

Corso di aggiornamento

## Elementi strutturali e collegamenti in acciaio

5 - Instabilità locale e classificazione delle sezioni

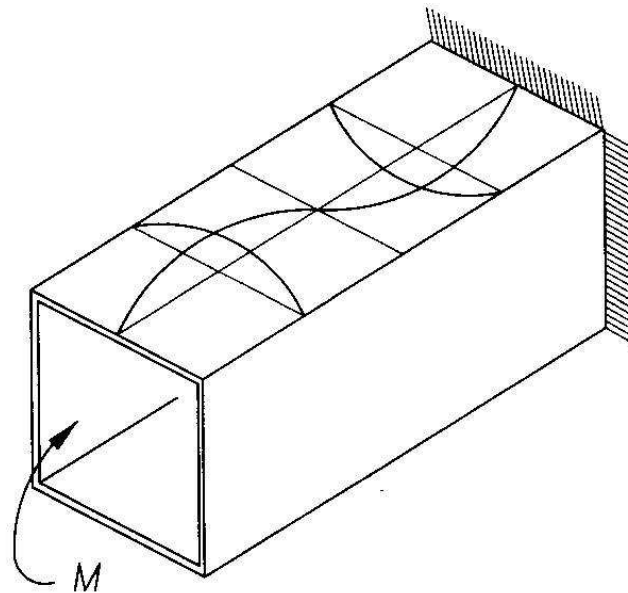
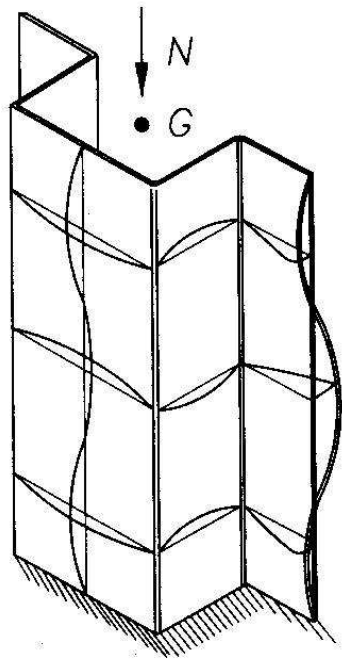
Villa Redenta, Spoleto

2-4 marzo 2017

Aurelio Ghersi

# Instabilità locale (imbozzamento)

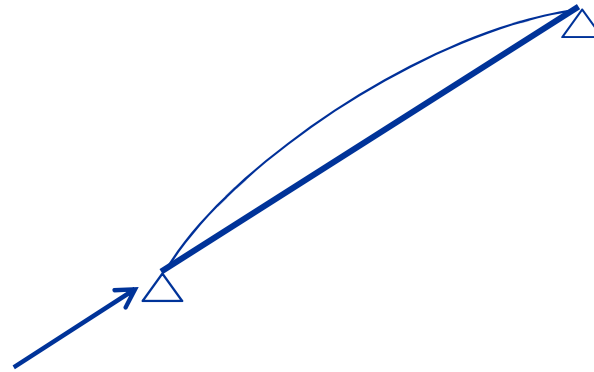
- Interessa le parti compresse della sezione trasversale dell'elemento
- Dimensione delle semionde comparabile con le dimensioni trasversali della sezione



