Corso di aggiornamento professionale:

Progetto di aste e collegamenti in acciaio

secondo le indicazioni del capitolo 4 delle NTC 2008

4 – Instabilità locale e classificazione delle sezioni

Parma

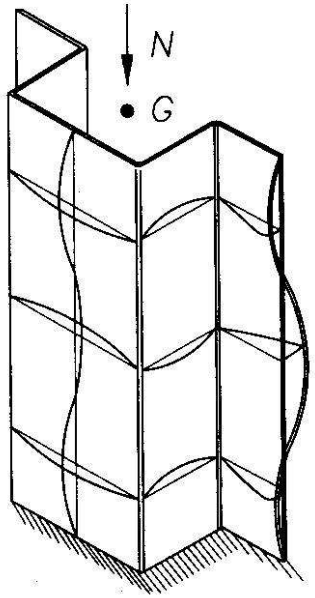
11, 12 e 25 novembre 2011

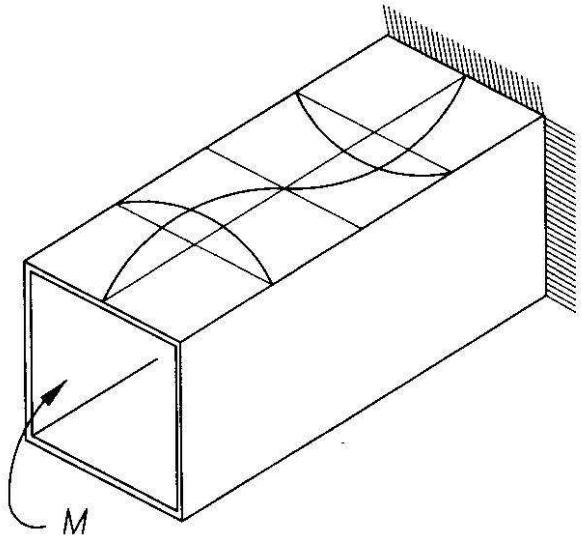
Edoardo M. Marino

Classificazione
delle sezioni in acciaio

Instabilità locale
(imbozzamento)

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

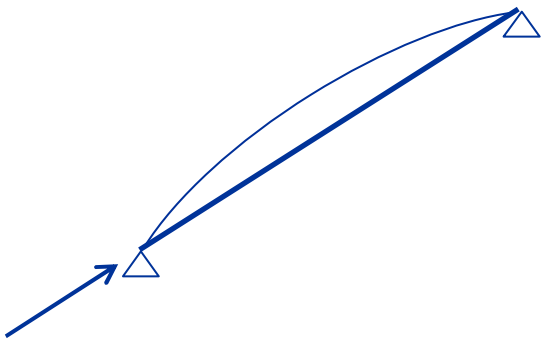




Instabilità locale
(imbozzamento)

