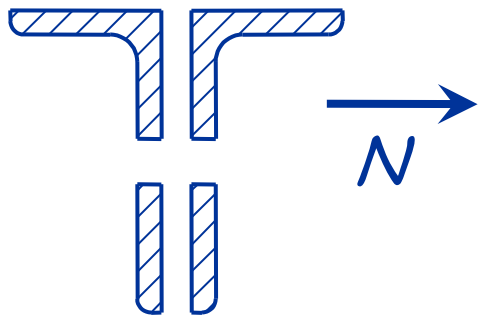
## Verifica - tensioni ammissibili



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

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

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

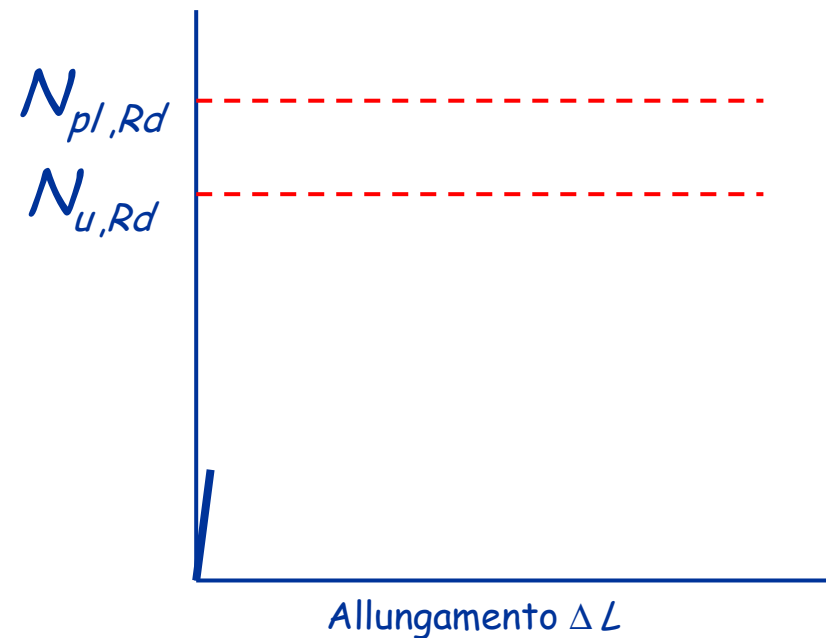
Tenendo conto delle differenze tra i carichi agenti, la resistenza a trazione valutata allo stato limite ultimo è:

- 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  $N_{u,Rd}$

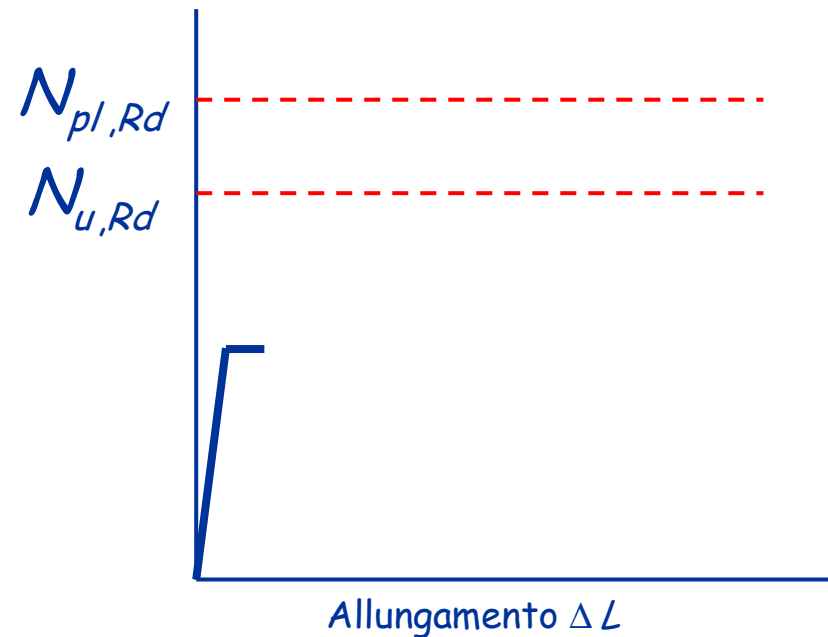
Duttilità di aste tese: caso  $N_{pl,Rd} > N_{u,Rd}$



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



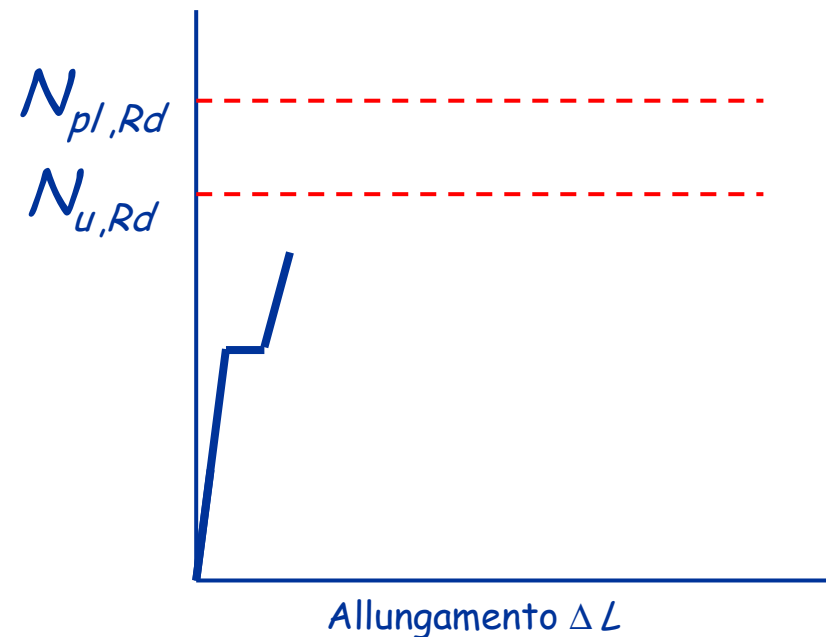
- Plasticizzazione delle sezioni indebolite



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



- Plasticizzazione delle sezioni indebolite
- Incrudimento delle sezioni indebolite

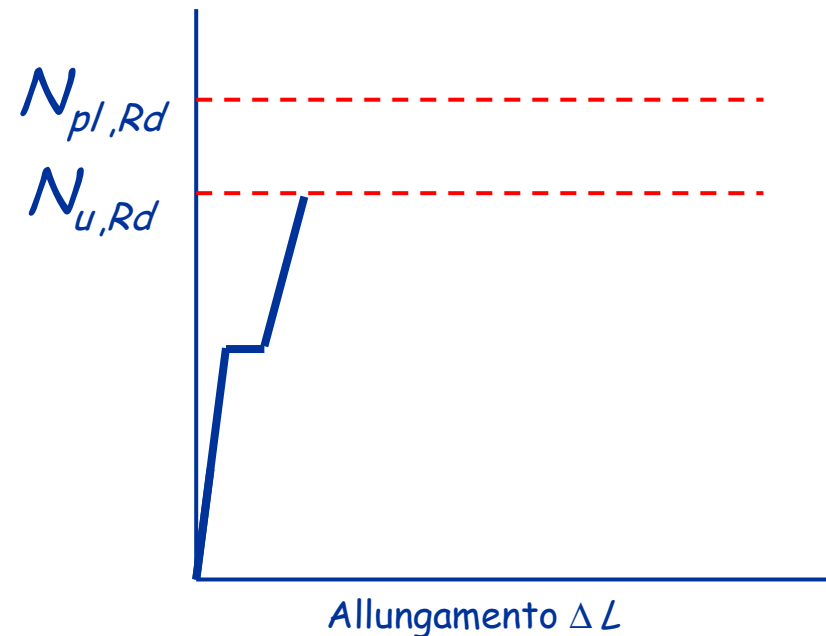


## Duttilità di aste tese: caso $N_{pl,Rd} > N_{u,Rd}$



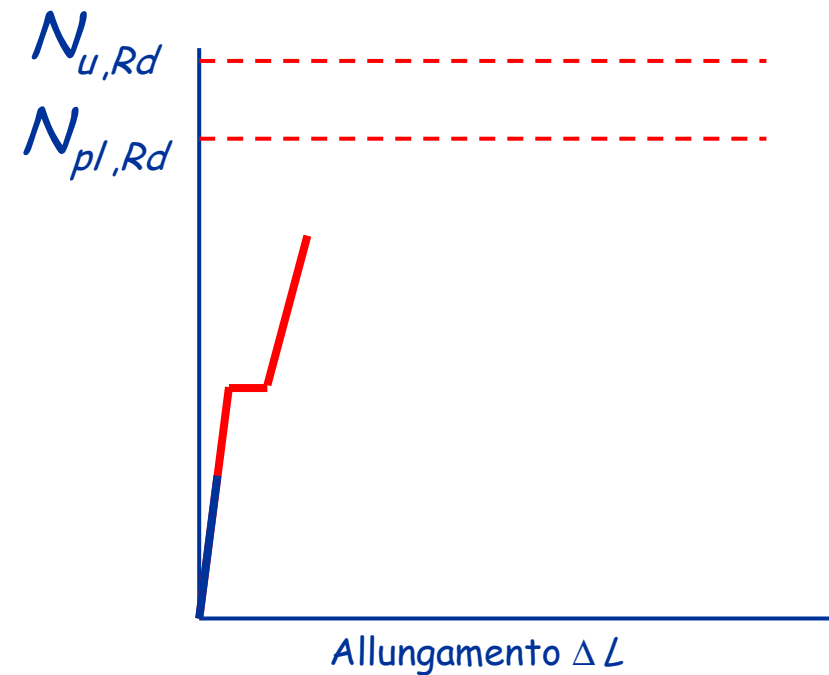
- Plasticizzazione delle sezioni indebolite
- Incrudimento delle sezioni indebolite
- Rottura della sezione più debole

