



# Costruzioni in Acciaio

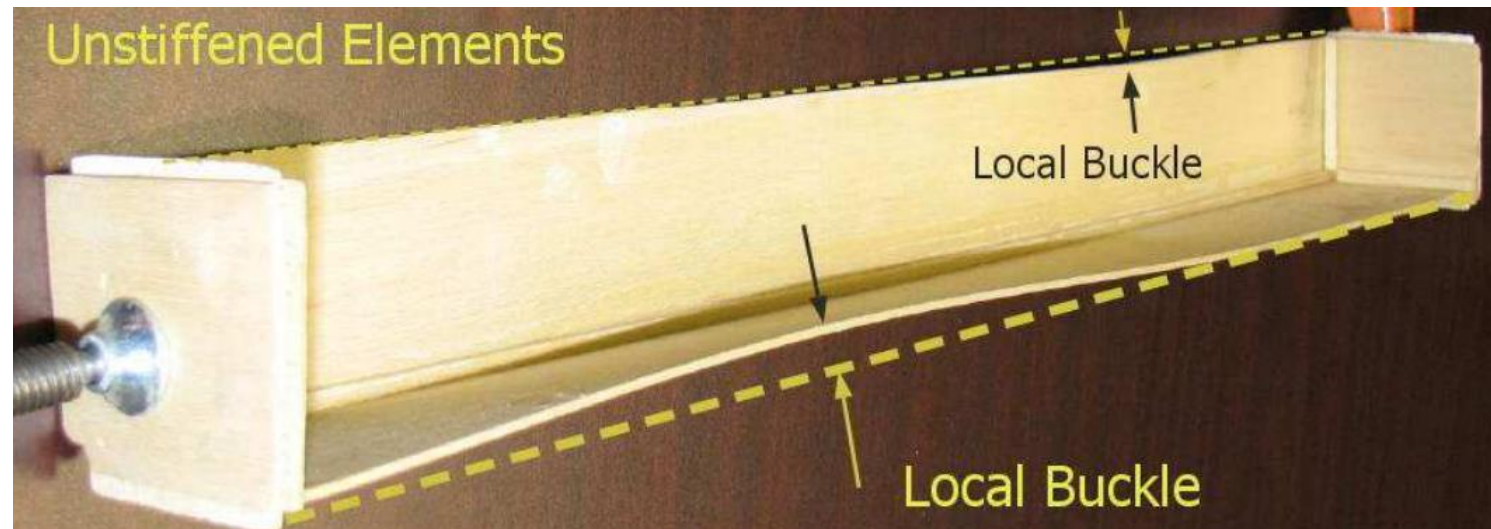
Stabilità laterale

(o flessione-torsionale, o svergolamento)

# Introduzione



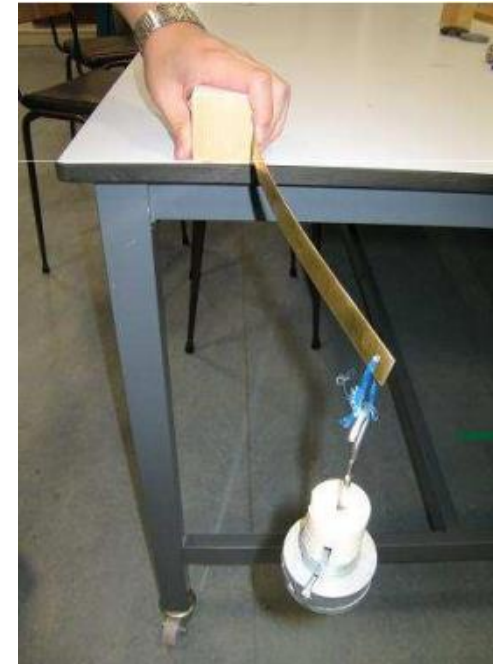
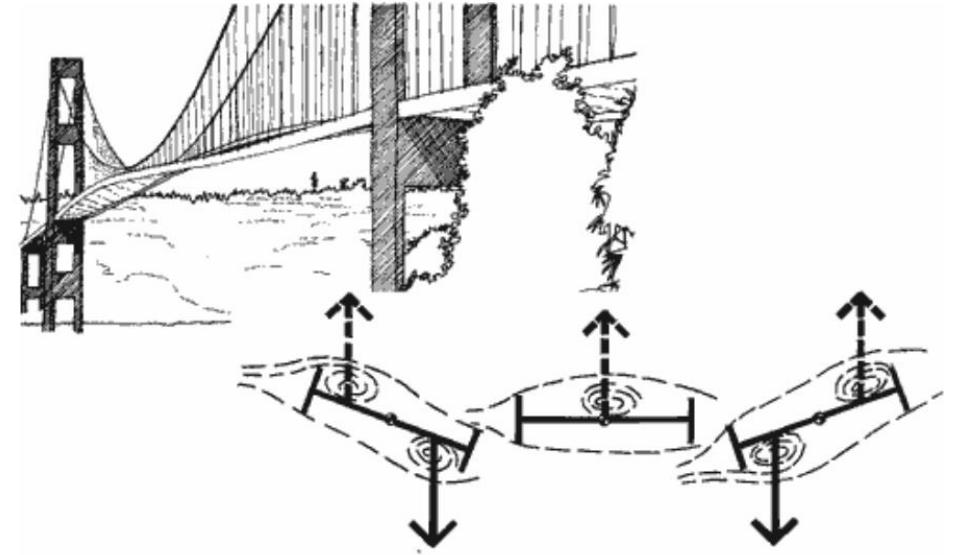
# Introduzione



# Introduzione

Si distinguono tre diversi meccanismi instabili:

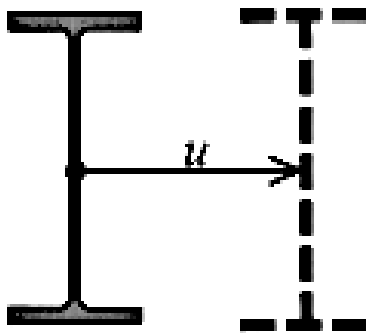
- instabilità flessionale
- instabilità torsionale
- instabilità flesso-torsionale



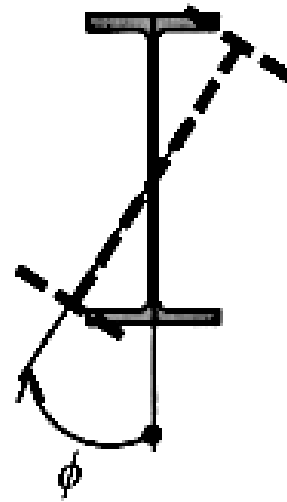
# Introduzione

- **instabilità flessionale:** lo spostamento rigido della sezione trasversale è di traslazione pura ed è contrastata dalla rigidità flessionale  $EJ$  dell'elemento strutturale; per questa ragione lo spostamento avviene nel piano di minore rigidità flessionale

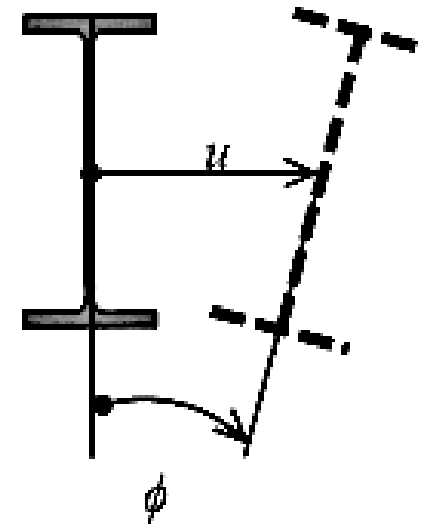
Flessionale pura



Torsionale pura



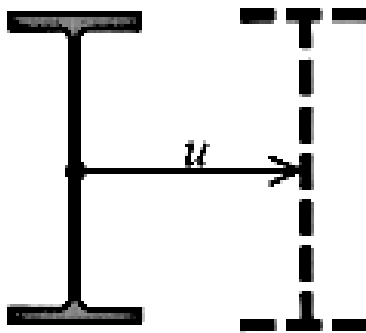
Flesso-torsionale



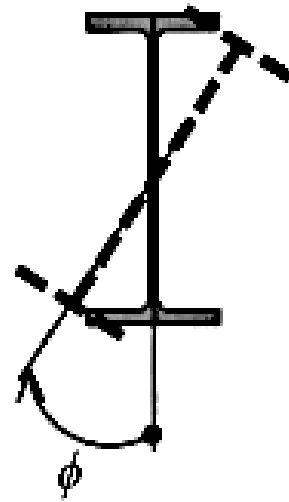
# Introduzione

- **instabilità torsionale:** lo spostamento rigido della sezione trasversale è costituito da una rotazione intorno all'asse geometrico dell'elemento strutturale, contrastata dalla rigidezza torsionale  $GJ_t$