# Instabilità locale (imbozzamento)

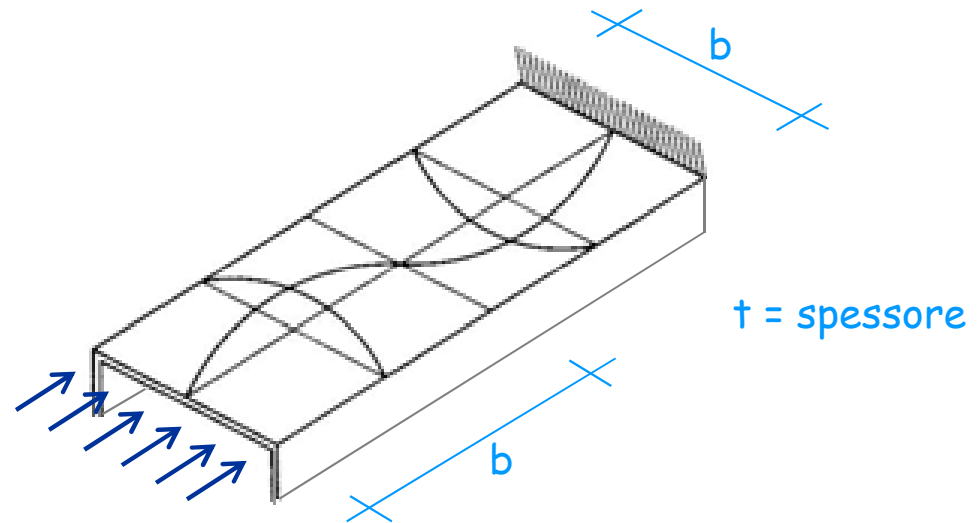
- Asta compressa

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(l_0 / i)^2}$$



- Lastra compressa

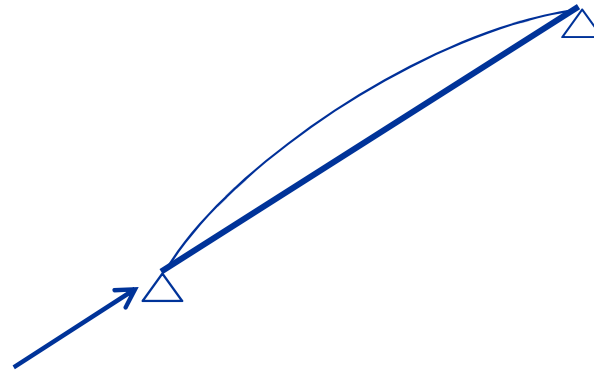
$$\sigma_{cr} = \frac{k \pi^2 E}{12 (1 - \nu^2) (b / t)^2}$$



