

5.3. Classificazione delle sezioni trasversali

5.3.1. Principi

- (1) Quando si adotti l'analisi plastica globale, le membrature devono essere in grado di formare cerniere plastiche aventi sufficiente capacità rotazionale per permettere che avvenga la redistribuzione dei momenti flettenti richiesta.
- (2) Qualora sia impiegata l'analisi globale elastica, qualunque classe di sezione trasversale può essere adottata per le membrature a condizione che il calcolo delle membrature tenga in considerazione le possibili limitazioni alla resistenza delle sezioni trasversali a causa dell'imbozzamento locale.

5.3.2. Classificazione

- (1) Si definiscono le 4 seguenti classi di sezioni trasversali:
 - **Classe 1:** sono quelle sezioni trasversali in grado di sviluppare una cerniera plastica avente la capacità rotazionale richiesta per l'analisi plastica.
 - **Classe 2:** sono quelle sezioni trasversali in grado di sviluppare il proprio momento resistente plastico, ma che hanno una capacità rotazionale limitata.
 - **Classe 3:** sono quelle sezioni trasversali nelle quali le tensioni calcolate nelle fibre esterne compresse della membratura di acciaio possono raggiungere la resistenza allo snervamento, ma l'instabilità locale può impedire lo sviluppo del momento resistente plastico.
 - **Classe 4:** sono quelle sezioni trasversali per le quali è necessario mettere esplicitamente in conto gli effetti dell'instabilità locale nel determinare il loro momento resistente o la loro resistenza a compressione.
- (2) Per le sezioni trasversali della classe 4 possono essere usate le larghezze efficaci per tenere in debito conto la riduzione di resistenza dovuta agli effetti dell'instabilità locale: vedere 5.3.5.
- (3) La classificazione di una sezione trasversale dipende dai rapporti dimensionali di ciascuno dei suoi elementi compressi.
- (4) Gli elementi compressi includono ogni elemento della sezione trasversale che sia totalmente o parzialmente compresso, a causa di una forza assiale o di un momento flettente, per la combinazione di carico considerata.
- (5) I vari elementi compressi in una sezione trasversale (quali anima o ala) possono, in generale, appartenere a classi differenti.
- (6) Una sezione trasversale è normalmente classificata indicando la più alta (meno favorevole) classe dei suoi elementi compressi.
- (7) In alternativa, la classificazione di una sezione trasversale può essere definita indicando entrambe le classificazioni, sia dell'anima che dell'ala.
- (8) Il prospetto 5.3.1 raccomanda i rapporti dimensionali limite per elementi a compressione delle classi 1, 2 e 3. Un elemento che non soddisfi ai limiti per la classe 3 viene considerato di classe 4.

5.3.3. Requisiti delle sezioni trasversali per l'analisi plastica globale

- (1) In corrispondenza delle cerniere plastiche, le sezioni trasversali delle membrature contenenti le cerniere plastiche devono avere un asse di simmetria nel piano di carico.
- (2) In corrispondenza delle cerniere plastiche, le sezioni trasversali delle membrature contenenti le cerniere plastiche devono avere capacità rotazionale sufficiente per consentire che si sviluppino le richieste rotazioni delle cerniere plastiche.
- (3) Per soddisfare i requisiti precedentemente menzionati si raccomanda di verificare le rotazioni richieste attraverso una analisi delle rotazioni.