**L'asta è fragile**





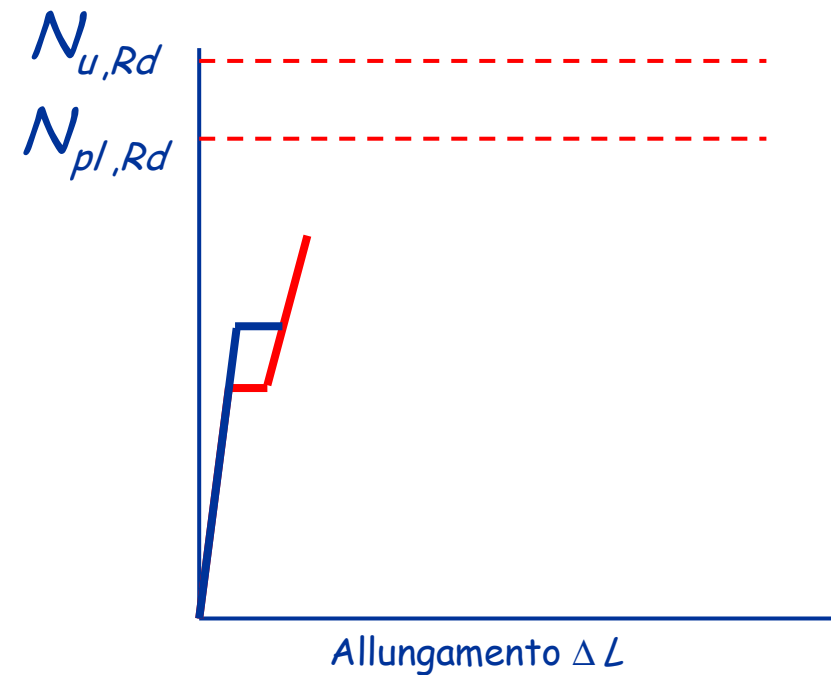
# Duttilità di aste tese: caso $N_{pl,Rd} < N_{u,Rd}$



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



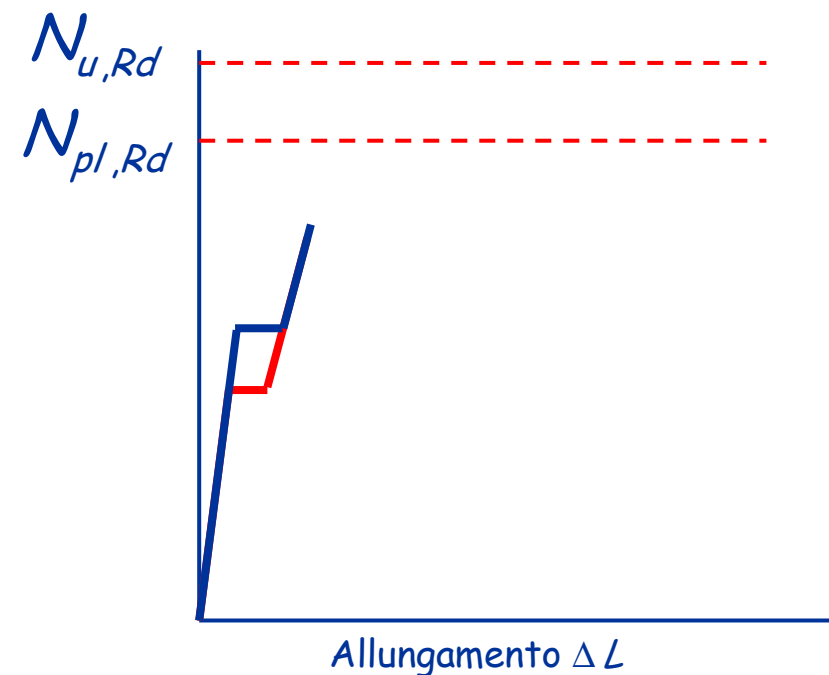
- Plasticizzazione delle sezioni indebolite



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



- Plasticizzazione delle sezioni indebolite
- Incrudimento delle sezioni indebolite

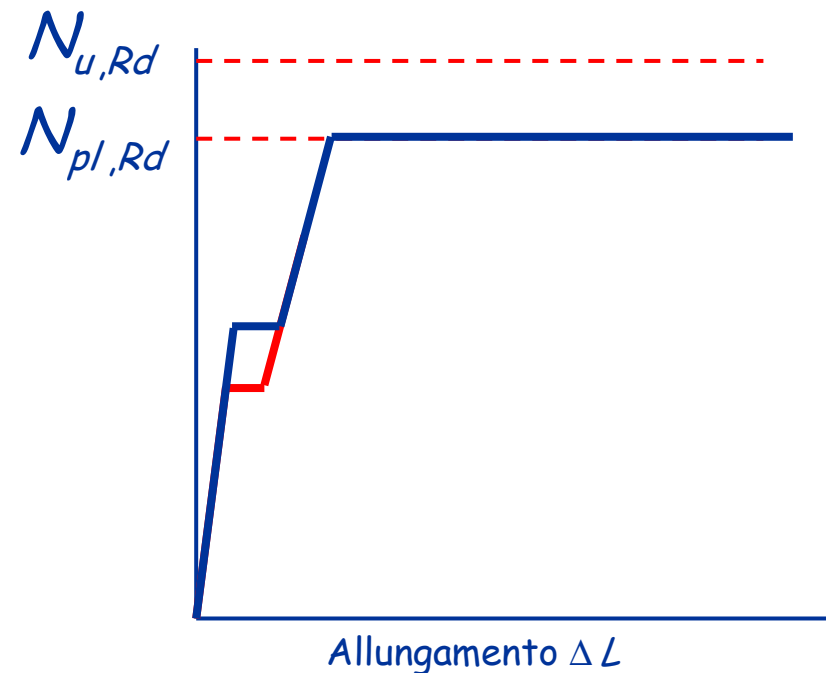


## Duttilità di aste tese: caso $N_{pl,Rd} < N_{u,Rd}$



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

L'asta è duttile



# Duttilità

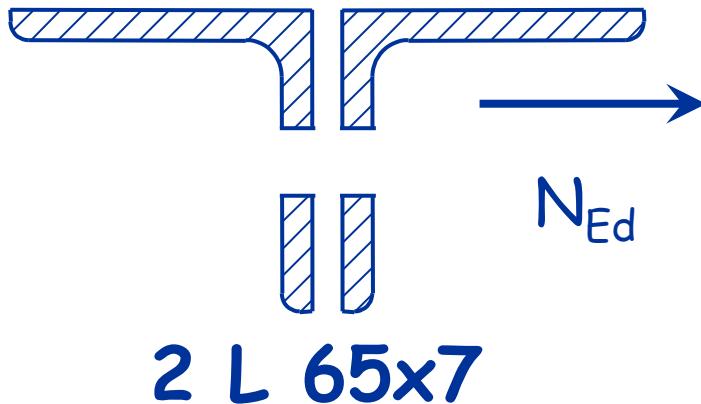
Il comportamento dell'asta (con fori) dipende da chi è più grande tra  $N_{pl,Rd}$  e  $N_{u,Rd}$

- 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

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

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.

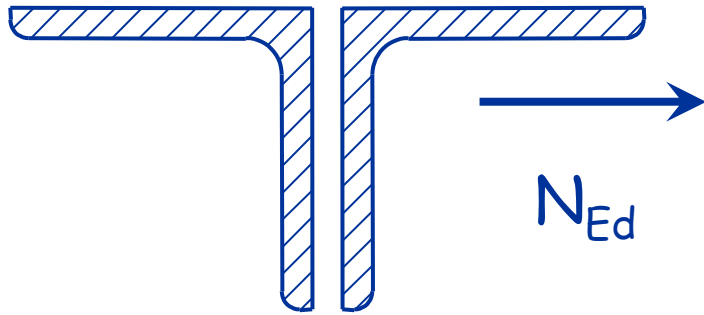
- 3 - Se esistono sezioni indebolite (per fori, intagli, ecc.) bisogna verificare anche che:

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



# Esempio

Dati:



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

Acciaio S235

Bulloni M14

Fori 15 mm

1 - Determinazione dell'area necessaria.

