

Corso di aggiornamento

Elementi strutturali e collegamenti in acciaio

13 - Collegamenti trave-colonna

Villa Redenta, Spoleto

2-4 marzo 2017

Aurelio Ghersi

Tipi di collegamenti in funzione della resistenza

1. Collegamento a parziale ripristino di resistenza

In grado di trasmettere le caratteristiche di sollecitazione di progetto

2. Collegamento a completo ripristino di resistenza

In grado di trasmettere le caratteristiche di sollecitazione ultime del meno resistente tra gli elementi collegati

Tipi di collegamenti in funzione della rigidezza

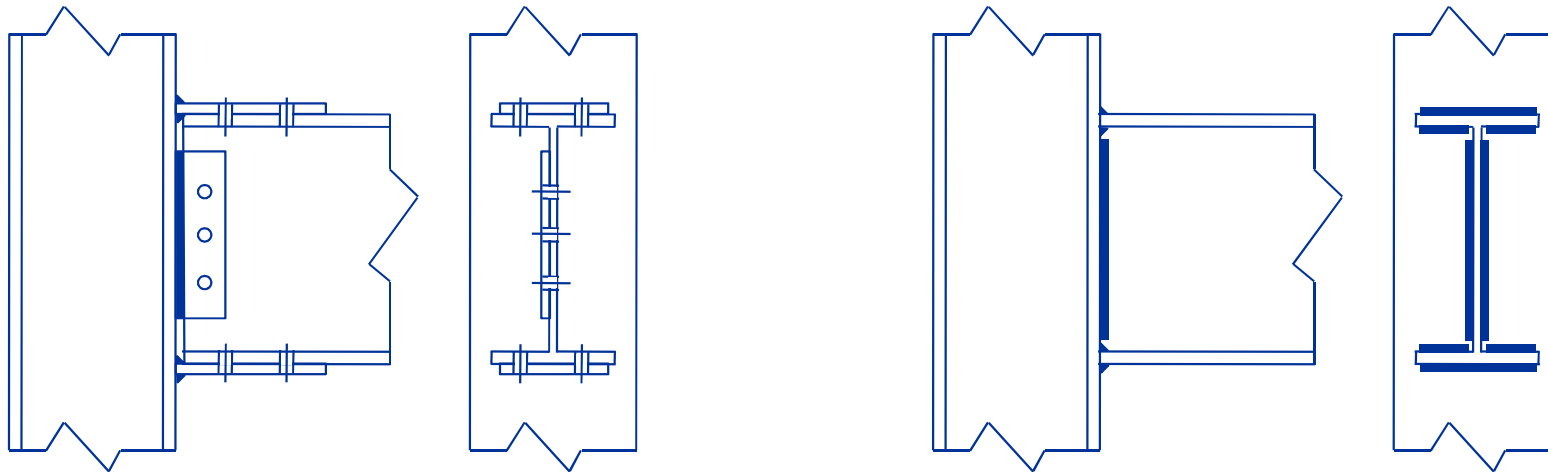
1. Collegamento rigido (ad incastro)
 - In grado di trasmettere momento flettente
 - Impedisce rotazioni relative
2. Collegamento a cerniera
 - Non trasmette momento flettente
 - Non impedisce rotazioni relative

Tipi di collegamenti

1. Collegamento rigido (ad incastro)

- In grado di trasmettere momento flettente
- Impedisce rotazioni relative *

Collegamenti saldati



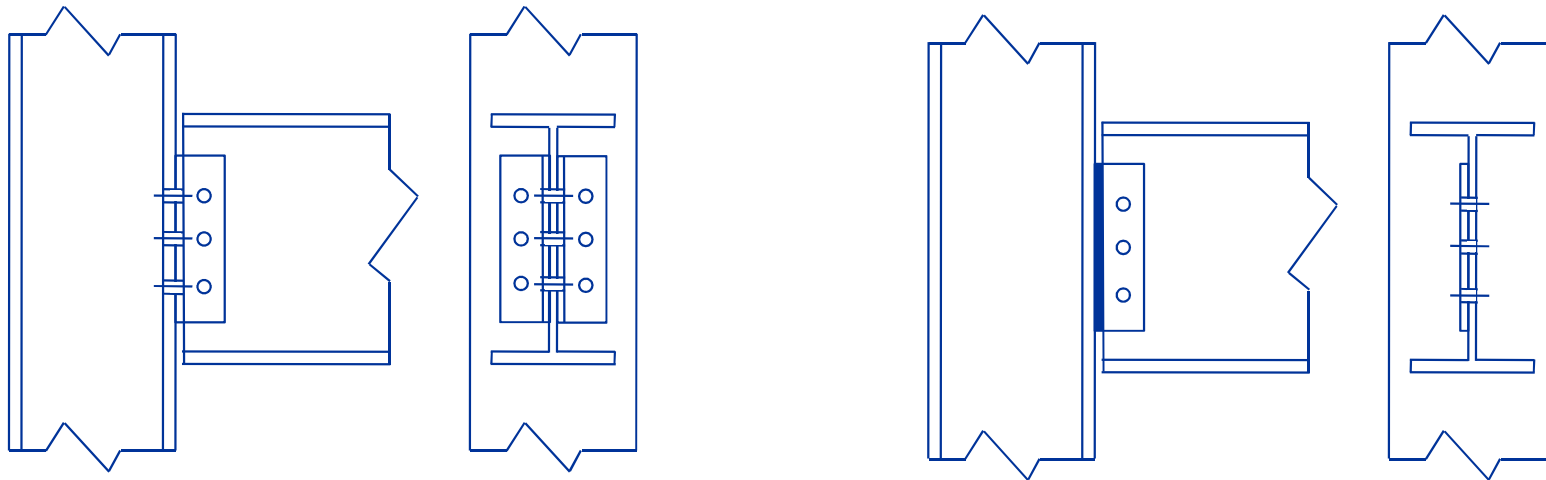
* Nota: è importante anche la rigidezza del nodo

Tipi di collegamenti

2. Collegamento a cerniera

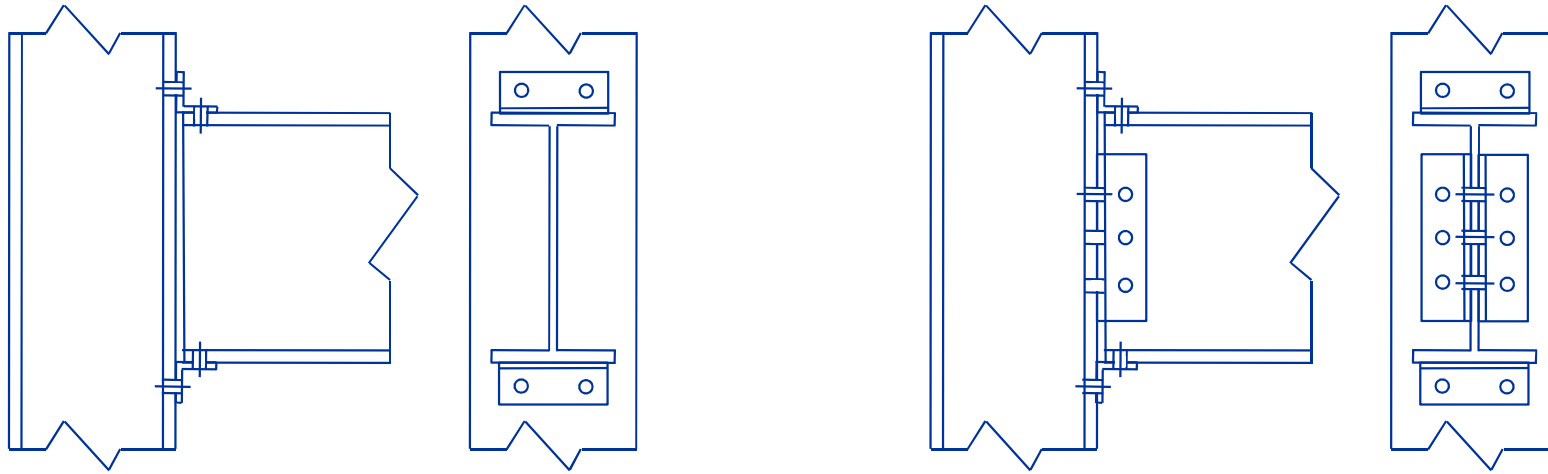
- Non trasmette momento flettente
- Non impedisce rotazioni relative

Collegamenti con angolari o piastra d'anima

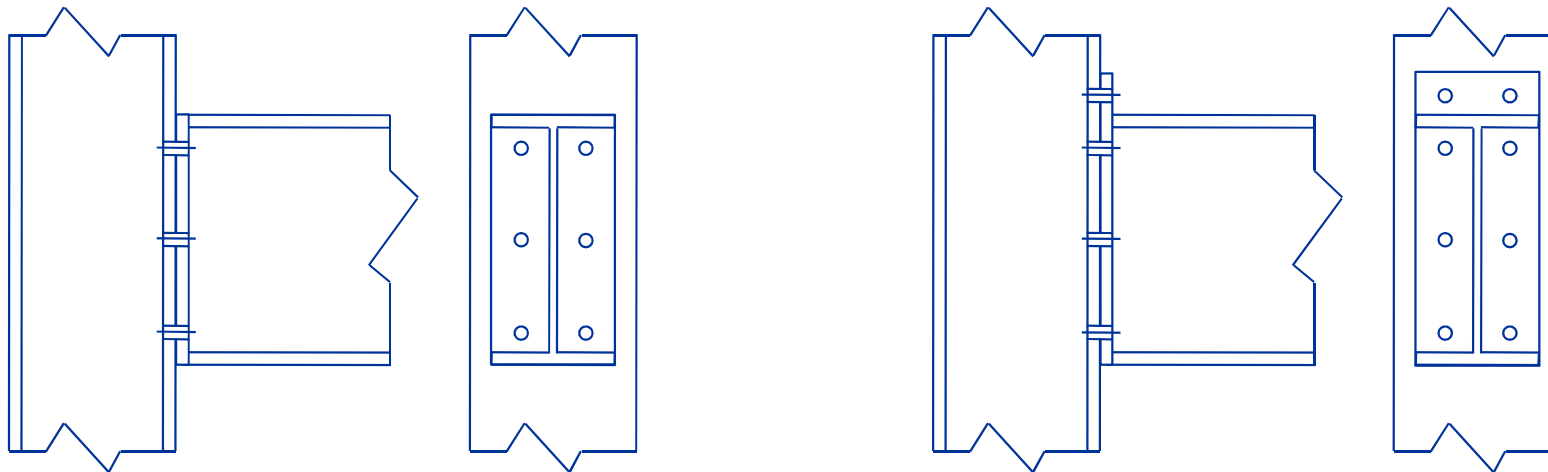


Altri esempi di collegamento

Collegamenti con angolari



Collegamenti flangiati

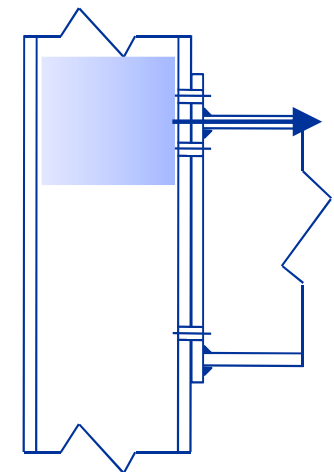
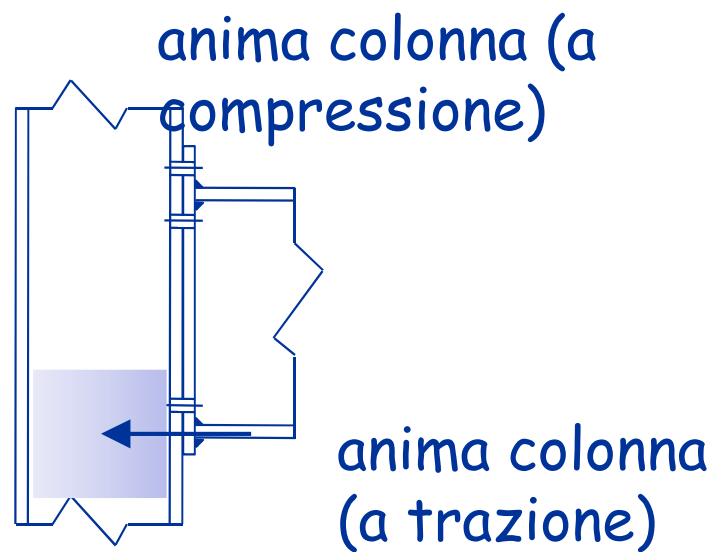
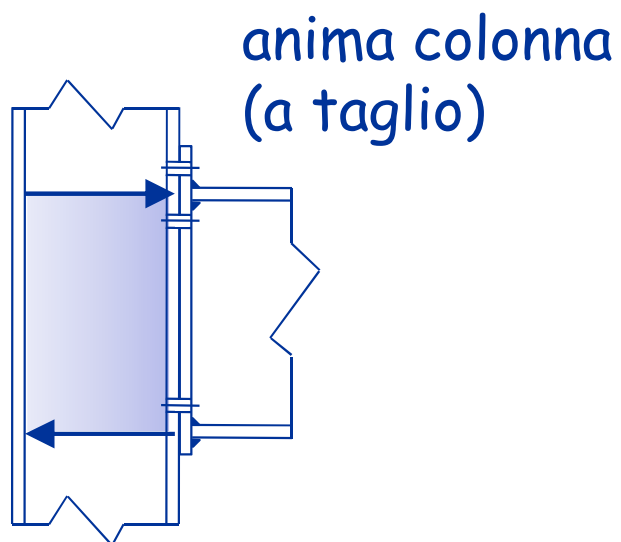
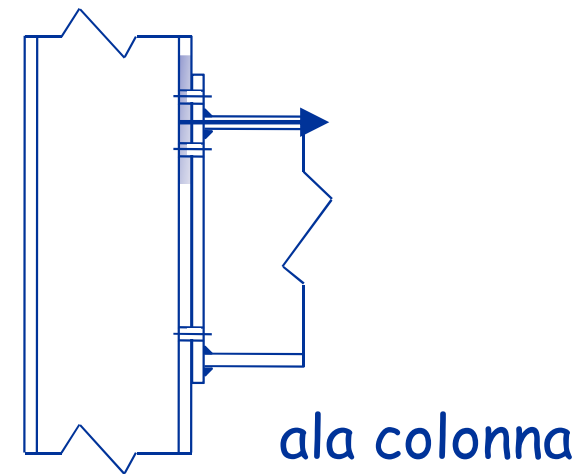
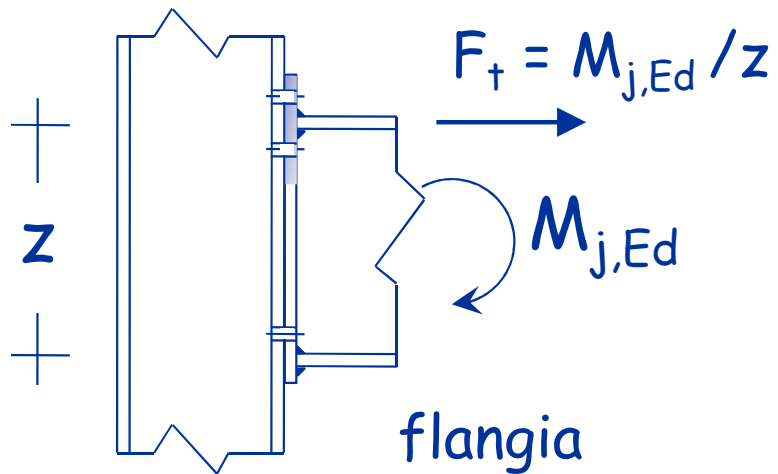