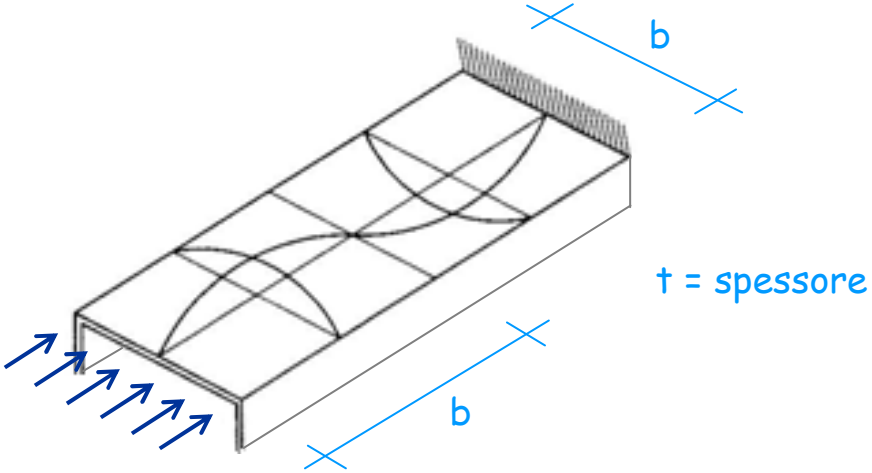
- Asta compressa

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



- Lastra compressa

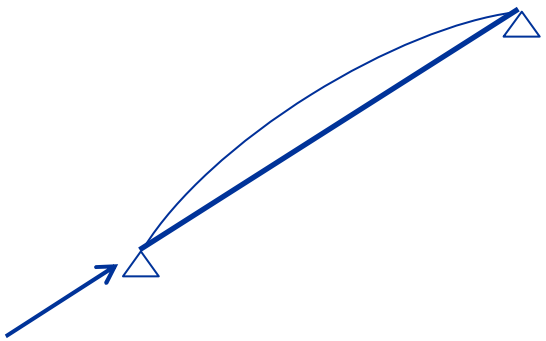
$$\sigma_{cr} = \frac{k \pi^2 E}{12 (1 - \nu^2) (b / t)^2}$$



Comportamento post-critico

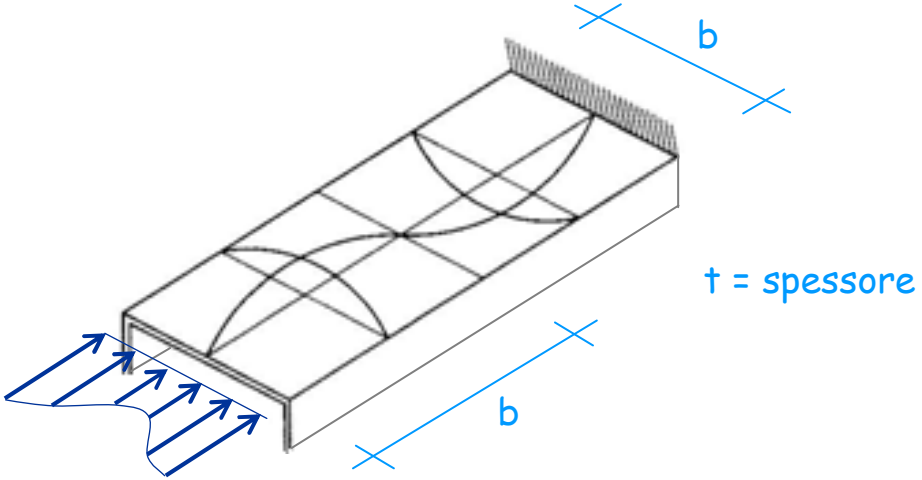
- Asta compressa

la tensione non cresce più



- Lastra compressa

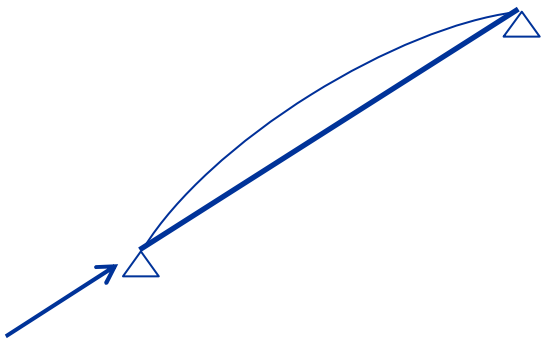
la tensione cresce,
ma in maniera non uniforme