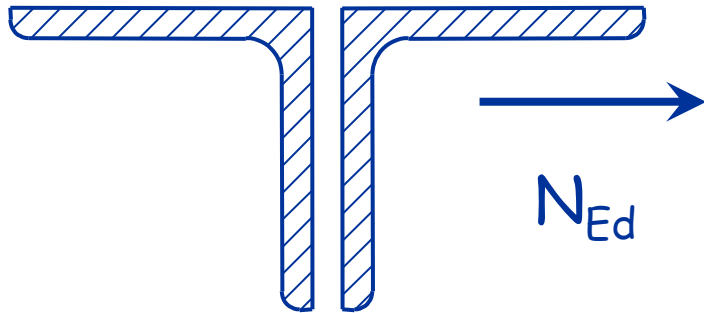
$$A = \frac{\gamma_{M0} N_{Ed}}{f_y} = \frac{339.9 \times 10^3}{235/1.05} = 1518 \text{ mm}^2$$

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.

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

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

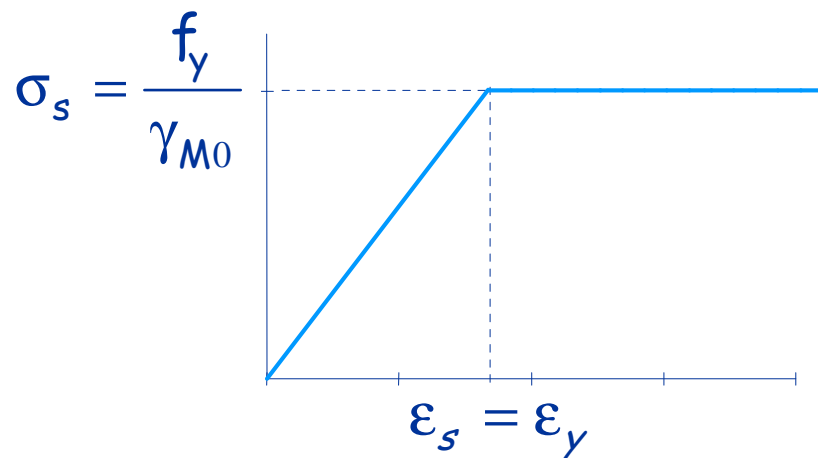
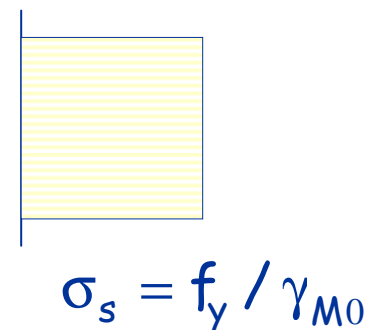
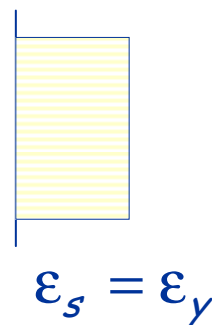
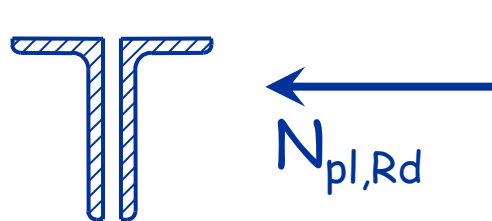
Anche la sezione indebolita è verificata

Sforzo normale  
Compressione

# Comportamento ultimo resistenza plastica della sezione



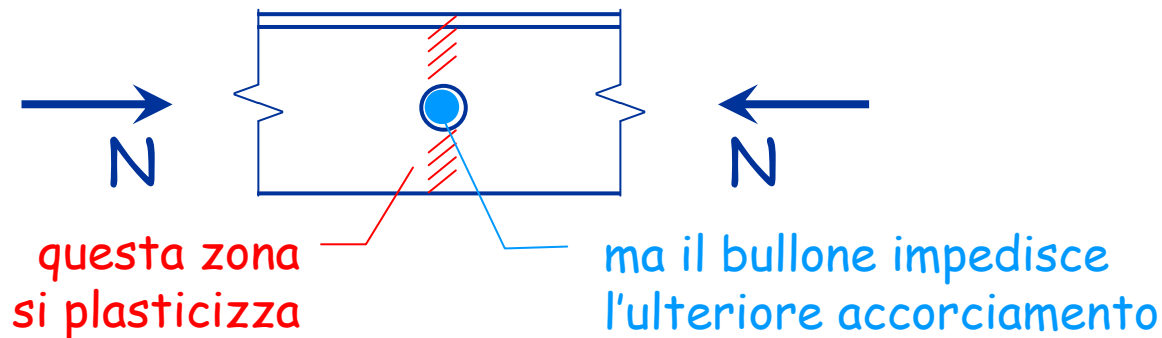
una sezione o un concio di  
asta tozzo tende ad  
accorciarsi plasticamente



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

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



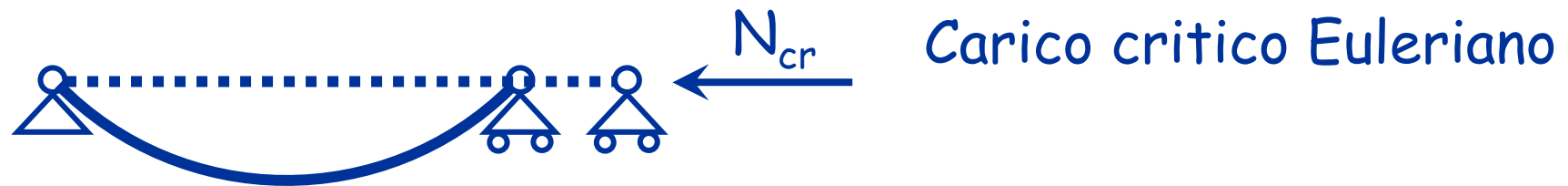
Plasticizzazione della  
sezione trasversale  
dell'asta



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:

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

$\lambda$  = snellezza dell'asta

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

$i$  = raggio d'inerzia della sezione

# Comportamento ultimo di un'asta ideale

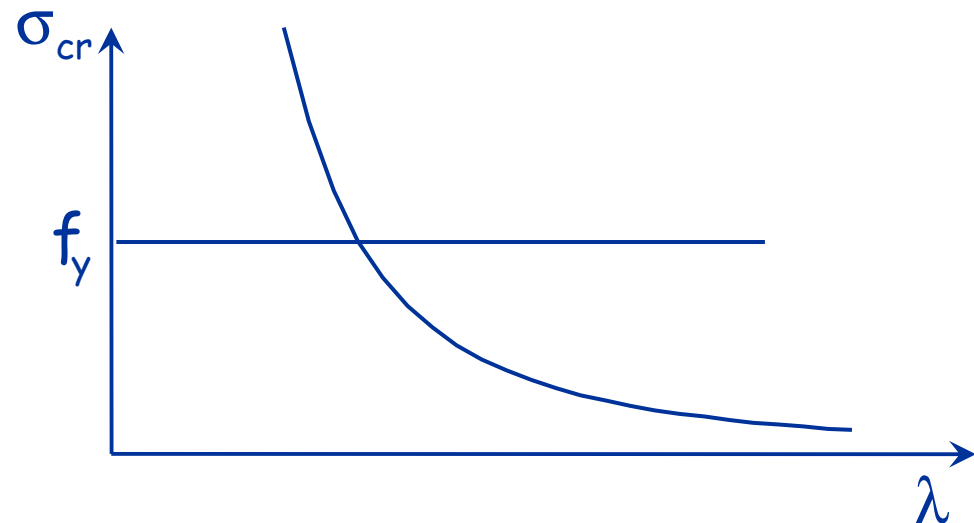
$$\sigma = \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

