

Corso di laurea in Ingegneria civile strutturale e geotecnica

Tecnica delle costruzioni

modulo A

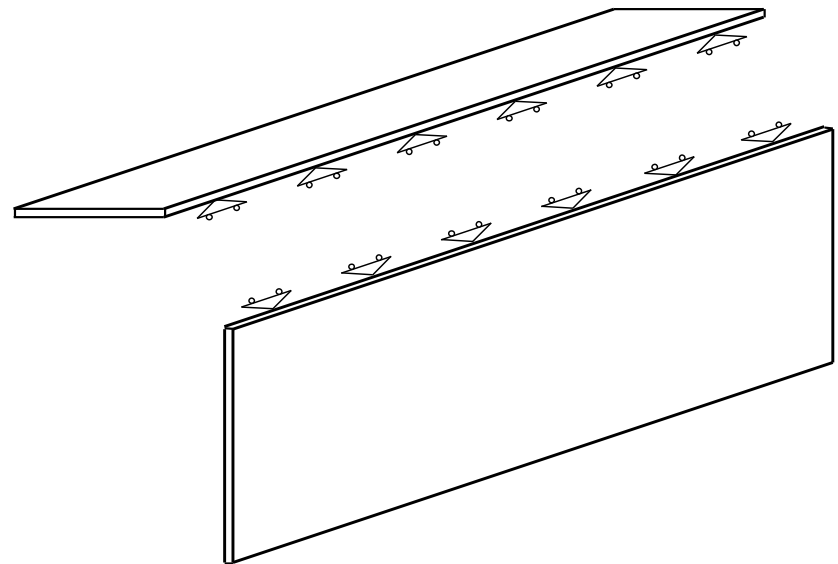
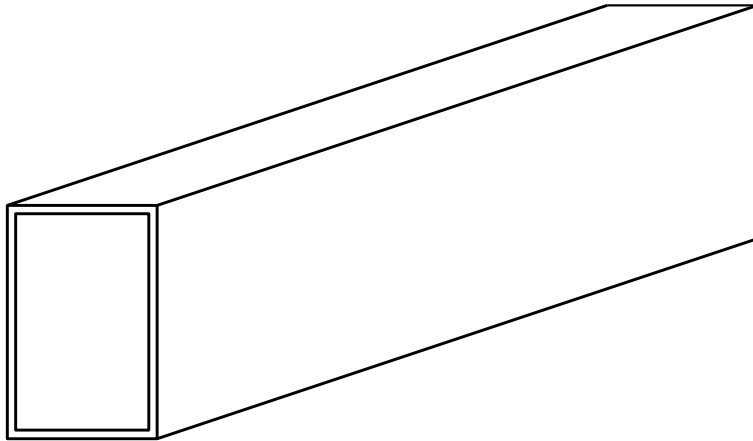
13 – Instabilità locale e classificazione delle sezioni

Aurelio Gherzi

27/10/2020

Instabilità locale (imbozzamento)

- Un'asta in acciaio può essere vista come un insieme di lastre
 - Ciascuna lastra è vincolata allo spostamento dalle lastre ortogonali

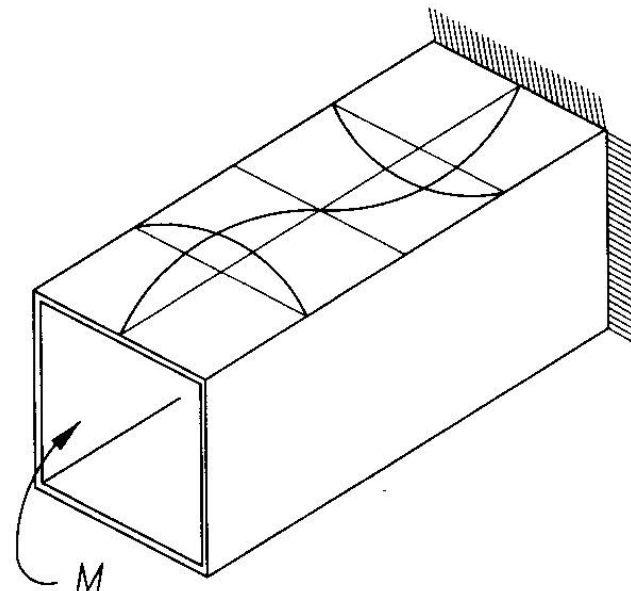
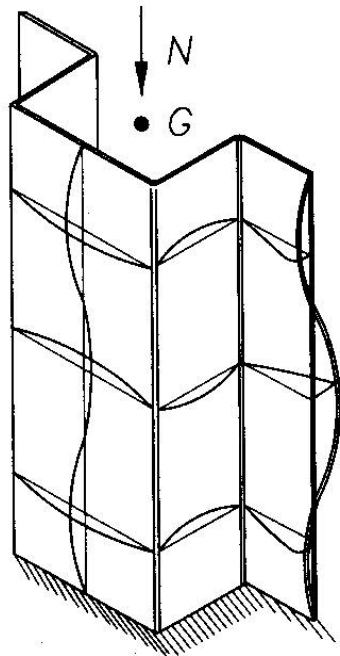


- Quando una lastra è soggetta a tensioni di compressione corre il rischio di instabilizzarsi
- Questa instabilità riguarda una parte dell'asta (mentre l'asta mantiene un asse rettilineo) ed è detta **instabilità locale**

Instabilità locale (imbozzamento)

- Interessa le parti compresse della sezione trasversale dell'elemento (e quindi dipende dalle caratteristiche di sollecitazioni presenti)
- La dimensione delle semionde è comparabile con le dimensioni trasversali della sezione

N:
tutte le
parti sono
comprese

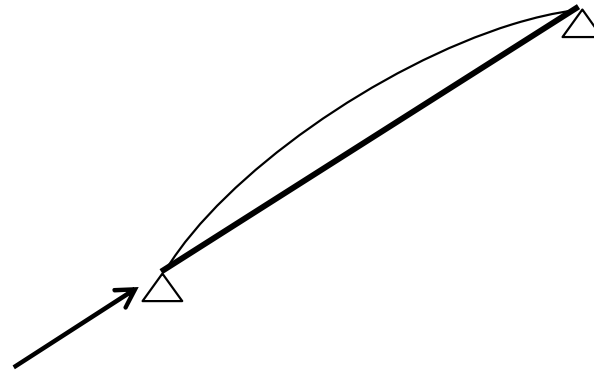


M:
è compressa
solo una parte
della sezione

Instabilità locale (imbozzamento)