# Comportamento post-critico

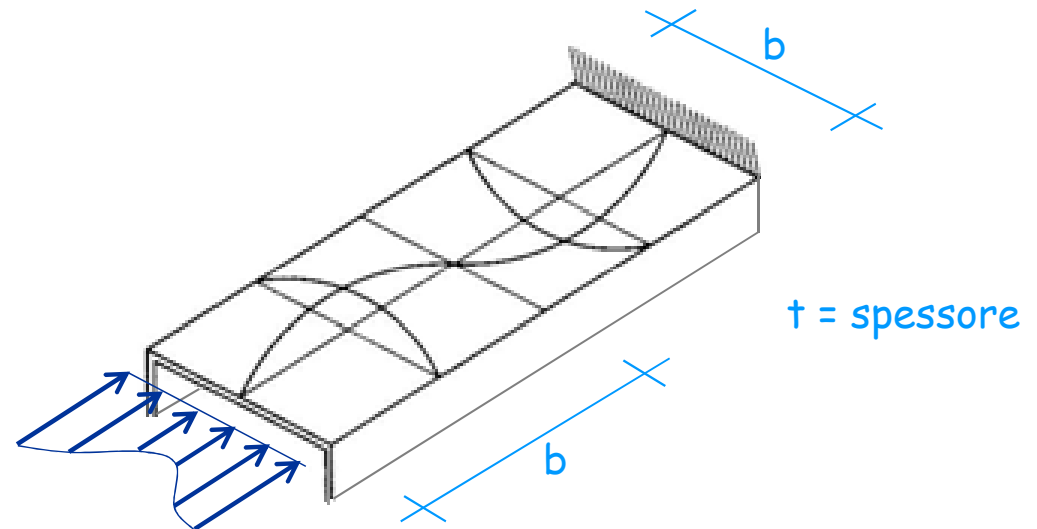
- Asta compressa

la tensione non cresce più



- Lastra compressa

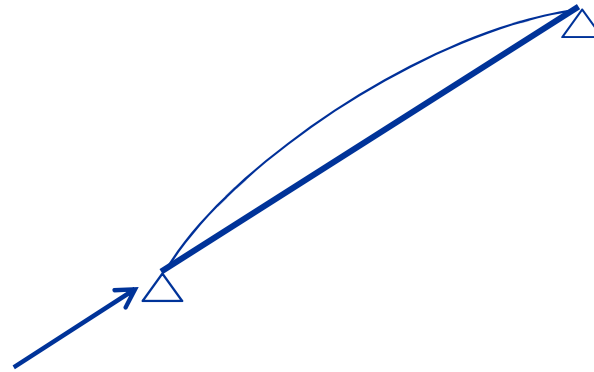
la tensione cresce,  
ma in maniera non uniforme