Instabilità dell'asta

inoltre

$$\sigma = f_y$$

Collasso plastico



# Verifica di un'asta ideale

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

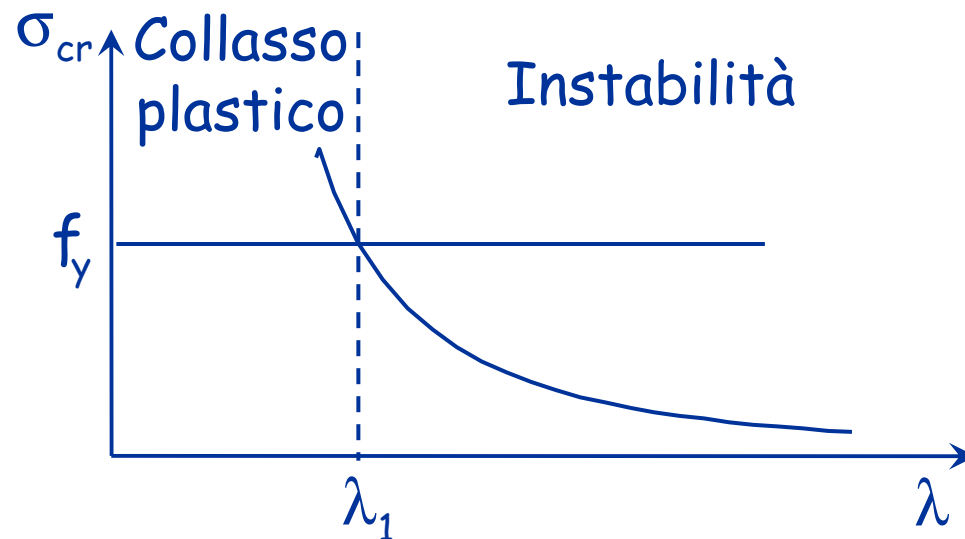
Instabilità dell'asta

inoltre

$$\sigma = f_y$$

Collasso plastico

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



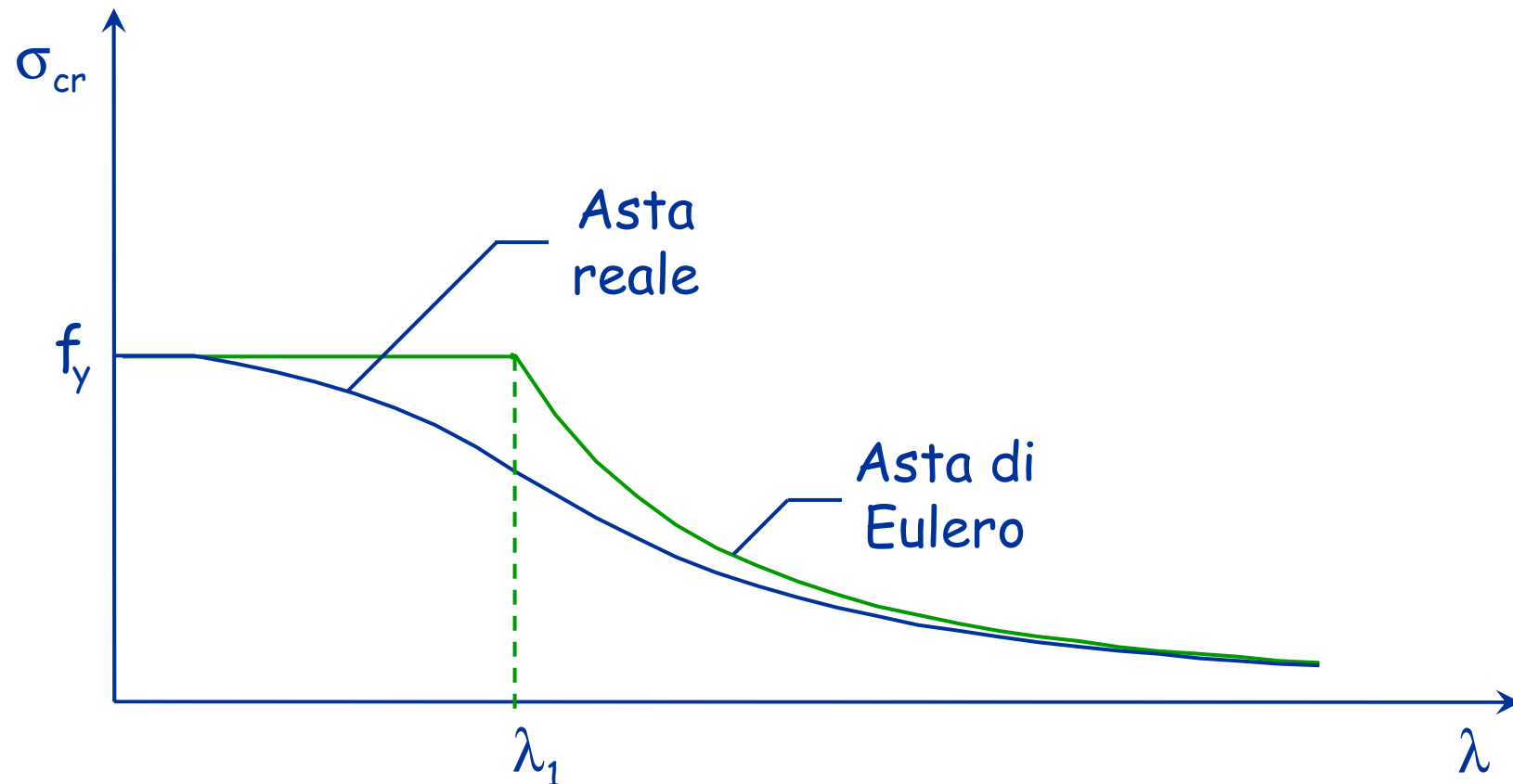
# Aste reali

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.