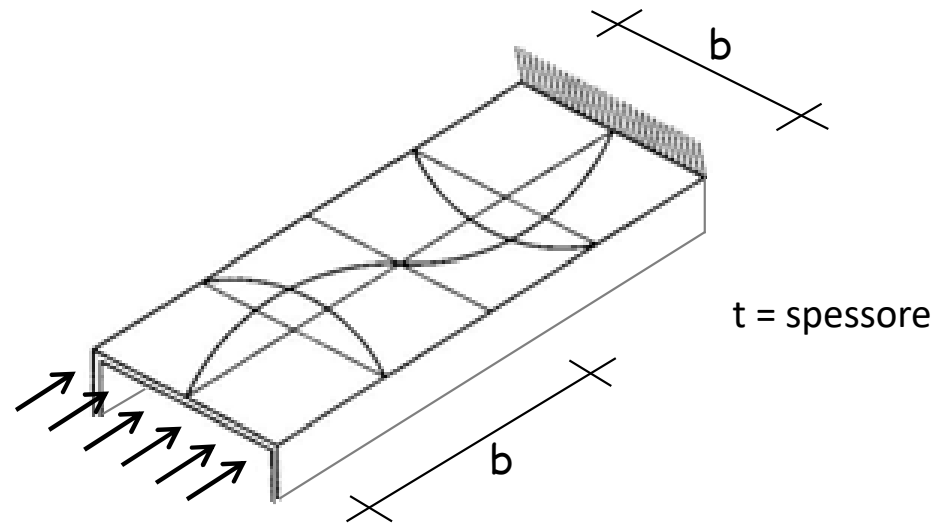
- Asta compressa

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



- Lastra compressa

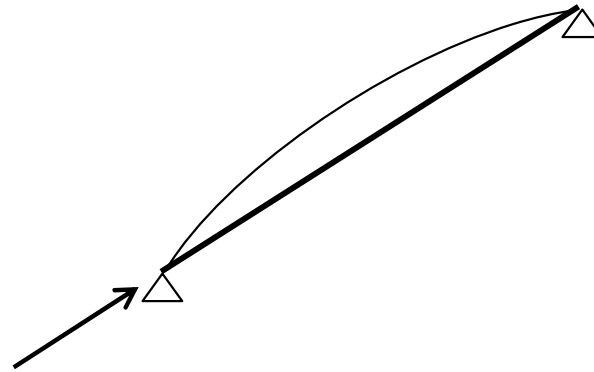
$$\sigma_{cr} = \frac{k \pi^2 E}{12 (1 - \nu^2) (b / t)^2}$$



