

Corso di aggiornamento
Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

Progetto di aste e collegamenti in acciaio

10 - Collegamenti trave-colonna

Spoletto
2-4 febbraio 2012
Aurelio Gheresi

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

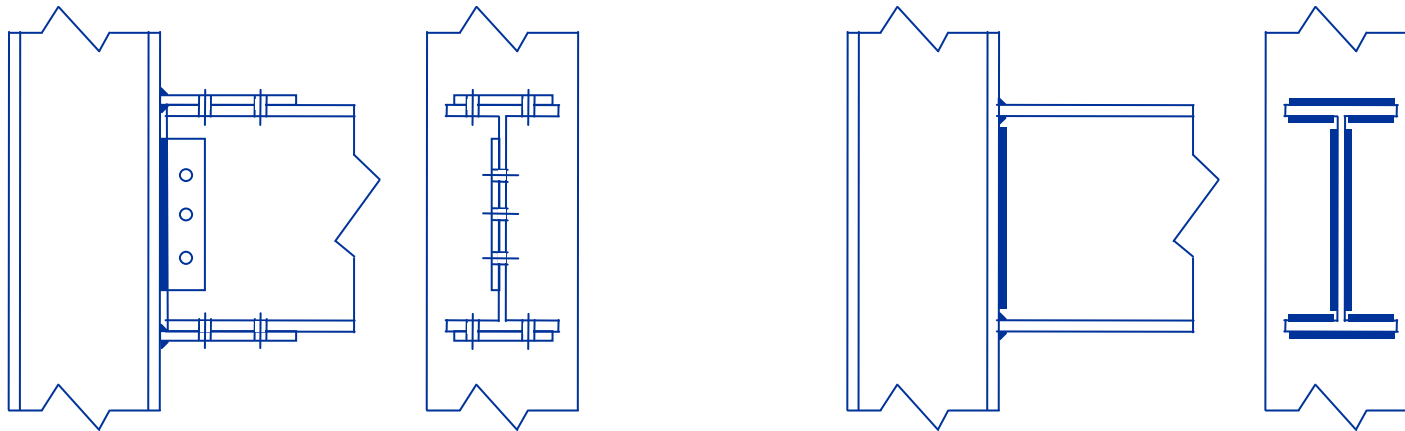
1. Collegamento rigido (ad incastro)
 - In grado di trasmettere momento flettente
 - Impedisce rotazioni relative
2. Collegamento a cerniera
 - Non trasmette momento flettente
 - Non impedisce rotazioni relative

Tipi di collegamenti

1. Collegamento rigido (ad incastro)

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

Collegamenti saldati



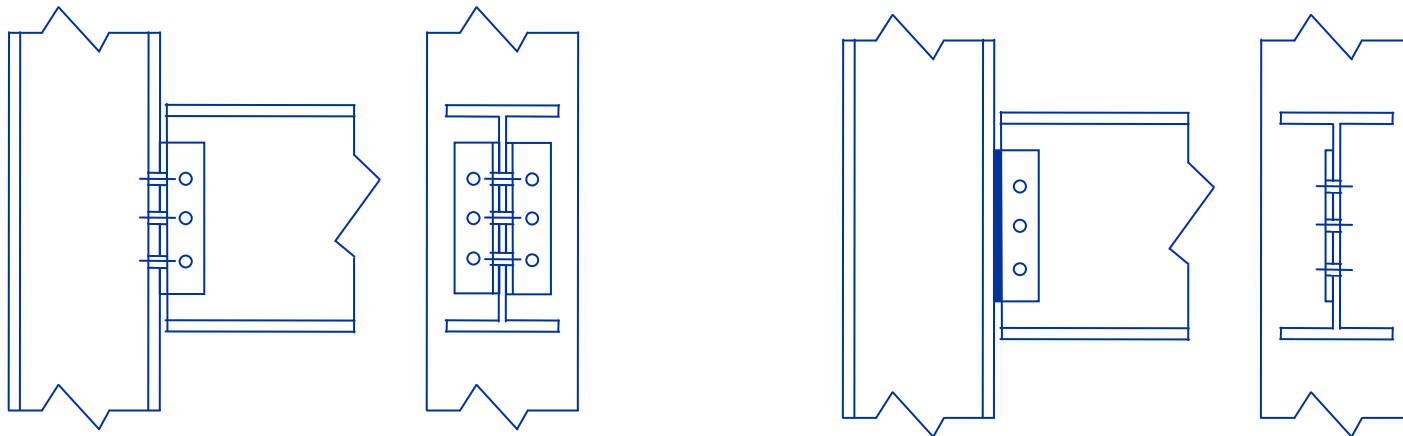
* Nota: è importante anche la rigidità del nodo