Comportamento post-critico

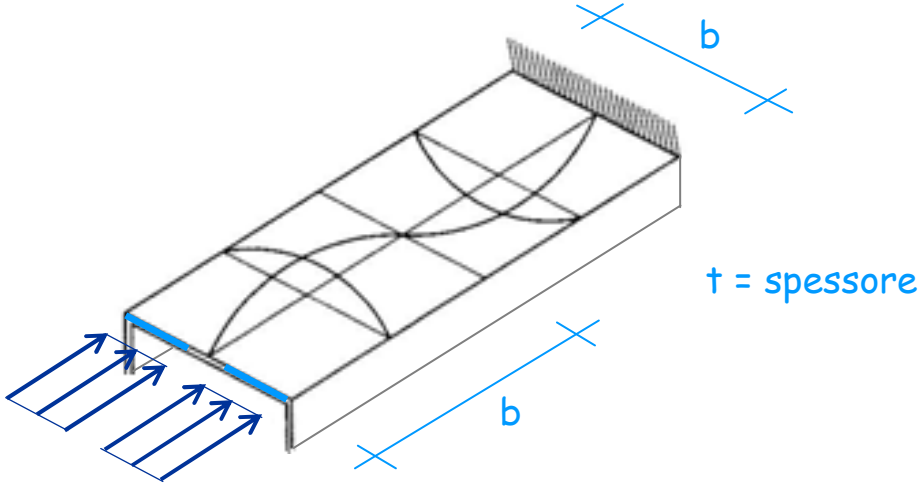
- Asta compressa

la tensione non cresce più



- Lastra compressa

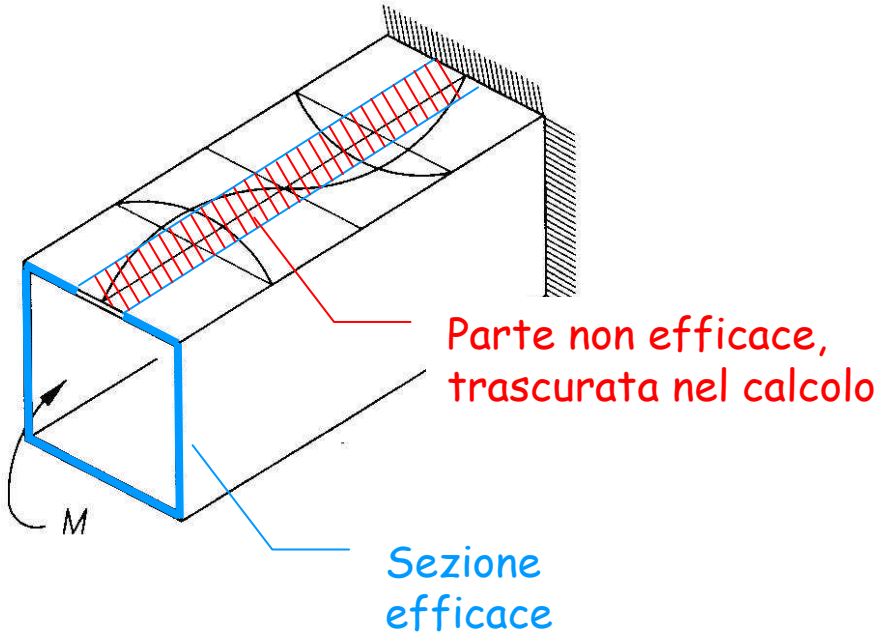
la tensione cresce,
ma in maniera non uniforme