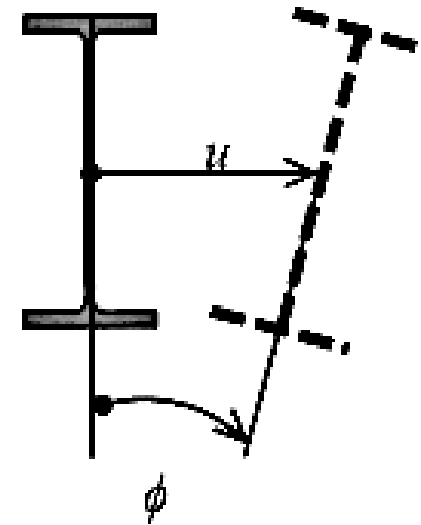
Flessionale pura



Torsionale pura



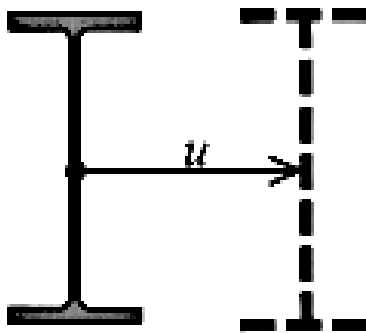
Flesso-torsionale



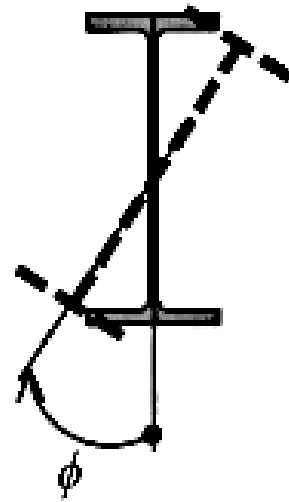
# Introduzione

- **instabilità flesso-torsionale:** lo spostamento rigido è una combinazione di quelli descritti in precedenza e può manifestarsi nel caso delle travi inflesse; questo fenomeno è anche indicato con il termine di svergolamento e determina spostamenti della sezione trasversale ortogonali a quelli dovuti alla flessione, accompagnati da rotazioni torsionali

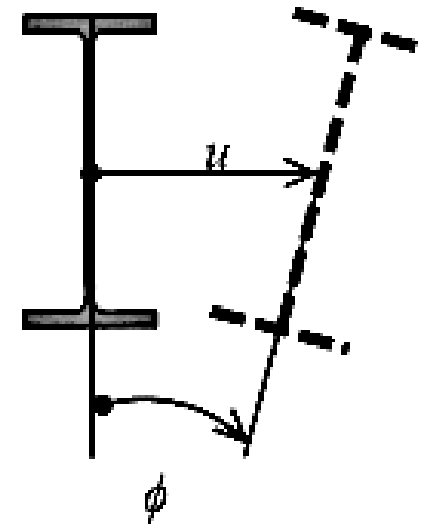
Flessionale pura



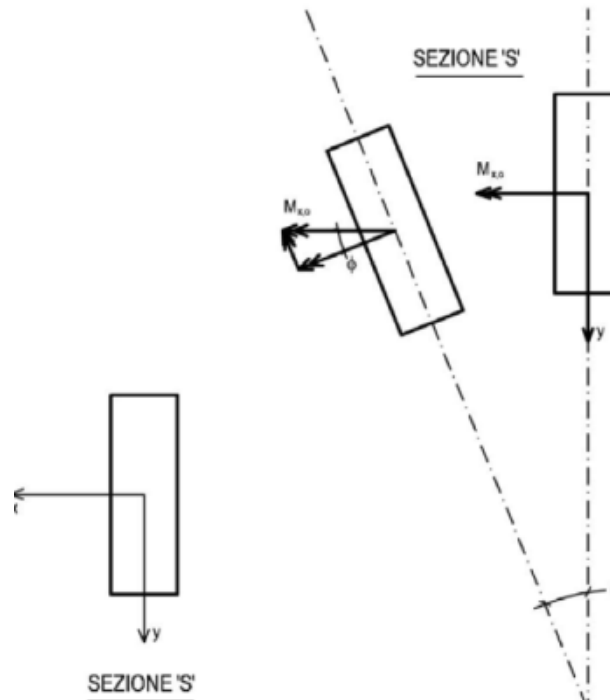
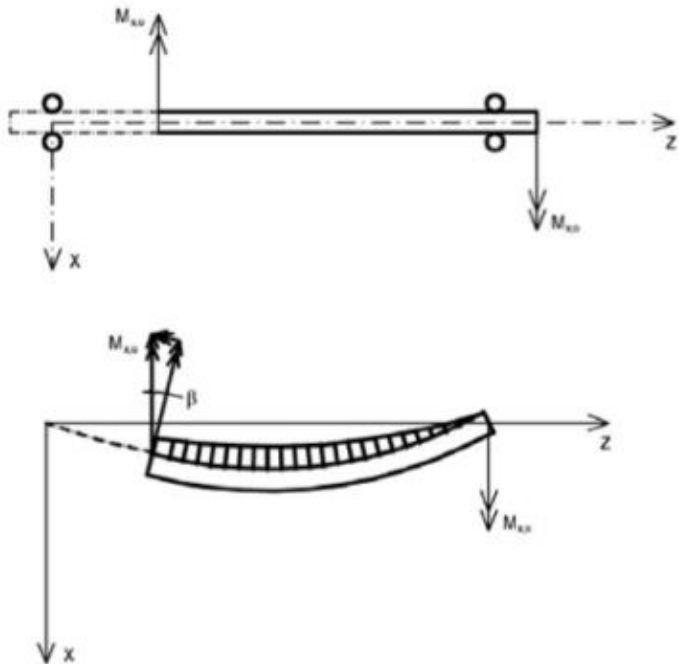
Torsionale pura



Flesso-torsionale



# Aste inflesse



- È tipico delle aste inflesse in cui la piattabanda compressa non è opportunamente / sufficientemente vincolata lateralmente, e quindi suscettibile a sbandamento laterale (svergolamento)
- Si tratta di situazioni da verificare nei confronti di possibile instabilità flessione-torsionale





# Aste inflesse

- L'instabilità è di tipo flesso-torsionale, poiché la deformata instabile è caratterizzata da uno sbandamento laterale e da una rotazione torsionale della generica sezione trasversale della trave
- Per la mensola caricata in figura, a un certo punto del processo di carico, la forza applicata raggiunge un particolare valore per cui si verifica un fenomeno dell'instabilità flesso-torsionale:
  - la sezione di estremità, invece di traslare semplicemente, subisce un improvviso spostamento laterale accoppiato a una rotazione intorno all'asse longitudinale della trave
  - Il zona compressa del profilo è associato ad una snellezza che regola il fenomeno dell'instabilità
  - La zona tesa cerca di svolgere il ruolo di vincolo per la zona compressa che sbanda
  - Il diverso comportamento dei due correnti induce una rotazione torsionale della sezione
- Problema tipico dei correnti compressi non adeguatamente vincolati ai solai



# Aste inflesse

Le travi inflesse possono sbandare lateralmente e torcersi collassando senza aver raggiunto la massima portanza a flessione

Parametri principali:

- Rigidezza flessionale
- Rigidezza torsionale
- Posizione del carico rispetto al baricentro
- Lunghezza della trave
- Vincoli
- Distribuzione dei carichi