Comportamento post-critico

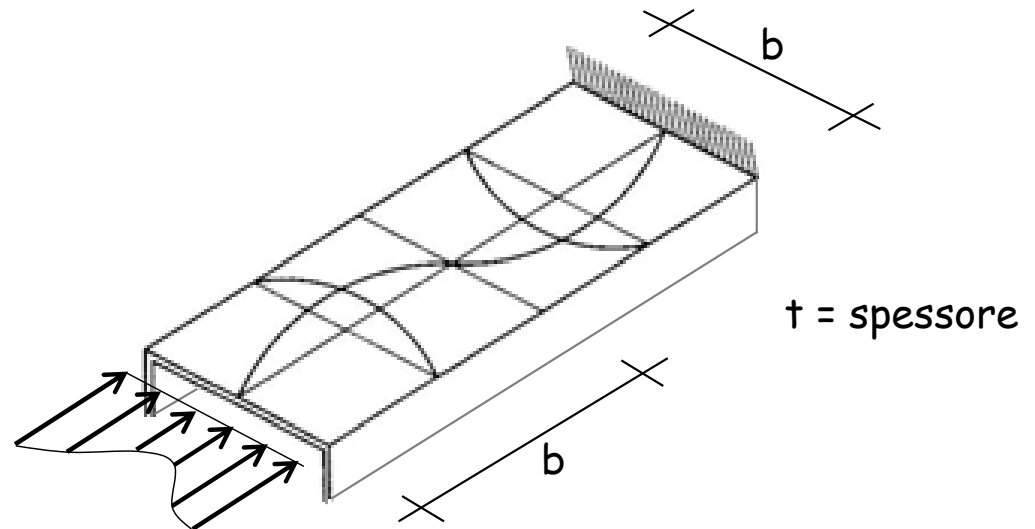
- Asta compressa

la tensione non cresce più



- Lastra compressa

la tensione cresce,
ma in maniera
non uniforme

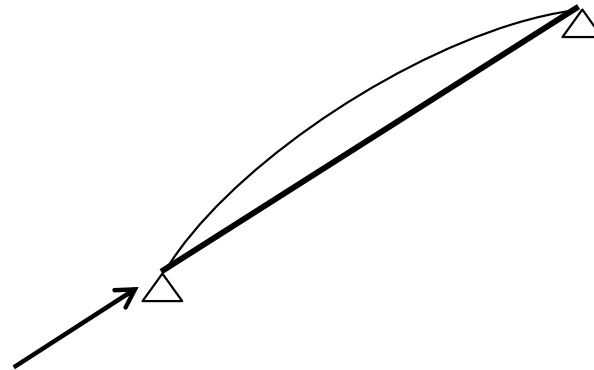


Comportamento post-critico

larghezza efficace

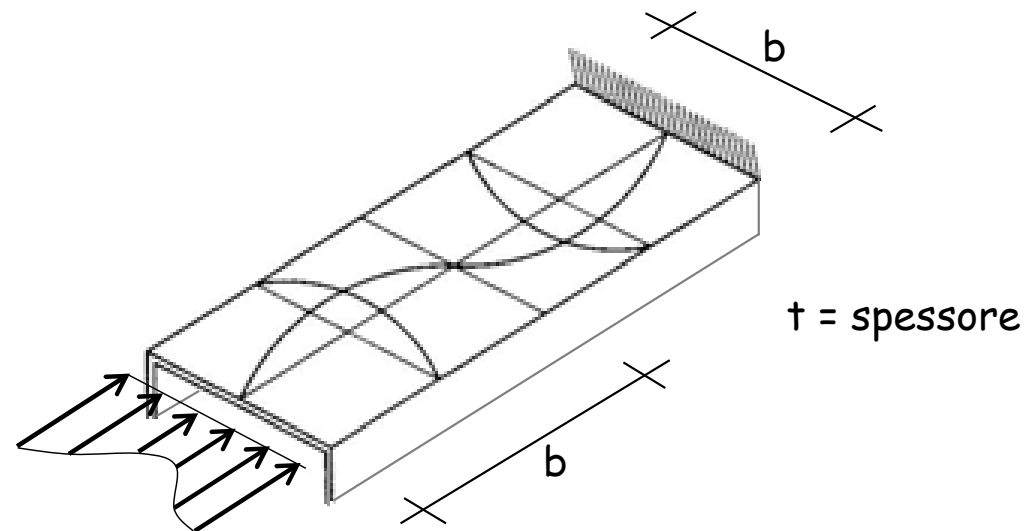
- Asta compressa

la tensione non cresce più



- Lastra compressa

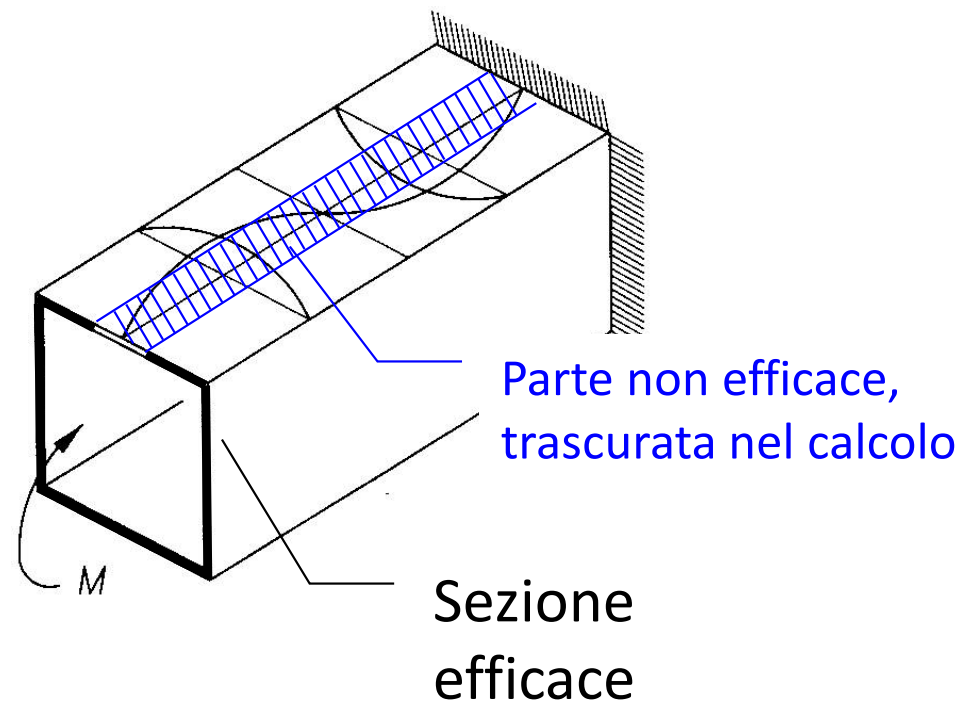
la tensione cresce,
ma in maniera
non uniforme



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

(imbozzamento)

- Nel valutare la resistenza di una sezione si deve tener conto della possibilità di avere una instabilità locale e delle conseguenze che questo ha
- Sforzo normale – trazione
 - Nessuna parte della sezione è compressa, quindi non occorre pensare all'instabilità locale

$$N_{Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$$

Instabilità locale (imbozzamento)

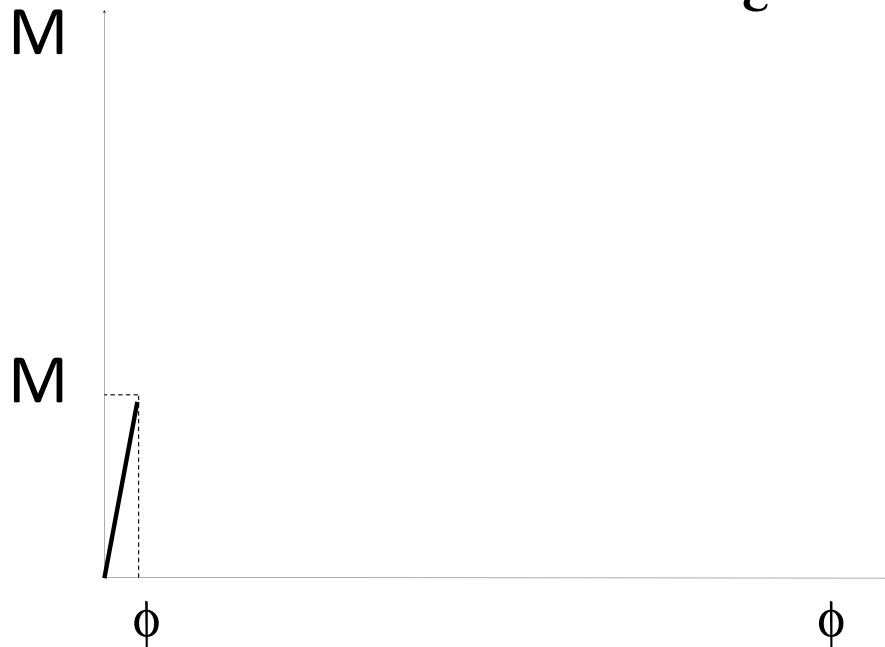
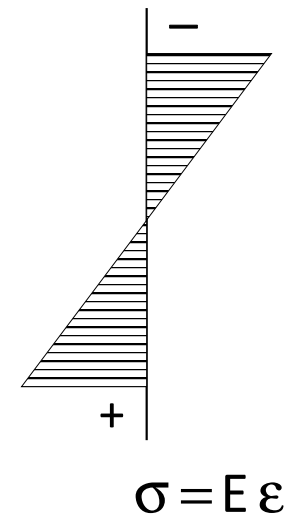
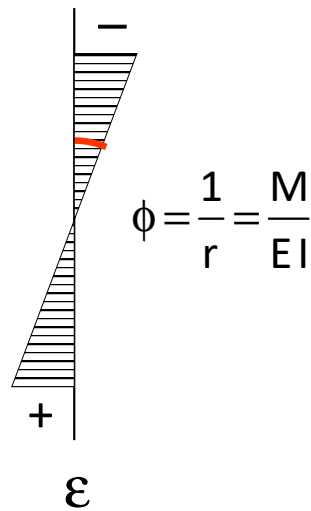
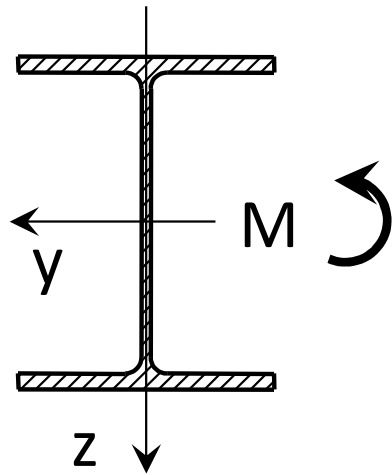
- Nel valutare la resistenza di una sezione si deve tener conto della possibilità di avere una instabilità locale e delle conseguenze che questo ha
- Sforzo normale – compressione
 - Tutte le parti della sezione sono compressa, quindi occorre pensare all'instabilità locale
Ci sono due possibilità
 - Se in tutte le lastre $(\bar{\lambda}_p - 0.22) / \bar{\lambda}_p^2 \geq 1$ non vi è riduzione
$$N_{Rd} = \chi A f_y / \gamma_{M0}$$
 - In caso contrario occorre considerare una sezione ridotta (anche nel calcolo di χ)
$$N_{Rd} = \chi A_{eff} f_y / \gamma_{M1}$$

Instabilità locale

(imbozzamento)

- Nel valutare la resistenza di una sezione si deve tener conto della possibilità di avere una instabilità locale e delle conseguenze che questo ha
- Momento flettente
 - Il comportamento in presenza di flessione è più complesso e dobbiamo discuterlo bene prima di pensare all'effetto della instabilità locale