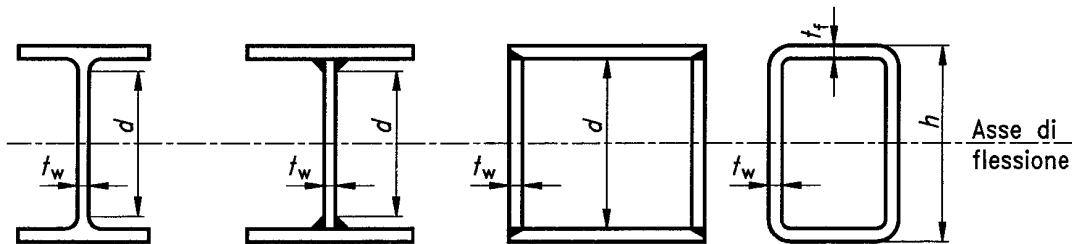
- (4) Per le strutture degli edifici nei quali le rotazioni richieste non sono calcolate, tutte le membrature contenenti cerniere plastiche devono avere sezioni trasversali in corrispondenza della cerniera plastica che soddisfino i limiti di rapporti dimensionali per le sezioni trasversali della classe 1 indicati nel prospetto 5.3.1.
- (5) *Qualora le sezioni trasversali delle membrature siano variabili lungo il loro sviluppo, si raccomanda di soddisfare i seguenti criteri addizionali.*
- (a) *Lateralmente ai punti in cui si hanno cerniere plastiche, lo spessore dell'anima non deve essere ridotto per una distanza lungo la trave -rispetto alla posizione della cerniera plastica -di almeno $2d$, dove d è l'altezza netta dell'anima in corrispondenza della cerniera plastica.*
- (b) *Lateralmente ai punti in cui si hanno cerniere plastiche, l'ala compressa deve essere di classe 1 per una distanza lungo la trave -rispetto alla posizione della cerniera plastica -non inferiore al valore maggiore fra:*
- *$2d$, dove per d vale la definizione data in (a);*
 - *la distanza fino al punto nel quale il momento nella trave è ridotto a 0,8 volte il momento resistente plastico del punto in esame.*
- (c) *Altrove l'ala compressa deve essere di classe 1 o classe 2 e l'anima deve essere di classe 1, classe 2 o classe 3.*

5.3.4. Requisiti per le sezioni trasversali quando si usa l'analisi globale elastica

- (1) Quando si usa l'analisi globale elastica, lo scopo della classificazione delle sezioni trasversali è quello di identificare se la resistenza di una sezione trasversale sia limitata dalla sua resistenza all'instabilità locale.
- (2) Quando tutti gli elementi compressi di una sezione trasversale soddisfino i limiti assegnati nel prospetto 5.3.1 per le sezioni trasversali della classe 2, la sezione trasversale può essere considerata in grado di sviluppare interamente il suo momento resistente plastico.
- (3) Quando tutti gli elementi compressi di una sezione trasversale soddisfino i limiti indicati nel prospetto 5.3.1 per le sezioni trasversali della classe 3, la sua resistenza può essere basata, in ipotesi conservativa, su una distribuzione elastica delle tensioni nella sezione trasversale, limitata alla resistenza allo snervamento nelle fibre estreme.
- (4) Qualora lo snervamento avvenga inizialmente dal lato teso rispetto all'asse neutro, le riserve plastiche della zona tesa possono essere utilizzate nel determinare la resistenza di una sezione trasversale di classe 3, usando il metodo descritto nella ENV 1993-1-3 (Eurocodice 3: Parte 1-3) *
- (5) La resistenza di una sezione trasversale avente l'ala compressa di classe 2 ma l'anima di classe 3 può essere determinata, in alternativa, trattando l'anima come un'anima efficace di classe 2 con l'area efficace ridotta, usando il metodo fornito nella ENV 1994-1-1 (Eurocodice 4: parte 1-1).
- (6) Quando uno qualsiasi degli elementi compressi di una sezione trasversale è di classe 4 la sezione trasversale va classificata come di classe 4, vedere 5.3.5.

Prospetto 5.3.1 - Rapporti massimi larghezza-spessore per elementi compressi (foglio 1)

(a) Anima (elementi interni perpendicolari all'asse di flessione):



$$d = h - 3t \quad [t = t_f = t_w]$$

Classe	Anima soggetta a flessione	Anima soggetta a compressione	Anima soggetta a flessione e compressione
Distribuzione tensioni negli elementi (compressione positiva)			
1	$d/t_w \leq 72\varepsilon$	$d/t_w \leq 33\varepsilon$	Quando $\alpha > 0,5$: $d/t_w \leq 396\varepsilon/(13\alpha-1)$ Quando $\alpha < 0,5$: $d/t_w \leq 36\varepsilon/\alpha$
2	$d/t_w \leq 83\varepsilon$	$d/t_w \leq 38\varepsilon$	Quando $\alpha > 0,5$: $d/t_w \leq 456\varepsilon/(13\alpha-1)$ Quando $\alpha < 0,5$: $d/t_w \leq 41,5\varepsilon/\alpha$
Distribuzione tensioni negli elementi (compressione positiva)			
3	$d/t_w \leq 124\varepsilon$	$d/t_w \leq 42\varepsilon$	Quando $\psi > -1$: $d/t_w \leq 42\varepsilon/(0,67+0,33\psi)$ Quando $\psi \leq -1$: $d/t_w \leq 62\varepsilon(1-\psi)\sqrt{-\psi}$