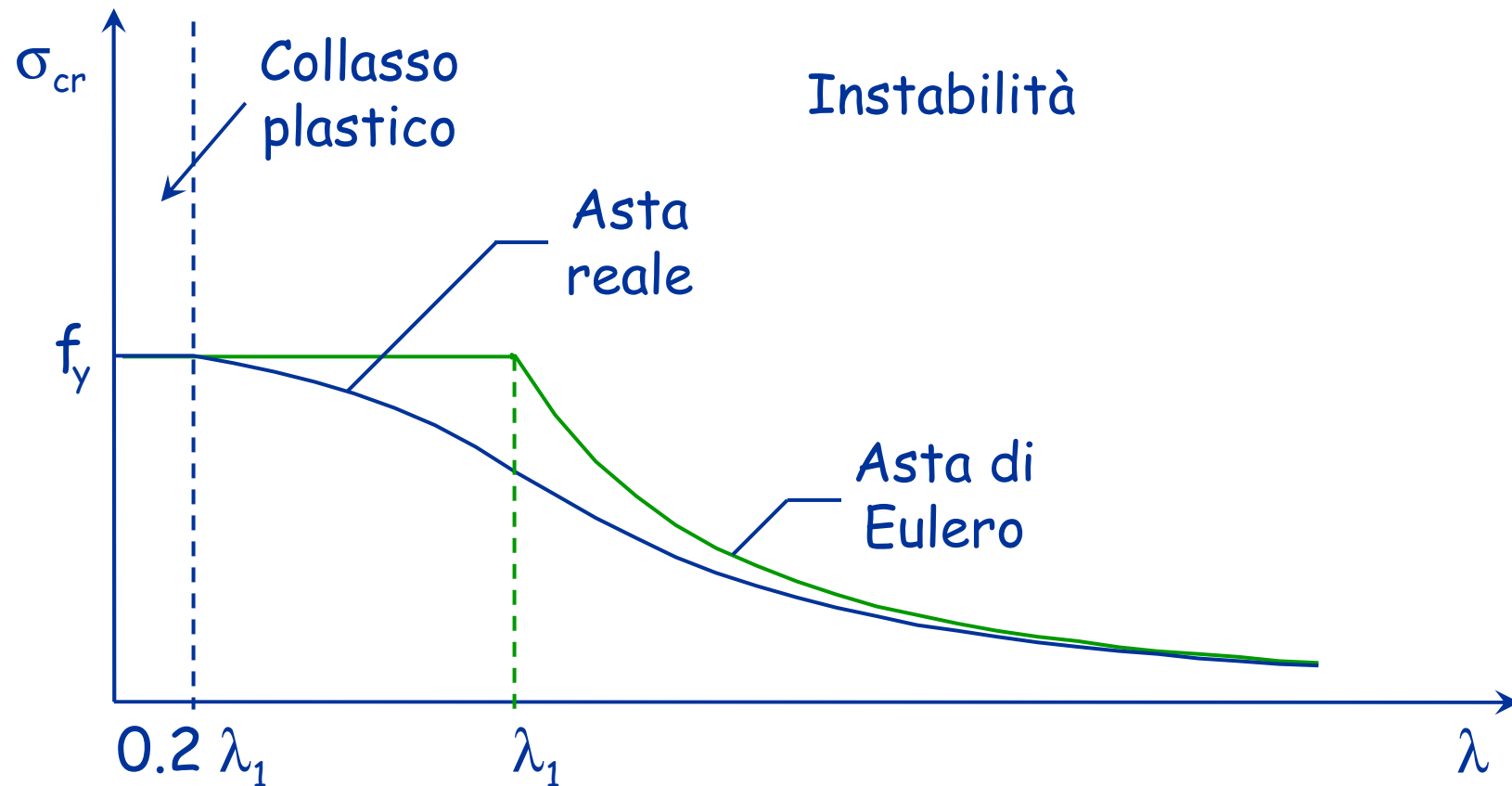
# Comportamento delle aste reali

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



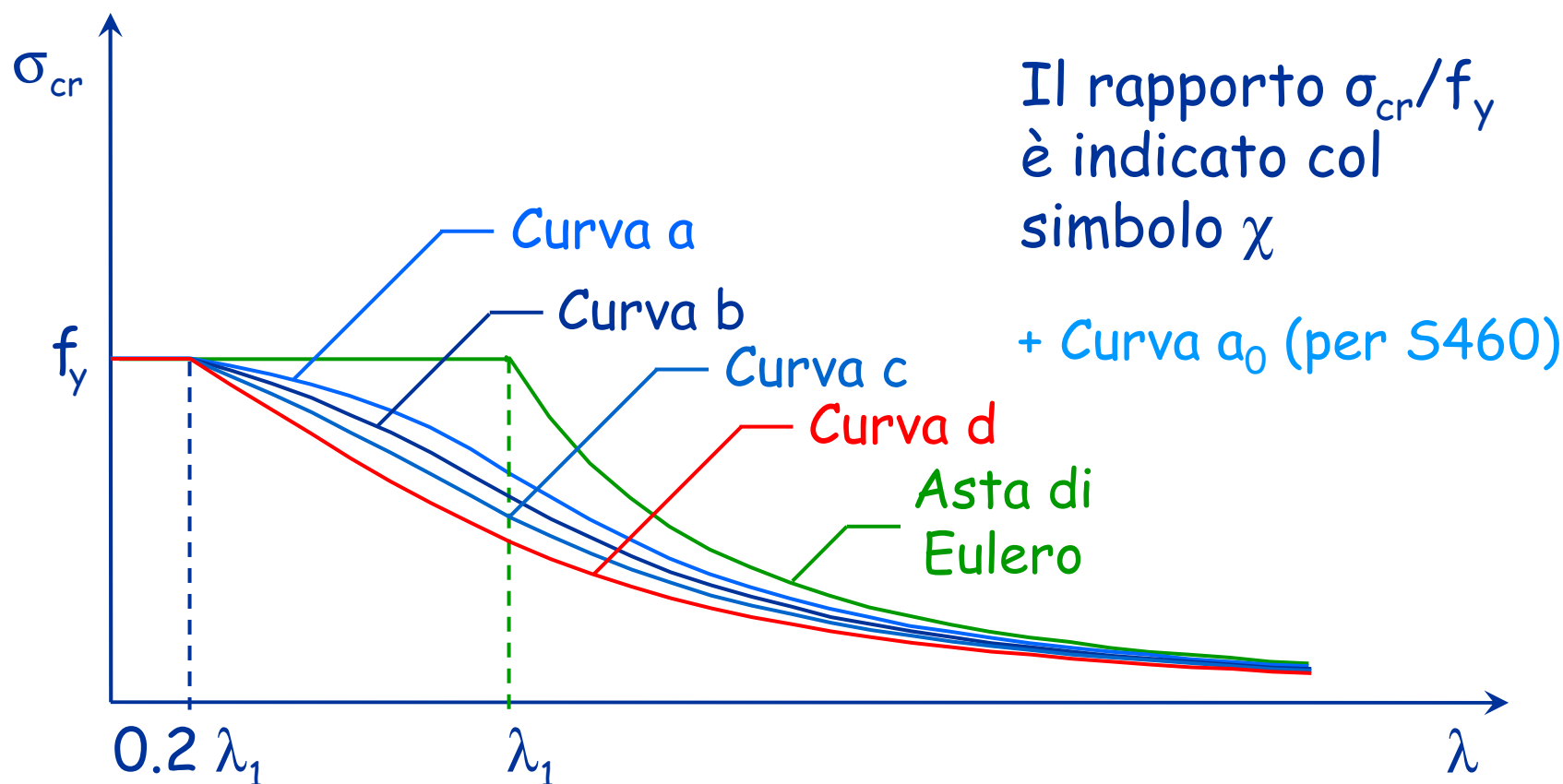
# Comportamento delle aste reali

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



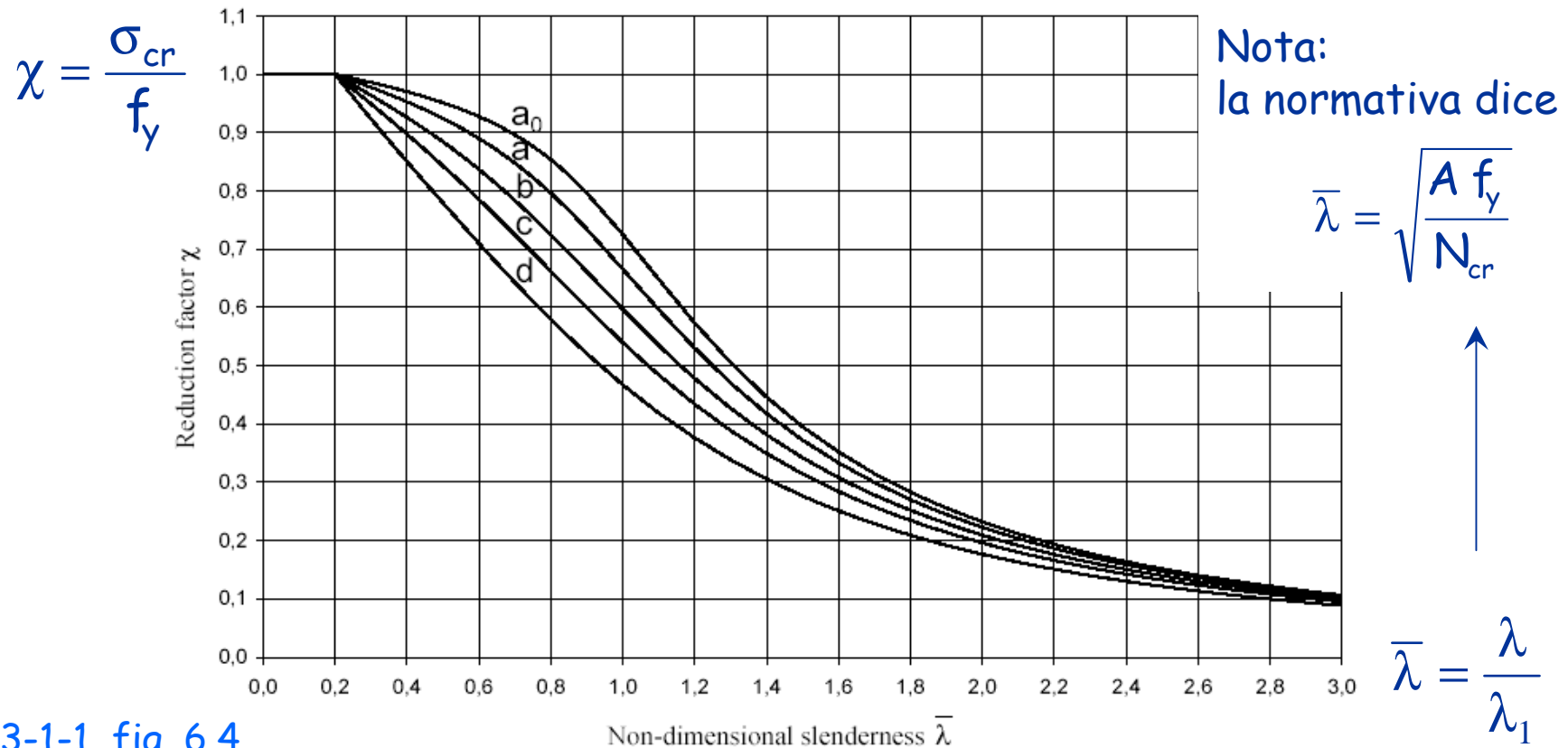
# Comportamento delle aste reali

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  $\chi$

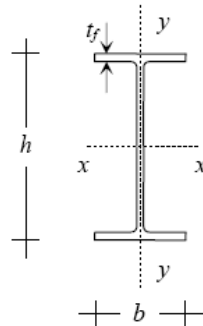
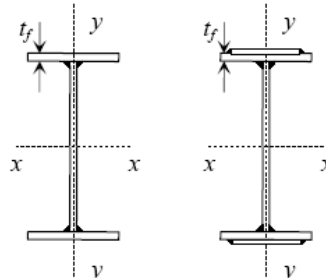
$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$$

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

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


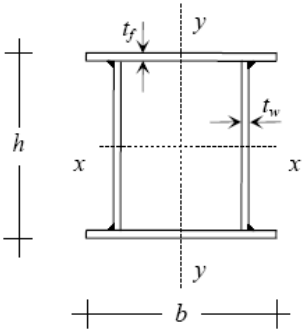
# Comportamento delle aste reali

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

			Curva di stabilità per:			
			S235			
			S275			
			S355			
			S420			
			S460			
Tipo di sezione			Limiti	Asse di inflexione		
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	

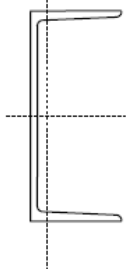
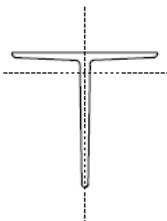
# Comportamento delle aste reali

- 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 <sub>0</sub>
		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