Resistenza

Resistenza di un giunto

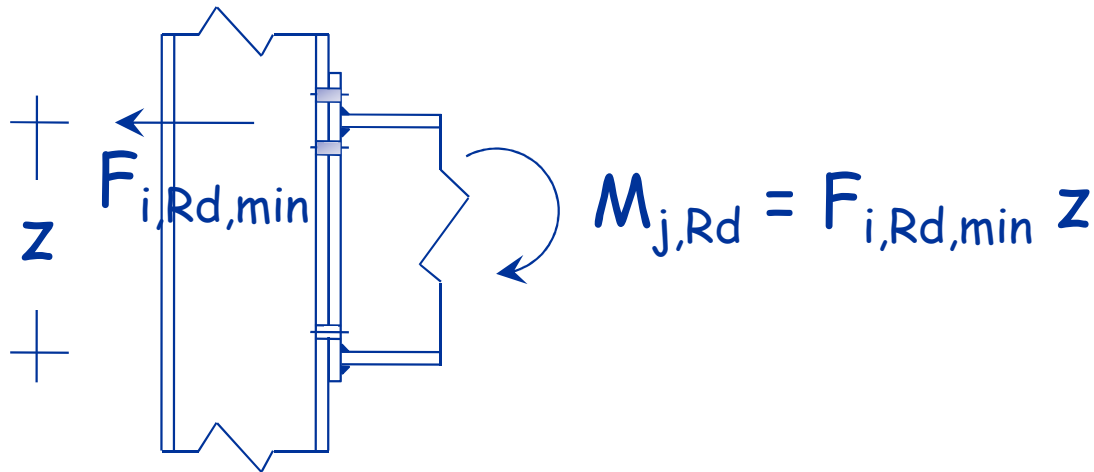
- Il giunto è costituito da varie componenti, ciascuna delle quali ha un limite di resistenza
- La resistenza del giunto è dettata dalla resistenza minore delle sue componenti

Resistenza delle componenti



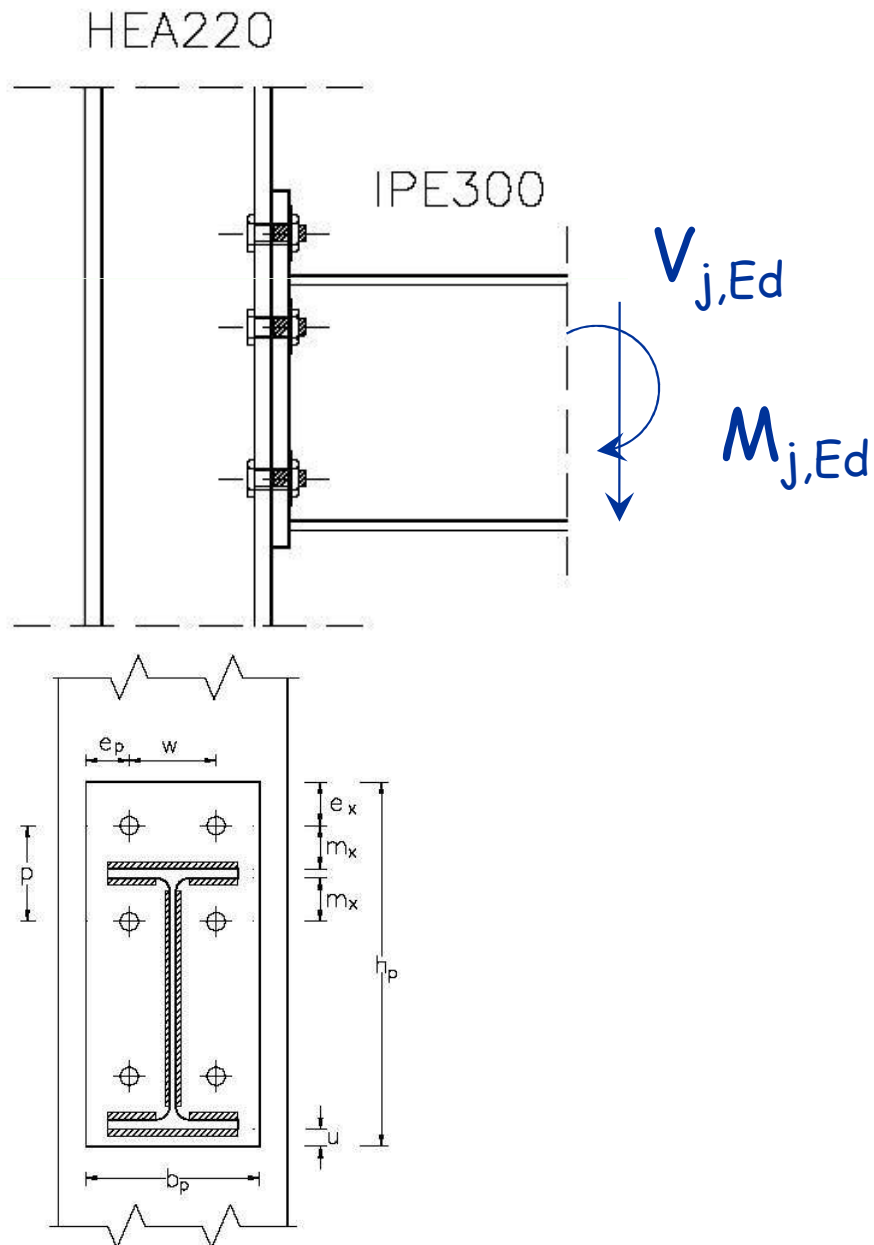
Verifica del giunto

1. Si valuta la forza resistenza $F_{i,Rd}$ di ciascun componente
2. Si valuta il momento resistente $M_{j,Rd}$ moltiplicando la resistenza minima $F_{i,Rd,min}$ per il braccio z



3. Si confronta $M_{j,Rd}$ con $M_{j,Ed}$

Esempio - Dati



Acciaio

S275

Bulloni

M20, classe 6.8

Piatto

$t_p = 15 \text{ mm}$

della flangia

$b_p = 200 \text{ mm}$

$h_p = 420 \text{ mm}$

$e_p = 50 \text{ mm}$

$e_x = 50 \text{ mm}$

$u = 20 \text{ mm}$

Saldature

$a_w = 4 \text{ mm}$

$a_f = 6 \text{ mm}$

Colonna

$t_{wc} = 7 \text{ mm}$

$t_{fc} = 11 \text{ mm}$

$r_c = 18 \text{ mm}$

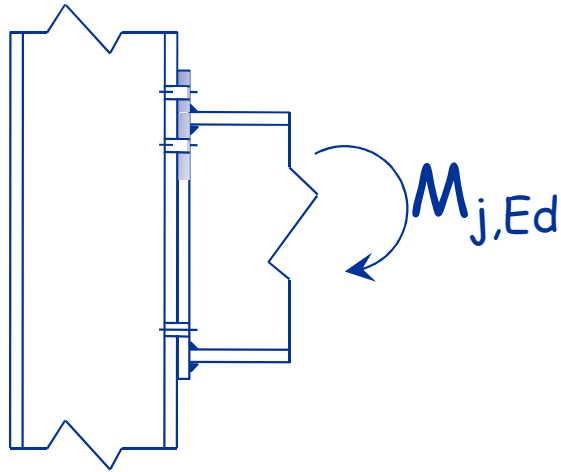
Trave

$t_{fb} = 10.7$

$t_{wb} = 7.1$

Resistenza della flangia

Dati



Acciaio

S275

Piastra

$t_p = 15 \text{ mm}$

$m = 27.9 \text{ mm}$

$e_x = 50 \text{ mm}$

Bulloni

$n_b = 4$

M20, classe 6.8

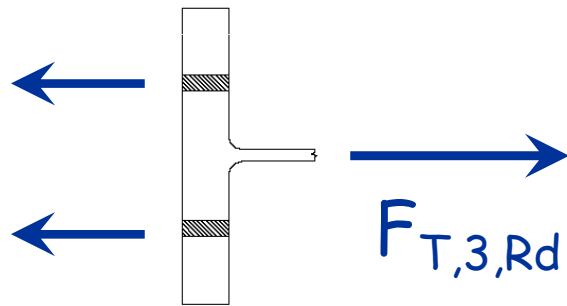
Già dimensionato in precedenza

Si è tenuto conto dell'effetto leva

Si sono considerati i tre meccanismi di collasso

Resistenza della flangia bulloni

Dati



Acciaio

S275

Piastra

$t_p = 15 \text{ mm}$

$m = 27.9 \text{ mm}$

$e_x = 50 \text{ mm}$

Bulloni

$n_b = 4$

M20, classe 6.8

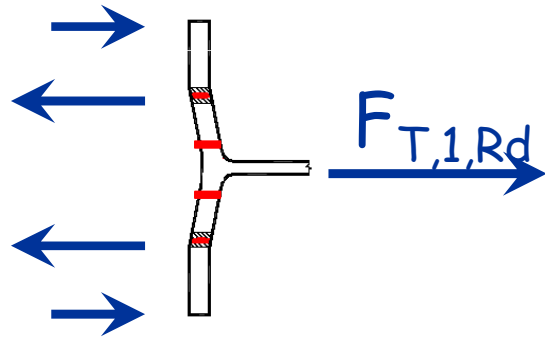
Resistenza dei bulloni

$$F_{T,3,Rd} = n_b F_{t,Rd} = 4 \times 105.8 = 423.2 \text{ kN}$$

Occorre tener conto dell'effetto leva

Resistenza della flangia meccanismo 1

Dati



Acciaio

S275

Piastra

$t_p = 15 \text{ mm}$

$m = 27.9 \text{ mm}$

$e_x = 50 \text{ mm}$

Bulloni

$n_b = 4$

M20, classe 6.8

$$L_{\text{eff}} = 200 \text{ mm}$$

$$M_{\text{pl,Rd}} = \frac{L_{\text{eff}} t_p^2 f_y}{4 \gamma_{M0}} = \frac{200 \times 15^2 \times 275}{4 \times 1.05 \times 10^6} = 2.95 \text{ kN m}$$

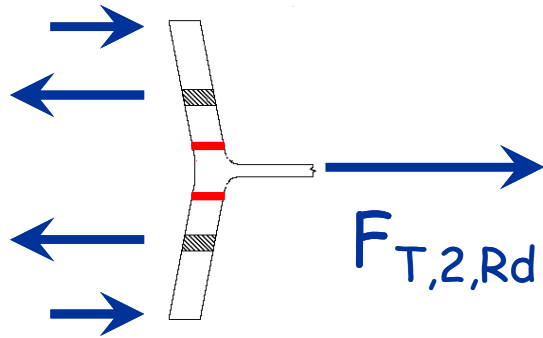
$$F_{\text{T,1,Rd}} = \frac{4 M_{\text{pl,Rd}}}{m} = \frac{4 \times 2.95}{27.9 \times 10^{-3}} = 423.0 \text{ kN}$$

Ma il bullone
non ce la fa

Resistenza della flangia

meccanismo 2

Dati



Acciaio

S275

Piastra

$t_p = 15 \text{ mm}$

$m = 27.9 \text{ mm}$

$e_x = 50 \text{ mm}$

Bulloni

$n_b = 4$

M20, classe 6.8

$$M_{pl,Rd} = 2.95 \text{ kN m}$$

$$\min(F_{t,Rd}, B_{b,Rd}) = 105.8 \text{ kN}$$

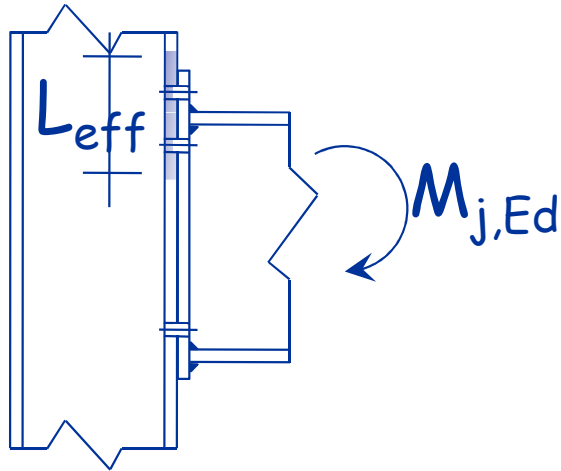
$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,Rd} + n_b \min(F_{t,Rd}, B_{b,Rd}) e_x}{m + e_x} = 347.5 \text{ kN}$$

È questa la
resistenza
della flangia

Resistenza dell'ala della colonna

dati geometrici

Dati



Acciaio
Colonna

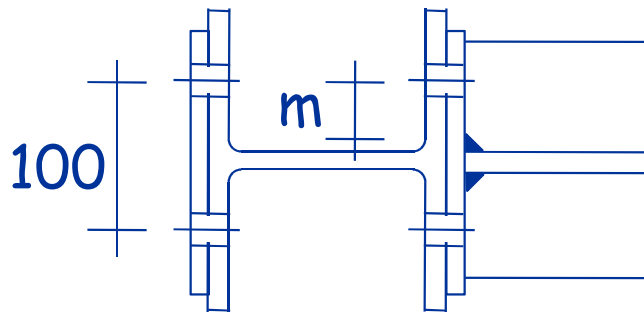
S275

$$t_{f,c} = 11 \text{ mm}$$

$$t_{w,c} = 7 \text{ mm}$$

$$r_c = 18 \text{ mm}$$

$$m = 32.1 \text{ mm}$$



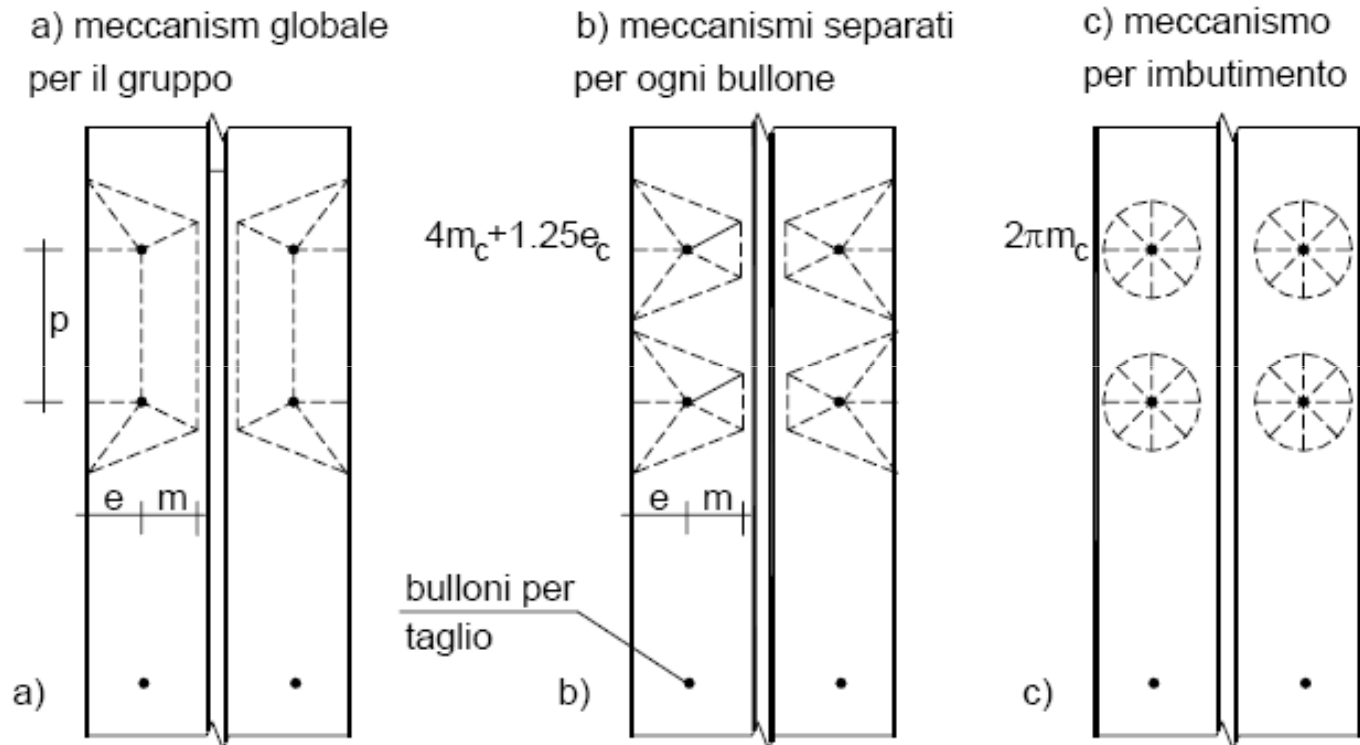
$$m = 50 - t_{w,c} / 2 - 0.8 r_c = 32.1 \text{ mm}$$

Resistenza dell'ala della colonna

dati geometrici

1. Una porzione di colonna viene modellata con un elemento a T equivalente
2. L'altezza di questa porzione di colonna rappresenta L_{eff}

Possibili
meccanismi
di rottura



Resistenza dell'ala della colonna

dati geometrici

1. Una porzione di colonna viene modellata con un elemento a T equivalente
2. L'altezza di questa porzione di colonna rappresenta L_{eff}