$$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$$

f_y

235

275

355

ε

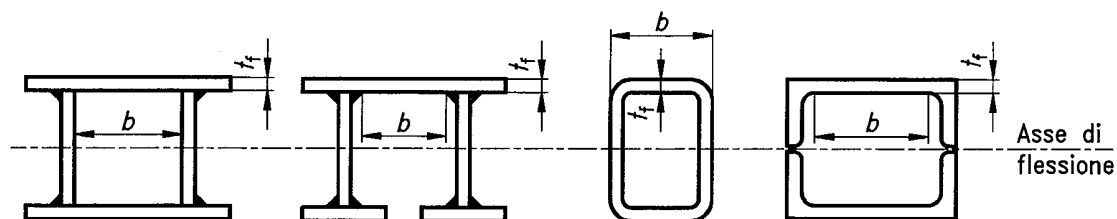
1

0,92

0,81

Prospetto 5.3.1 - Rapporti massimi larghezza-spessore per elementi compressi
(foglio 2)

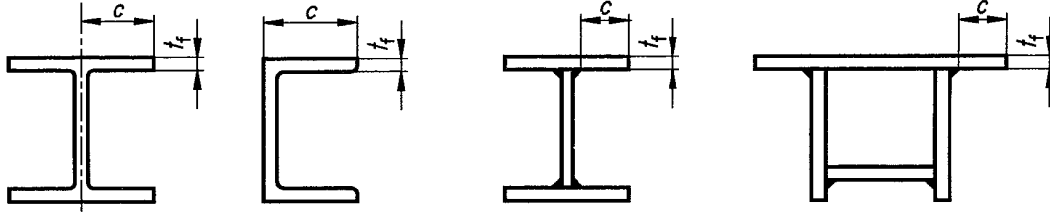
(b) Elementi a piattabanda interni (elementi interni paralleli all'asse di flessione):



Classe	Tipo	Sezione in flessione		Sezione in compressione	
Distribuzione delle tensioni nell'elemento ed attraverso la sezione (compressione positiva)					
1	Sezioni cave laminate Altre	$(b-3t_f)/t_f \leq 33 \varepsilon$ $b/t_f \leq 33 \varepsilon$		$(b-3t_f)/t_f \leq 42 \varepsilon$ $b/t_f \leq 42 \varepsilon$	
2	Sezioni cave laminate Altre	$(b-3t_f)/t_f \leq 38 \varepsilon$ $b/t_f \leq 38 \varepsilon$		$(b-3t_f)/t_f \leq 42 \varepsilon$ $b/t_f \leq 42 \varepsilon$	
Distribuzione delle tensioni nell'elemento ed attraverso la sezione (compressione positiva)					
3	Sezioni cave laminate Altre	$(b-3t_f)/t_f \leq 42 \varepsilon$ $b/t_f \leq 42 \varepsilon$		$(b-3t_f)/t_f \leq 42 \varepsilon$ $b/t_f \leq 42 \varepsilon$	
$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$		f_y	235	275	355
		ε	1	0,92	0,81

Prospetto 5.3.1 - Rapporti massimi larghezza-spessore per elementi compressi (foglio 3)

c) Ali sporgenti:

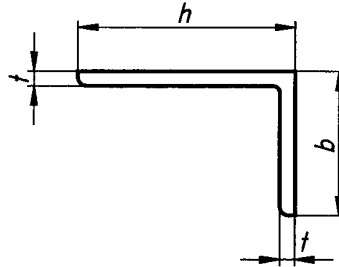


Sezioni laminate		Sezioni saldate			
Classe	Tipo della sezione	Ala soggetta a compressione	Ala soggetta a compressione e flessione		
			Bordo compresso	Bordo teso	
Distribuzione delle tensioni nell'elemento (compressione positiva)					
1	Laminata	$c/t_f \leq 10 \varepsilon$	$c/t_f \leq \frac{10 \varepsilon}{\alpha}$	$c/t_f \leq \frac{10 \varepsilon}{\alpha \sqrt{\alpha}}$	
	Saldata	$c/t_f \leq 9 \varepsilon$	$c/t_f \leq \frac{9 \varepsilon}{\alpha}$	$c/t_f \leq \frac{9 \varepsilon}{\alpha \sqrt{\alpha}}$	
2	Laminata	$c/t_f \leq 11 \varepsilon$	$c/t_f \leq \frac{11 \varepsilon}{\alpha}$	$c/t_f \leq \frac{11 \varepsilon}{\alpha \sqrt{\alpha}}$	
	Saldata	$c/t_f \leq 10 \varepsilon$	$c/t_f \leq \frac{10 \varepsilon}{\alpha}$	$c/t_f \leq \frac{10 \varepsilon}{\alpha \sqrt{\alpha}}$	
Distribuzione delle tensioni nell'elemento (compressione positiva)					
3	Laminata	$c/t_f \leq 15 \varepsilon$	$c/t_f \leq 23 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}$	Per k_σ vedere il prospetto 5.3.3	
	Saldata	$c/t_f \leq 14 \varepsilon$	$c/t_f \leq 21 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}$		
$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$		f_y	235	275	355
		ε	1	0,92	0,81

**Prospetto 5.3.1 - Rapporti massimi larghezza-spessore per elementi compressi
(foglio 4)**

(d) Angolari:

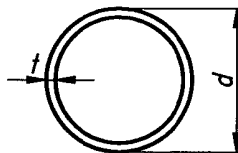
Riferirsi anche
a (c) "Ali sporgenti"
(vedere foglio 3)



(Non applicabile ad angolari
in contatto, con continuità
con altri componenti)

Classe	Sezione in compressione
Distribuzione delle tensioni nella sezione (compressione positiva)	
3	$\frac{h}{t} \leq 15 \epsilon \quad : \quad \frac{b+h}{2t} \leq 11,5 \epsilon$

(e) Sezioni tubolari:



Classe	Sezione in flessione e/o compressione			
1	$d/t \leq 50 \epsilon^2$			
2	$d/t \leq 70 \epsilon^2$			
3	$d/t \leq 90 \epsilon^2$			
$\epsilon = \sqrt{235 / f_y}$	f_y	235	275	355
	ϵ	1	0,92	0,81
	ϵ^2	1	0,85	0,66

5.3.5. Proprietà efficaci delle sezioni trasversali per sezioni trasversali di classe 4

- (1) Le proprietà efficaci delle sezioni trasversali per le sezioni trasversali di classe 4 devono essere basate sulle larghezze efficaci degli elementi compressi: vedere 5.3.5(2).
- (2) Si raccomanda di calcolare le larghezze efficaci degli elementi piatti compressi usando il prospetto 5.3.2 per gli elementi interni e il prospetto 5.3.3 per gli elementi esterni.
- (3) Il fattore di riduzione ρ può essere ottenuto, in modo approssimato, come di seguito indicato:

$$\diamond \text{ quando } \bar{\lambda}_p \leq 0,673: \quad \rho = 1$$

$$\diamond \text{ quando } \bar{\lambda}_p > 0,673: \quad \rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,22}{\bar{\lambda}_p^2}$$

dove: $\bar{\lambda}_p$ è la snellezza del pannello data dalla formula:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{f_y / \sigma_{cr}} = \frac{\bar{b} / t}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}} \quad \text{con: } \sigma_{cr} = \frac{189800}{(b/t)^2} \text{ MPa}$$

nella quale: t è lo spessore pertinente;

σ_{cr} è la tensione critica di instabilità del pannello;

k_σ è il coefficiente di imbozzamento corrispondente al rapporto ψ fra le tensioni ricavato dal prospetto 5.3.2 o dal prospetto 5.3.3 come opportuno;

\bar{b} è la larghezza pertinente (vedere il prospetto 5.3.1) ricavata come segue:

$$\bar{b} = d \quad \text{per le anime;}$$

$$\bar{b} = b \quad \text{per gli elementi a piattabanda interni (eccetto RHS);}$$

$$\bar{b} = b - 3t \quad \text{per anime di RHS;}$$

$$\bar{b} = c \quad \text{per ali sporgenti;}$$

$$\bar{b} = (b + h)/2 = b \quad \text{per angolari a lati uguali;}$$

$$\bar{b} = h \text{ oppure } (b+h)/2 \quad \text{per angolari a lati disuguali.}$$