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



Instabilità locale

Cattivo comportamento

Classe 4

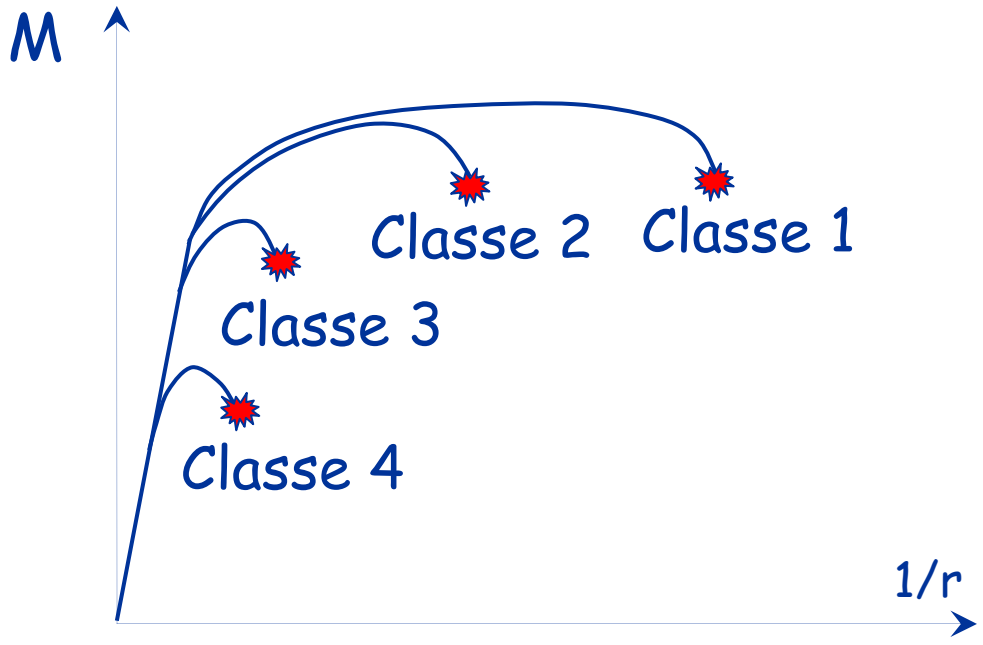
Buon comportamento

Classe 1

Prove eseguite presso l'Università di Kyoto, Giappone
Unità di ricerca guidata dal Prof. M. Nakashima

Classificazione delle sezioni

La classificazione è finalizzata soprattutto alle sezioni inflesse



Classificazione delle sezioni
Resistenza

La classificazione è finalizzata soprattutto alle sezioni inflesse

- Classe 1 – sezioni compatte

sezioni in grado di raggiungere il momento plastico

- Classe 2 – sezioni compatte

sezioni in grado di raggiungere il 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

NTC08, punto 4.2.3.1 - EC3-1-1. punto 5.5

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

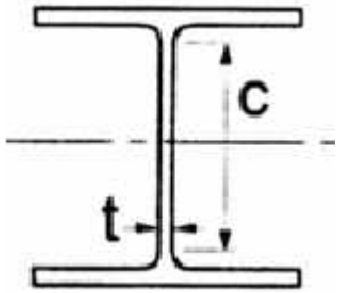
sezioni in cui l'instabilità avviene prima del raggiungimento della tensione di snervamento

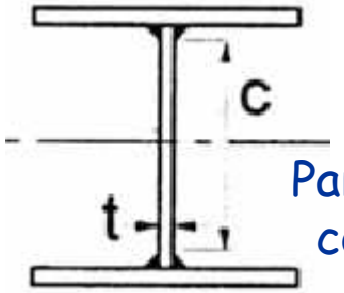
NTC08, punto 4.2.3.1 - EC3-1-1. punto 5.5

Classificazione delle sezioni

La classificazione è finalizzata soprattutto alle sezioni inflesse

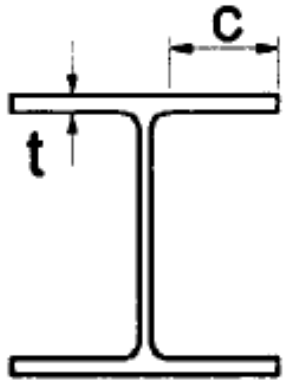
La classificazione viene effettuata sulla base della geometria della sezione
(rapporto c/t tra lunghezza e spessore degli elementi che costituiscono la sezione)