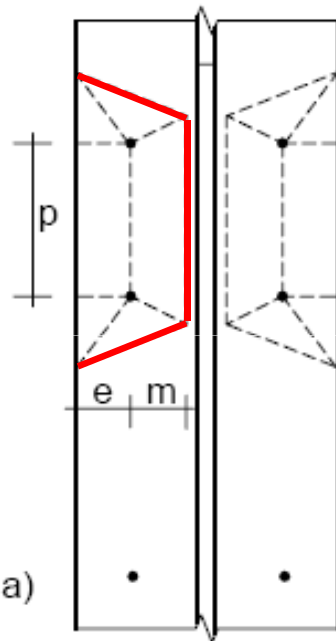
Table 6.4: Effective lengths for an unstiffened column flange

Bolt-row Location	Bolt-row considered individually		Bolt-row considered as part of a group of bolt-rows	
	Circular patterns $\ell_{eff,cp}$	Non-circular patterns $\ell_{eff,nc}$	Circular patterns $\ell_{eff,cp}$	Non-circular patterns $\ell_{eff,nc}$
Inner bolt-row	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
End bolt-row	The smaller of: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	The smaller of: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	The smaller of: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	The smaller of: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
Mode 1:	$\ell_{eff,1} = \ell_{eff,nc}$ but $\ell_{eff,1} \leq \ell_{eff,cp}$		$\sum \ell_{eff,1} = \sum \ell_{eff,nc}$ but $\sum \ell_{eff,1} \leq \sum \ell_{eff,cp}$	
Mode 2:	$\ell_{eff,2} = \ell_{eff,nc}$		$\sum \ell_{eff,2} = \sum \ell_{eff,nc}$	

Resistenza dell'ala della colonna dati geometrici

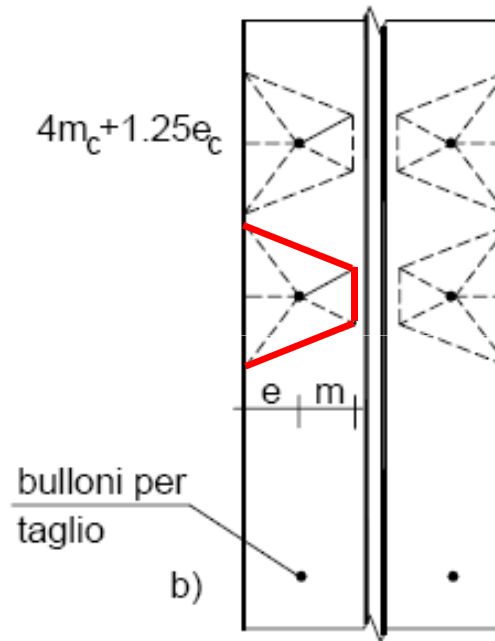
- Possibili meccanismi di rottura, che definiscono differenti valori di L_{eff}

a) meccanismo globale
per il gruppo



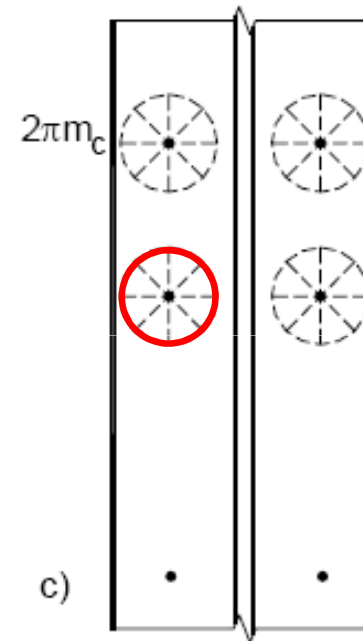
$$2 \times \left[\frac{p}{2} + 2m + 0.625e \right]$$

b) meccanismi separati
per ogni bullone



$$4m + 1.25e$$

c) meccanismo
per imbutimento



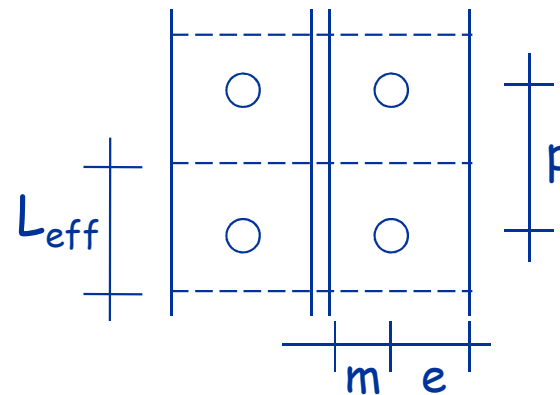
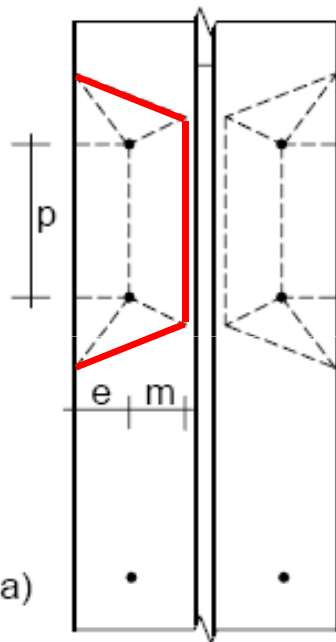
$$2\pi m$$

Resistenza dell'ala della colonna

dati geometrici

- Possibili meccanismi di rottura, che definiscono differenti valori di L_{eff}

a) meccanismo globale per il gruppo



$$\begin{aligned} m &= 32.1 \text{ mm} \\ e &= 50.0 \text{ mm} \\ p &= 80.0 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$2 m + 0.625 e = 95.5 \text{ mm}$$

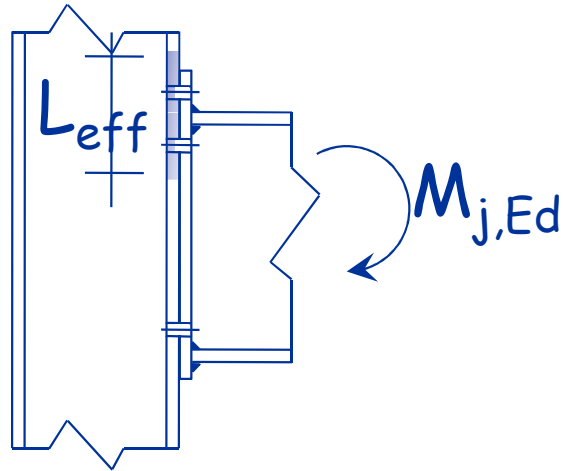
$$0.5 p = 40.0 \text{ mm}$$

$$L_{eff} = 135.5 \text{ mm} \times 2 = 271.0 \text{ mm}$$

$$2 \times \left[\frac{p}{2} + 2 m + 0.625 e \right]$$

Resistenza dell'ala della colonna

Dati



Acciaio

S275

Colonna

$$t_{f,c} = 11 \text{ mm}$$

$$t_{w,c} = 7 \text{ mm}$$

$$r_c = 18 \text{ mm}$$

$$m = 32.1 \text{ mm}$$

$$L_{eff} = 271.0 \text{ mm}$$

Bulloni

$$n_b = 4$$

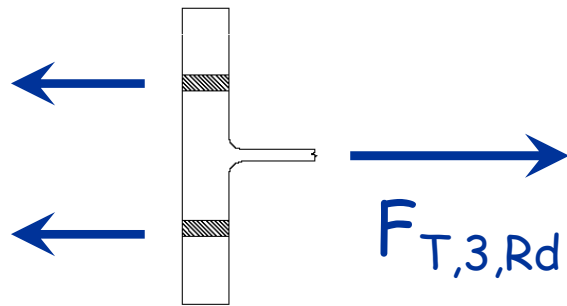
M20, classe 6.8

Si valuta se tener conto dell'effetto leva

Si considerano i tre meccanismi di collasso

Resistenza dell'ala della colonna bulloni

Dati



Acciaio

Colonna

S275

$$t_{f,c} = 11 \text{ mm}$$

$$t_{w,c} = 7 \text{ mm}$$

$$r_c = 18 \text{ mm}$$

$$m = 32.1 \text{ mm}$$

$$L_{eff} = 271.0 \text{ mm}$$

Bulloni

$$n_b = 4$$

M20, classe 6.8

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 A_{res} f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 \times 245 \times 600}{1.25 \times 10^3} = 105.8 \text{ kN}$$

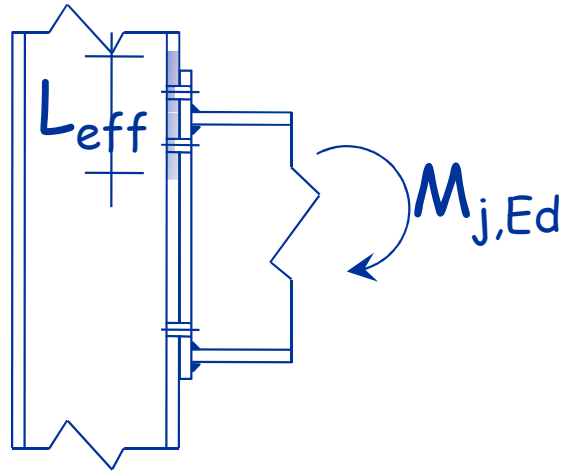
$$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.6 \times \pi \times 30 \times 11 \times 430}{1.25 \times 10^3} = 214.0 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = 4 F_{t,Rd} = 4 \times 105.8 = 423.4 \text{ kN}$$

Resistenza dell'ala della colonna

effetto leva: si o no?

Dati



Acciaio

S275

Colonna

$$t_{f,c} = 11 \text{ mm}$$

$$t_{w,c} = 7 \text{ mm}$$

$$r_c = 18 \text{ mm}$$

$$m = 32.1 \text{ mm}$$

$$L_{eff} = 271.0 \text{ mm}$$

Bulloni

$$n_b = 4$$

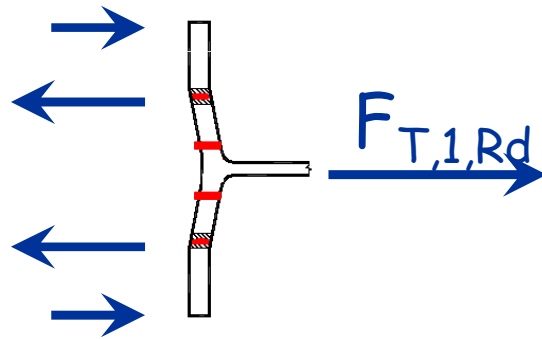
M20, classe 6.8

Lunghezza bullone soggetta a trazione			Lunghezza limite per effetto leva		
Lb	36	mm	197.7	mm	si può avere effetto leva

Resistenza dell'ala della colonna

meccanismo 1

Dati



Acciaio

Colonna

S275

$$t_{f,c} = 11 \text{ mm}$$

$$t_{w,c} = 7 \text{ mm}$$

$$r_c = 18 \text{ mm}$$

$$m = 32.1 \text{ mm}$$

$$L_{eff} = 271.0 \text{ mm}$$

Bulloni

$$n_b = 4$$

M20, classe 6.8

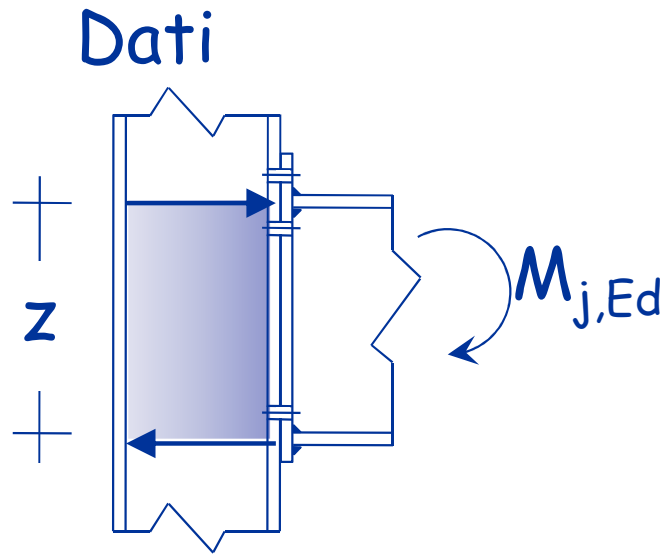
$$M_{pl,Rd} = \frac{L_{eff} t_{fc}^2 f_y}{4 \gamma_{M0}} = \frac{271 \times 11^2 \times 275}{4 \times 1.05 \times 10^6} = 2.15 \text{ kN m}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 M_{pl,Rd}}{m} = \frac{4 \times 2.15}{32.1 \times 10^{-3}} = 267.5 \text{ kN}$$

Questa è la
resistenza
dell'ala

La forza nel bullone è minore della sua resistenza

Resistenza anima colonna soggetta a taglio



Acciaio
Colonna

S275

$$A = 64.3 \text{ cm}^2$$

$$h_f = 210 \text{ mm}$$

$$b_f = 220 \text{ mm}$$

$$t_{fc} = 11 \text{ mm}$$

$$r_c = 18 \text{ mm}$$

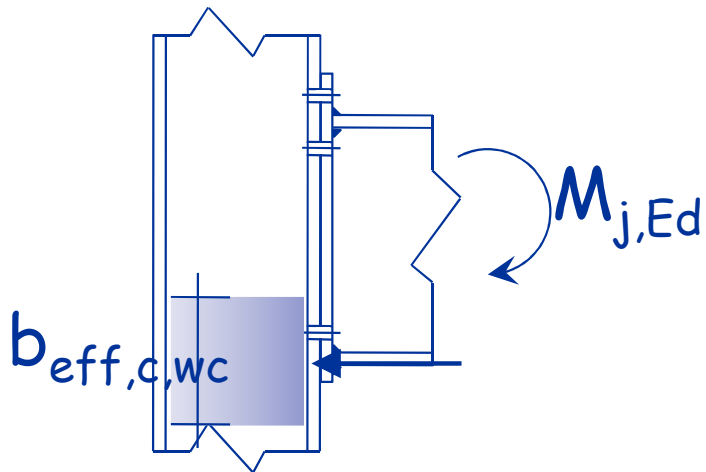
$$A_{vc} = 20.67 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vc} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vc} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{20.67 \times 275}{\sqrt{3} \times 1.05} \times 10^{-1} = 312.6 \text{ kN}$$

Resistenza anima colonna per compressione

Dati



Colonna

$$t_{f,c} = 11 \text{ mm}$$

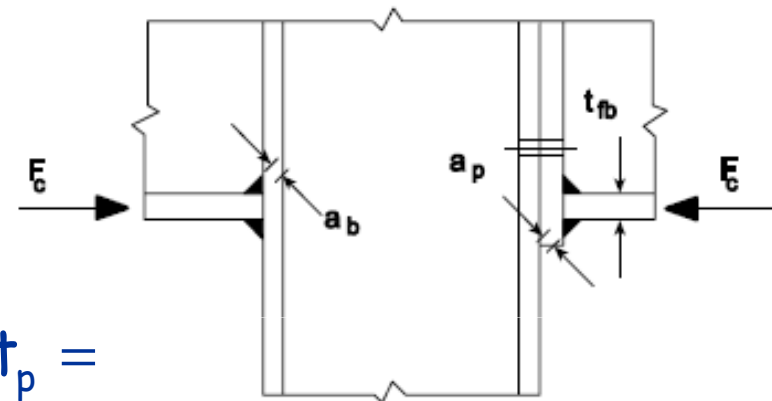
$$r_c = 18 \text{ mm}$$

Trave

$$t_{f,b} = 10.7 \text{ mm}$$

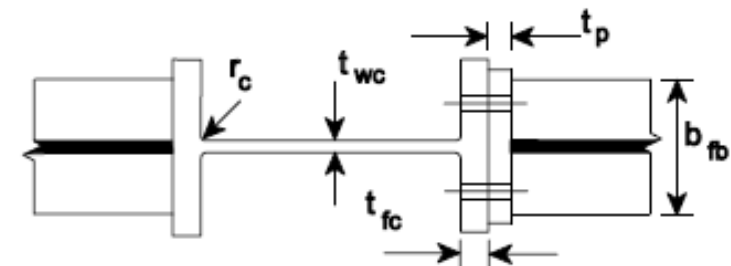
Welded joint

Joint with end-plate



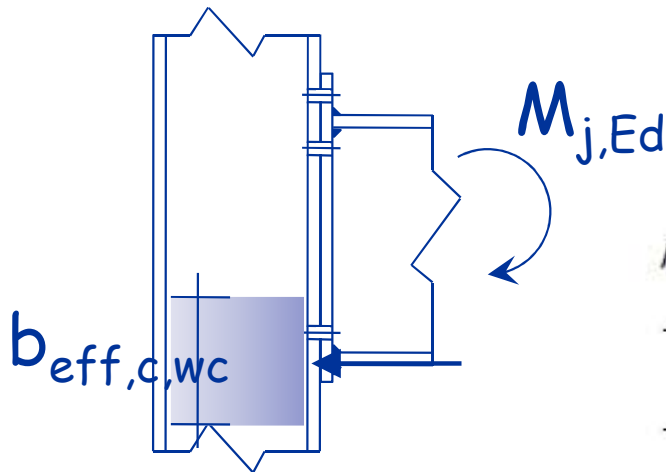
$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_p + 5(t_{fc} + r_c) + 2t_p =$$

$$= 202.7 \text{ mm}$$



Resistenza anima colonna per compressione

Dati



L'anima si verifica come lastra compressa

ρ is the reduction factor for plate buckling:

- if $\bar{\lambda}_p \leq 0,72$: $\rho = 1,0$
- if $\bar{\lambda}_p > 0,72$: $\rho = (\bar{\lambda}_p - 0,2) / \bar{\lambda}_p^2$

$\bar{\lambda}_p$ is the plate slenderness:

$$\bar{\lambda}_p = 0,932 \sqrt{\frac{b_{eff,c,wc} d_{wc} f_{y,wc}}{E t_{wc}^2}}$$

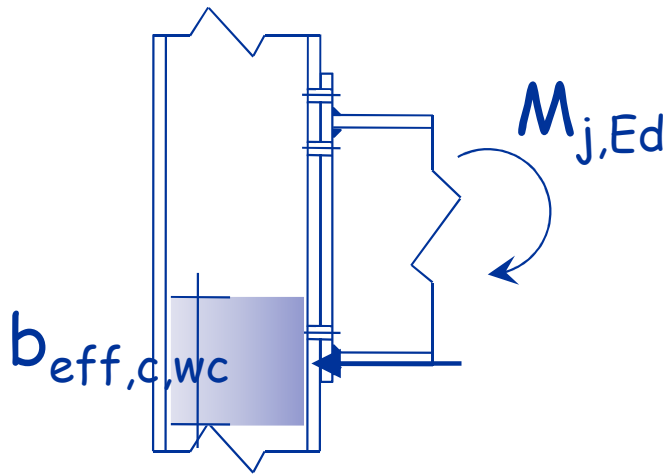
- for a rolled I or H section column: $d_{wc} = h_c - 2(t_{fc} + r_c)$
- for a welded I or H section column: $d_{wc} = h_c - 2(t_{fc} + \sqrt{2}a_c)$

$$F_{c,wc,Rd} = \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

Eurocodice 3, parte 1-8, punto 6.2.6.2

Resistenza anima colonna per compressione

Dati



L'anima si verifica come lastra compressa

Si ottiene:

$$d_{wc} = 152 \text{ mm}$$

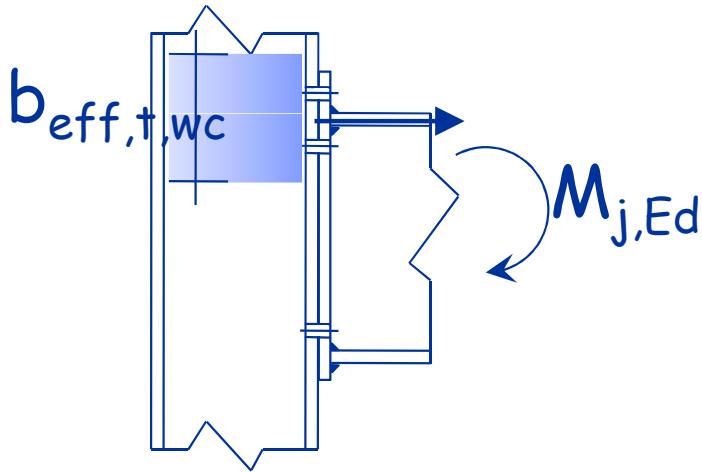
$$\bar{\lambda}_p = 2.259$$

$$\rho = 0.403$$

$$\begin{aligned} F_{c,wc,Rd} &= \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = \\ &= 0.403 \times 202.7 \times 7 \times \frac{275}{1.05} \times 10^{-3} = 149.9 \text{ kN} \end{aligned}$$

Resistenza anima colonna per trazione

Dati

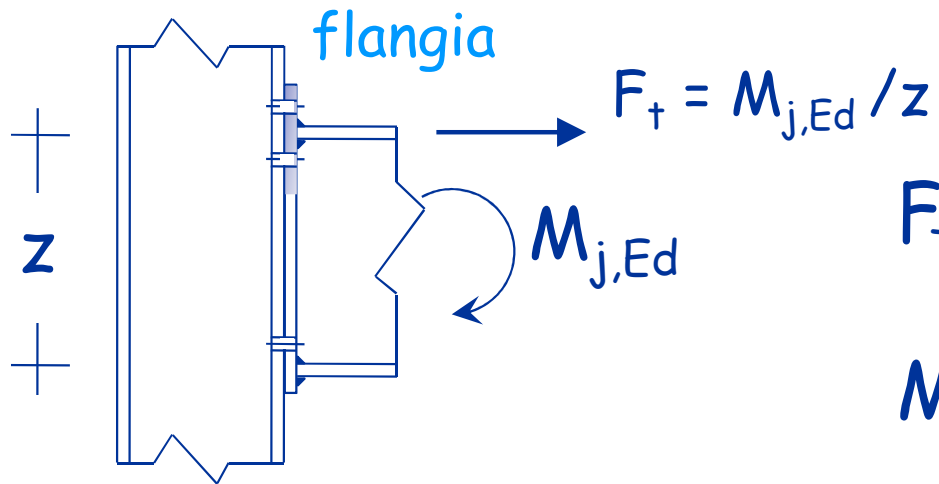


La larghezza di riferimento coincide con la larghezza efficace del T-stub esaminato per la verifica dell'ala della colonna

$$b_{eff,t,wc} = L_{eff} = 271.0 \text{ mm}$$

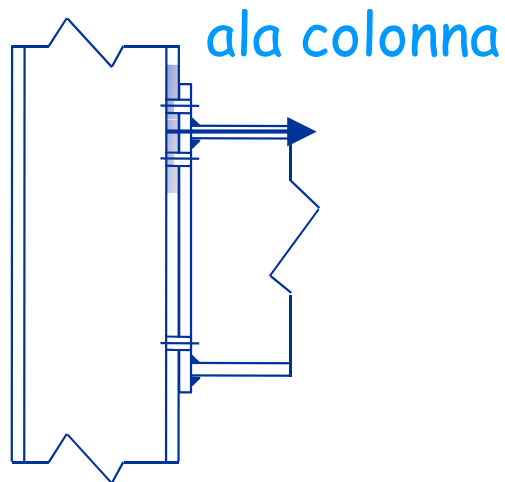
$$\begin{aligned} F_{t,cw,Rd} &= b_{eff,t,wc} t_{wc} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \\ &= 271 \times 7 \times \frac{275}{1.05} \times 10^{-3} = 496.8 \text{ kN} \end{aligned}$$

Riepilogo delle resistenze



$$F_{T,fb,Rd} = 347.5 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = 100.5 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

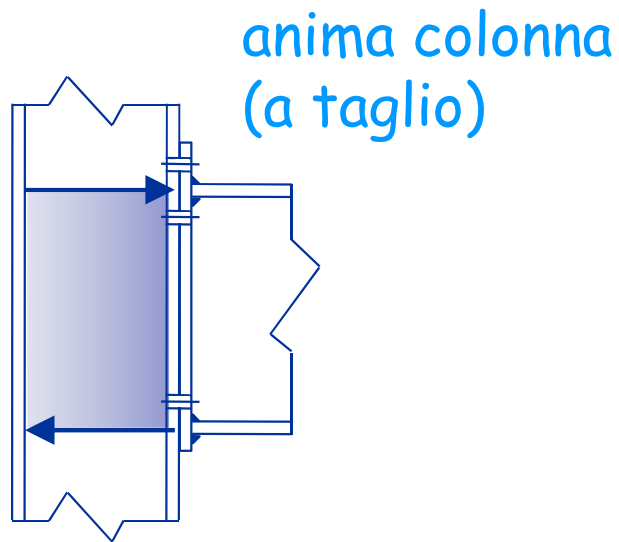


$$F_{T,fc,Rd} = 267.5 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = 77.4 \text{ kNm}$$

Non va bene
Occorre irrigidire

Riepilogo delle resistenze

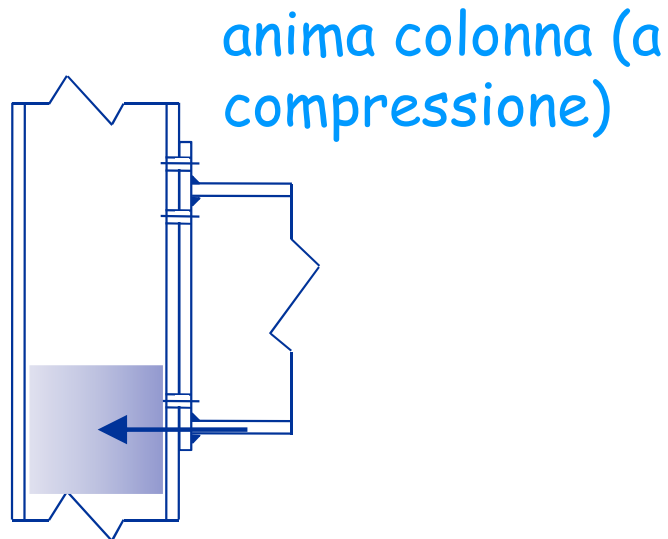


$$V_{pl,Rd} = 312.6 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = 90.4 \text{ kNm}$$

Non va bene
Occorre irrigidire

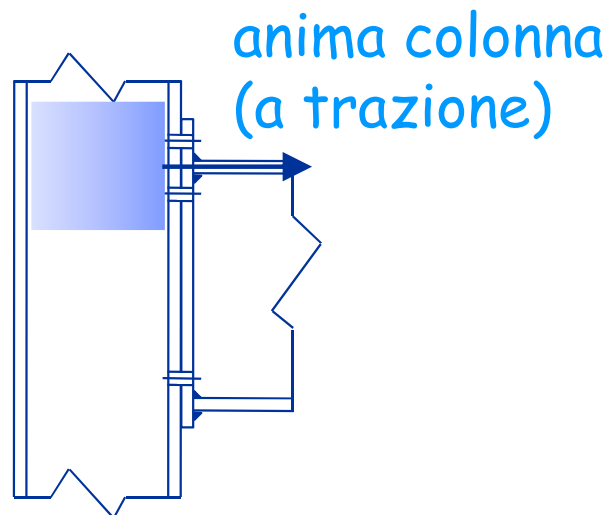
Riepilogo delle resistenze



$$F_{c,wc,Rd} = 149.9 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = 43.4 \text{ kNm}$$

Non va bene
Occorre irrigidire

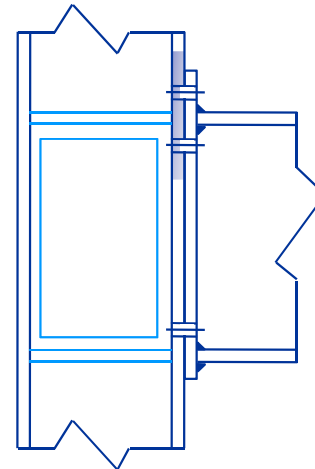
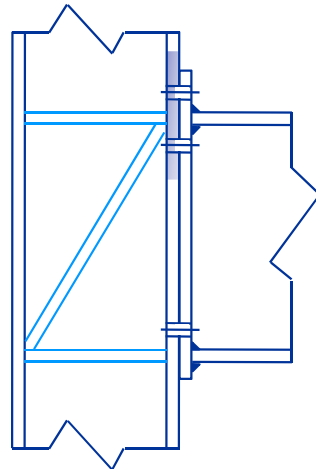


$$F_{t,cw,Rd} = 496.8 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = 143.7 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

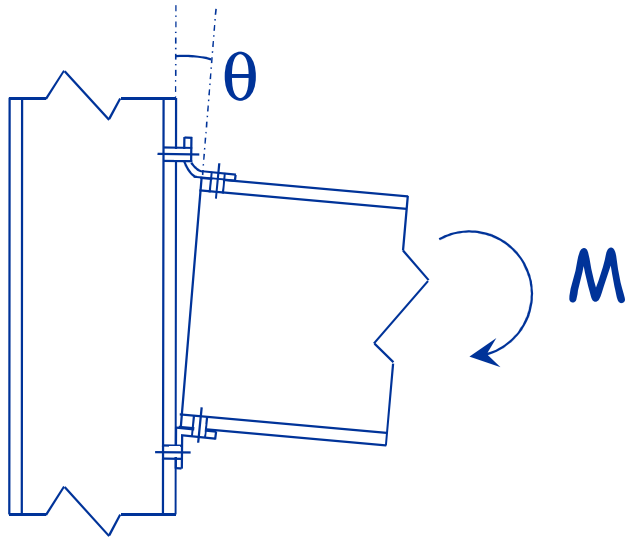
Resistenza della sezione

- Se non si rinforza il collegamento, la sua resistenza è il minore tra i valori indicati, cioè 43.4 kN, nettamente inferiore al necessario
- Per mantenere la resistenza voluta occorre inserire piatti in corrispondenza delle ali e rinforzare anche l'anima (con un piatto diagonale o piatti saldati sull'anima)