# Comportamento post-critico

- Asta compressa

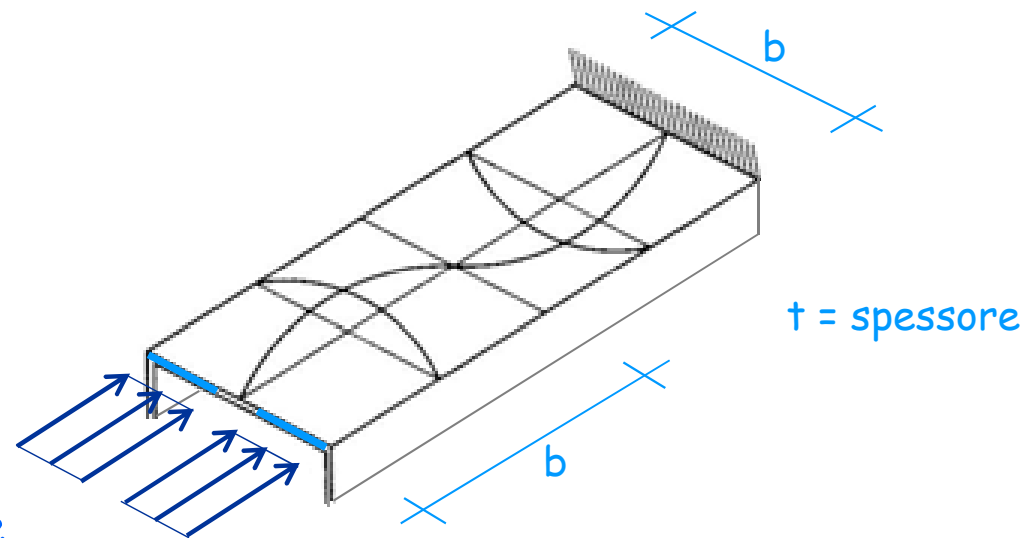
la tensione non cresce più



- Lastra compressa

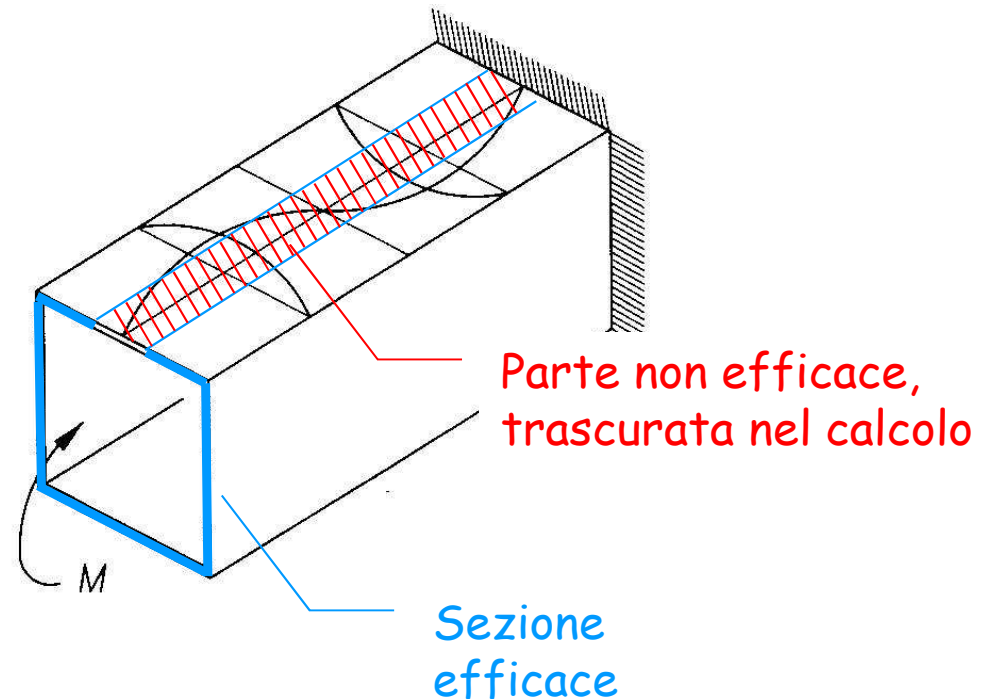
la tensione cresce,  
ma in maniera non uniforme

si ipotizza di avere tensione  
costante, pari al valore massimo,  
per un tratto minore  $b_{eff}$  (larghezza efficace)



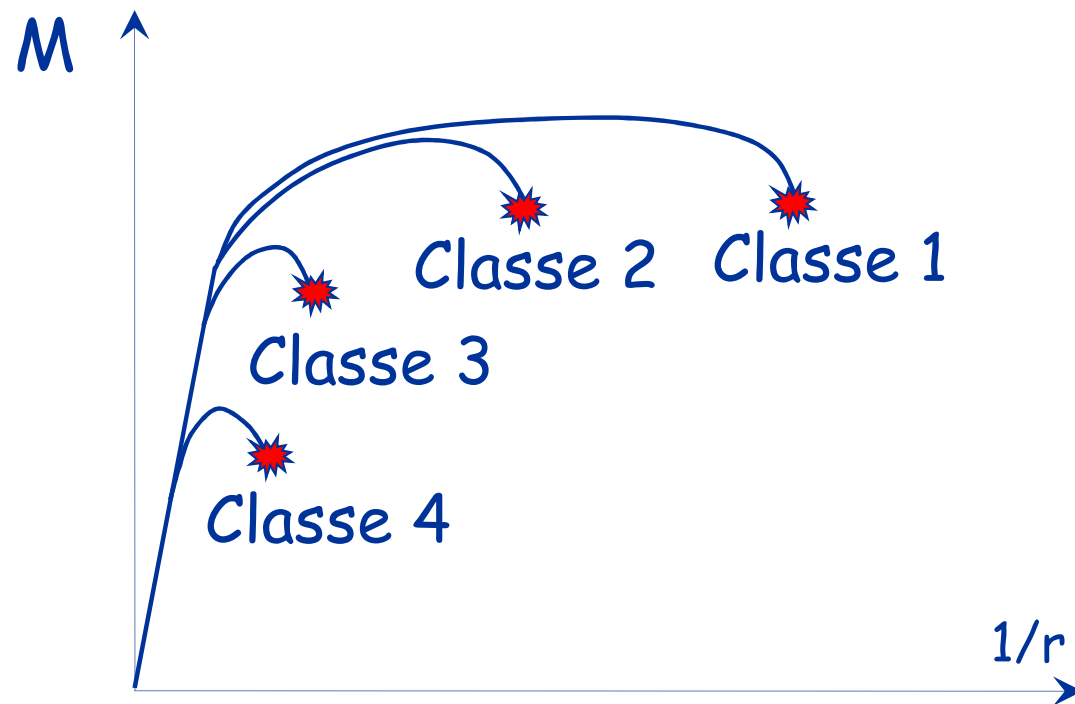
# Instabilità locale (imbozzamento)