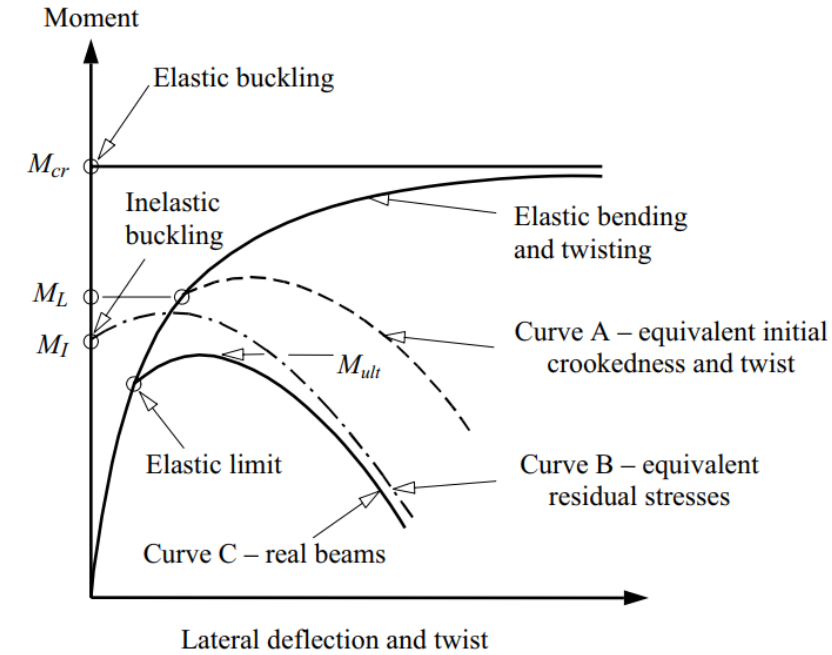
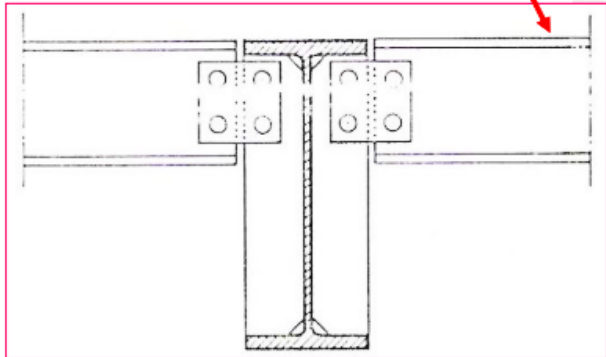
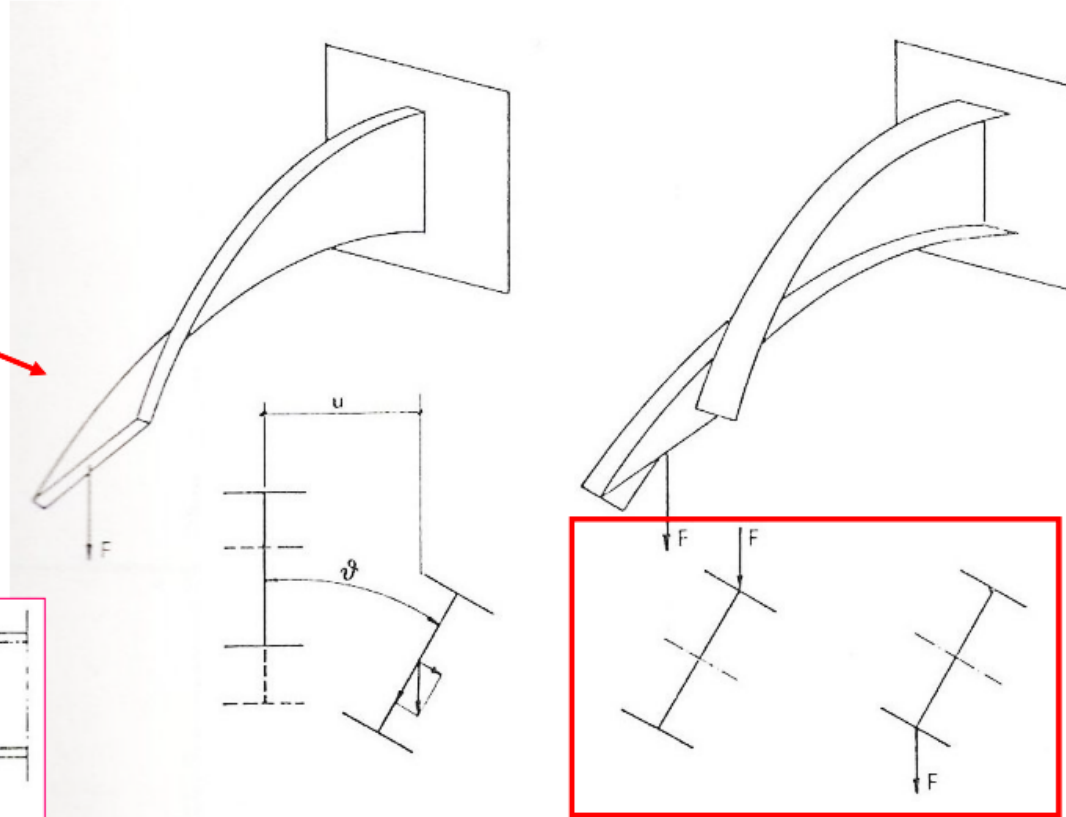
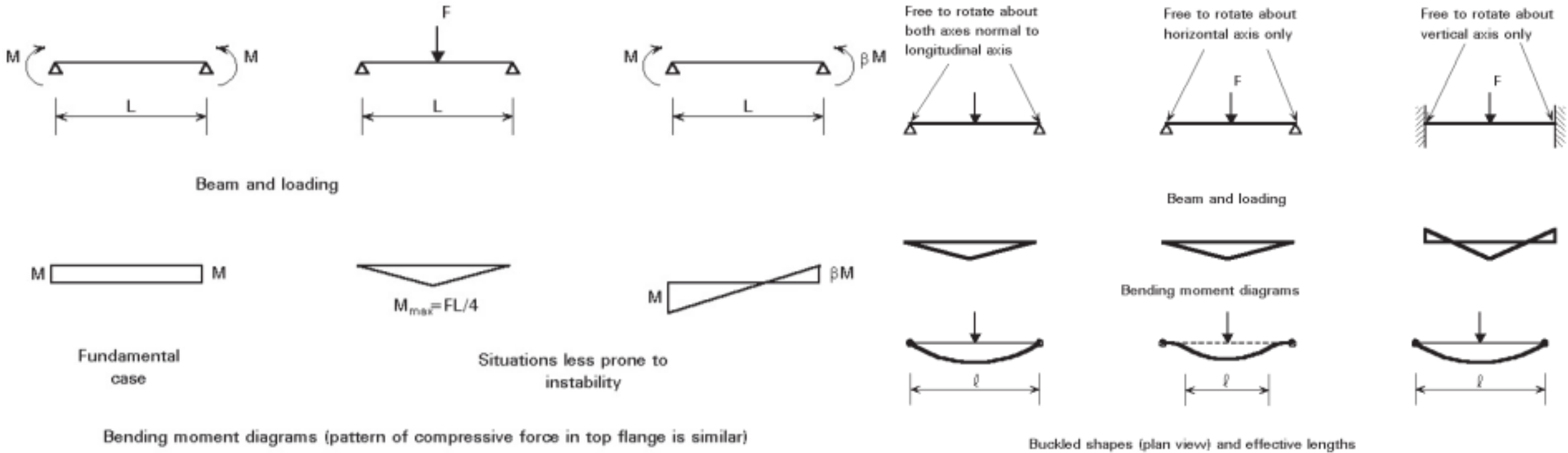
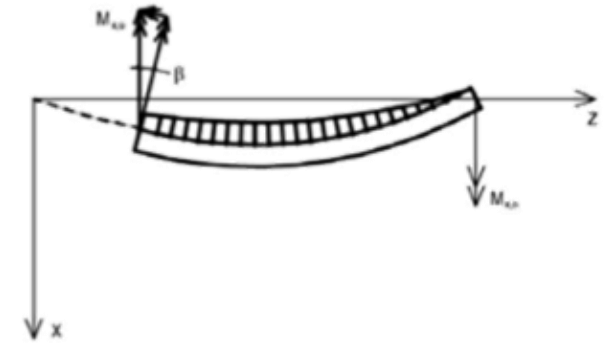


Figure 6.11 Behaviour of real beams.

# Aste inflesse



# Problema



## Ipotesi di calcolo

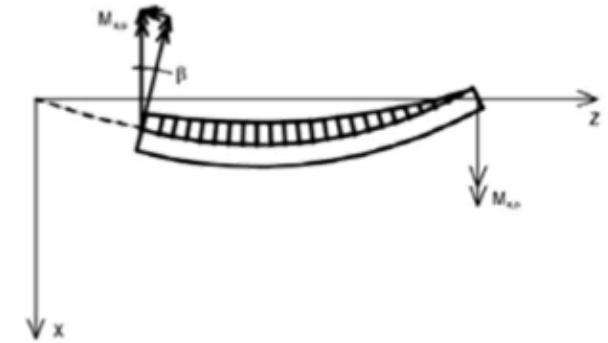
La trave è da considerarsi:

- Elastica
- Priva di imperfezioni iniziali
- Sottoposta a flessione retta (momento costante  $M_{x,0}$ )

Inoltre:

- Vincoli a cerniera / carrello nel piano yz della trave
- Lo spostamento laterale (in direzione x) e la torsione della trave sono impediti alle estremità
- Ipotesi di piccoli spostamenti nel piano della trave (cioè  $J_x \gg J_y$ )
- L'ingobbamento è libero (non impedito)

# Problema



Consideriamo una trave sollecitata a flessione semplice nel piano  $y - z$ . La flessione è retta, nello stesso piano, poiché un asse principale della sezione giace nello stesso piano.