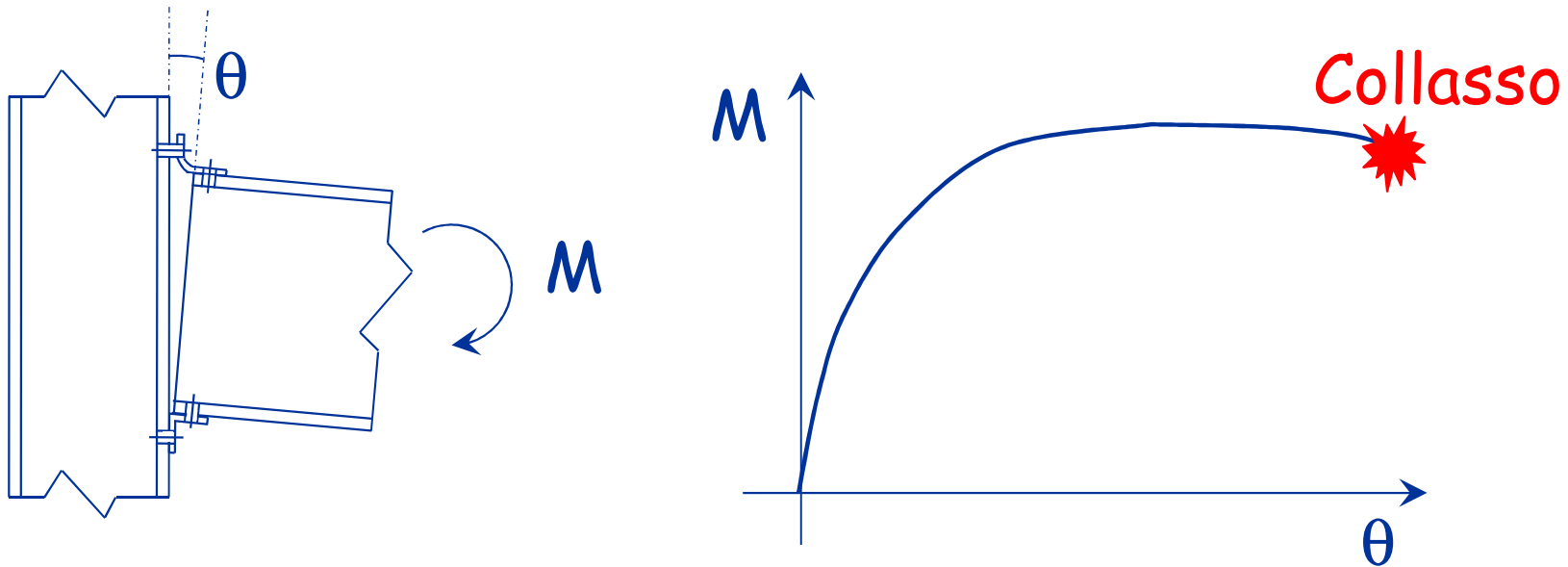
Rigidezza

Comportamento sperimentale



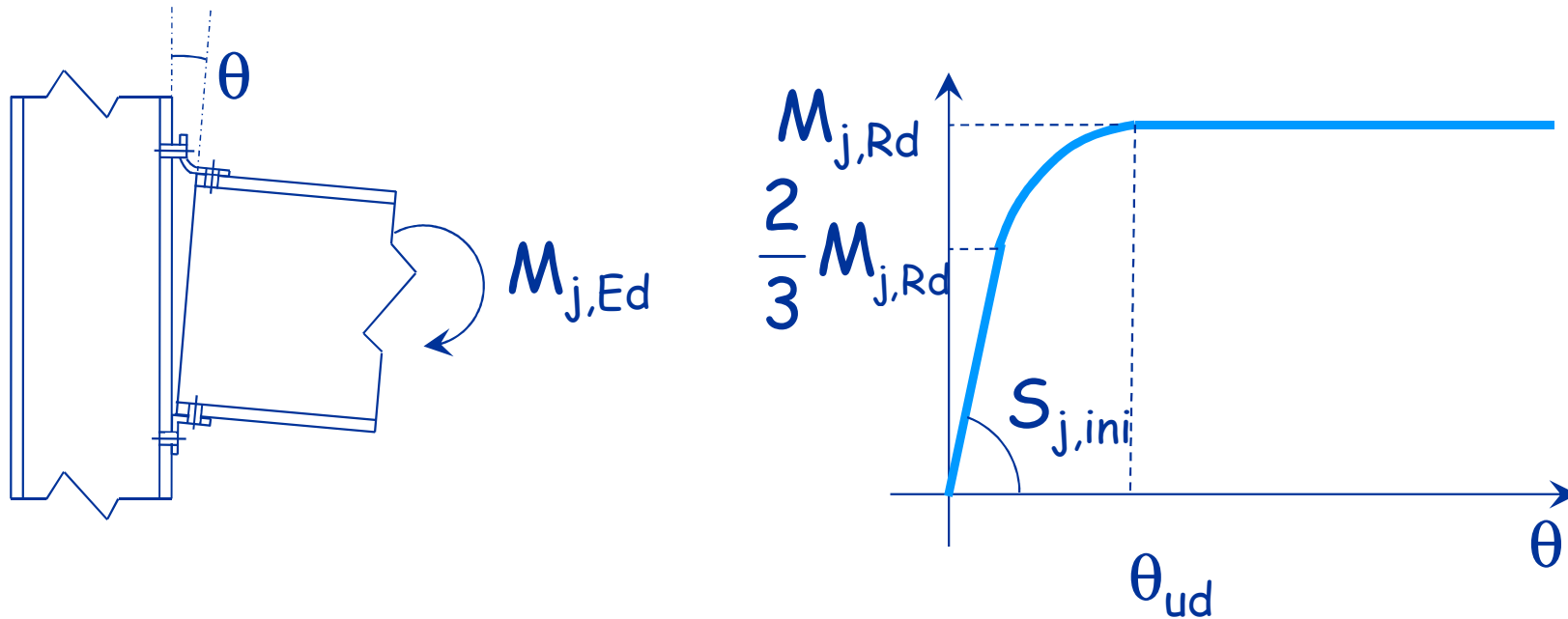
- Le varie parti del collegamento (angolari, bulloni, zone tese e compresse della trave e della colonna) sono deformabili
- La deformazione di queste parti provoca la rotazione relative tra trave e colonna
- Il comportamento è intermedio tra quello di una cerniera e quello di un incastro

Comportamento sperimentale



- Il collegamento può essere simulato mediante una molla rotazionale di opportuna rigidezza
- L'esame del comportamento fino al collasso mostra che il legame M - θ è non lineare, dunque la rigidezza della molla non è costante

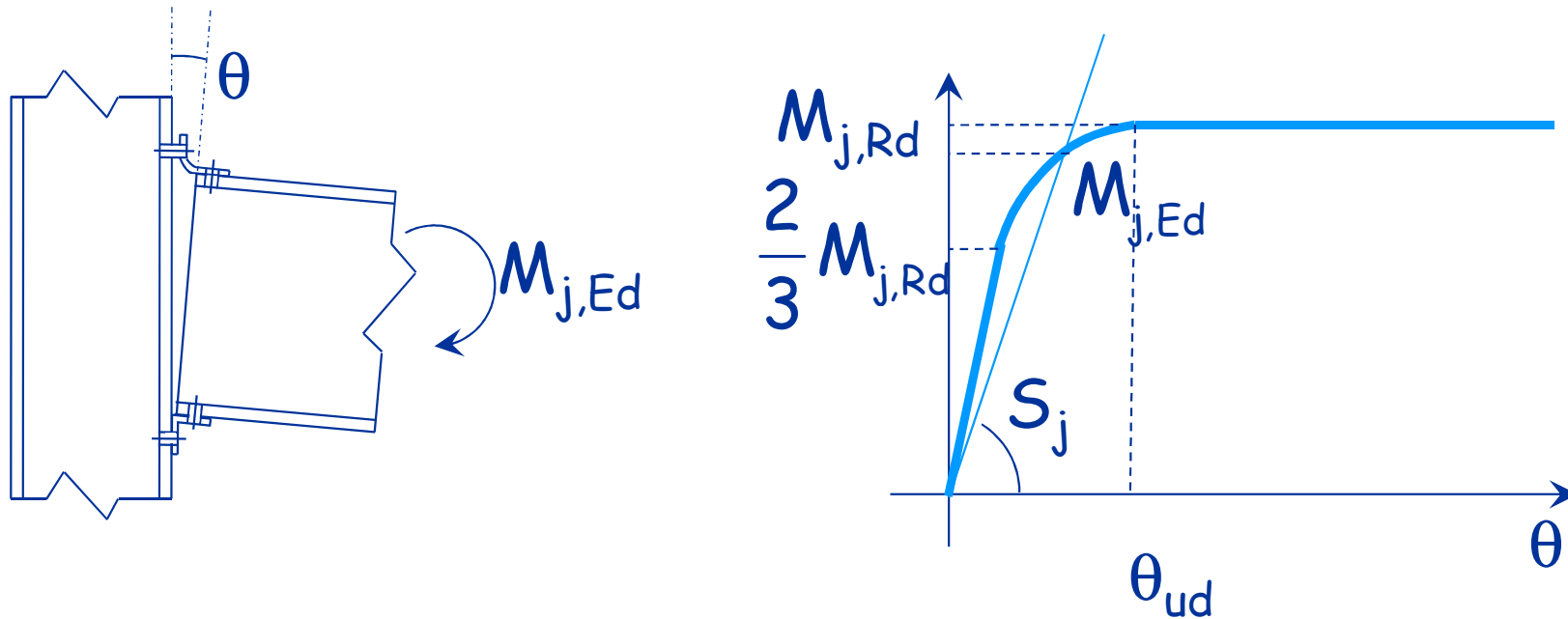
Rigidezza rotazionale



se $M_{j,Ed} \leq \frac{2}{3} M_{j,Rd}$ la rigidezza è quella iniziale $S_{j,ini}$

La rigidezza iniziale $S_{j,ini}$ si valuta con il metodo delle componenti

Rigidezza rotazionale

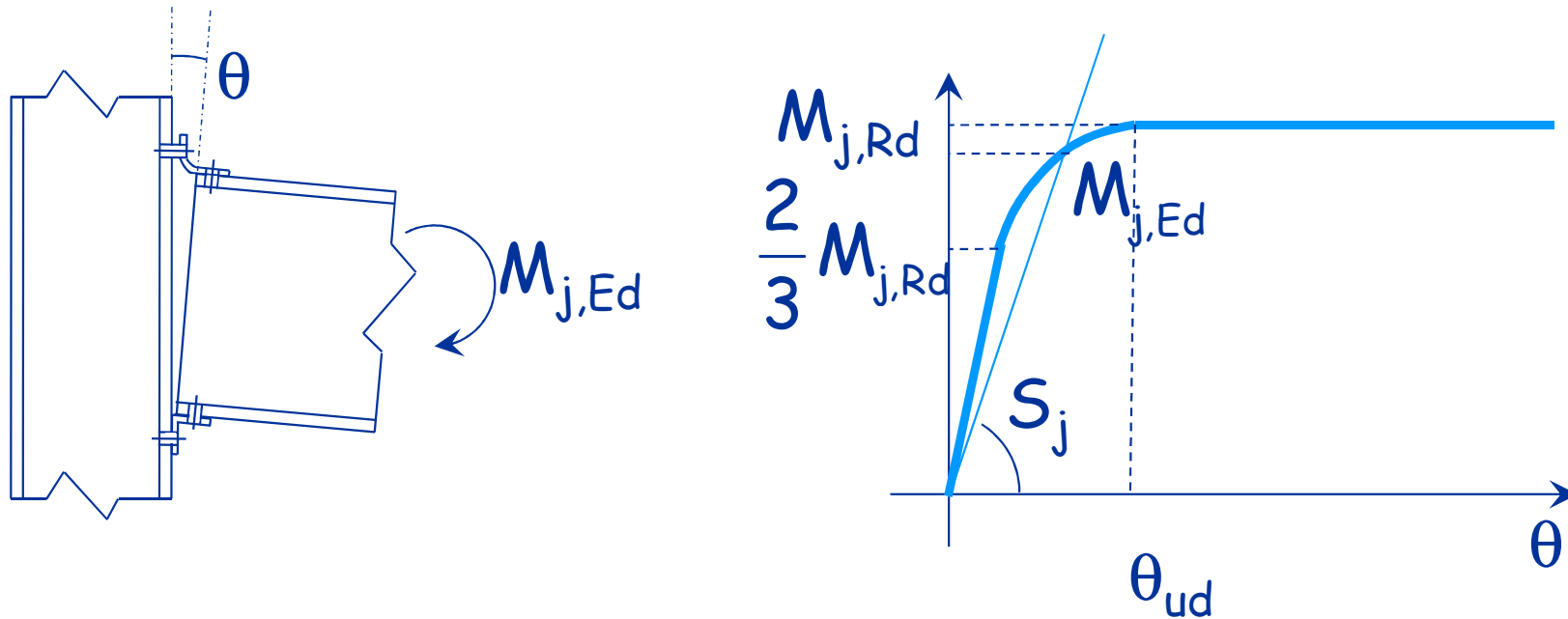


se $M_{j,Ed} > \frac{2}{3} M_{j,Rd}$ la rigidezza è quella secante S_j

$$S_j = \frac{S_{j,ini}}{\mu} \quad \mu = \left(1.5 \frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} \right)^\psi$$

Connessione	ψ
Saldata o flangiata	2.7
Con angolari	3.1
Con piastra di base	2.7

Rigidezza rotazionale metodo semplificato



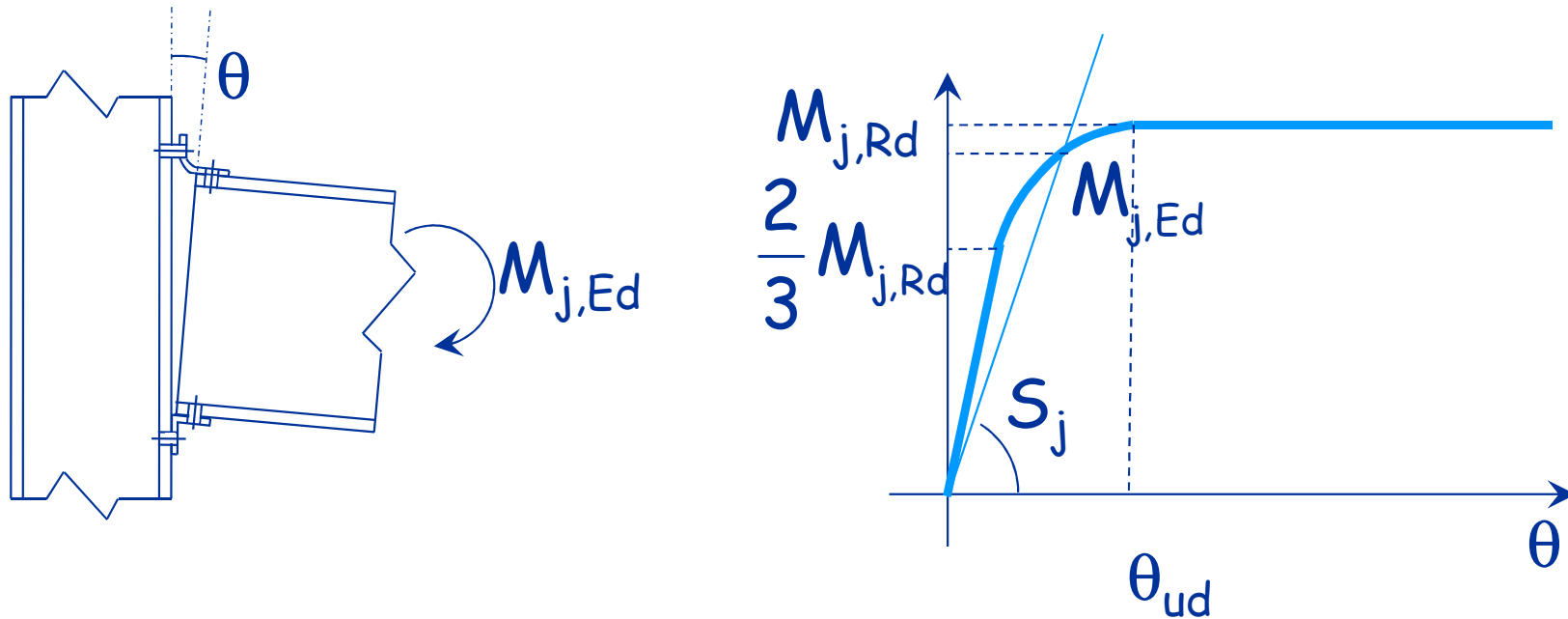
se $M_{j,Ed} > \frac{2}{3} M_{j,Rd}$ la rigidezza è quella secante S_j

in alternativa ...

$$S_j = \frac{S_{j,ini}}{\eta} \quad \eta \quad \begin{aligned} &= 2 \text{ per collegamenti trave-colonna} \\ &= 3 \div 3.5 \text{ per altri tipi di collegamento} \end{aligned}$$

Eurocodice 3, parte 1-8, punto 6.3.1

Rigidezza rotazionale metodo semplificato



Si usa $S_{j,ini}$ per verifiche allo SLE

Si usa $S_j = \frac{S_{j,ini}}{\eta}$ per verifiche allo SLU

Tipi di collegamenti

1. Collegamento rigido (ad incastro)
 - In grado di trasmettere momento flettente
 - Impedisce rotazioni relative

I collegamenti reali sono semi-rigidi

2. Collegamento a cerniera
 - Non trasmette momento flettente
 - Non impedisce rotazioni relative

Tipi di collegamenti

1. Collegamento rigido (ad incastro)

- In grado di trasmettere momento flettente
- Consente rotazioni relative modeste

2. Collegamenti semi-rigidi

3. Collegamento a cerniera

- Non trasmette momento flettente apprezzabile
- Consente grandi rotazioni relative

Tipi di collegamenti

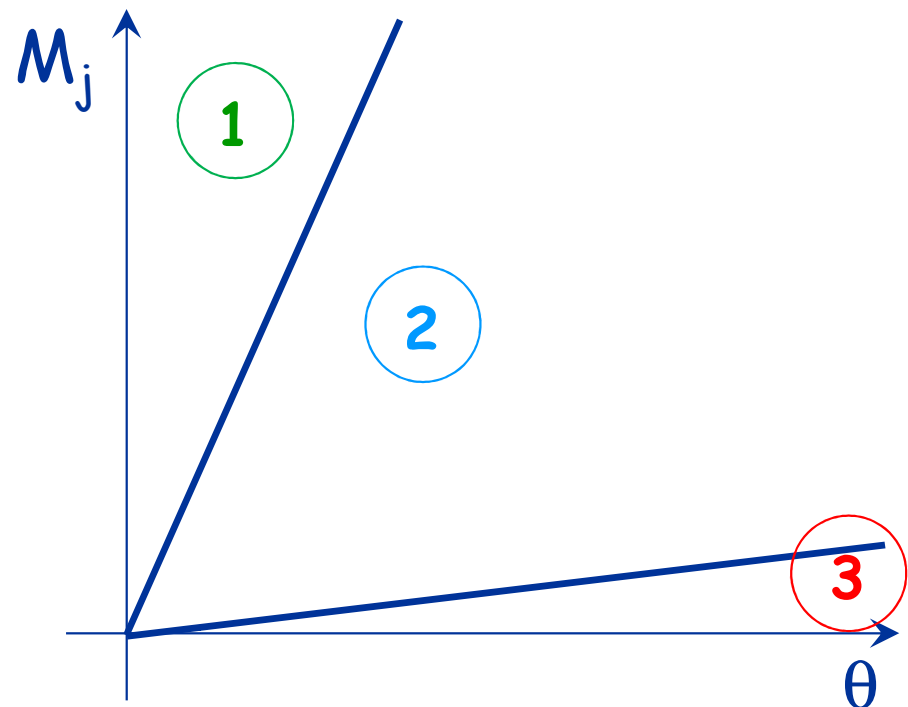
La classificazione si esegue in funzione della rigidezza iniziale $S_{j,ini}$, del tipo di telaio, del momento d'inerzia della trave I_b e luce della trave L_b