- Interessa le parti compresse della sezione trasversale dell'elemento
- Dimensione delle semionde comparabile con le dimensioni trasversali della sezione
- Se ne può tener conto considerando efficace solo una parte della sezione compressa
- Ciò può comportare una riduzione della capacità resistente e della duttilità



# Classificazione delle sezioni

La classificazione è finalizzata soprattutto alle sezioni inflesse



# Classificazione delle sezioni

## Resistenza

È finalizzata soprattutto alle sezioni inflesse

- **Classe 1 - sezioni compatte**  
sezioni in grado di raggiungere il momento di piena plasticizzazione (momento plastico)
- **Classe 2 - sezioni compatte**  
sezioni in grado di raggiungere il momento di piena plasticizzazione (momento plastico)
- **Classe 3 - sezioni moderatamente snelle**  
sezioni in cui si può raggiungere la tensione di snervamento, ma l'instabilità impedisce di raggiungere il momento plastico
- **Classe 4 - sezioni snelle**  
sezioni in cui l'instabilità avviene prima del raggiungimento della tensione di snervamento



# Classificazione delle sezioni

## Duttilità

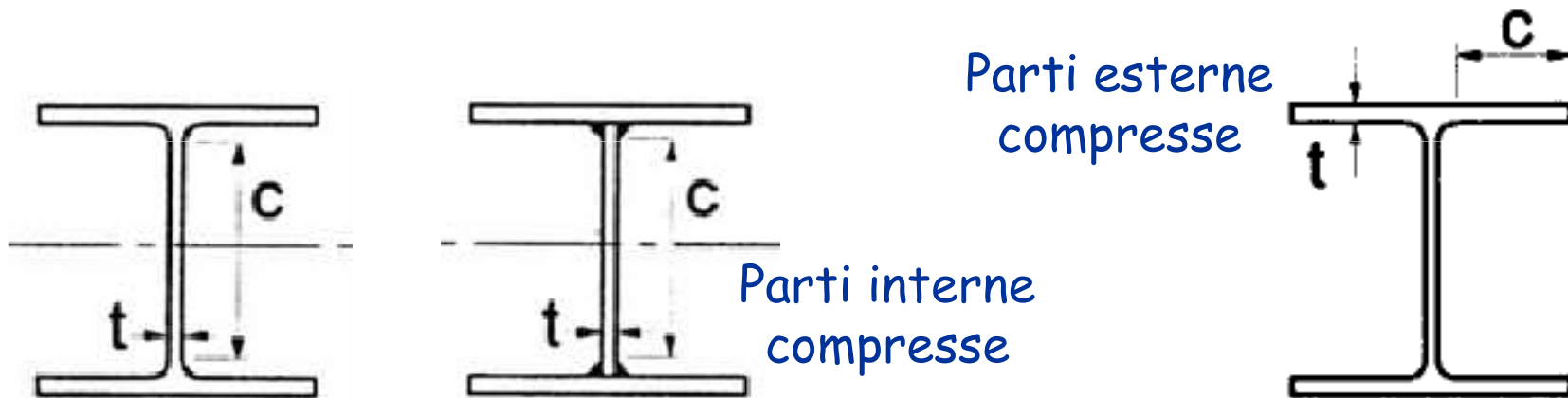
Capacità rotazionale:  $C_{\vartheta} = \vartheta_r / \vartheta_y - 1$

- **Classe 1 - sezioni compatte**  $C_{\vartheta} \geq 3$   
sezioni in grado di sviluppare una cerniera plastica avente **capacità rotazionale elevata**, senza riduzione di resistenza
- **Classe 2 - sezioni compatte**  $C_{\vartheta} \geq 1.5$   
sezioni in grado di sviluppare una cerniera plastica con **limitata capacità rotazionale**, senza riduzione di resistenza
- **Classe 3 - sezioni moderatamente snelle**  
sezioni in cui si può raggiungere la tensione di snervamento, ma l'instabilità impedisce di raggiungere il momento plastico
- **Classe 4 - sezioni snelle**  
sezioni in cui l'instabilità avviene prima del raggiungimento della tensione di snervamento