Tipi di collegamenti

2. Collegamento a cerniera

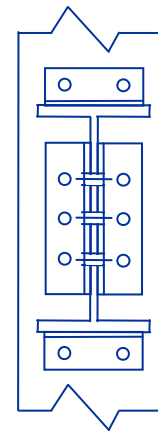
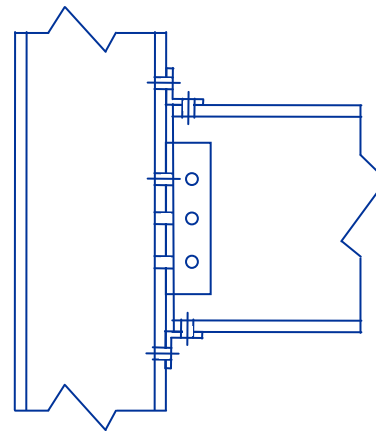
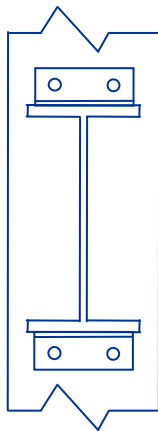
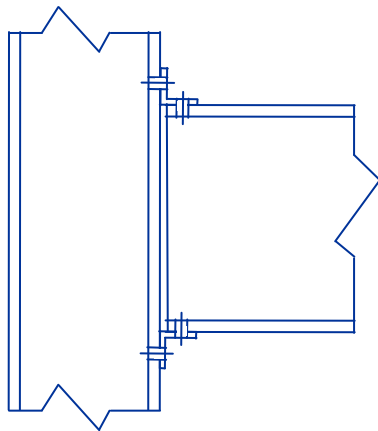
- Non trasmette momento flettente
- Non impedisce rotazioni relative

Collegamenti con angolari o piastra d'anima

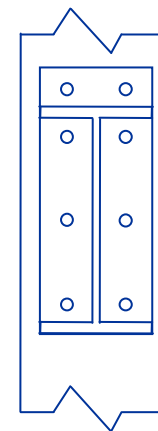
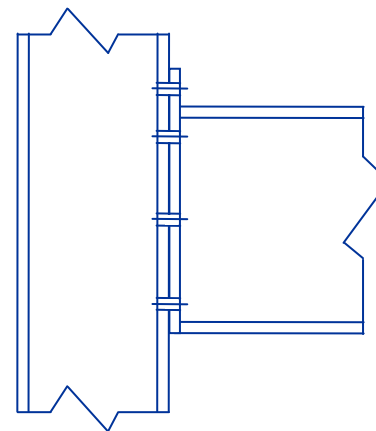
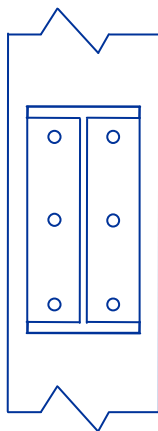
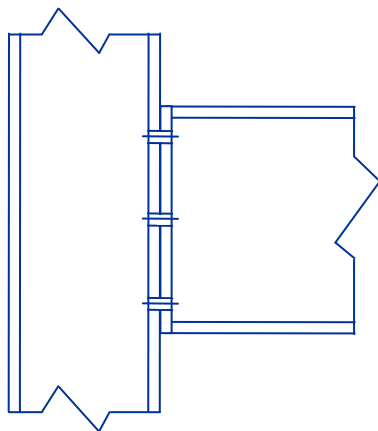