1. $S_{j,ini} > 8 \frac{EI_b}{L_b}$, incastro

2. Collegamenti semi-rigidi

3. $S_{j,ini} < 0.5 \frac{EI_b}{L_b}$, cerniera

Per telai controventati



Tipi di collegamenti

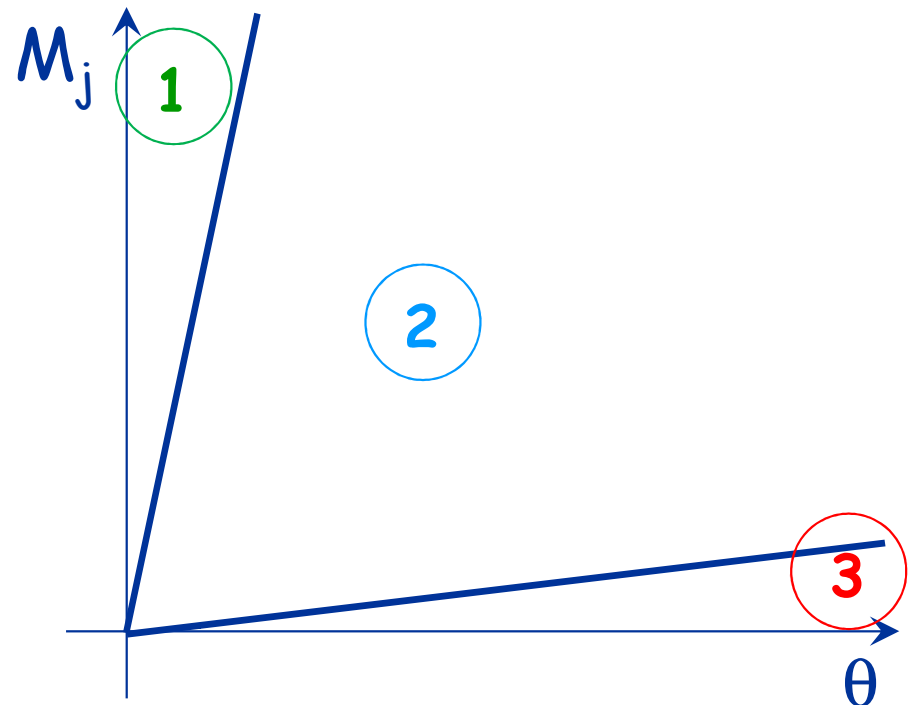
La classificazione si esegue in funzione della rigidezza iniziale $S_{j,ini}$, del tipo di telaio, del momento d'inerzia della trave I_b e luce della trave L_b

1. $S_{j,ini} > 25 \frac{EI_b}{L_b}$, incastro

2. Collegamenti semi-rigidi

3. $S_{j,ini} < 0.5 \frac{EI_b}{L_b}$, cerniera

Per telai non controventati



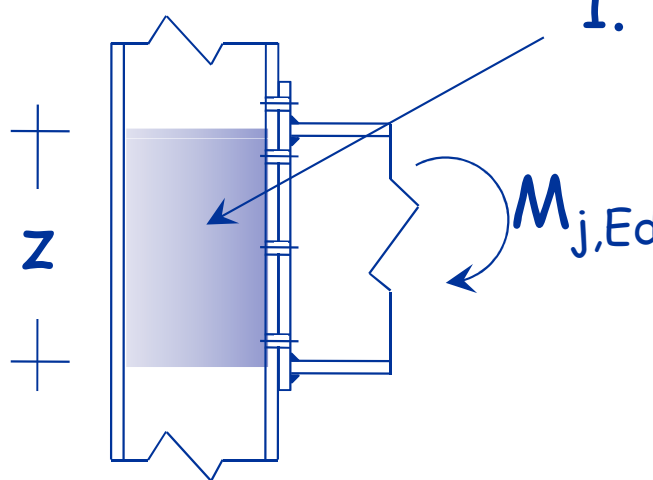
Metodo delle componenti

1. Si individuano i diversi componenti che subiscono deformazioni
2. Si valuta la rigidezza di ciascun componente
3. Si assemblano i diversi componenti e si valuta la rigidezza complessiva del nodo

Metodo delle componenti

1. Si individuano i diversi componenti che subiscono deformazioni
2. Si valuta la rigidezza di ciascun componente

1. Pannello d'anima soggetto a taglio


$$k_1 = \frac{0.38 A_{VC}}{z}$$

A_{VC} area resistente a taglio della colonna

Note sulle formule

- Pannello d'anima soggetto a taglio

$$\delta = \frac{\chi V}{G A} l = \frac{V}{G A_v} l$$

$$G = \frac{1}{2(1+\nu)} E \cong 0.38 E$$

$$k = \frac{V}{\delta} = \frac{G A_v}{l} = E \frac{G/E A_v}{l} = E \frac{0.38 A_v}{z}$$

Metodo delle componenti

1. Si individuano i diversi componenti che subiscono deformazioni
2. Si valuta la rigidezza di ciascun componente

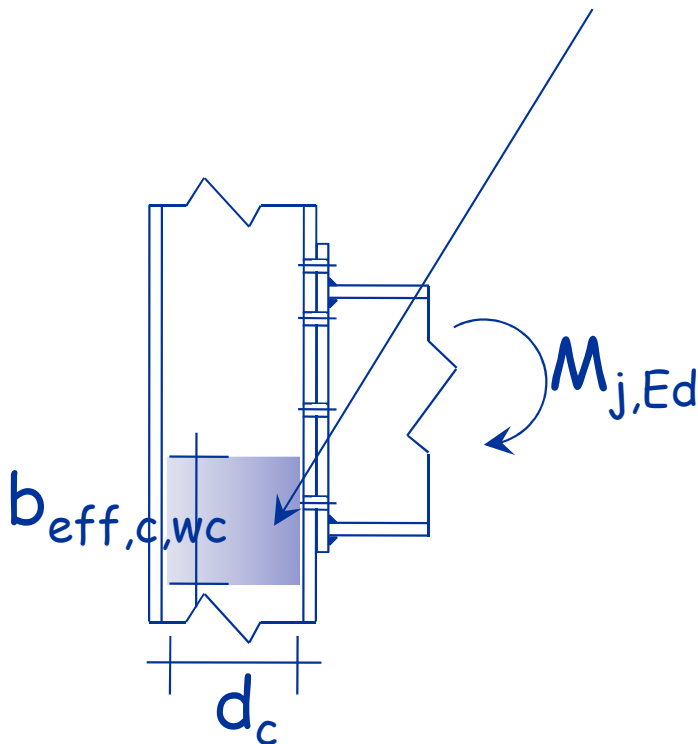
2. Anima della colonna in compressione

$$k_2 = \frac{0.7 b_{\text{eff},c,wc} t_{wc}}{d_c}$$

t_{wc} spessore anima colonna

d_c altezza anima colonna (al netto dei raccordi circolari)

$b_{\text{eff},t,wc}$ altezza efficace

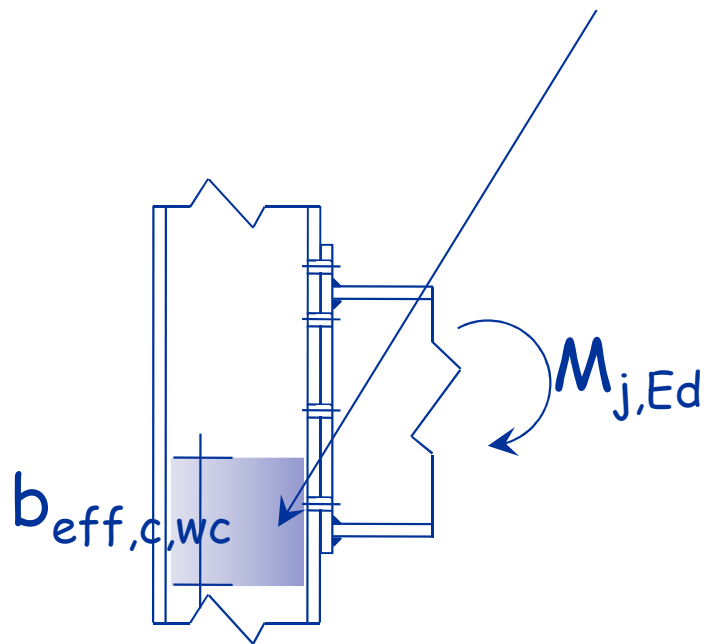


Eurocodice 3, parte 1-8, punto 6.3.2

Metodo delle componenti

1. Si individuano i diversi componenti che subiscono deformazioni
2. Si valuta la rigidezza di ciascun componente

2. Anima della colonna in compressione



$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_p + 5(t_{fc} + r_c) + s_p$$

t_{fb} spessore ala trave

a_p altezza di gola cordone

t_{fc} spessore ala colonna

s_p 1÷2 volte lo spessore del piatto

Note sulle formule

- Pannello d'anima soggetto a compressione

$$\delta = \frac{Nl}{EA}$$

$$k = \frac{N}{\delta} = \frac{EA}{l} = E \frac{b t}{l} = E \frac{b_{\text{eff},c,wc} t_{wc}}{d_c}$$

- Nella formula di normativa compare un ulteriore 0.7
Perché?

Metodo delle componenti

1. Si individuano i diversi componenti che subiscono deformazioni
2. Si valuta la rigidezza di ciascun componente

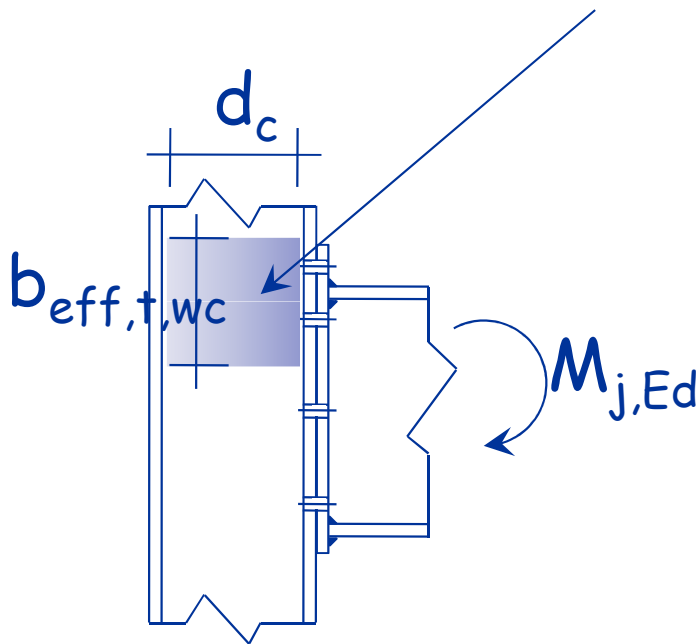
3. Anima della colonna in trazione

$$k_3 = \frac{0.7 b_{\text{eff},t,wc} t_{wc}}{d_c}$$

t_{wc} spessore anima colonna

d_c altezza anima colonna (al netto dei raccordi circolari)

$b_{\text{eff},t,wc}$ altezza efficace



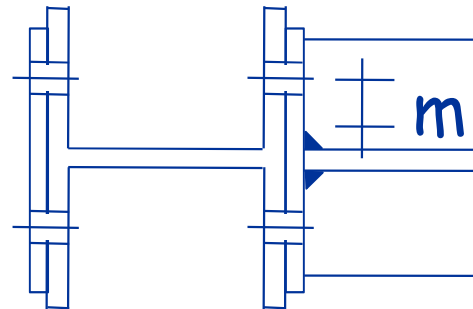
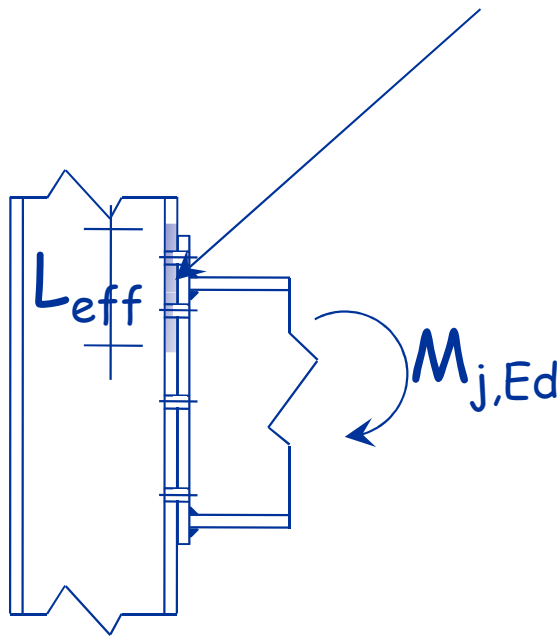
Metodo delle componenti

1. Si individuano i diversi componenti che subiscono deformazioni
2. Si valuta la rigidezza di ciascun componente

4. Flangia della colonna in flessione

$$k_4 = \frac{0.9 L_{eff} t_{fc}^3}{m^3}$$

t_{fc} spessore flangia colonna

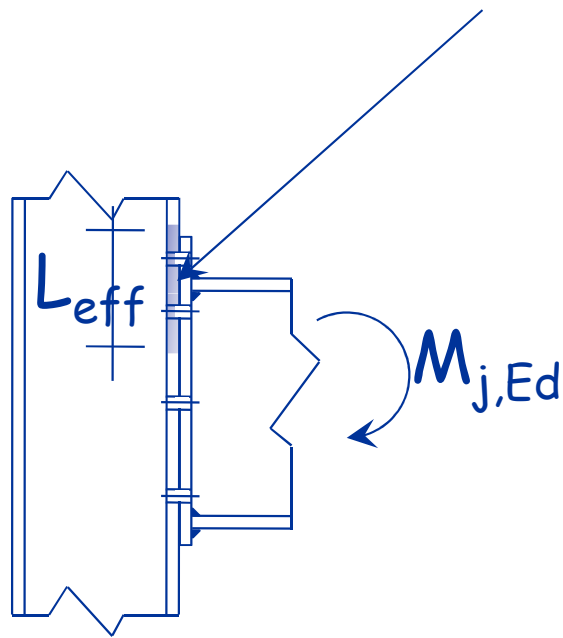


Eurocodice 3, parte 1-8, punto 6.3.2

Metodo delle componenti

1. Si individuano i diversi componenti che subiscono deformazioni
2. Si valuta la rigidezza di ciascun componente

4. Flangia della colonna in flessione



$$k_4 = \frac{0.9 L_{eff} t_{fc}^3}{m^3} \times 2 \quad (\text{due file di bulloni})$$

t_{fc} spessore flangia colonna

L_{eff} larghezza efficace flangia dell'elemento equivalente a T

Note sulle formule

- Pannello d'ala soggetto a flessione

$$\delta = \frac{F l^3}{3 E I}$$

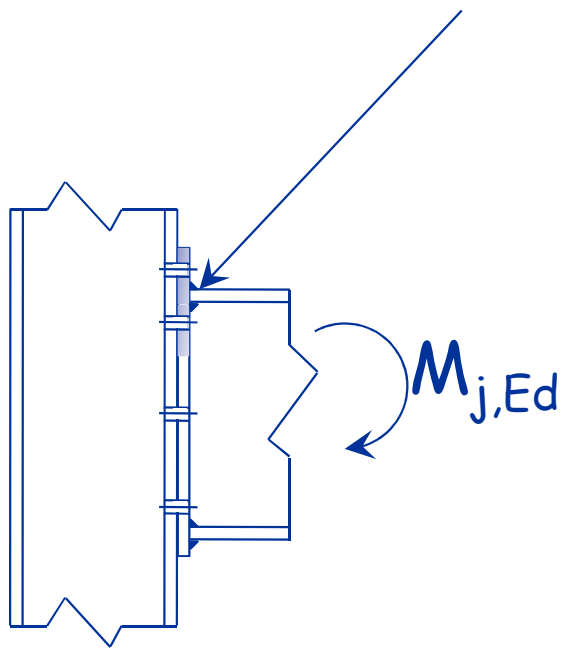
$$k = \frac{F}{\delta} = \frac{3 E I}{l^3} = E \frac{3 b t^3 / 12}{l^3} = E \frac{0.25 L_{eff} t_{fc}^3}{m^3}$$

- Nella formula di normativa compare 0.9 anziché 0.25
Perché?