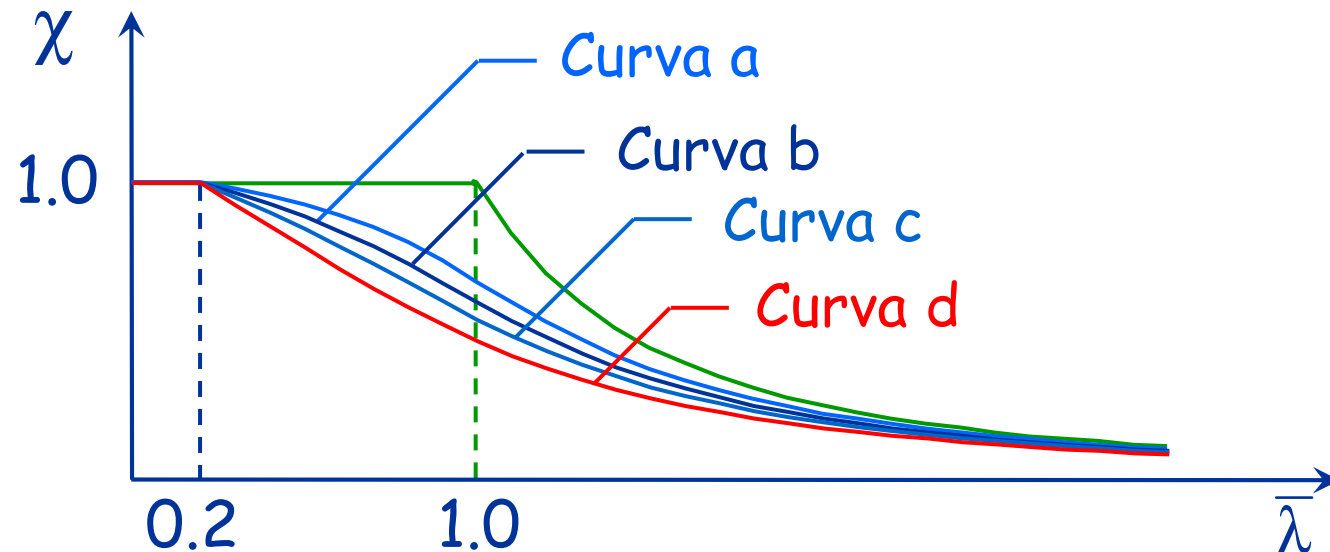
## Verifica - stato limite ultimo

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

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

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

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

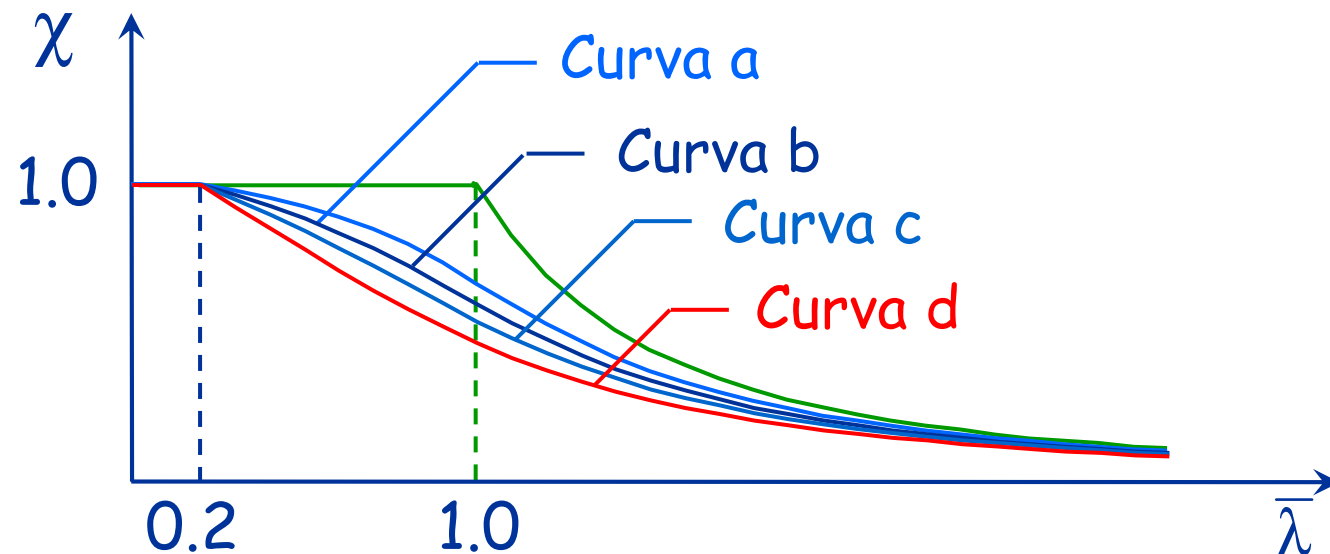


# Verifica - stato limite ultimo

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

Resistenza all'instabilità

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



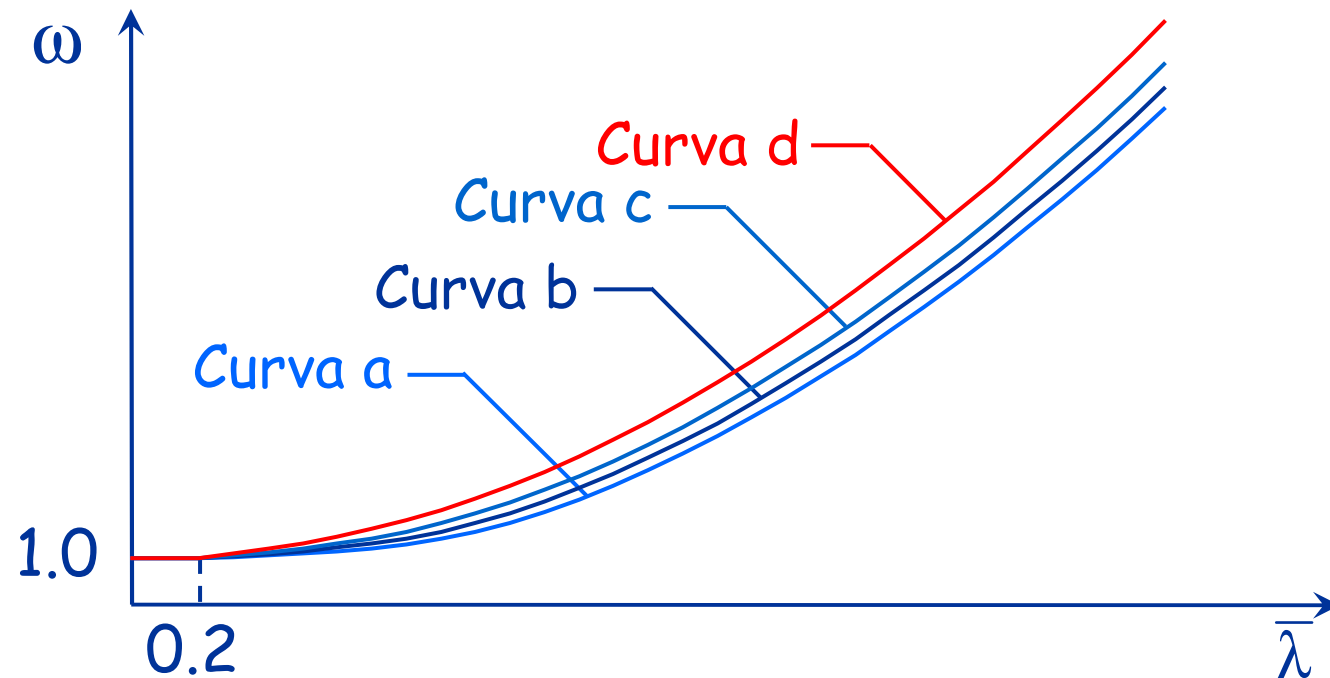
NTC 08, punto 4.2.4.1.3.1

## 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

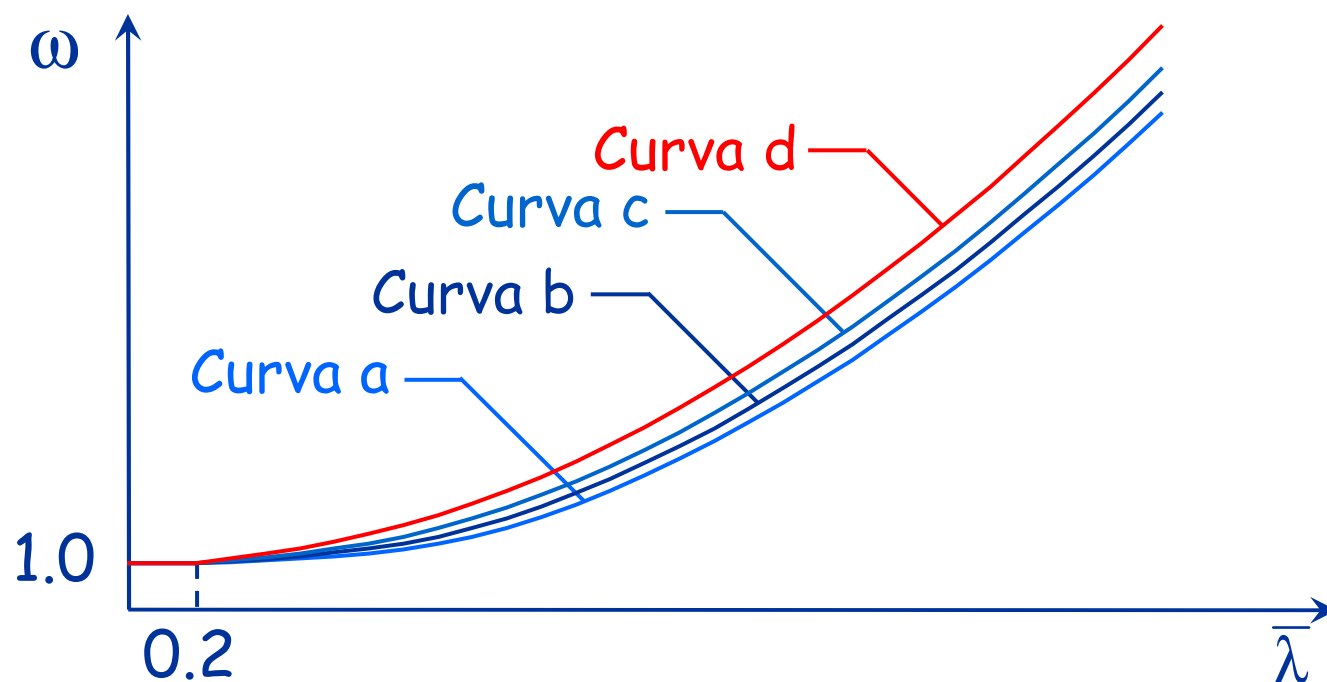
$$\sigma = \frac{N}{A} \leq \sigma_{cr} \leq \frac{\sigma_{cr}}{f_y} f_y \leq \frac{f_y}{\omega}$$

Applicando il coefficiente di sicurezza a  $f_y$  ...