La configurazione della trave è equilibrata: si vuole conoscere la qualità di tale equilibrio: stabile, indifferente, instabile.

A tale scopo perturbiamo la configurazione iniziale, portando la trave in una configurazione diversa, soggetta anche a flessione laterale e torsione.

Se l'equilibrio è indifferente la configurazione perturbata è anch'essa equilibrata. Il momento  $M_{x,0,cr}$ , che corrisponde all'equilibrio indifferente (punto di biforcazione dell'equilibrio), è il momento flettente 'critico'.

L'instabilità flessio-torsionale si manifesta per travi caratterizzate dall'aver  $J_x \gg J_y$ .

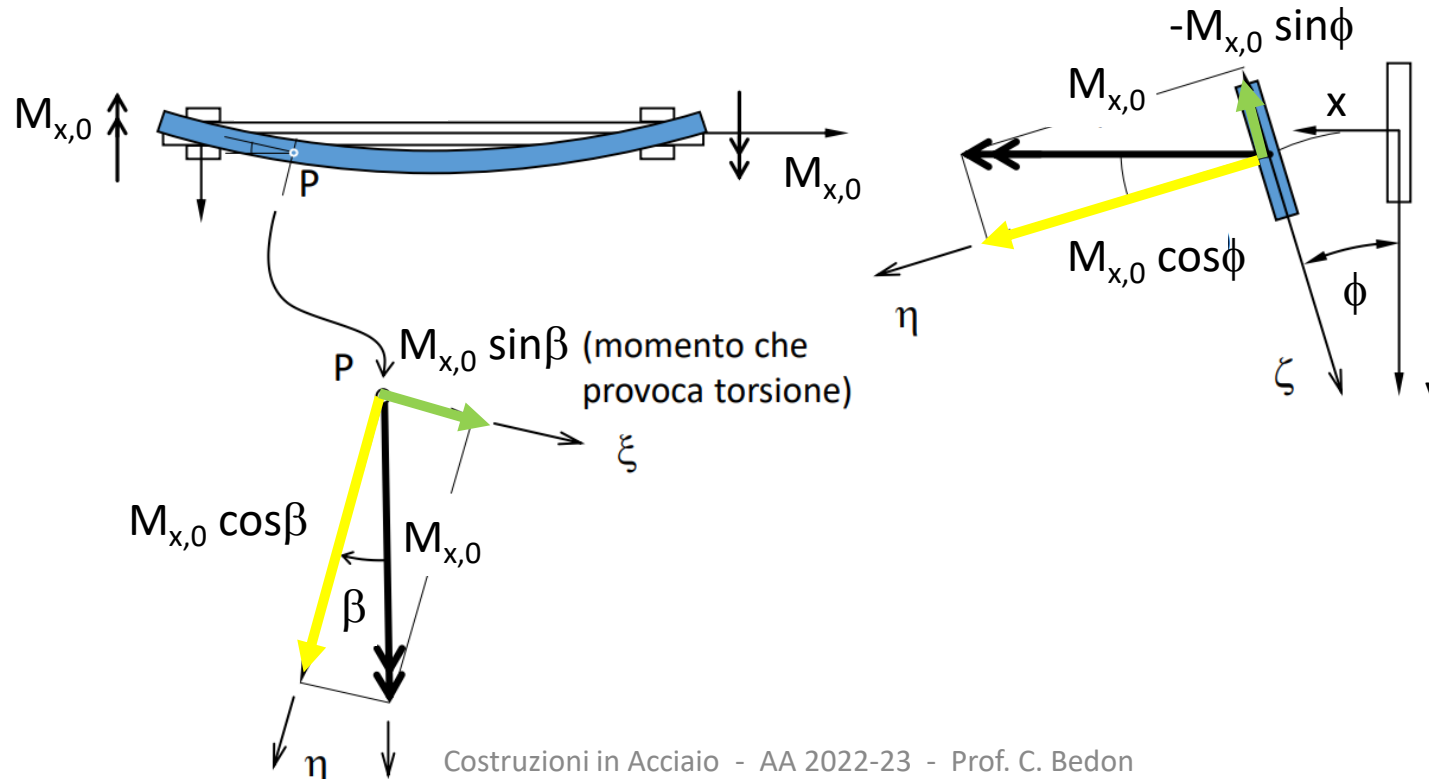
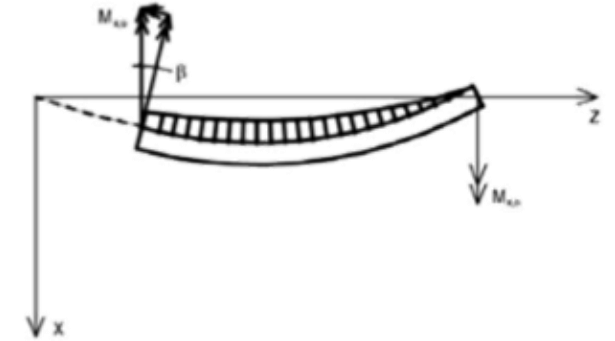
La direzione di  $M_{x,0}$  non cambia passando dalla configurazione originale a quella variata.

Nella situazione di equilibrio indifferente sono possibili, per lo stesso valore del momento critico  $M_{x,0,cr}$ , due configurazioni di equilibrio.

# Problema

Si approssima:

- (flessione nel piano)  $M_\eta = M_{x,0}$
- (flessione laterale)  $M_\eta = -M_{x,0} \sin\phi = -M_{x,0} \phi$
- (torsione)  $M_\xi = M_{x,0} \sin\beta = M_{x,0} \tan\beta = M_{x,0} du/dz$



# Problema

Rigidezza flessionale laterale del profilo (rispetto all'asse forte e debole)



Configurazione iniziale

$$M_{x,0} = -EJ_x \frac{d^2 v}{dz^2} \quad (16.1)$$

$$M_y = 0 \quad (16.2)$$

$$M_t = 0 \quad (16.3)$$

Configurazione variata

$$M_{x,0} = -EJ_x \frac{d^2 v}{dz^2} \quad (16.4)$$

$$M_y = M_{x,0} \cdot \phi = -EJ_y \frac{d^2 u}{dz^2} \quad (16.5)$$

$$M_t = M_{x,0} \frac{du}{dz} = GJ_t \frac{d\phi}{dz} \quad (16.6)$$

Per determinare  $M_{x,0,cr}$  sono sufficienti le ultime due equazioni di equilibrio della configurazione variata, che contengono le incognite  $\phi = \phi(z)$  ed  $u = u(z)$ . Manipoliamo le due equazioni differenziali per ricondurci ad una sola equazione. In particolare eliminiamo la funzione incognita  $u = u(z)$ .

Rigidezza torsionale primaria del profilo

Dalla equazione numero 16.5 si ricava:

$$\frac{d^2 u}{dz^2} = -\frac{M_{x,0} \cdot \phi}{EJ_y} \quad (16.7)$$

Deriviamo poi l'equazione 16.6 rispetto a z:

$$M_{x,0} \frac{d^2 u}{dz^2} = GJ_t \frac{d^2 \phi}{dz^2} \quad (16.8)$$

Ricaviamo quindi  $\frac{d^2 u}{dz^2}$ :

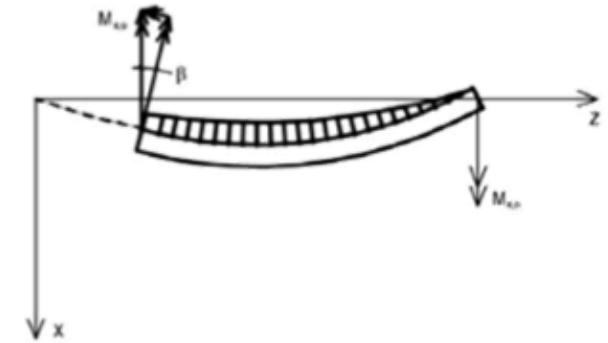
$$\frac{d^2 u}{dz^2} = \frac{GJ_t}{M_{x,0}} \frac{d^2 \phi}{dz^2} \quad (16.9)$$

Uguagliando le due espressioni di  $\frac{d^2 u}{dz^2}$  si ha:

$$\frac{GJ_t}{M_{x,0}} \frac{d^2 \phi}{dz^2} = -\frac{M_{x,0} \cdot \phi}{EJ_y} \quad (16.10)$$

# Problema

$$\frac{GJ_t}{M_{x,o}} \frac{d^2 \phi}{dz^2} = -\frac{M_{x,o} \cdot \phi}{EJ_y} \quad (16.10)$$



Si ottiene così:

$$\frac{d^2 \phi}{dz^2} + \frac{M_{x,o}^2}{EJ_y GJ_t} \cdot \phi = 0 \quad (16.11)$$

E' questa una equazione differenziale del 2° ordine, omogenea. La sua soluzione richiede l'imposizione di 2 condizioni al contorno.

$$\text{Poniamo } \alpha^2 = \frac{M_{x,o}^2}{EJ_y GJ_t}.$$

Sostituendo si ha:

$$\frac{d^2 \phi}{dz^2} + \alpha^2 \cdot \phi = 0 \quad (16.12)$$

Si riconosce immediatamente che l'equazione è formalmente identica a quella dell'asta di Eulero.