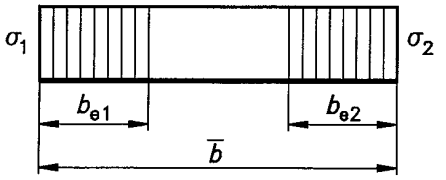
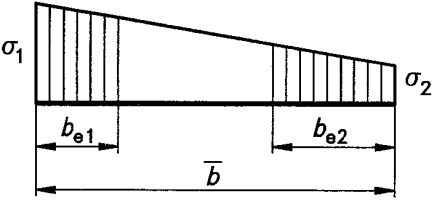
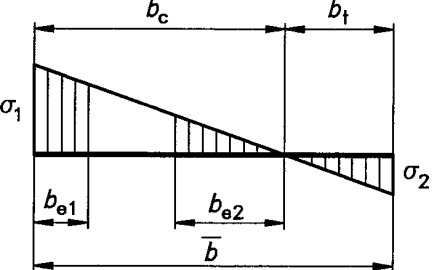
- (4) Per determinare le larghezze efficaci degli elementi di piattabanda, il rapporto ψ fra le tensioni usato nel prospetto 5.3.2 o nel prospetto 5.3.3 può essere ricavato in base alle proprietà della sezione trasversale lorda.
- (5) Per determinare la larghezza efficace di un'anima, il rapporto ψ fra le tensioni usato nel prospetto 5.3.2 può essere ottenuto usando l'area efficace dell'ala compressa escludendo l'area lorda dell'anima.
- (6) In generale l'asse neutro della sezione trasversale efficace traslerà di una quantità e rispetto alla posizione dell'asse neutro della sezione lorda (vedere le fig. 5.3.1 e 5.3.2). Si raccomanda di tenere ciò in considerazione nel calcolo delle proprietà della sezione trasversale efficace.
- (7) Qualora la sezione trasversale sia soggetta ad una forza assiale, si raccomanda di usare il metodo indicato in 5.4.8.3 per tenere in considerazione il momento addizionale ΔM fornito da:

$$\Delta M = N e_N \quad [5.12]$$

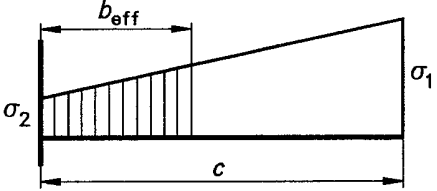
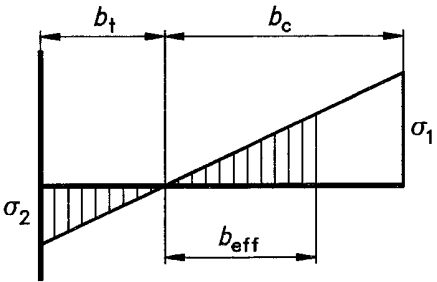
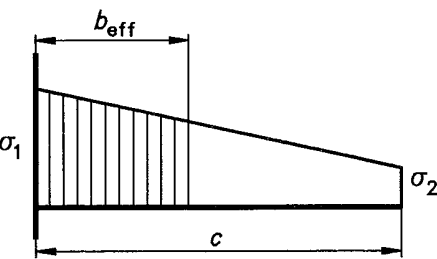
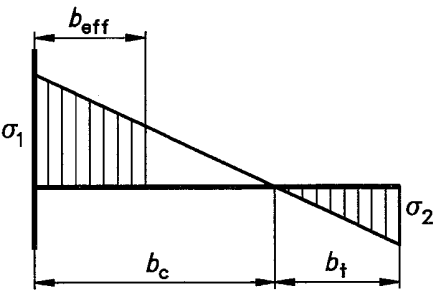
dove: e_N è lo spostamento dell'asse neutro quando la sezione trasversale efficace è soggetta ad una compressione uniforme (vedere fig. 5.3.1);

N ha segno positivo per la compressione.