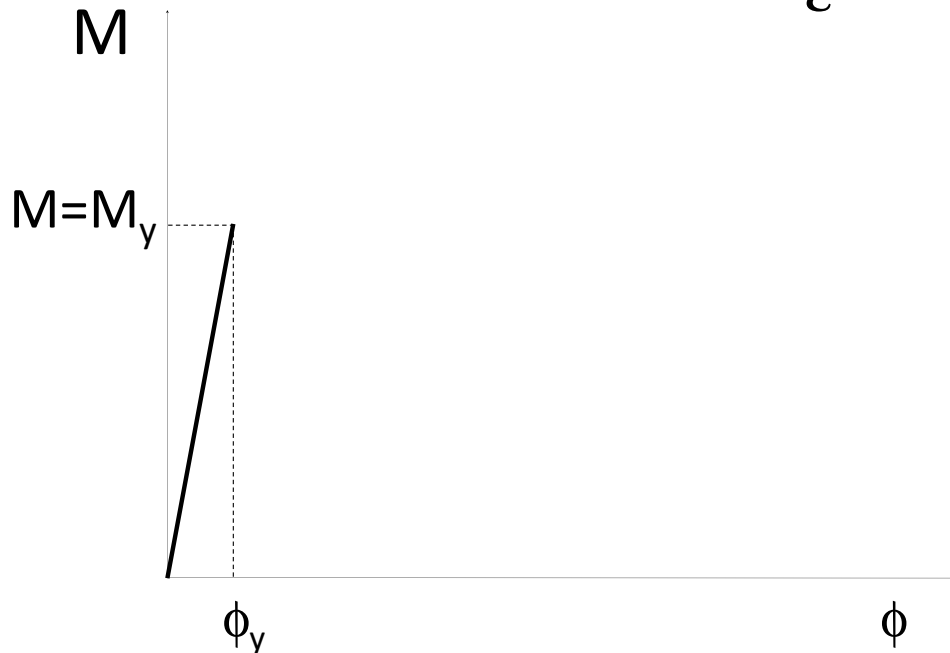
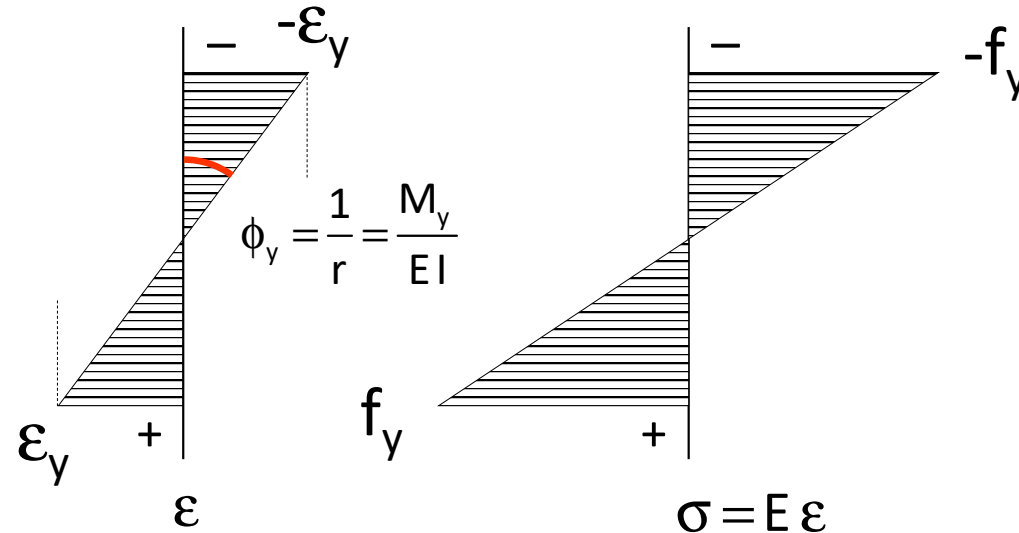
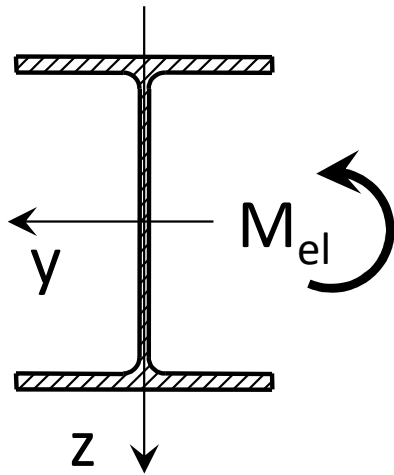
Comportamento a flessione al crescere della curvatura



$$M = \int \sigma z \, dA$$

$$\phi = \frac{1}{r} = \frac{M}{EI}$$

Comportamento a flessione al crescere della curvatura

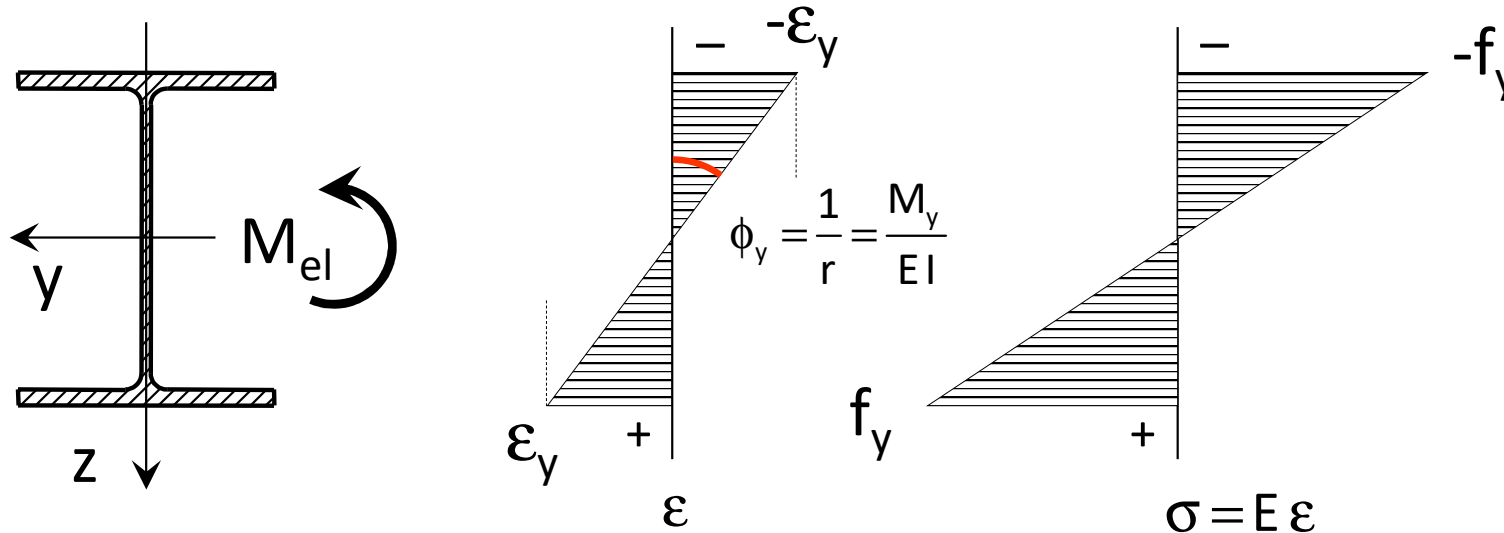


$$M_y = \int \sigma z dA = W_{el} f_y$$

Momento di prima plasticizzazione
(o di fine comportamento elastico)

$$W_{el} = \frac{I}{h/2} \quad h = \text{altezza sezione}$$

Comportamento a flessione al crescere della curvatura



Esempio:

HE 300 B acciaio S235

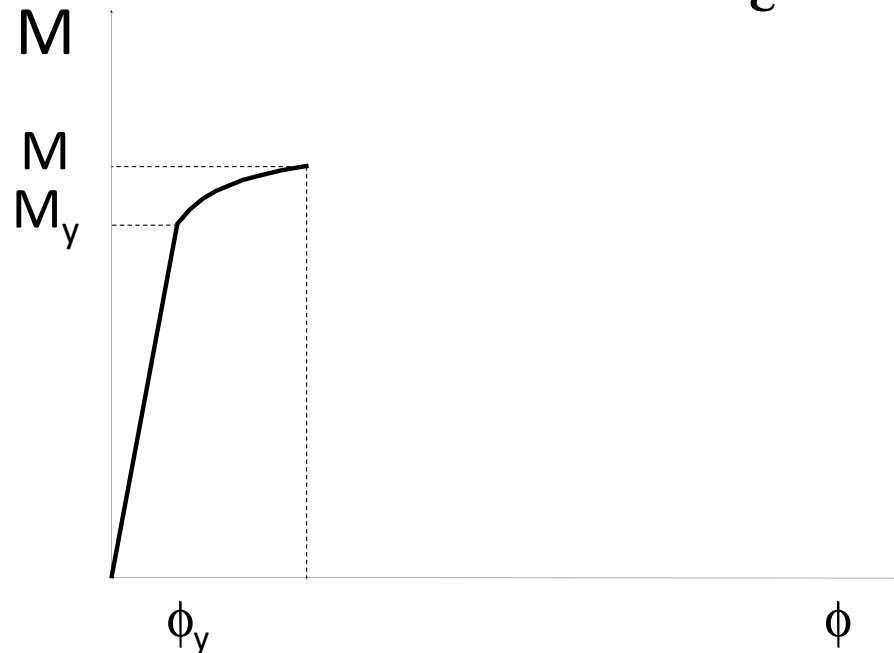
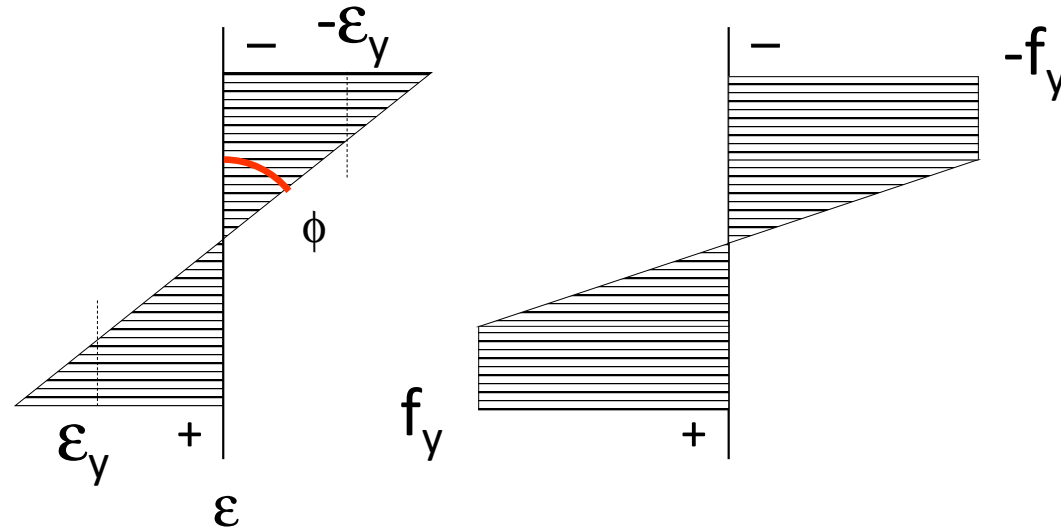
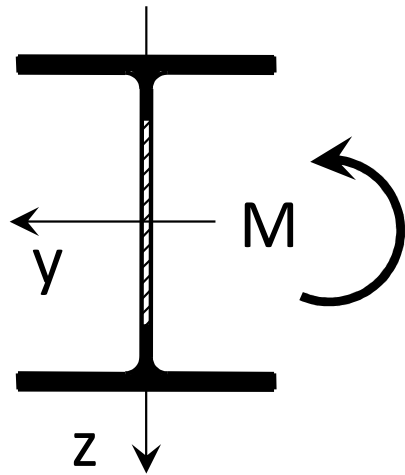
$$W_{el} = 1678 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$M_y = \int \sigma z dA = W_{el} f_y$$

$$M_{y,Rd} = W_{el} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{y,Rd} = 1678 \times 10^3 \frac{235}{1.05} \times 10^{-6} = 375.6 \text{ kNm}$$