La soluzione generale è:

$$\phi(z) = C_1 \sin \alpha z + C_2 \cos \alpha z \quad (16.13)$$



# Soluzione

La soluzione generale è:

$$\phi(z) = C_1 \sin \alpha x + C_2 \cos \alpha x \quad (16.13)$$

Le condizioni al contorno sono quelle di incastro torsionale in corrispondenza degli appoggi torsionali di estremità, vincoli che impediscono le rotazioni:

$$\phi_{z=0} = 0 \quad \phi_{z=l} = 0$$

Imponendo le condizioni al contorno si ottiene:

$$C_1 \sin \alpha 0 + C_2 \cos \alpha 0 = 0 \quad \rightarrow \quad C_2 = 0 \quad (16.14)$$

Dalla seconda si ha:

$$C_1 \sin \alpha l = 0 \quad (16.15)$$

Affinché non si ottenga la soluzione banale occorre che sia:

$$\sin \alpha l = 0 \quad \rightarrow \quad \alpha l = k\pi \quad \rightarrow \quad \alpha = \frac{k\pi}{l} \quad \rightarrow \quad \alpha^2 = \frac{k^2 \pi^2}{l^2} \quad (16.16)$$

con  $k = 1$ .

Ricordando che  $\alpha^2 = \frac{M_{x,o}^2}{EJ_y GJ_t}$  si ottiene:

$$\alpha^2 = \frac{M_{x,o}^2}{EJ_y GJ_t} = \frac{\pi^2}{l^2} \quad (16.17)$$

E quindi il momento flettente critico,  $M_{x,o,cr}$ , vale:

$$M_{x,o,cr} = \frac{\pi}{l} \sqrt{EJ_y GJ_t} \quad (16.18)$$

Quindi tanto più piccolo è  $J_y$  tanto minore sarà  $M_{cr}$ ; inoltre  $GJ_t \approx b^3 h/3$ . Soffrono quindi di questo problema le travi alte e snelle. Per aumentare  $M_{cr}$  posso:

- aumentare  $J_y$ , ossia la rigidezza flessionale dell'asse debole;
- incremento la rigidezza torcente.

Questo è fondamentalmente un  $M_{cr}$  Euleriano in quanto è stato calcolato nelle ipotesi di trave priva di imperfezioni e in campo plastico. È comunque un valore a favore di sicurezza, dato che si è trascurata la rigidezza torsionale secondaria.

La verifica da effettuarsi sarà quindi del tipo:

$$M = M_x \leq \frac{M_{cr}}{\nu}$$

con  $\nu$  fattore di sicurezza, oppure:

$$\sigma_{max} = \frac{M_x}{W_x} \leq \frac{M_{cr}}{W_x \nu} = \frac{\sigma_{cr}}{\nu}$$

# Esempio

Con riferimento ad una trave in acciaio a sezione rettangolare e di lunghezza  $L=4000$  mm si ha:

$$W_{el} = \frac{bh^2}{6} = \frac{15 \cdot 250^2}{6} = 156250 \text{ mm}^3$$

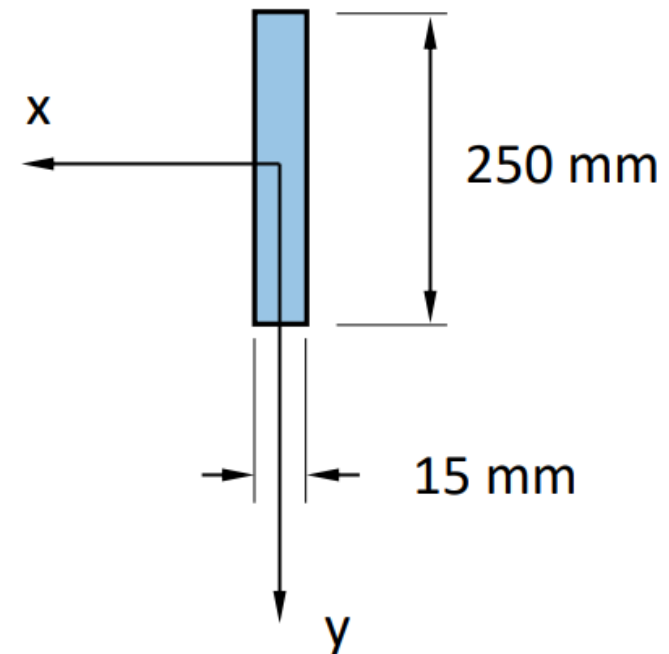
$$W_{pl} = \frac{bh^2}{4} = \frac{15 \cdot 250^2}{4} = 234375 \text{ mm}^3$$

$$M_{el,Rd} = \frac{W_{el} f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{156250 \cdot 275}{1.05} = 40.9 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{234375 \cdot 275}{1.05} = 61.4 \text{ kNm}$$

$$M_{x,0}^{(cr)} = 0.325 \frac{210000 \cdot 250 \cdot 15^3}{4000} = 14.4 \text{ kNm}$$

sezione trasversale



# Soluzione

Rigidezza flessionale laterale del profilo (misurata solitamente rispetto all'asse debole)

Rigidezza torsionale secondaria del profilo

Rigidezza torsionale primaria del profilo

Dato che la crisi avviene per  $\lambda_1 = \pi/l$ , avremo:

$$\lambda_1 = -\alpha + \sqrt{\alpha^2 + \beta} = \frac{\pi^2}{l^2}$$

$$M_{cr}^{(E)} = \frac{\pi}{l} \sqrt{EJ_y GJ_t \left( 1 + \frac{EJ_\omega \pi^2}{GJ_t l^2} \right)}$$

Si noti che ponendo  $EJ_\omega = 0$  si ritrova la 16.18. In termini di tensioni avremo:

$$\sigma_{cr} = \frac{1}{W} \frac{\pi}{l} \sqrt{EJ_y GJ_t \left( 1 + \frac{EJ_\omega \pi^2}{GJ_t l^2} \right)}$$

Il caso fin qui considerato di  $M_x = cost$ , carico uniforme e trave appoggiata può essere esteso ad altre condizioni di vincolo e di carico, introducendo un coefficiente  $k$ :



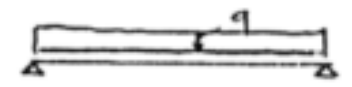
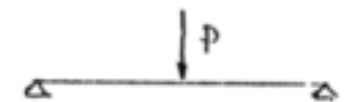
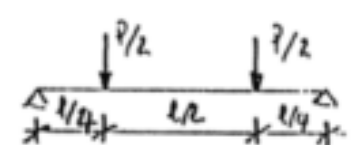
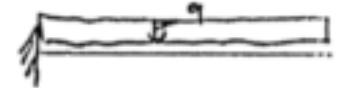
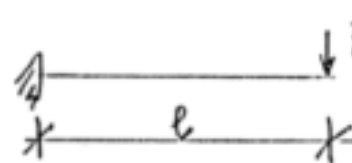
$$\sigma_{cr} = k \cdot \frac{1}{W} \frac{\pi}{l} \sqrt{EJ_y GJ_t} \cdot \sqrt{1 + \frac{EJ_\omega \pi^2}{GJ_t l^2}} \quad (16.19)$$

Esso dipende da vincolo e carico e può essere visto come prodotto di due fattori:

$$k = k_1 \cdot k_2$$

con  $k_1$  dipendente da condizioni di vincolo e carico e  $k_2$  dipendente dalla posizione del carico.