Prospetto 5.3.2 - Elementi compressi interni

Distribuzione delle tensioni (compressione positiva)				Larghezza efficace b_{eff}		
				$\psi = +1:$ $b_{\text{eff}} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5 b_{\text{eff}}$ $b_{e2} = 0,5 b_{\text{eff}}$		
				$1 > \psi \geq 0:$ $b_{\text{eff}} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2 b_{\text{eff}}}{5 - \psi}$ $b_{e2} = b_{\text{eff}} - b_{e1}$		
				$\psi < 0:$ $b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$ $b_{e1} = 0,4 b_{\text{eff}}$ $b_{e2} = 0,6 b_{\text{eff}}$		
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	+1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -2$
Coefficiente di imbozzamento k_{σ}	4,0	$\frac{8,2}{1,05 + \psi}$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$
In alternativa, per $1 \geq \psi \geq -1$:						
$k_{\sigma} = \frac{16}{\left[(1 + \psi)^2 + 0,112 (1 - \psi)^2 \right]^{0,5} + (1 + \psi)}$						

Prospetto 5.3.3 - Elementi compressi sporgenti

Distribuzione delle tensioni (compressione positiva)		Larghezza efficace b_{eff}			
		$1 > \psi \geq 0:$ $b_{eff} = \rho c$			
		$\psi < 0:$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	+1	0	-1	$+1 \geq \psi \geq -1$	
Coefficiente di imbozzamento k_σ	0,43	0,57	0,85	$0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2$	
		$1 > \psi \geq 0:$ $b_{eff} = \rho c$			
		$\psi < 0:$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	+1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1
Coefficiente di imbozzamento k_σ	0,43	$\frac{0,578}{\psi + 0,34}$	1,70	$1,7 - 5\psi + 17,1\psi^2$	23,8

- (8) Ad eccezione di quanto indicato in (9), per maggiore economia la snellezza del pannello $\bar{\lambda}_p$ di un elemento può essere determinata usando la tensione di compressione massima $\sigma_{com,Ed}$ calcolata in quell'elemento anziché la resistenza allo snervamento f_y , a condizione che questa sollecitazione $\sigma_{com,Ed}$ sia basata sulle larghezze efficaci b_{eff} di tutti gli elementi compressi. Questa procedura richiede generalmente un calcolo iterativo nel quale ψ è determinato nuovamente ad ogni ciclo dalle tensioni calcolate sulla sezione trasversale efficace definita alla fine del ciclo precedente, includendo le tensioni derivanti dal momento addizionale ΔM .
- (9) Quando si verifica la resistenza all'instabilità di una membratura usando le indicazioni fornite in 5.5, i valori di A_{eff} , e_N e W_{eff} devono essere calcolati utilizzando valori della snellezza del pannello λ_p di un elemento basati sulla sua resistenza allo snervamento f_y .

5.3.6. Effetti delle forze trasversali sulle anime

- (1) Nel progetto si devono tenere in considerazione gli effetti delle tensioni trasversali significative di compressione sulla resistenza all'instabilità locale dell'anima. Tali tensioni possono generarsi da forze trasversali su una membratura e sulle intersezioni di diverse membrature.
- (2) La presenza di significative tensioni trasversali di compressione può effettivamente ridurre i valori massimi del rapporto ala/spessore d/t_w per le anime di classe 1, classe 2 e classe 3 al di sotto dei valori indicati nel prospetto 5.3.1., in funzione della spaziatura degli eventuali irrigidimenti dell'anima.
- (3) Si raccomanda di usare un metodo di verifica di validità riconosciuta. Si può fare riferimento alle regole applicative per le piastre irrigidite fornite nella ENV 1993-2 (Eurocodice 3: parte 2)*).