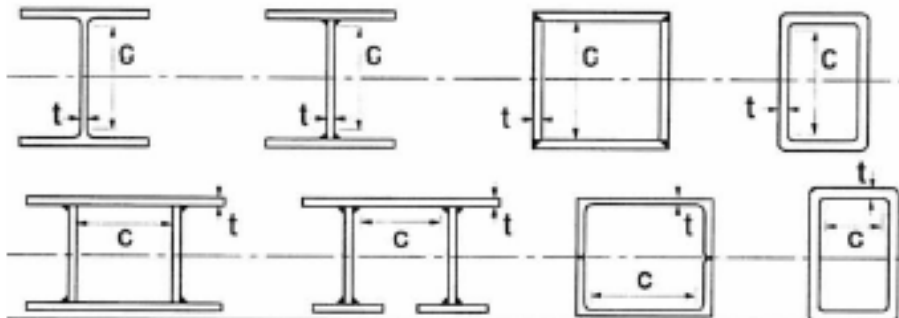
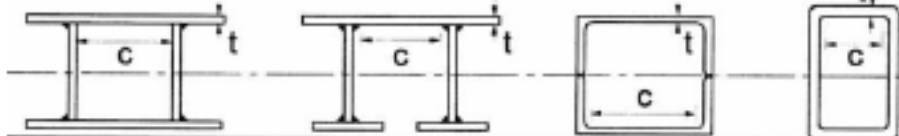
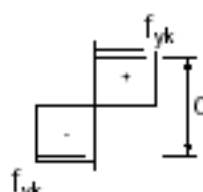
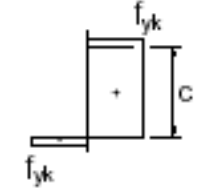
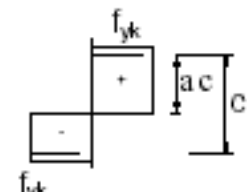
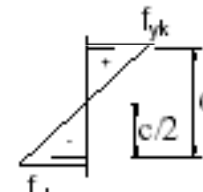
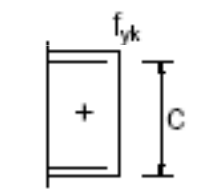
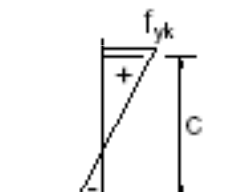
# Classificazione delle sezioni

È finalizzata soprattutto alle sezioni inflesse

La classificazione viene effettuata sulla base della geometria della sezione  
(rapporto  $c/t$  tra lunghezza e spessore degli elementi che costituiscono la sezione)

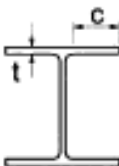

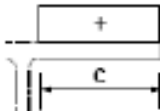
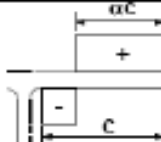
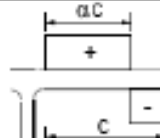
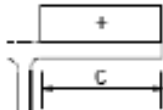
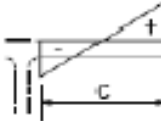
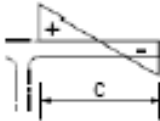


# Parti interne compresse

				Inflessione intorno all'asse		
				Inflessione intorno all'asse		
Parti interne compresse						
Classe	Parte soggetta a flessione		Parte soggetta a compressione		Parte soggetta a flessione e a compressione	
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
1	$e/t \leq 72\epsilon$		$e/t \leq 33\epsilon$		quando $\alpha > 0,5: c/t \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{36\epsilon}{\alpha}$	
2	$e/t \leq 83\epsilon$		$e/t \leq 38\epsilon$		quando $\alpha > 0,5: c/t \leq \frac{456\epsilon}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{41,5\epsilon}{\alpha}$	
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
3	$e/t \leq 124\epsilon$		$e/t \leq 42\epsilon$		quando $\psi > -1: c/t \leq \frac{42\epsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ quando $\psi \leq -1: c/t \leq 62\epsilon(1 - \psi)\sqrt{-\psi}$	
$\epsilon = \sqrt{235 / f_{yk}}$	$f_{yk}$	235	275	355	420	460
	$\epsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