# Soluzione

	VALORI CRITICI	$M_{max}$	$k_1$
	$M_{CB} = \frac{\pi}{E} \sqrt{(\dots)}$	$M$	1
	$M_{CB} = \frac{\pi}{2E} \sqrt{(\dots)}$	$M$	0,5
	$(q\ell)_{CB} = \frac{28,3}{\ell} \sqrt{(\dots)}$	$\frac{q\ell^2}{8}$	1,13
	$P_{CB} = \frac{16,79}{\ell} \sqrt{(\dots)}$	$\frac{P\ell}{4}$	1,35
	$P_{CB} = \frac{29,6}{2\ell} \sqrt{(\dots)}$	$\frac{P\ell}{8}$	1,04
	$(q\ell)_{CB} = \frac{13,85}{\ell} \sqrt{(\dots)}$	$\frac{q\ell^2}{2}$	2,05
	$P_{CB} = \frac{4,013}{\ell} \sqrt{(\dots)}$	$P\ell$	1,28

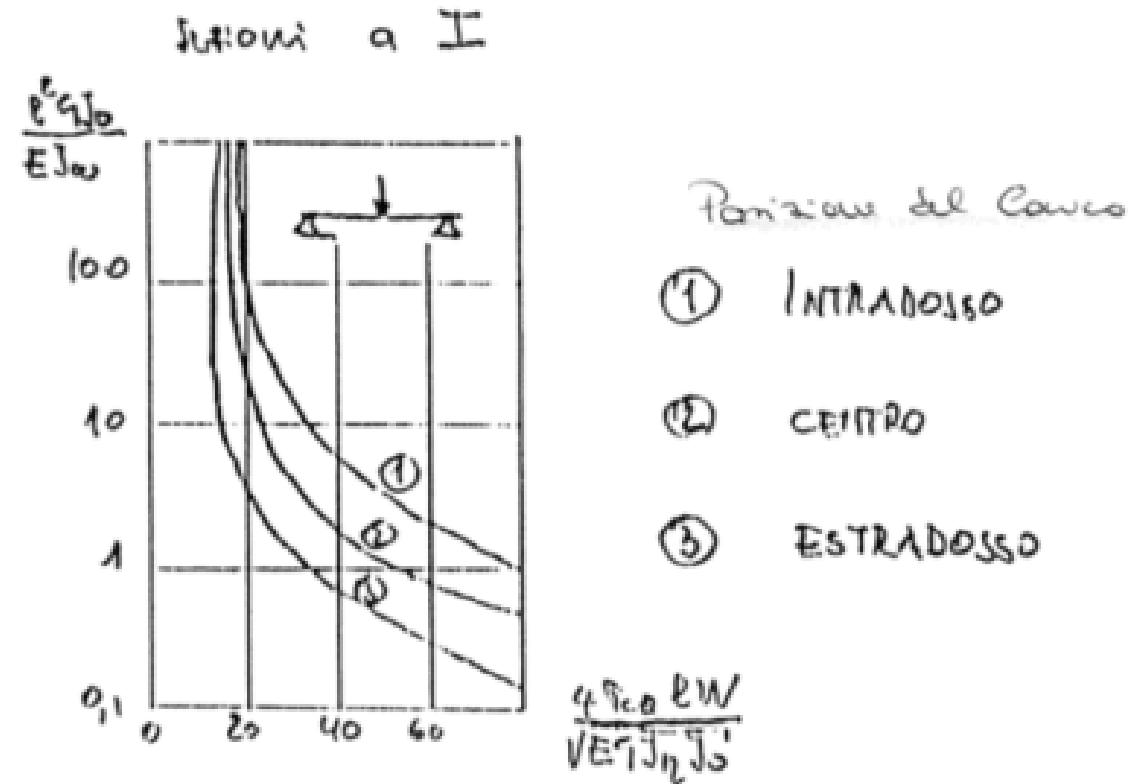


Figura 16.1: Valori di  $k_1$

# Approccio EC3

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1$$

Il momento resistente di progetto all'instabilità di una trave non controventata lateralmente dovrà essere assunto pari a:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{\beta_W W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}} \quad (16.20)$$

dove, al solito,  $\beta_W$  è il parametro che tiene conto della classe della sezione:

$\beta_W = 1$  per sezioni trasversali di Classe 1 o 2;

$\beta_W = W_y / W_{pl,y}$  per sezioni trasversali di Classe 3;

$\beta_W = W_{eff,y} / W_{pl,y}$  per sezioni trasversali di Classe 4;

Tab. 4.2.IX (b) - Definizione delle curve di stabilità per le varie tipologie di sezione e per gli elementi inflessi

Sezione trasversale	Limiti	Curva di instabilità da Tab. 4.2.VIII
Sezione laminata ad I	$h/b \leq 2$	b
	$h/b > 2$	c
Sezione composta saldata	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d
Altre sezioni trasversali	-	d

Analogamente all'asta caricata di punta,  $\chi_{LT}$  è un coefficiente di riduzione. Esso conserva anche la stessa forma analitica:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}}$$

(con la limitazione  $\chi_{LT} \leq 1$ ), nella quale

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2]$$

I valori dei coefficienti di imperfezione  $\alpha_{LT}$  per l'instabilità flessione-torsionale devono essere assunti pari a:

$\alpha_{LT} = 0,21$  per le sezioni laminate;

$\alpha_{LT} = 0,49$  per le sezioni saldate.

Tab. 4.2.IX (a) Valori raccomandati di  $\alpha_{LT}$  per le differenti curve di stabilità.

Curva di stabilità	a	b	c	d
Fattore di imperfezione $\alpha_{LT}$	0,21	0,34	0,49	0,76

# Approccio EC3

Il valore di  $\bar{\lambda}_{LT}$  può essere determinato dall'espressione:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_W W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \sqrt{\beta_W}$$

dove  $\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,3 \cdot \epsilon$  con:  $\epsilon = \sqrt{235/f_y}$  e  $M_{cr}$  il momento critico elastico per instabilità flessio-torsionale.

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

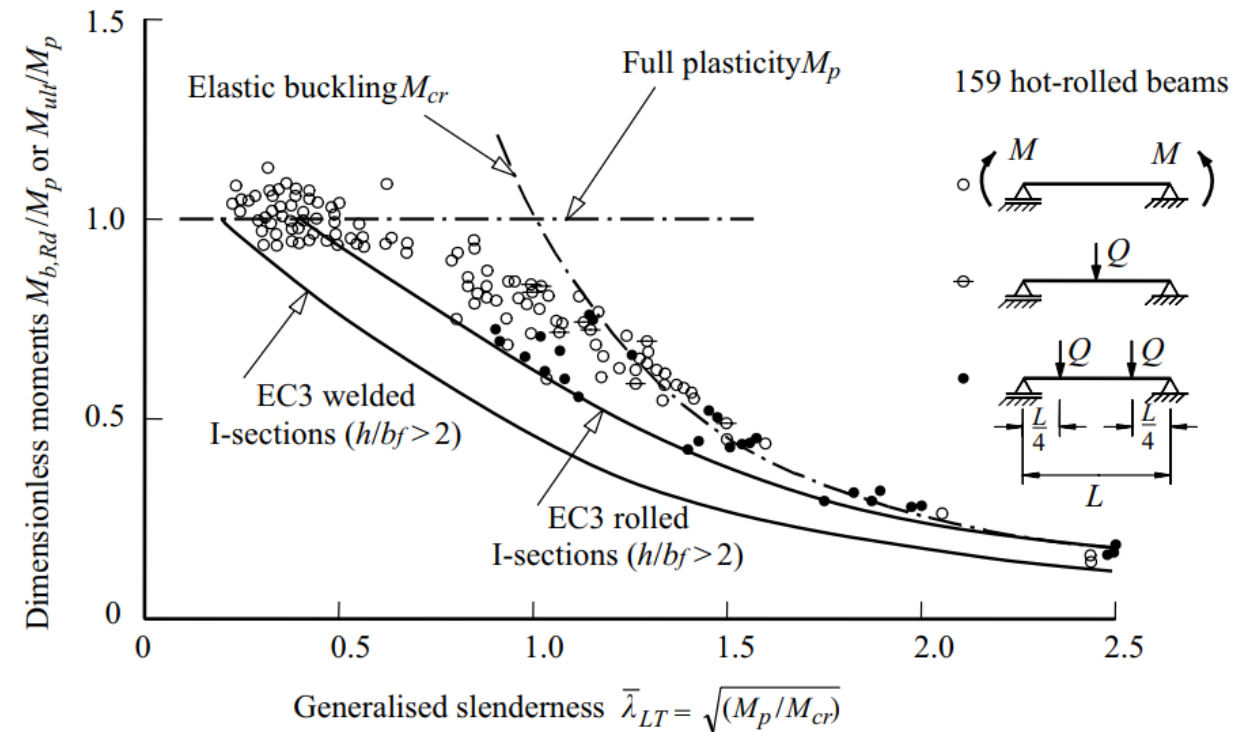
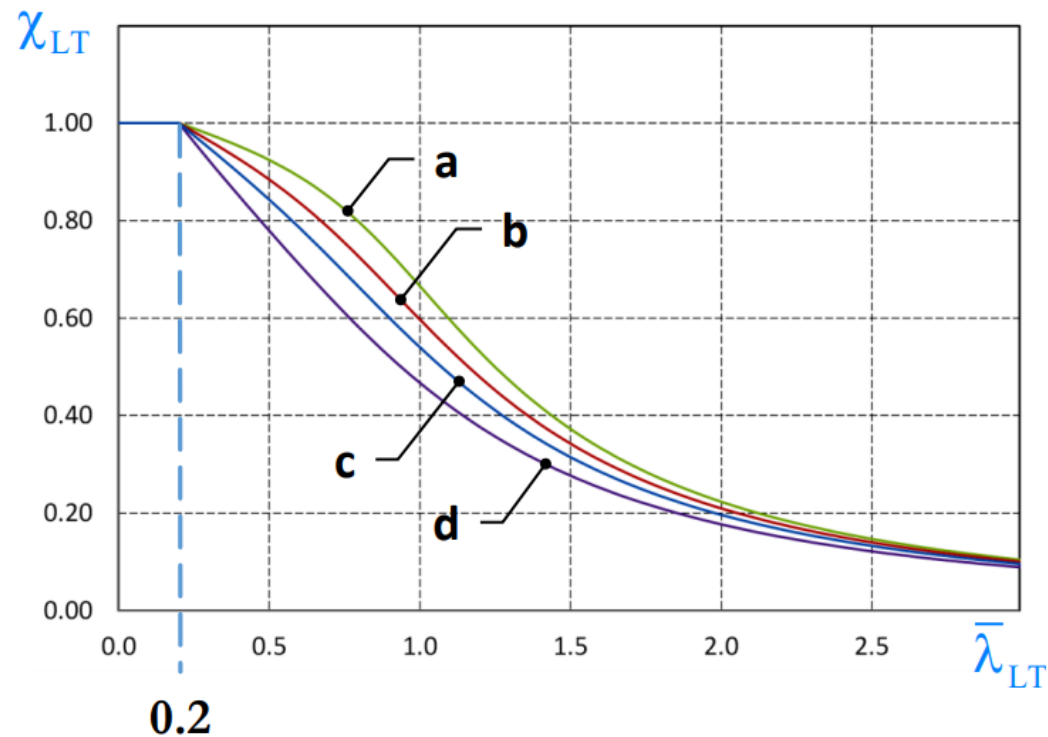