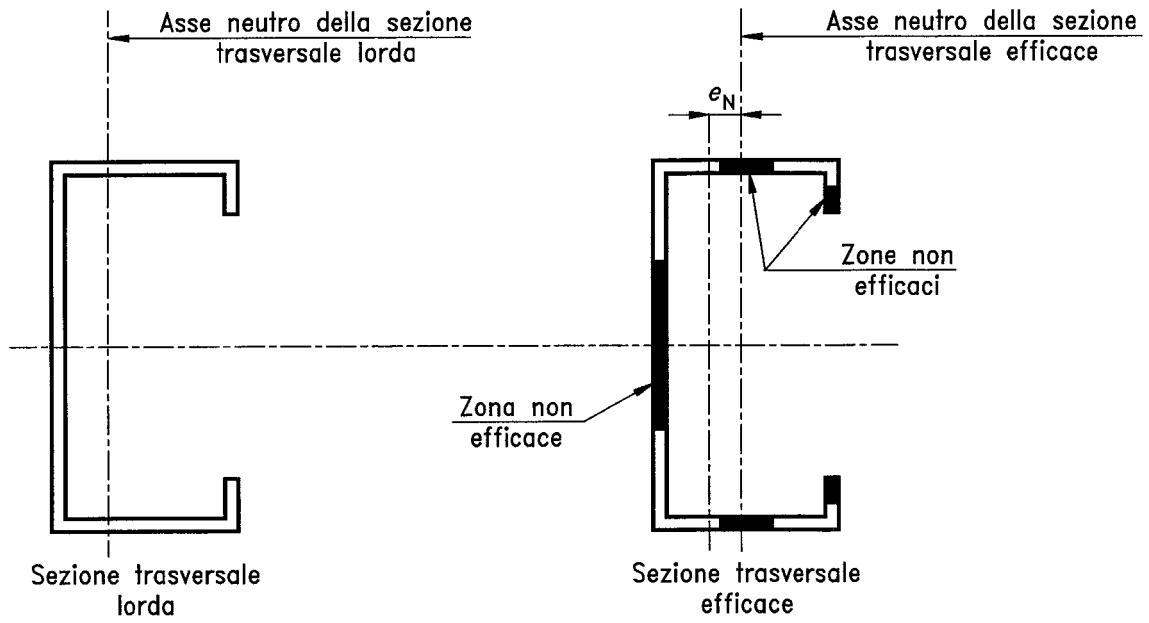


Fig. 5.3.1 - Sezioni trasversali di classe 4 - forza assiale

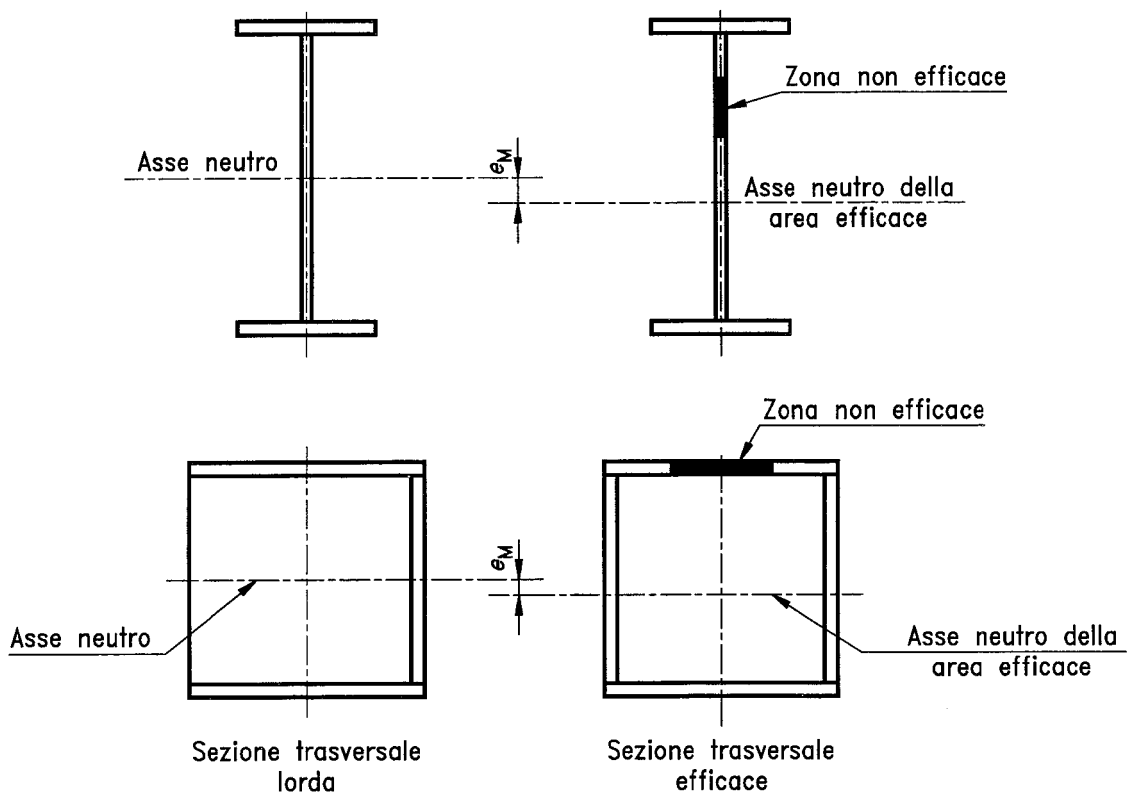


Fig. 5.3.2 - Sezioni trasversali di classe 4 - momento flettente