\*)  $\psi \leq -1$  si applica se la tensione di compressione  $\sigma \leq f_{yk}$  o la deformazione a trazione  $\epsilon_y > f_{yk}/E$

# Parti esterne comprese

Piattabande esterne						
						
Profilati laminati a caldo			Sezioni saldate			
Classe	Piattabande esterne soggette a compressione	Piattabande esterne soggette a flessione e a compressione				
		Con estremità in compressione		Con estremità in trazione		
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$		$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$		$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
3	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_\sigma}$ Per $k_\sigma$ vedere EN 1993-1-5				
$\epsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	$f_{yk}$	235	275	355	420	460
	$\epsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

# Classificazione delle sezioni

## Esempio

- Profilo HE 240 A, soggetto a flessione

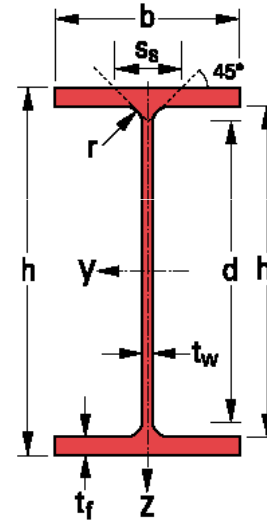
$$h = 230 \text{ mm}$$

$$t_f = 12 \text{ mm}$$

$$b = 240 \text{ mm}$$

$$t_w = 7.5 \text{ mm}$$

$$r = 21 \text{ mm}$$



Ala compressa

$$c = \frac{1}{2}(b - t_w - 2 r) = 95.25 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = 7.94$$

Per acciaio S 235

Ala: Classe 1

$\varepsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	$f_{yk}$	235	275	355
	$\varepsilon$	1,00	0,92	0,81

Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)	
1	$c/t \leq 9\varepsilon$ <b>9</b>
2	$c/t \leq 10\varepsilon$ <b>10</b>
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)	
3	$c/t \leq 14\varepsilon$ <b>14</b>

# Classificazione delle sezioni

## Esempio

- Profilo HE 240 A, soggetto a flessione

$$h = 230 \text{ mm}$$

$$b = 240 \text{ mm}$$

$$r = 21 \text{ mm}$$

$$t_f = 12 \text{ mm}$$

$$t_w = 7.5 \text{ mm}$$

Anima

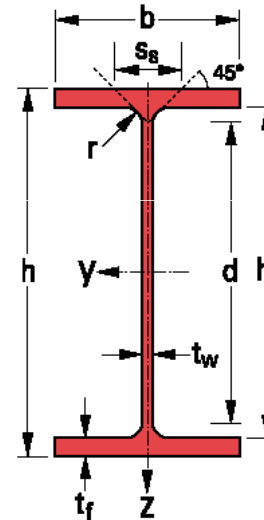
$$c = h - 2 t_f - 2 r = 164 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_w} = 21.9$$

Per acciaio S 235

Anima: Classe 1

Il profilo è di Classe 1



Classe	Parte soggetta a flessione
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)	
1	$c/t \leq 72\varepsilon$ <b>72</b>
2	$c/t \leq 83\varepsilon$ <b>83</b>
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)	
3	$c/t \leq 124\varepsilon$ <b>124</b>

$\varepsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	$f_{yk}$	235	275	355
	$\varepsilon$	<b>1,00</b>	0,92	0,81