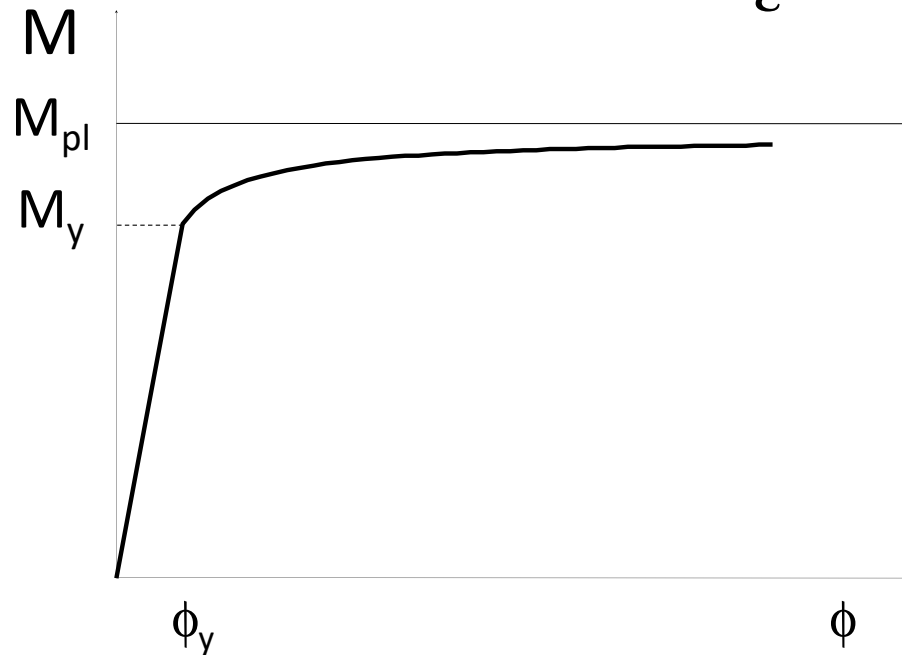
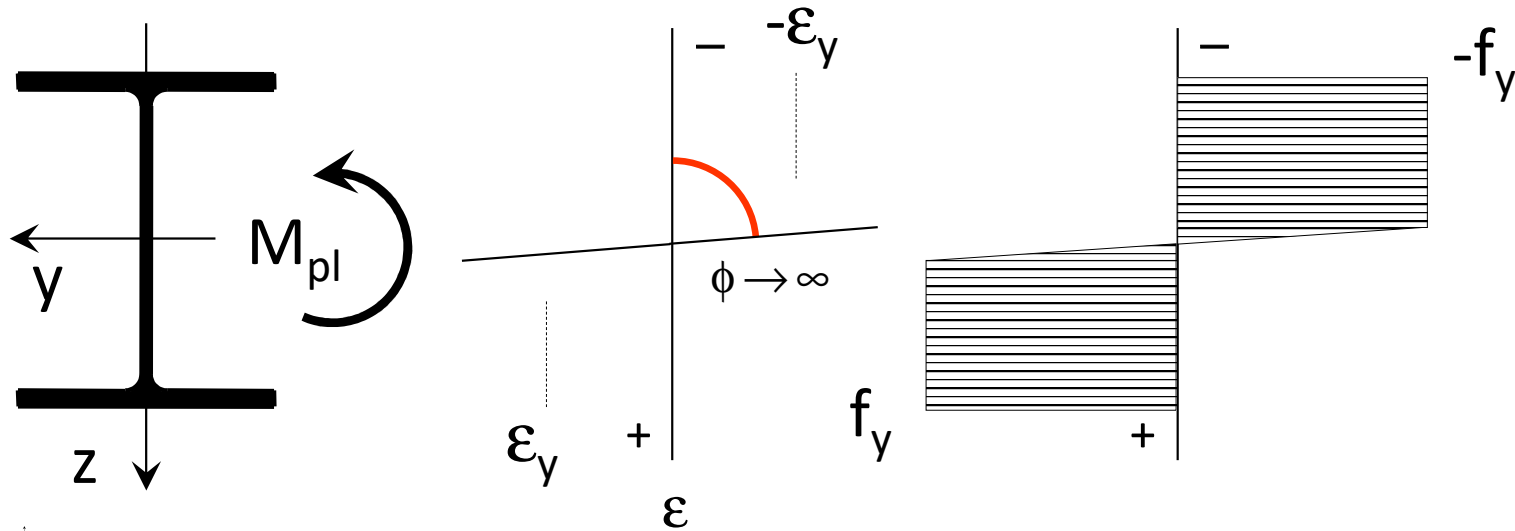
Comportamento a flessione al crescere della curvatura



$$M = \int \sigma z \, dA > M_y$$

Momento di piena plasticizzazione

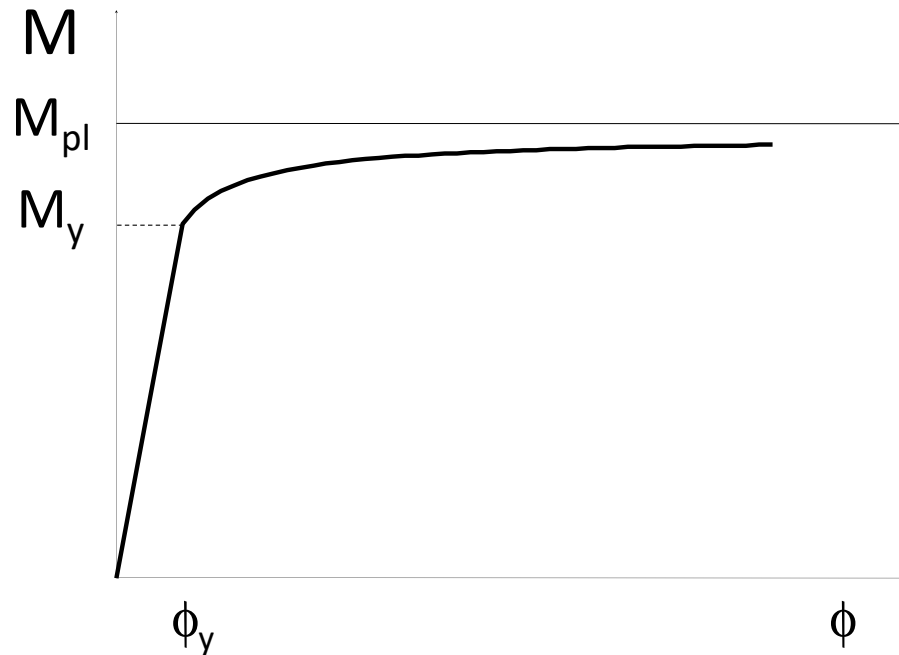
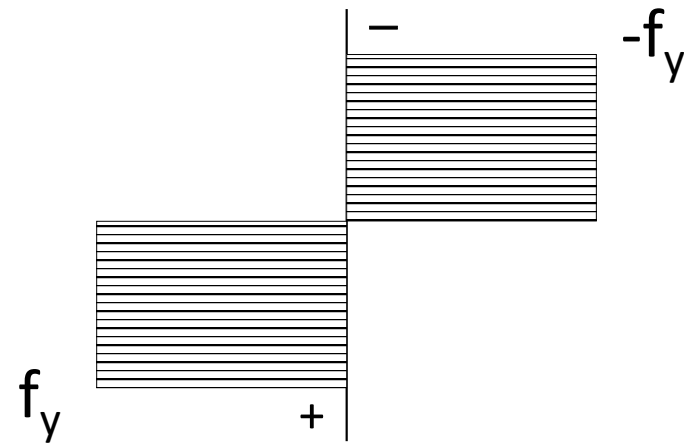
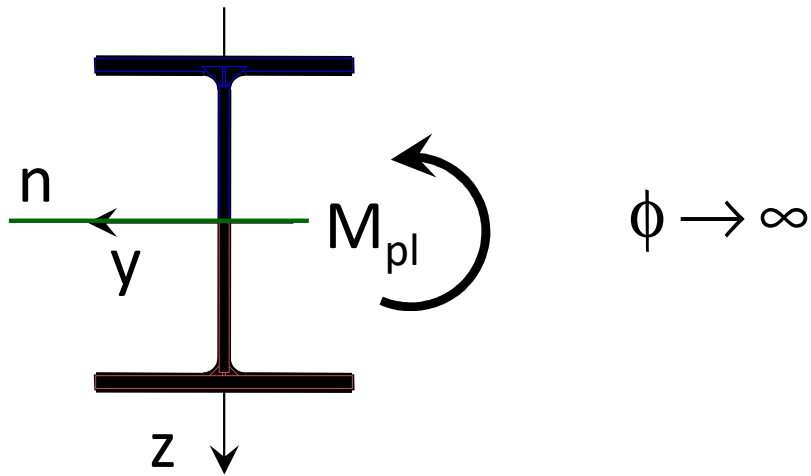
Comportamento al crescere della curvatura