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

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

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



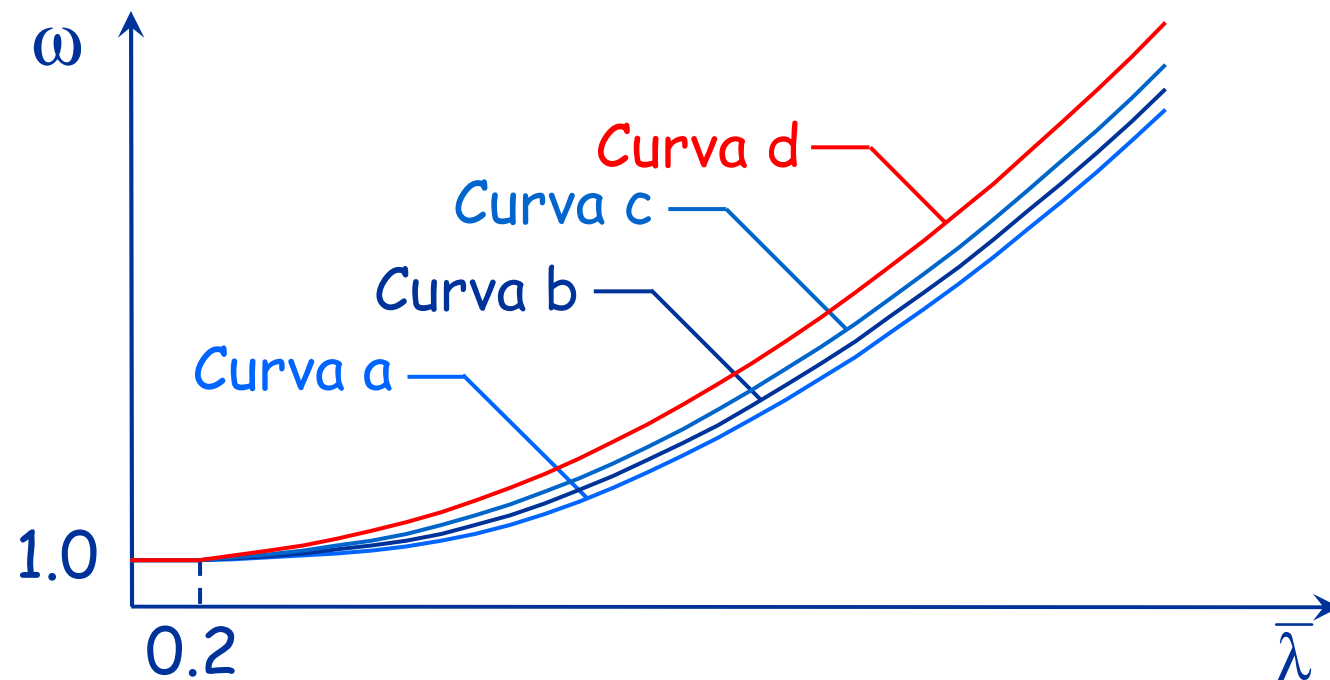


# Verifica - tensioni ammissibili

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

Sforzo normale ammissibile

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



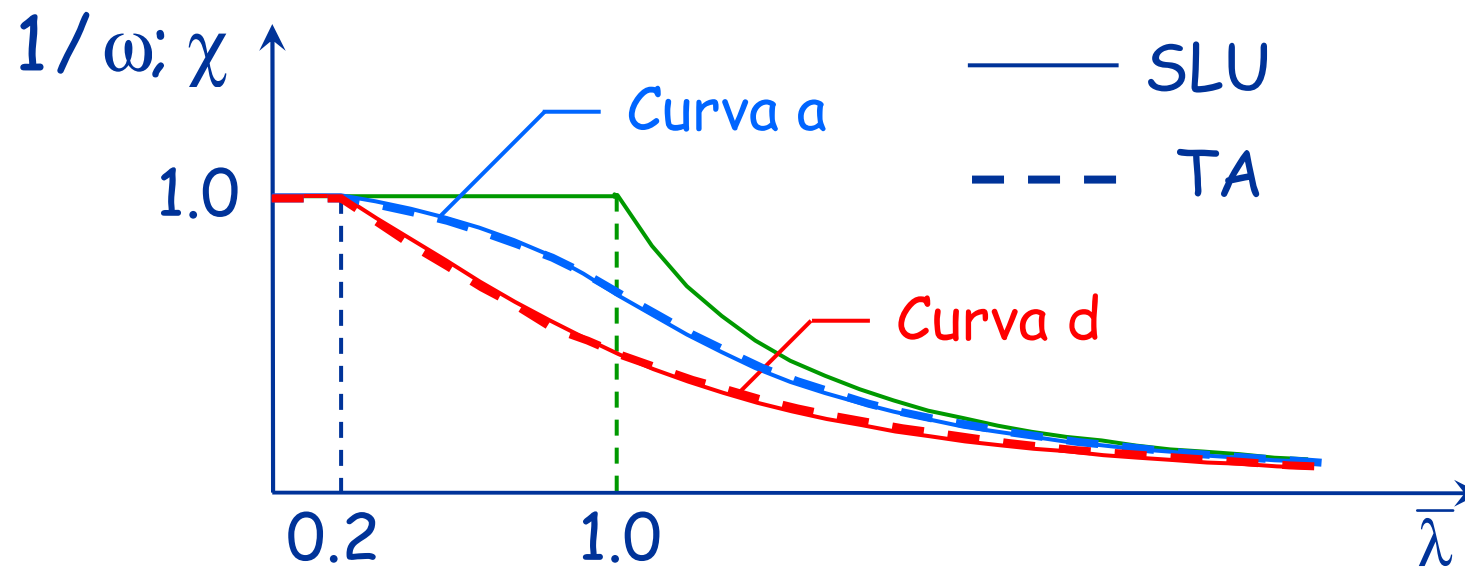
# Verifica - confronto

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

TA

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

SLU



# Verifica - confronto

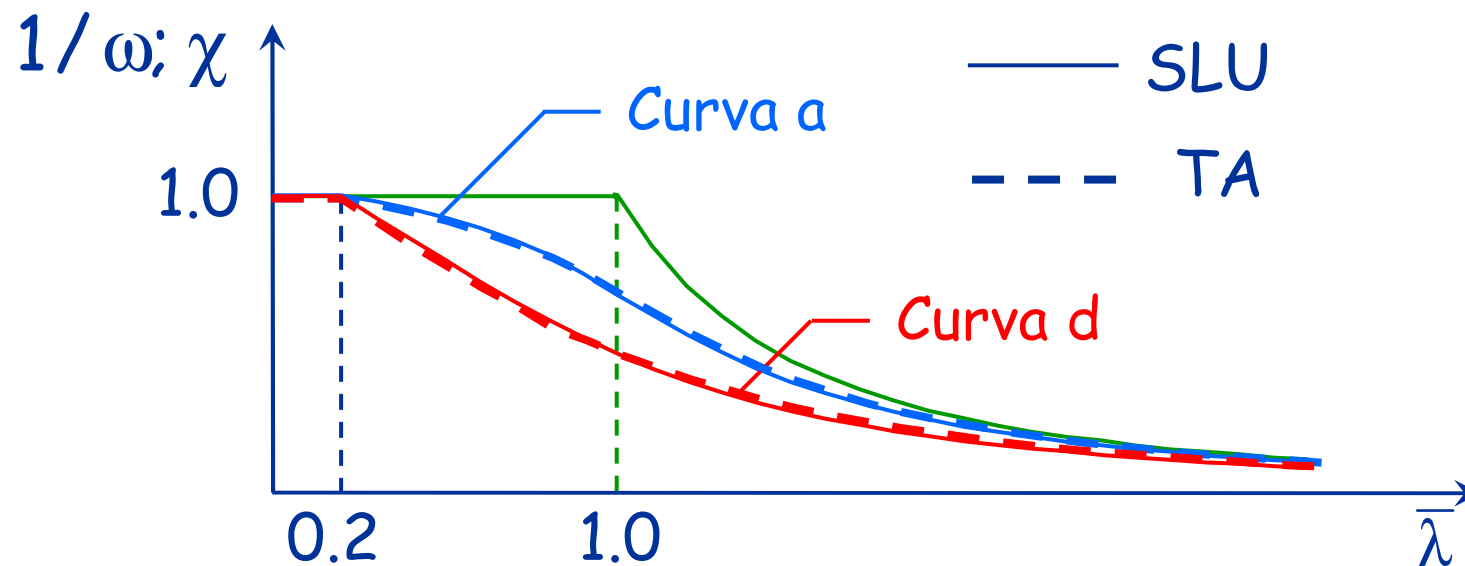
$$N_{\max} = \frac{1}{\omega} \frac{\bar{\sigma} A}{160}$$

$$160 \times 1.4 = 224$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \frac{f_y A}{\gamma_{M1}}}{1.05}$$