Figure 6.12 Moment resistances of beams in near-uniform bending.

# Approccio EC3

Valori raccomandati  
per il fattore di imperfezione

Curva	a	b	c	d
$\alpha_{LT}$	0.21	0.34	0.49	0.76



# Approccio EC3

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{\beta_W W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq \begin{cases} 1,0 \\ \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \cdot \frac{1}{f} \end{cases} \quad \bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{yk}}{M_{cr}}}$$

con

$$f = 1 - 0,5(1 - k_c) \left[ 1 - 2,0(\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2 \right] \quad \Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

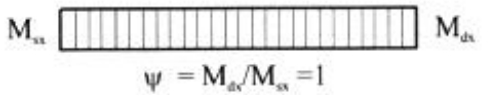
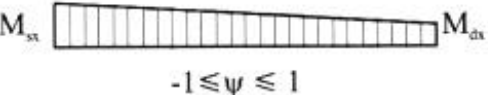
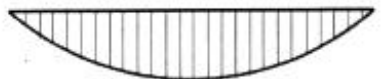


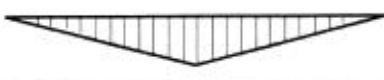


Nel caso generale, si può assumere  $f = 1$ ,  $\beta = 1$ ,  $K_\chi = 1$  e  $\alpha_{LT} = 0,2$

Per i profili a I o a H, laminati o composti saldati, il coefficiente  $\alpha_{LT}$  non può mai essere assunto superiore a 0,4, il coefficiente  $\beta$  non può mai essere assunto inferiore a 0,75 e il termine  $K_\chi$  è definito come:

$$K_\chi = \min \left( 1, \frac{1}{f \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2} \right)$$




# Approccio EC3

Distribuzione del momento flettente	Fattore correttivo $k_c$
 $\psi = M_{dx}/M_{sx} = 1$	1,0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1.33 - 0.33 \cdot \psi}$
	0.94
	0.90
	0.91
	0.86
	0.77
	0.82

con

$$\chi_{LT} = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq \begin{cases} 1,0 \\ \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \cdot \frac{1}{f} \end{cases} \quad \bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{yk}}{M_{cr}}}$$

$$f = 1 - 0,5(1 - k_c) \left[ 1 - 2,0(\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2 \right] \quad \Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$


# Approccio EC3

$M_{cr}$  è il momento critico elastico di instabilità flessione-torsionale, calcolato considerando la sezione lorda del profilo e tenendo in conto, le condizioni di carico ed i vincoli torsionali presenti, nell'ipotesi di diagramma di momento flettente uniforme.

Per profili standard (sezioni doppiamente simmetriche ad I o H):

$$M_{cr} = \psi \cdot \frac{\pi}{L_{cr}} \cdot \sqrt{EJ_y \cdot GJ_T} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\pi}{L_{cr}}\right)^2 \cdot \frac{EJ_{\omega}}{GJ_T}}$$

dove

$L_{cr}$  è la lunghezza di libera inflessione laterale, misurata tra due ritegni torsionali successivi,

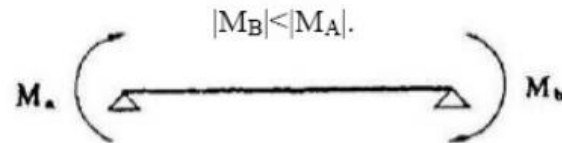
$EJ_y$  è la rigidezza flessionale laterale del profilo (misurata in genere rispetto all'asse debole)

$GJ_T$  è la rigidezza torsionale primaria del profilo

$EJ_{\omega}$  è la rigidezza torsionale secondaria del profilo

$\psi$  tiene conto della distribuzione del momento flettente lungo la trave

$$\psi = 1.75 - 1.05 \cdot \frac{M_B}{M_A} + 0.3 \cdot \left(\frac{M_B}{M_A}\right)^2$$



$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}}$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2]$$

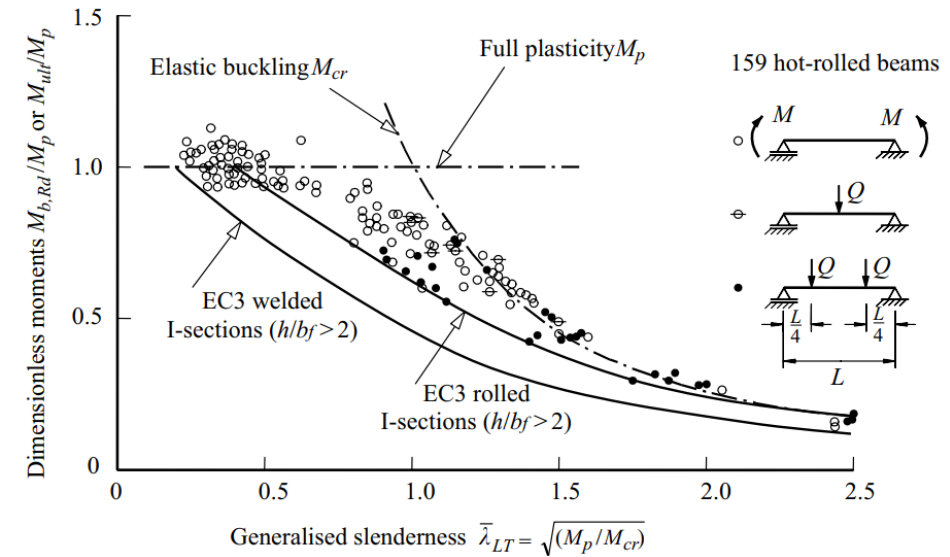
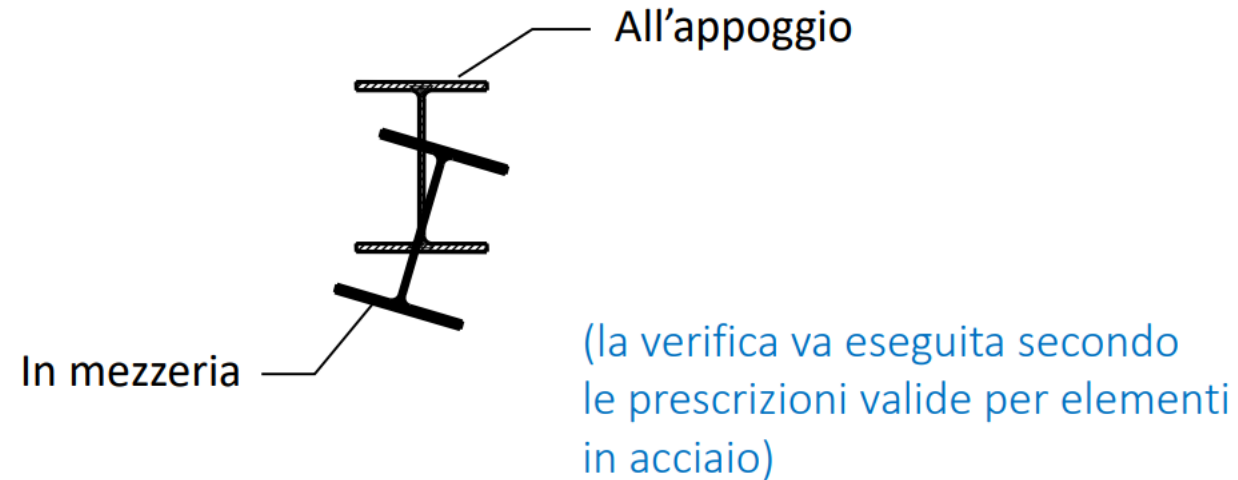


Figure 6.12 Moment resistances of beams in near-uniform bending.