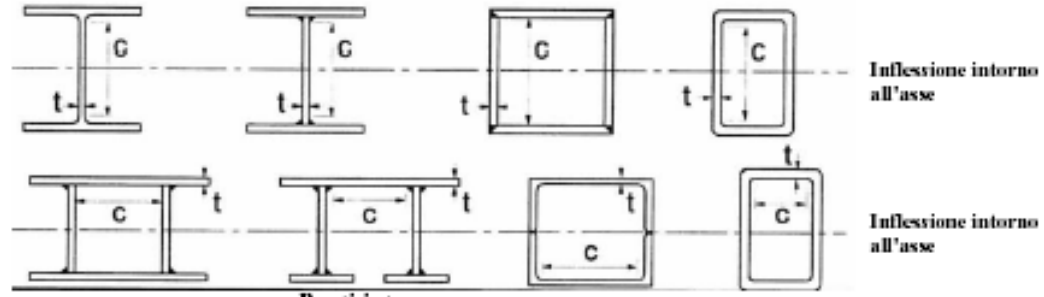
Parti interne compresse

Parti esterne compresse



NTC08, punto 4.2.3.1 - EC3-1-1. punto 5.5

Parti interne compresse



Parti interne compresse

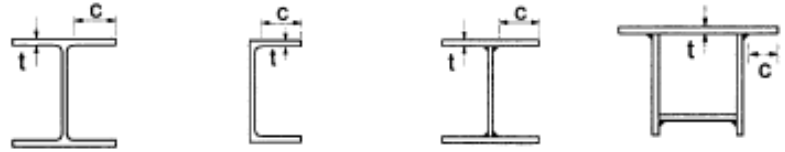
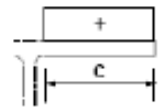
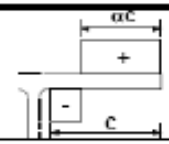
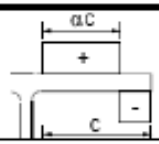
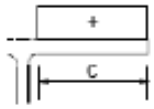
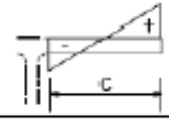
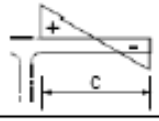
Classe	Parte soggetta a flessione	Parte soggetta a compressione	Parte soggetta a flessione e a compressione
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)	f_{yk}, +, -, c, f_{yk}	f_{yk}, +, c, f_{yk}	f_{yk}, +, -, a c, c, f_{yk}
1	$c/t \le 72\varepsilon$	$c/t \le 33\varepsilon$	quando $\alpha > 0{,}5$: $c/t \le \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \le 0{,}5$: $c/t \le \frac{36\varepsilon}{\alpha}$
2	$c/t \le 83\varepsilon$	$c/t \le 38\varepsilon$	quando $\alpha > 0{,}5$: $c/t \le \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \le 0{,}5$: $c/t \le \frac{41{,}5\varepsilon}{\alpha}$
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)	f_{yk}, +, -, c/2, c, f_{yk}	f_{yk}, +, c	f_{yk}, +, -, c, ψf_{yk}
3	$c/t \le 124\varepsilon$	$c/t \le 42\varepsilon$	quando $\psi > -1$: $c/t \le \frac{42\varepsilon}{0{,}67 + 0{,}33\psi}$ quando $\psi \le -1$*: $c/t \le 62\varepsilon(1-\psi)\sqrt{(-\psi)}$

$\varepsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	f_{yk}	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

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

NTC08, tab. 4.2.I

Parti esterne compresse

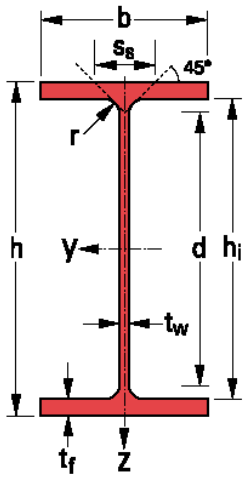
Piattabande esterne					
					
Profilati laminati a caldo			Sezioni saldate		
Classe	**Piattabande esterne soggette a compressione**		**Piattabande esterne soggette a flessione e a compressione**		
			Con estremità in compressione		**Con estremità in trazione**
Distribuzione delle tensioni nelle parti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

NTC08, tab. 4.2.II

Classificazione delle sezioni
Esempio

- Profilo HE 240 A, soggetto a flessione

h = 230 mm $\quad t_f$ = 12 mm
b = 240 mm $\quad t_w$ =7.5 mm
r = 21 mm



Ala compressa

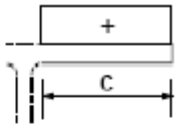
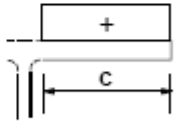
$$c = \frac{1}{2}(b - t_w - 2\,r) = 95.25 \text{ mm}$$