$$M = \int \sigma z dA \rightarrow M_{pl}$$

Momento di piena plasticizzazione

Comportamento ultimo

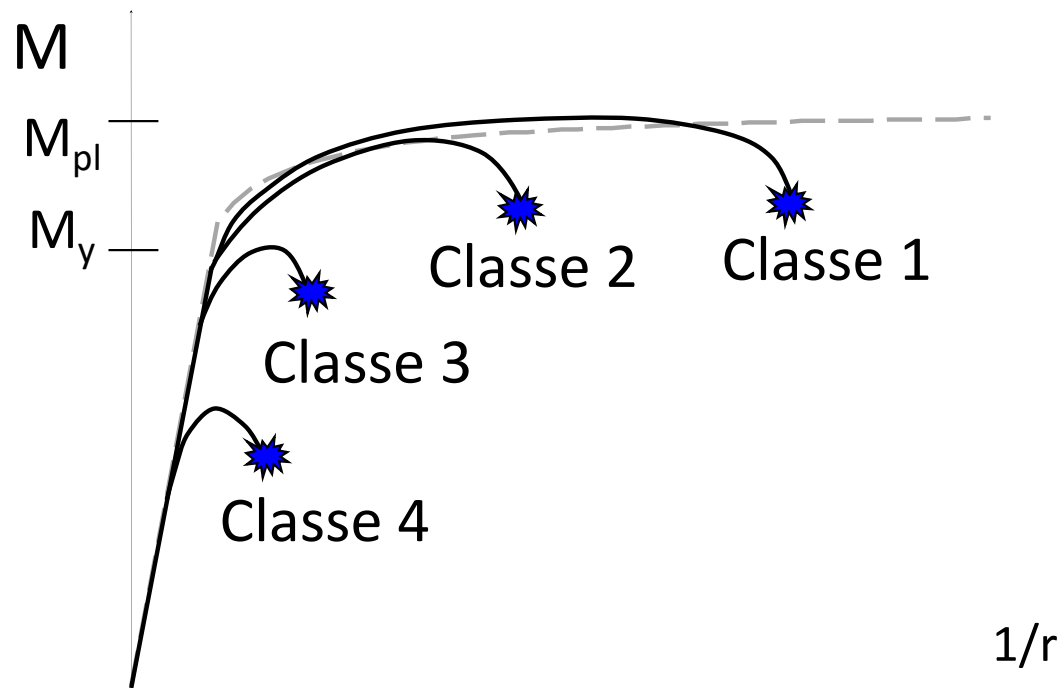


$$M = \int \sigma z dA \rightarrow M_{pl}$$

Momento di piena plasticizzazione

Classificazione delle sezioni a flessione

La classificazione è finalizzata soprattutto alle sezioni inflesse



Classe 1
Piena plasticizzazione
e grande duttilità

Classe 2
Piena plasticizzazione
ma minore duttilità

Classe 3
Resistenza da prima
plasticizzazione

Classe 4
Resistenza
ancora minore

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

per sforzo normale di compressione

- Poiché il diagramma di tensione è costante si ha coincidenza di prima e piena plasticizzazione
- Se si vuole utilizzare la classificazione prevista per la flessione si può considerare

- Classe 1 per sezioni che non vengono penalizzate dall'instabilità locale

$$N_{Rd} = \chi A f_y / \gamma_{M0}$$

- Classe 4 per sezioni che vengono penalizzate dall'instabilità locale

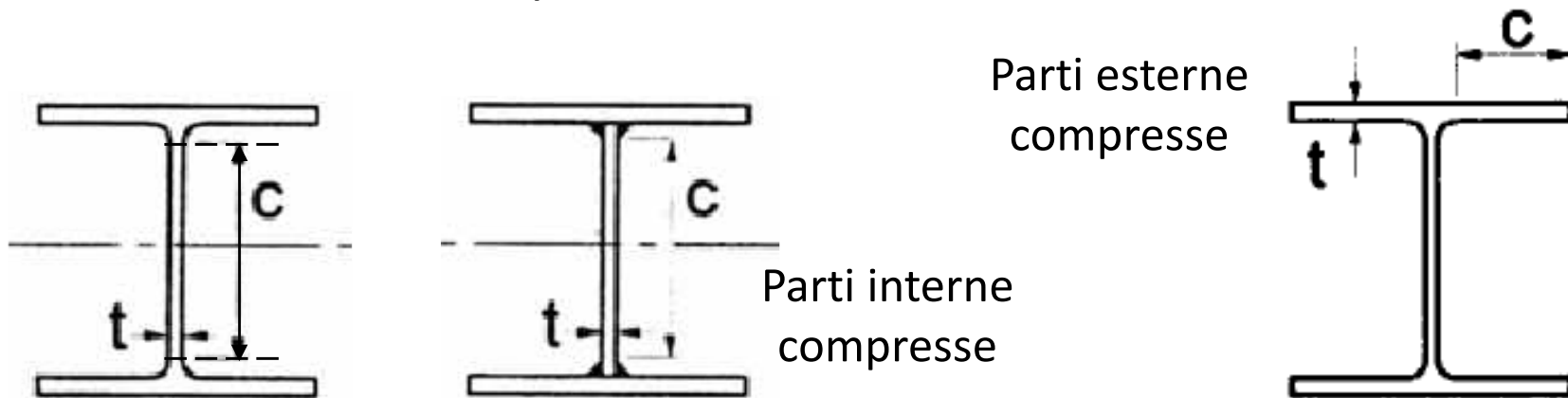
$$N_{Rd} = \chi A_{eff} f_y / \gamma_{M1}$$