# Approccio NTC

Se il rapporto tra la larghezza dell'ala e la lunghezza della campata è basso, la flangia superiore in compressione può instabilizzarsi lateralmente. La sezione trasversale ruota intorno all'asse longitud. ma mantiene la propria forma.

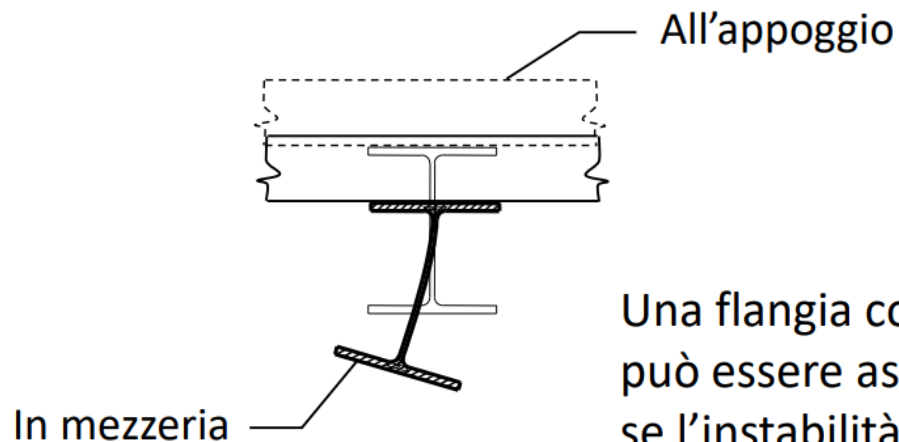


## Nota !

Tale comportamento va verificato particolarmente nel caso di travi non puntellate all'atto del getto della soletta.

# Approccio NTC – Sezioni composte acciaio-clc

Vicino agli appoggi di travi continue, la flangia inferiore compressa è vincolata allo sbandamento laterale solo dall'anima della trave. Se la connessione tra la trave e la soletta è efficace, la flangia superiore è invece in una qualche misura impedita ad instabilizzarsi lateralmente. La sezione trasversale ruota intorno all'asse longitudinale ma non mantiene la propria forma.



Una flangia collegata alla soletta in calcestruzzo con connessioni a taglio può essere assunta stabile nei confronti dell'instabilità laterale, se l'instabilità laterale della soletta in calcestruzzo è impedita.

Tutte le altre flange in compressione devono essere verificate alla stabilità laterale.

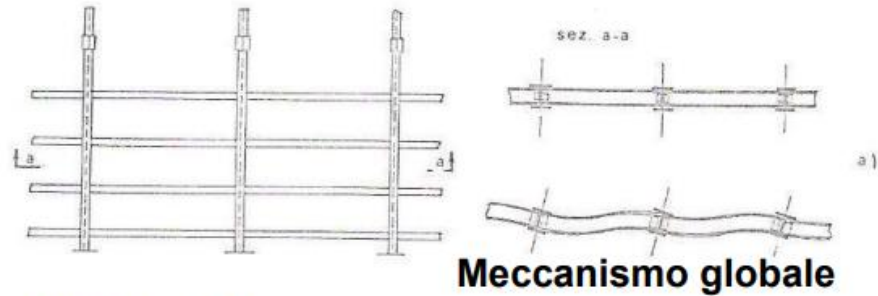
# Vincoli reali (e cedevoli)

**Condizioni reali spesso più favorevoli di quelle ideali**

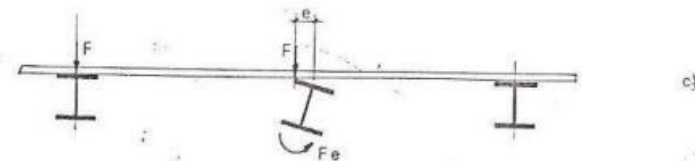
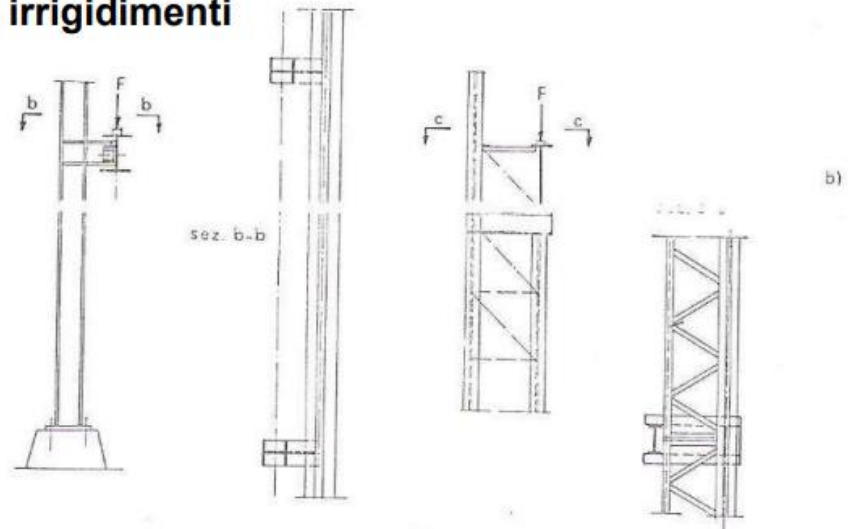
L'inflessione della trave secondaria da un contributo stabilizzante

Gli irrigidimenti per contrastare il serpeggiamento danno un contributo stabilizzante

L'iterazione trave-soletta produce un momento di richiamo che da un contributo alla stabilizzazione



**Presenza di irrigidimenti**



# Metodo di verifica semplificato

Il metodo semplificato può essere utilizzato per verificare resistenza della flangia compressa all'instabilità latero-torsionale, ma non per l'instabilità laterale dell'intero sistema.

Il metodo considera la flangia più un terzo della parte compressa dell'anima come un'asta compressa soggetta ad instabilità laterale.

## Nota !

Il seguente sviluppo si riferisce al caso di vincoli trasversali rigidi e non continui per la flangia.

Il vincolo trasversale è rigido se è verificata la relazione  $C_d \geq \frac{4 N_{Ed}}{L}$

dove :

$C_d$  rigidità laterale del vincolo

$N_{Ed}$  sforzo critico del profilo con area efficace e appoggiato agli estremi

$L$  distanza longitudinale tra i vincoli

tratto da: Eurocodice 3 Parte 2 - 6.3.4(7)

# Metodo di verifica semplificato

La snellezza adimensionale è calcolata mediante la relazione :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{f_y A_{eff}}{N_{cr}}}$$

dove :

$A_{eff}$  area efficace =  $A_f + A_{wc}/3$   
 $A_f$  area della flangia compressa  
 $A_{wc}$  area compressa dell'anima

Lo sforzo normale critico può essere calcolato mediante la relazione :

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E I_{eff,z}}{L^2}$$

dove :

$I_{eff,z}$  momento d'inerzia dell'area efficace rispetto all'asse minore  
L distanza tra supporti rigidi

Oppure, più correttamente, lo sforzo normale critico può essere calcolato mediante analisi elastica linearizzata del secondo ordine dell'intero sistema

$$N_{cr} = \alpha_{crit} N_{f,Ed}$$

dove :

$\alpha_{crit}$  moltiplicatore critico calcolato mediante analisi 3D  
 $N_{f,Ed}$  sforzo normale nell'area efficace di flangia+ anima

# Metodo di verifica semplificato

La verifica all'instabilità latero-torsionale risulta soddisfatta se è verificata la relazione :

$$N_{Ed} \leq \chi_{LT} \frac{f_y A_{eff}}{\gamma_{M1}}$$

dove :

$A_{eff}$  area efficace della parte compressa (flangia + anima)

$N_{Ed}$  massima forza di progetto sviluppata nell'area efficace all'interno dei supporti trasversali. Essa può essere calcolata mediante analisi lineare del primo ordine del modello 3D