# Classificazione delle sezioni

## Esempio

- Profilo HE 240 A, soggetto a flessione

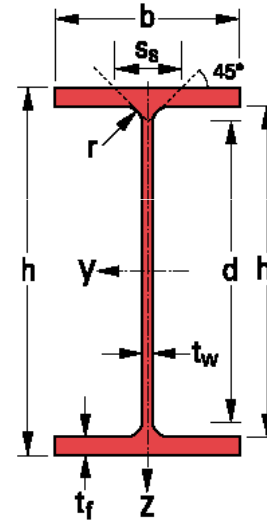
$$b = 240 \text{ mm}$$

$$t_f = 12 \text{ mm}$$

$$h = 230 \text{ mm}$$

$$t_w = 7.5 \text{ mm}$$

$$r = 21 \text{ mm}$$



Ala compressa

$$c = \frac{1}{2}(b - t_w - 2 r) = 95.25 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = 7.94$$

Per acciaio S 355

Ala: Classe 2

$\varepsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	$f_{yk}$	235	275	355
	$\varepsilon$	1,00	0,92	0,81

Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)	
1	$c/t \leq 9\varepsilon$ 7.32
2	$c/t \leq 10\varepsilon$ 8.14
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)	
3	$c/t \leq 14\varepsilon$ 11.39

# Classificazione delle sezioni

## Esempio

- Profilo HE 240 A, soggetto a flessione

$$b = 230 \text{ mm}$$

$$h = 240 \text{ mm}$$

$$r = 21 \text{ mm}$$

$$t_f = 12 \text{ mm}$$

$$t_w = 7.5 \text{ mm}$$

Anima

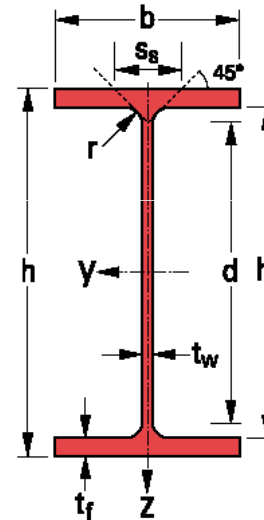
$$c = h - 2 t_f - 2 r = 164 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_w} = 21.9$$

Per acciaio S 355

Anima: Classe 1

Il profilo è di Classe 2



Classe	Parte soggetta a flessione
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)	
1	$c/t \leq 72\varepsilon$ <b>58.6</b>
2	$c/t \leq 83\varepsilon$ <b>67.5</b>
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)	
3	$c/t \leq 124\varepsilon$ <b>100.9</b>

$\varepsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	$f_{yk}$	235	275	355
	$\varepsilon$	1,00	0,92	0,81



# Classificazione delle sezioni considerazioni (1)

- La maggior parte dei profili sono di classe 1
- Sono di classe superiore alcuni profili alleggeriti (A, AA) o profili in acciaio molto resistente
- I sagomari più recenti riportano la classificazione delle sezioni

Attenzione: vi sono state modifiche alla classificazione - i sagomari potrebbero non essere aggiornati

Désignation Designation Bezeichnung	G kg/m	Classification ENV 1993-1-1					
		pure bending y-y			pure compression		
		S 235	S 355	S 460	S 235	S 355	S 460
HE 100 AA	12.2	1	3	-	1	3	-
HE 100 A	16.7	1	1	-	1	1	-
HE 100 B	20.4	1	1	-	1	1	-
HE 100 M	41.8	1	1	-	1	1	-

Nel file Excel Sagomario\_aggiornato (con classi), foglio HE-HL è riportata la classificazione aggiornata

# Classificazione delle sezioni

## considerazioni (2)

- La classificazione è importante per la flessione
  - la distinzione tra classe 1 e 2 riguarda solo la duttilità
  - le classi 3 e 4 hanno resistenza minore rispetto alle classi 1 e 2
- Nel caso di sforzo normale (compressione) le classi 1, 2 e 3 sono equivalenti
  - la classe 4 ha resistenza minore rispetto alle classi 1, 2 e 3
- I profili sottili appartengono alla classe 4; ma per loro ci sono regole specifiche:  
Eurocodice 3, parte 1-3