Metodo delle componenti

1. Si individuano i diversi componenti che subiscono deformazioni
2. Si valuta la rigidezza di ciascun componente

5. Flessione della piastra



$$k_5 = \frac{0.9 L_{eff} t_p^3}{m^3} \times 2 \quad (\text{due file di bulloni})$$

t_p spessore piatto

L_{eff} larghezza efficace piastra
esterna alla trave dell'elemento
equivalente a T

Metodo delle componenti

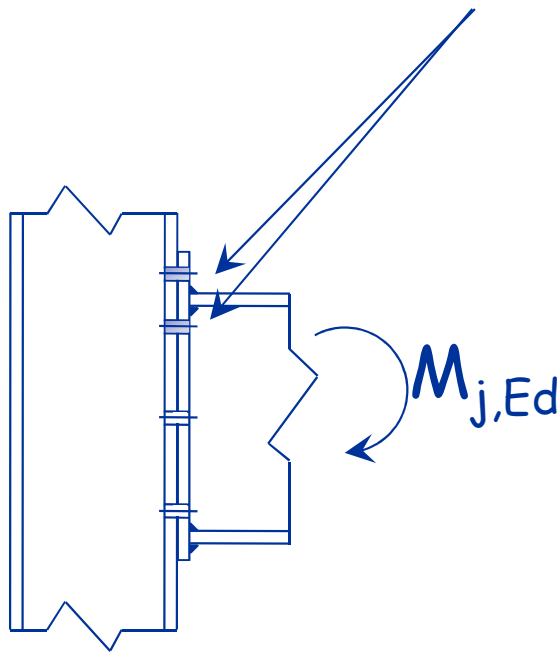
1. Si individuano i diversi componenti che subiscono deformazioni
2. Si valuta la rigidezza di ciascun componente

6. Bulloni tesi

$$k_6 = \frac{1.6 A_{res}}{L_b}$$

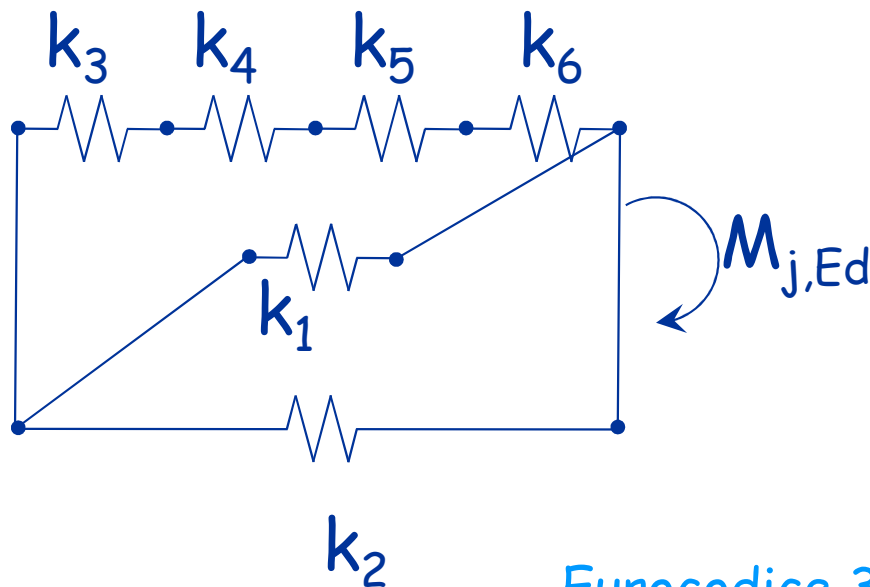
A_{res} area resistente del bullone

L_b lunghezza della parte del bullone soggetta a trazione



Metodo delle componenti

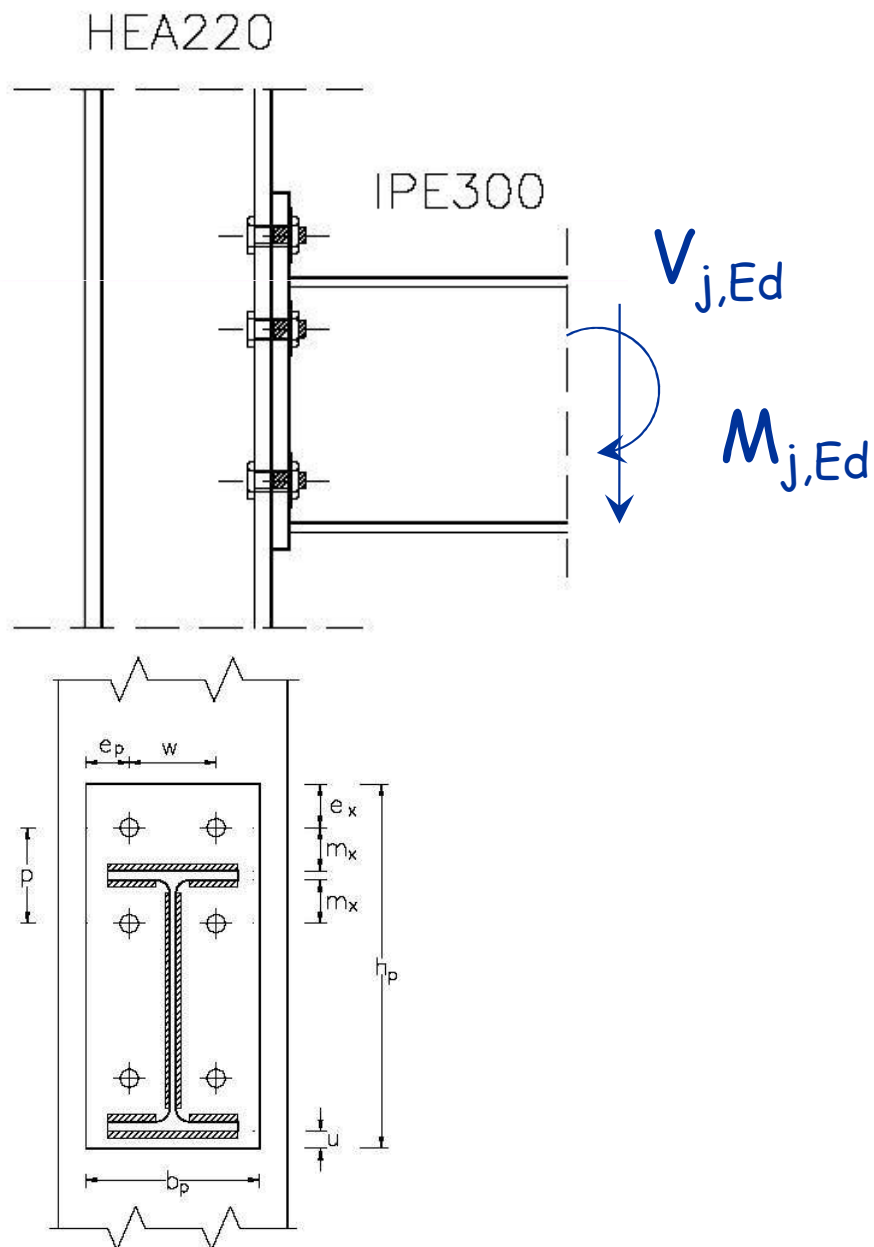
1. Si individuano i diversi componenti che subiscono deformazioni
2. Si valuta la rigidezza di ciascun componente
3. Si assemblano i diversi componenti e si valuta la rigidezza complessiva del nodo



$$S_{j,ini} = \frac{E z^2}{\sum_{i=1}^6 \frac{1}{k_i}}$$

Eurocodice 3, parte 1-8, punto 6.3.1

Esempio - Dati



Acciaio

S275

Bulloni

M20, classe 6.8

Piatto

$t_p = 15 \text{ mm}$

$b_p = 200 \text{ mm}$

$h_p = 420 \text{ mm}$

$e_p = 50 \text{ mm}$

$m_x = e_x = 50 \text{ mm}$

$u = 20 \text{ mm}$

Saldature

$a_w = 4 \text{ mm}$

$a_f = 6 \text{ mm}$

Colonna

$t_{wc} = 7 \text{ mm}$

$t_{fc} = 11 \text{ mm}$

$r_c = 18 \text{ mm}$

Trave

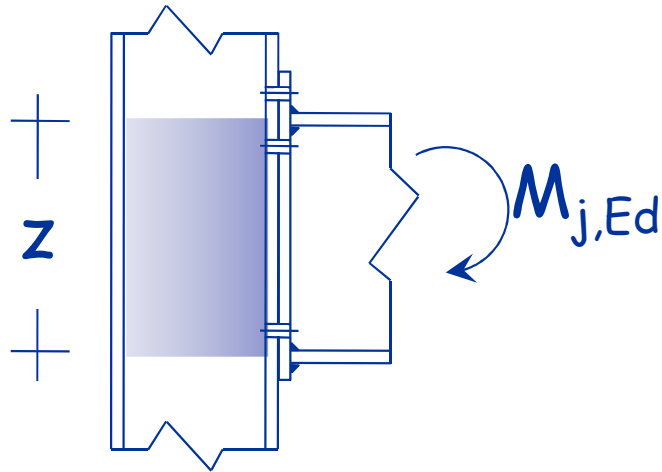
$t_{fb} = 10.7$

$t_{wb} = 7.1$

Esempio

Rigidezza anima colonna soggetta a taglio

Dati



Colonna

$$A = 64.3 \text{ cm}^2$$

$$h_f = 210 \text{ mm}$$

$$b_f = 220 \text{ mm}$$

$$t_{fc} = 11 \text{ mm}$$

$$r_c = 18 \text{ mm}$$

Trave

$$t_{fb} = 10.7$$

$$k_1 = \frac{0.38 A_{vc}}{z} = 2.71 \text{ mm}$$

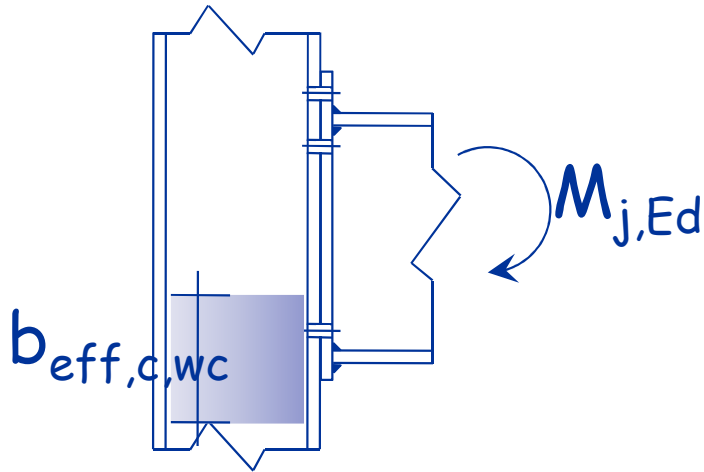
$$A_{vc} = 2060 \text{ mm}^2$$

$$z = 289.3 \text{ mm}$$

Esempio

Rigidezza anima colonna in compressione

Dati



Piatto

$$t_p = 20 \text{ mm}$$

$$u = 20 \text{ mm}$$

Saldature

$$a_f = 6 \text{ mm}$$

Colonna

$$h_f = 210 \text{ mm}$$

$$t_{fc} = 11 \text{ mm}$$

$$r_c = 18 \text{ mm}$$

$$t_{wc} = 7 \text{ mm}$$

Trave

$$t_{fb} = 10.7$$

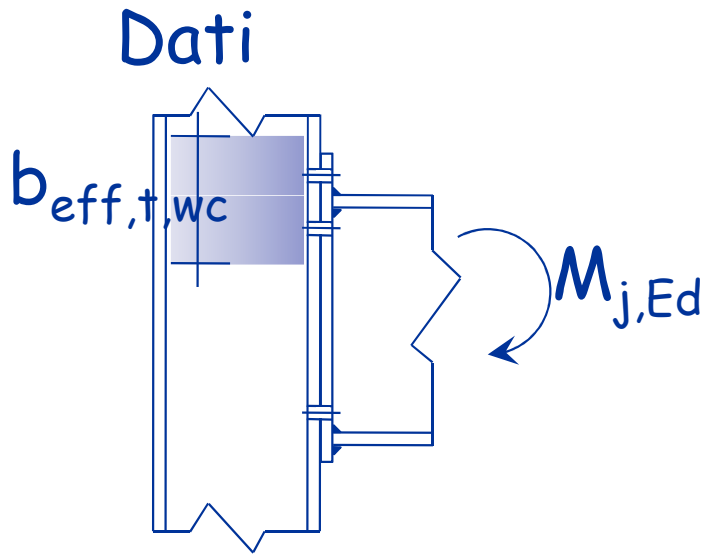
$$k_2 = \frac{0.7 b_{eff,c,wc} t_{wc}}{d_c} = 6.53 \text{ mm}$$

$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_f + 5(t_{fc} + r_c) + 2 t_p = 202.7 \text{ mm}$$

$$d_c = 152 \text{ mm}$$

Esempio

Rigidezza anima colonna in trazione



Bulloni

$$p = 110.7 \text{ mm}$$

$$m = 32.1 \text{ mm}$$

$$e = 60 \text{ mm}$$

Colonna

$$h_f = 210 \text{ mm}$$

$$t_{fc} = 11 \text{ mm}$$

$$t_{wc} = 7 \text{ mm}$$

$$r_c = 18 \text{ mm}$$

$$k_3 = \frac{0.7 b_{eff,t,wc} t_{wc}}{d_c} = 8.74 \text{ mm}$$

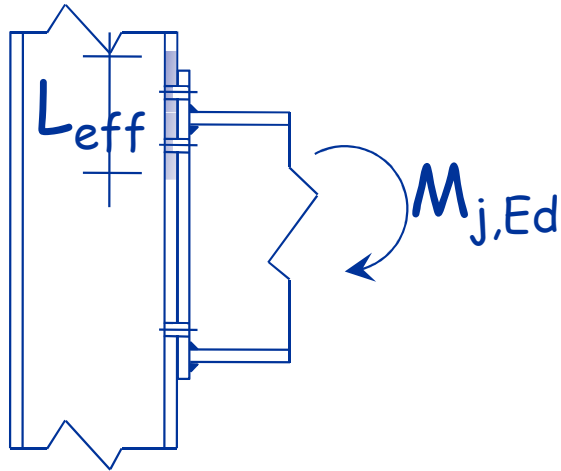
$$b_{eff,t,wc} = 271.0 \text{ mm}$$

$$d_c = 152 \text{ mm}$$

Esempio

Rigidezza flangia colonna in flessione

Dati



Bulloni

$$p = 110.7 \text{ mm}$$

$$m = 32.1 \text{ mm}$$

$$e = 60 \text{ mm}$$

Colonna

$$t_{fc} = 11 \text{ mm}$$

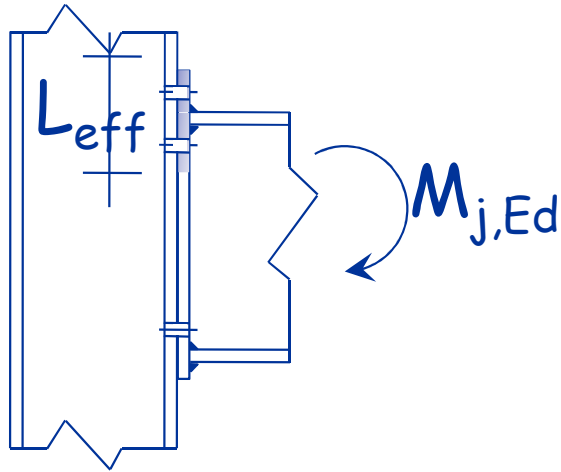
$$k_4 = \frac{0.9 L_{eff} t_{fc}^3}{m^3} \times 2 = 19.63 \text{ mm}$$