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

Per acciaio S 235

Classe 1

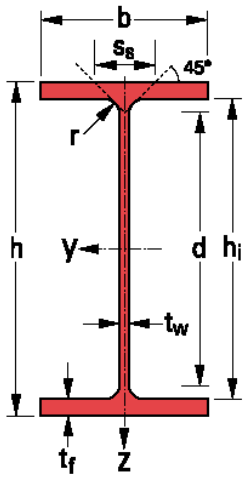
$\varepsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	f_{yk}	235	275	355
	ε	1,00	0,92	0,81

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

Classificazione delle sezioni
Esempio

- Profilo HE 240 A, soggetto a flessione

h = 230 mm $\quad t_f$ = 12 mm
b = 240 mm $\quad t_w$ =7.5 mm
r = 21 mm



Anima

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

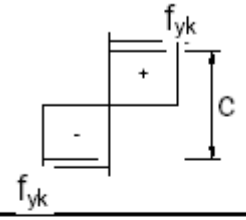
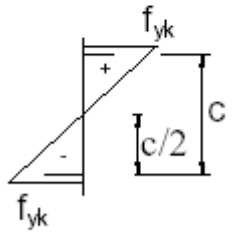
$$\frac{c}{t_w} = 21.9$$

Per acciaio S 235

Classe 1

Il profilo è di Classe 1

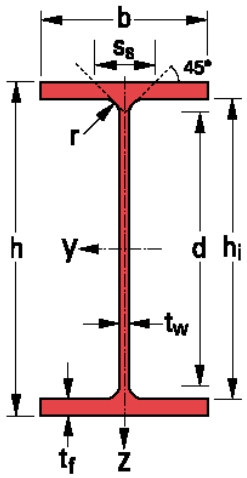
$\varepsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	f_{yk}	235	275	355
	ε	1,00	0,92	0,81

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

Classificazione delle sezioni
Esempio

- Profilo HE 240 A, soggetto a flessione

b = 240 mm t_f = 12 mm
h = 230 mm t_w =7.5 mm
r = 21 mm



Ala compressa

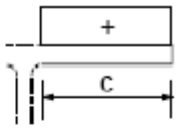
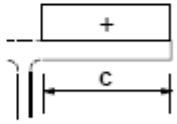
$$c = \frac{1}{2}(b - t_w - 2\,r) = 95.25 \text{ mm}$$

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

Per acciaio S 355

Classe 2

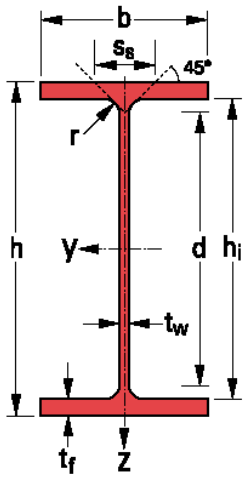
$\varepsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	f_{yk}	235	275	355
	ε	1,00	0,92	0,81

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

Classificazione delle sezioni
Esempio

- Profilo HE 240 A, soggetto a flessione

b = 230 mm $\quad t_f$ = 12 mm
h = 240 mm $\quad t_w$ =7.5 mm
r = 21 mm



Anima

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

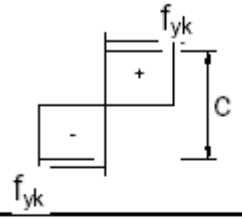
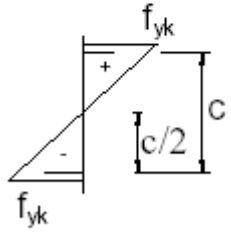
$$\frac{c}{t_w} = 21.9$$

Per acciaio S 355

Classe 1

Il profilo è di Classe 2

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

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

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

Désignation Designation Bezeichnung		Classification ENV 1993-1-1					
		pure bending y-y			pure compression		
	G kg/m	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	-

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

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