Classificazione delle sezioni

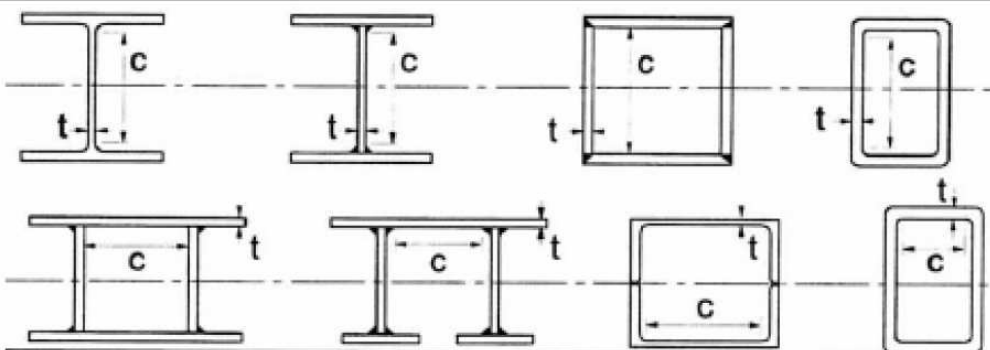
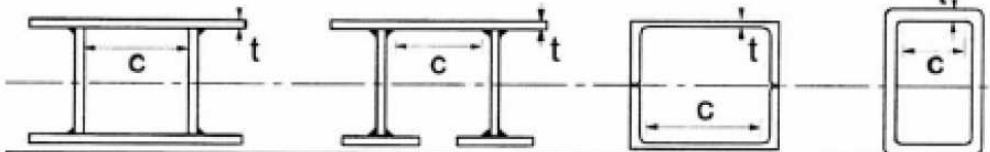
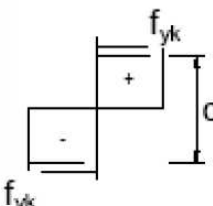
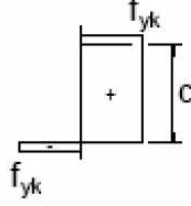
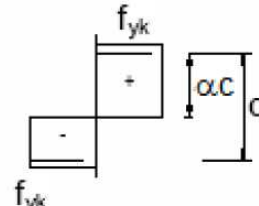
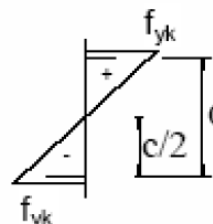
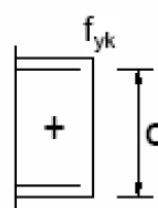
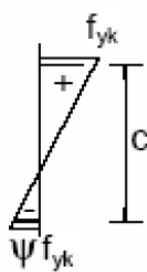
La distinzione in 4 classi è finalizzata soprattutto alle sezioni inflesse, ma si applica anche alle sezioni compresse

La classificazione viene effettuata sulla base della geometria della sezione

(rapporto c/t tra lunghezza e spessore degli elementi che costituiscono la sezione)

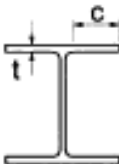

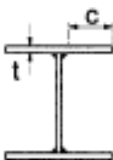
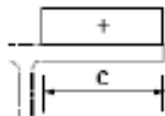
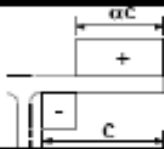
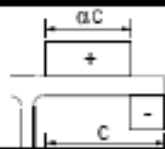
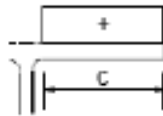
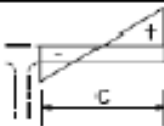
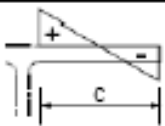


Parti interne compresse

				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	$c/t \leq 72\epsilon$	$c/t \leq 33\epsilon$		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	$c/t \leq 83\epsilon$	$c/t \leq 38\epsilon$		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	$c/t \leq 124\epsilon$	$c/t \leq 42\epsilon$		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
	ϵ	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_σ vedere EN 1993-1-5				
$\epsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	f_{yk}	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Classificazione delle sezioni

Esempio

- Profilo HE 240 A, soggetto a flessione

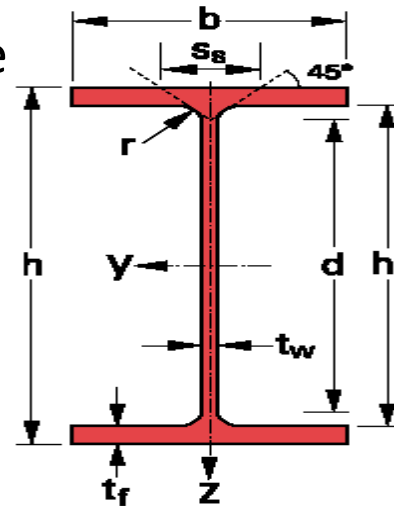
$$h = 230 \text{ mm}$$

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

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

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

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



Ala compressa

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

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

Per acciaio S 235

Ala: Classe 1

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

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

Classificazione delle sezioni

Esempio

- Profilo HE 240 A, soggetto a flessione

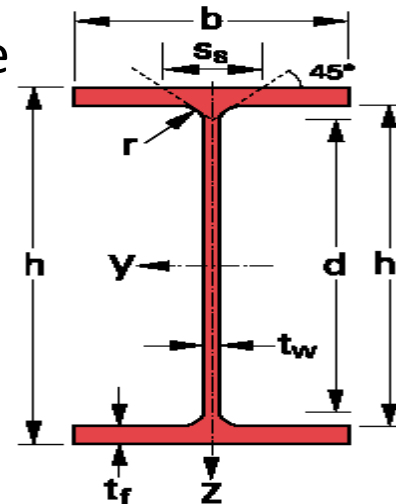
$$h = 230 \text{ mm}$$

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

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

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

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



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

$\varepsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	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	$c/t \leq 72\varepsilon$ 72
2	$c/t \leq 83\varepsilon$ 83
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)	
3	$c/t \leq 124\varepsilon$ 124

Classificazione delle sezioni

Esempio

- Profilo HE 240 A, soggetto a flessione

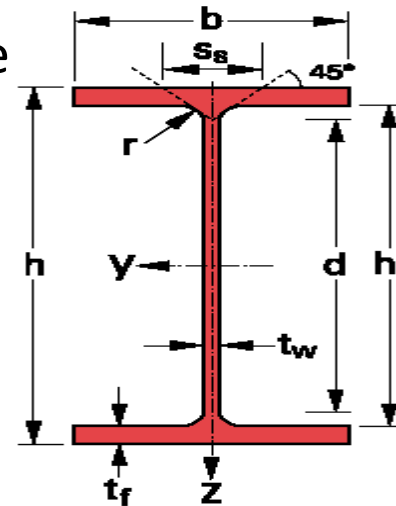
$$b = 240 \text{ mm}$$

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

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

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

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



Ala compressa

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

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

Per acciaio S 355

Ala: Classe 2

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

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

Classificazione delle sezioni

Esempio

- Profilo HE 240 A, soggetto a flessione

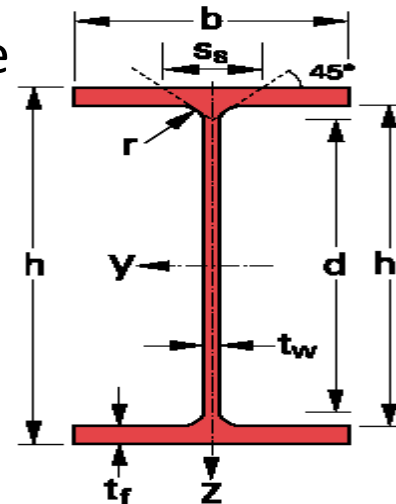
$$b = 230 \text{ mm}$$

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

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

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

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



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

$\varepsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	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	$c/t \leq 72\varepsilon$ 58.6
2	$c/t \leq 83\varepsilon$ 67.5
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)	
3	$c/t \leq 124\varepsilon$ 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	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	-

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