$$L_{eff} = b_{eff,t,wc} = 271.0 \text{ mm}$$

Esempio

Flessione della piastra

Dati



Piastra

$$b_p = 200 \text{ mm}$$

$$t_p = 20 \text{ mm}$$

Bulloni

$$w = 100 \text{ mm}$$

$$m_{xs} = 27.9 \text{ mm}$$

$$e_x = 50 \text{ mm}$$

$$e_p = 50 \text{ mm}$$

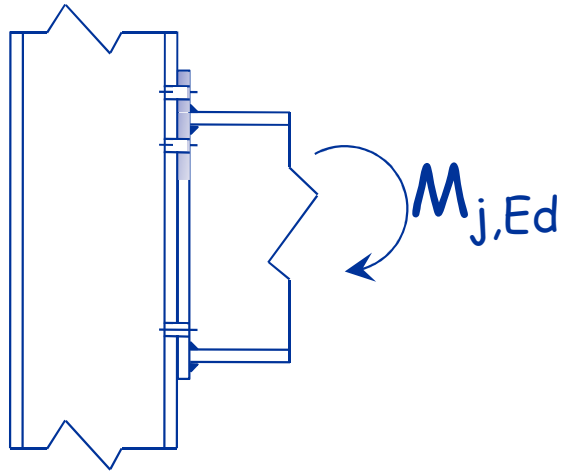
$$k_5 = \frac{0.9 L_{eff} t_p^3}{m_{xs}^3} \times 2 \quad (\text{è una semplificazione perché la fila inferiore è vincolata diversamente})$$

$$L_{eff} = 200 \text{ mm}$$

Esempio

Flessione della piastra

Dati



Piastra

$$b_p = 200 \text{ mm}$$

$$t_p = 15 \text{ mm}$$

Bulloni

$$w = 100 \text{ mm}$$

$$m_{xs} = 27.9 \text{ mm}$$

$$e_x = 50 \text{ mm}$$

$$e_p = 50 \text{ mm}$$

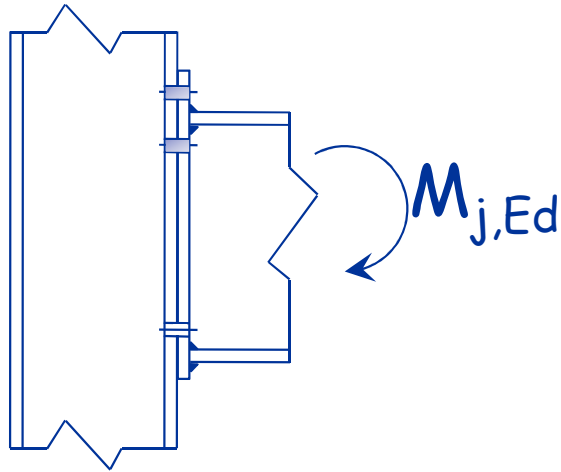
$$k_5 = \frac{0.9 L_{eff} t_p^3}{m_{xs}^3} \times 2 = 56.19 \text{ mm}$$

$$L_{eff} = 200 \text{ mm}$$

Esempio

Bulloni tesi

Dati



Piastra

Colonna

Bulloni

$$t_p = 20 \text{ mm}$$

$$t_{fc} = 11 \text{ mm}$$

M20

$$t_h = 12.5 \text{ mm}$$

$$t_n = 12.5 \text{ mm}$$

$$A_{res} = 245 \text{ mm}^2$$

$$k_6 = n_b \frac{1.6 A_{res}}{L_b} = 36.05 \text{ mm}$$

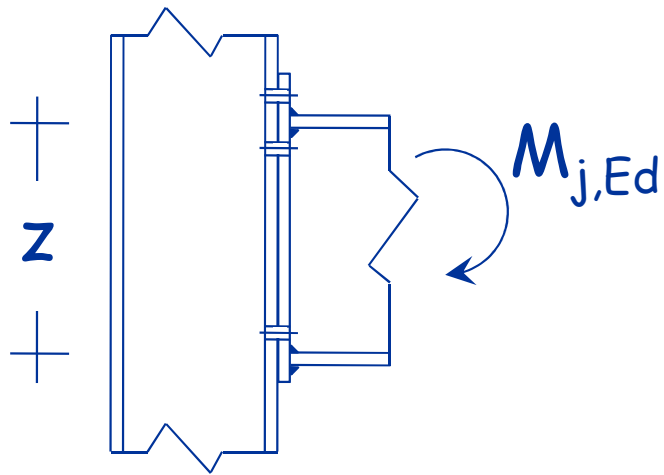
$$L_b = t_{fc} + t_p + 0.5 (t_h + t_n) = 43.5 \text{ mm}$$

Esempio

Calcolo $S_{j,ini}$

$$S_{j,ini} = \frac{E z^2}{\sum_{i=1}^6 \frac{1}{k_i}} = 23503 \frac{\text{kNm}}{\text{rad}}$$

$$z = 300 - 10.7 = 289.3 \text{ mm}$$



Componente	k_i (mm)	$1/k_i$ (mm ⁻¹)
1	2.71	0.3696
2	6.53	0.1531
3	8.74	0.1145
4	19.63	0.0509
5	56.19	0.0178
6	36.05	0.0277
Totale		0.7336

Esempio

Classificazione collegamento

Limite superiore (telaio non controventato):

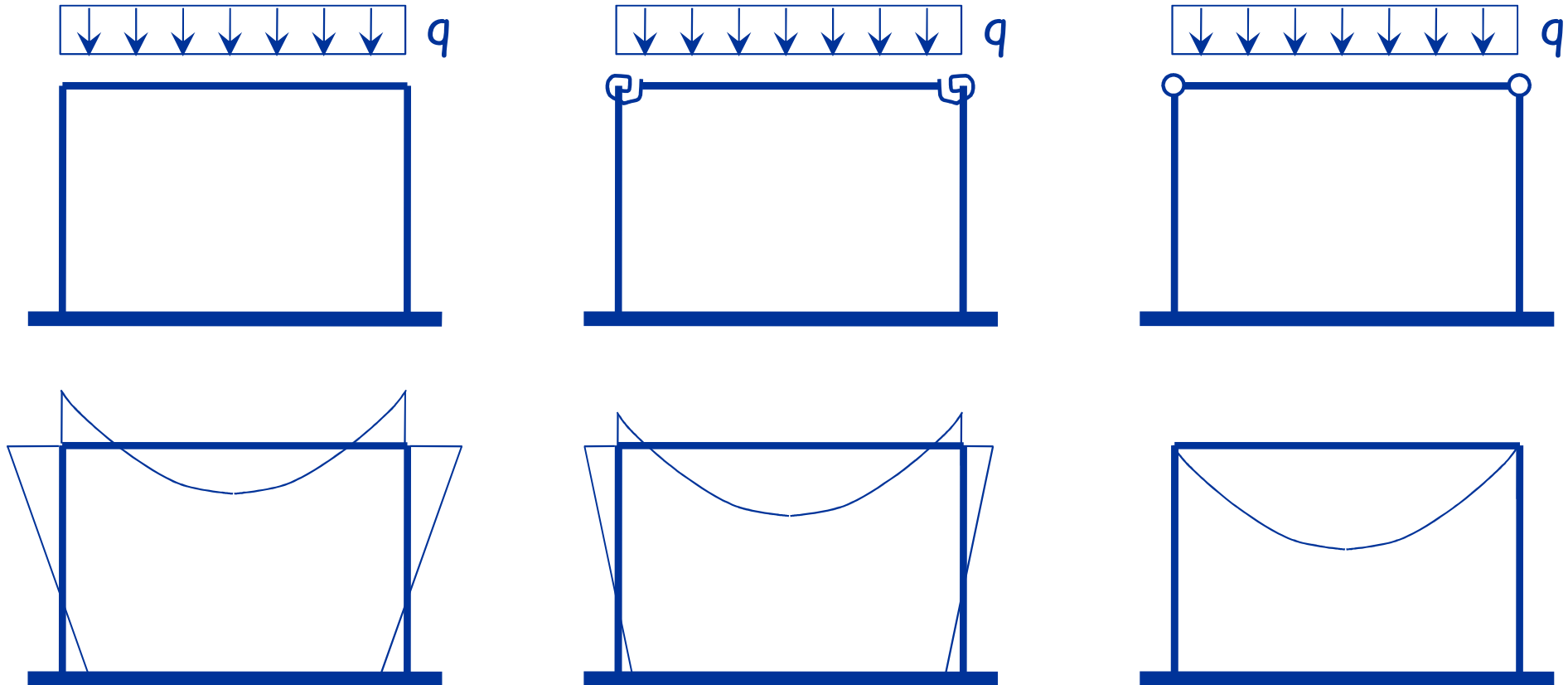
$$S_{j,ini} = 23503 \frac{\text{kNm}}{\text{rad}} < 25 \frac{EI}{L_b} = 25 \frac{210000 \times 8356}{500 \times 10^3} = 87738 \frac{\text{kNm}}{\text{rad}}$$

Limite inferiore:

$$S_{j,ini} = 23503 \frac{\text{kNm}}{\text{rad}} > 0.5 \frac{EI}{L_b} = 0.5 \frac{210000 \times 8356}{500 \times 10^3} = 1755 \frac{\text{kNm}}{\text{rad}}$$

Il collegamento è semi-rigido

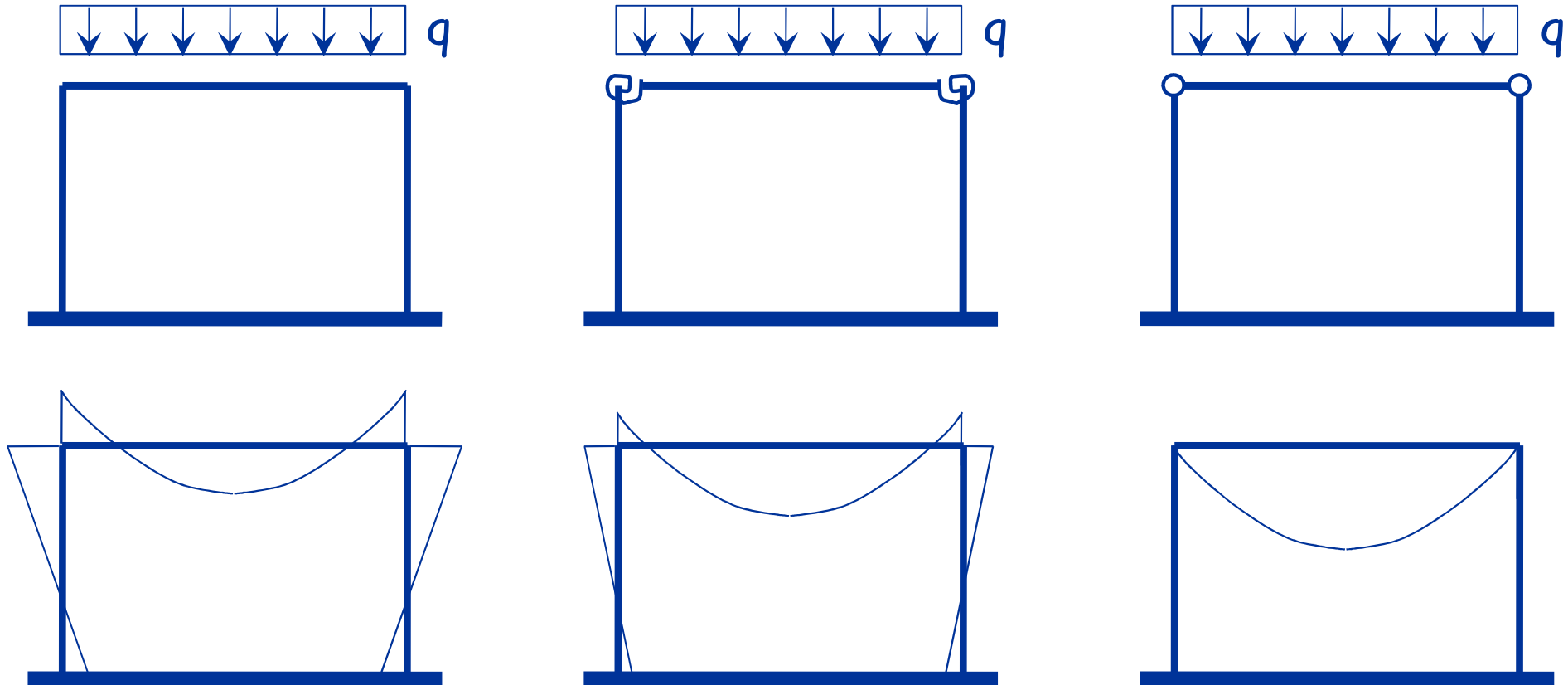
Collegamenti semi-rigidi e sollecitazioni



Momenti Trave

- Minori rispetto al caso dello schema con cerniere
- Maggiori o minori rispetto al caso dello schema con nodi rigidi

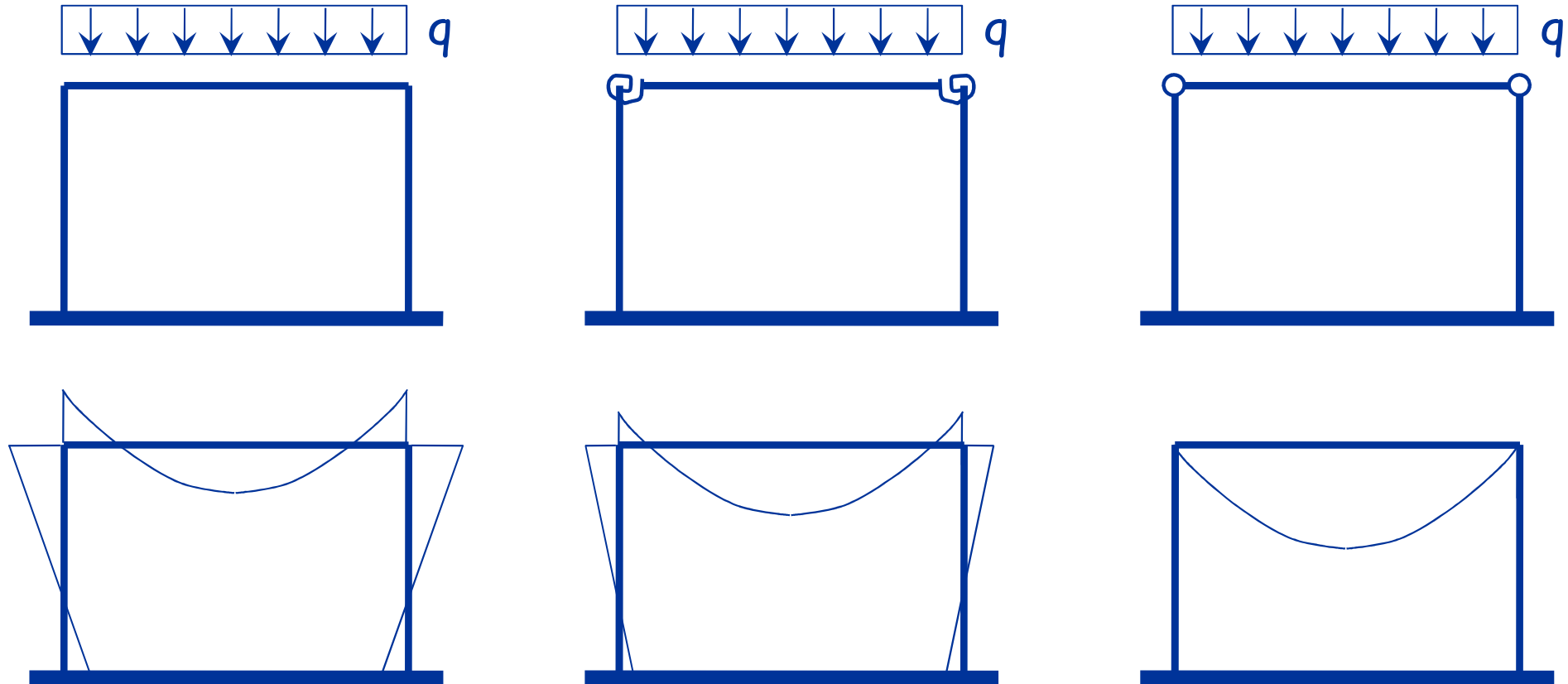
Collegamenti semi-rigidi e sollecitazioni



Colonna

- Sollecitata a presso-flessione
- Generalmente minori rispetto al caso dello schema con nodi rigidi

Collegamenti semi-rigidi e sollecitazioni



Momento collegamento

- Maggiore rispetto al caso dello schema con cerniere
- Minore rispetto al caso dello schema con nodi rigidi