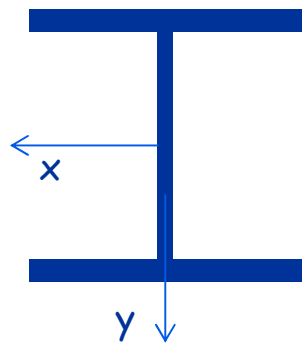
$$235 / 1.05 = 224$$

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

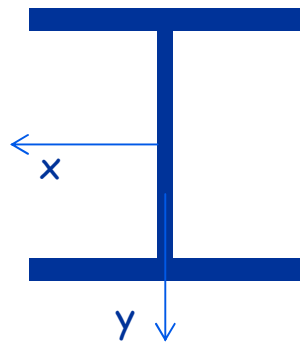
Piano di maggiore snellezza: xz

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

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

# Esempio

Dati:



HE 240 A



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

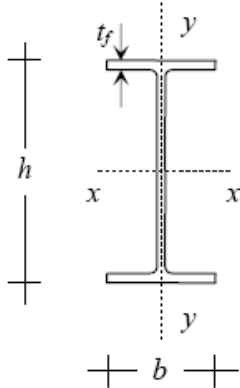
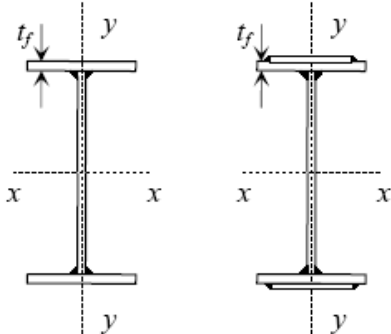
Acciaio S235

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

(uguale nei due piani)

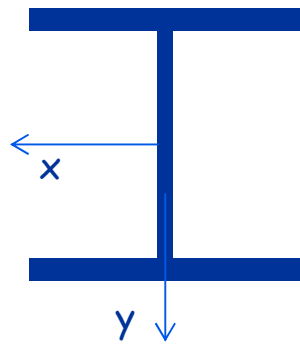
2 - Individuazione della curva di instabilità

# 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 <sub>0</sub>
		$h/b \leq 1.2$	$t_f > 40 \text{ mm}$	$y - y$	b	a <sub>0</sub>
			$t_f \leq 100 \text{ mm}$	$x - x$	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

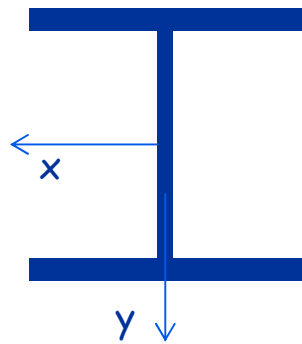
curva c

$$\alpha = 0.49$$

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

# Esempio

Dati:



HE 240 A



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

Acciaio S235

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

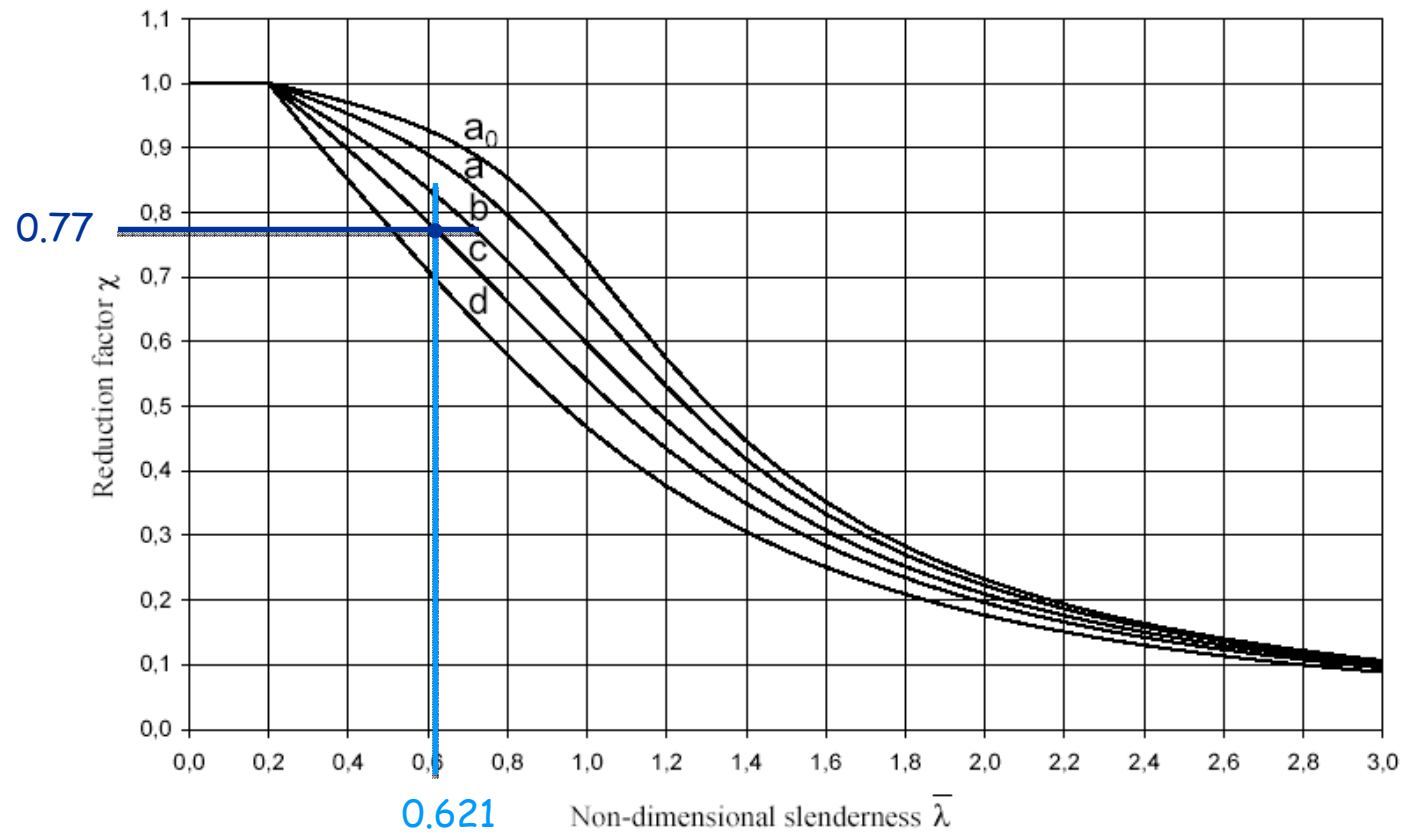
(uguale nei due piani)

3 - Determinazione di  $\chi$



# Esempio

- Graficamente



## Esempio

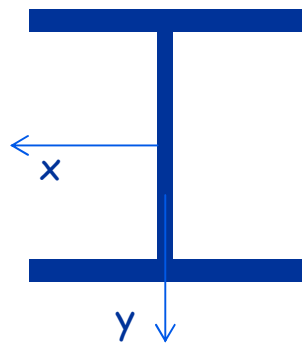
- Analiticamente  $\bar{\lambda} = 0.621$   $\alpha = 0.49$

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

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

# 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  $\chi$

$$\chi = 0.7728$$

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

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

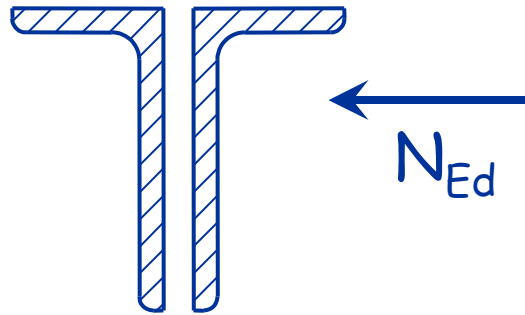
- 1 - Si assegna a  $\chi$  un valore di tentativo e si ottiene la formula di progetto della sezione invertendo l'espressione di verifica

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

- 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

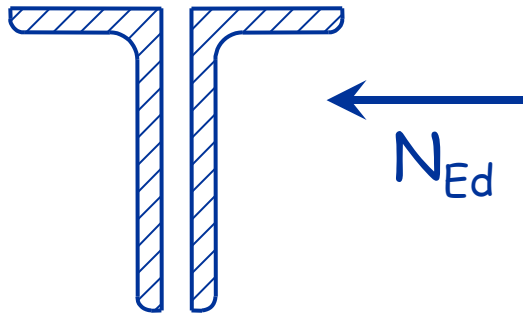
$$\chi = 0.6 \quad \Rightarrow \quad A = \frac{N_{Ed}}{\chi f_y / \gamma_{M1}} = \frac{342.9 \times 10^3}{0.6 \times 235 / 1.05} = 2554 \text{ mm}^2$$

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

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

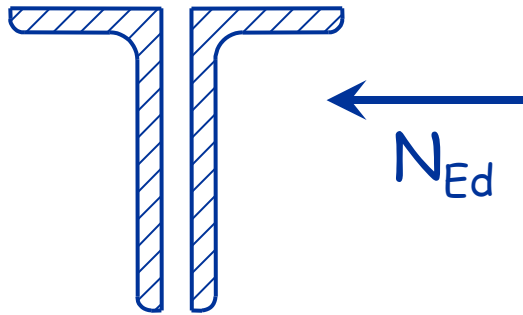
$$\lambda_{sp} = \frac{l_0/3}{i_{sp}} = \frac{600}{12.7} = 47.2$$

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

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

# 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)

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