Altri esempi di collegamento

Collegamenti con angolari



Collegamenti flangiati

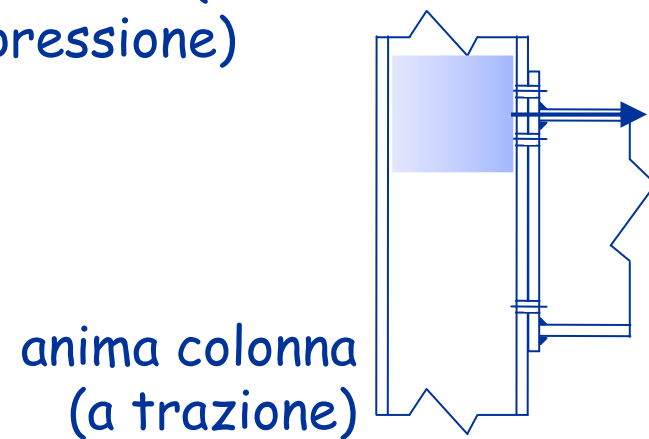
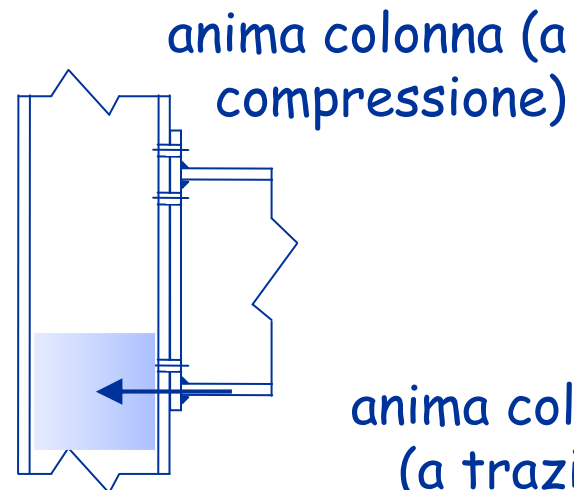
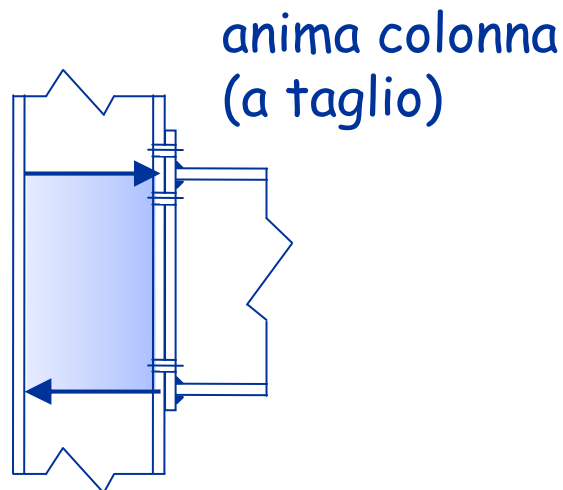
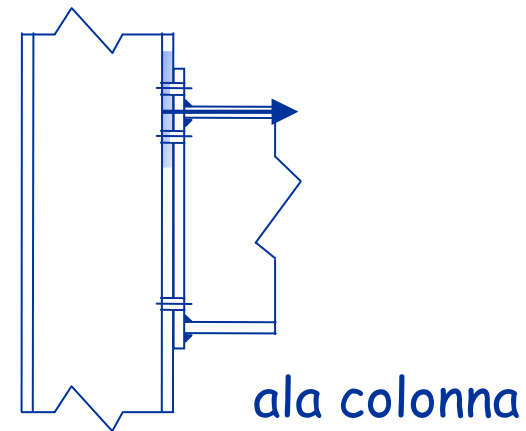
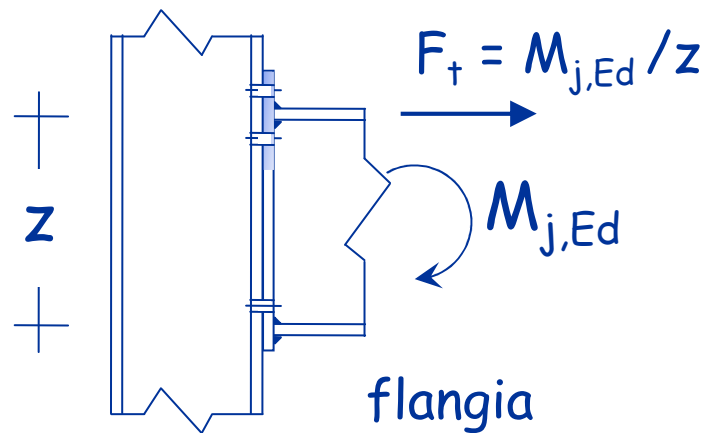


Resistenza

Resistenza di un giunto

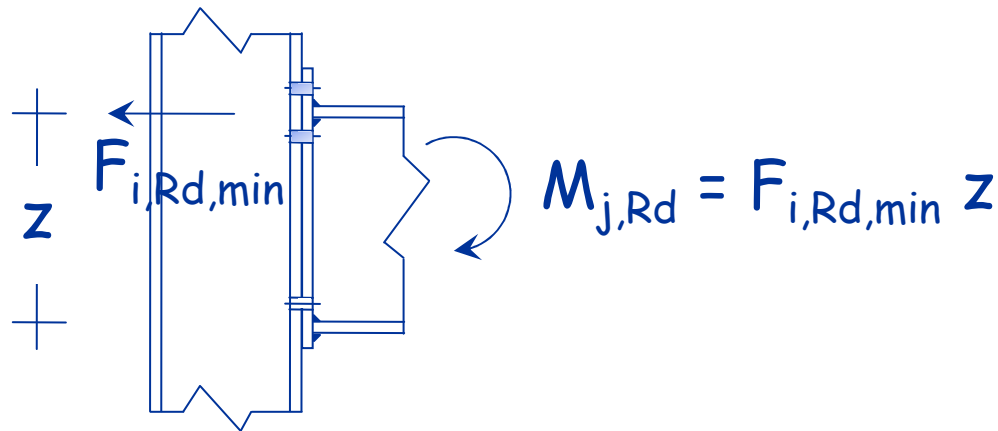
- Il giunto è costituito da varie componenti, ciascuna delle quali ha un limite di resistenza
- La resistenza del giunto è dettata dalla resistenza minore delle sue componenti

Resistenza delle componenti



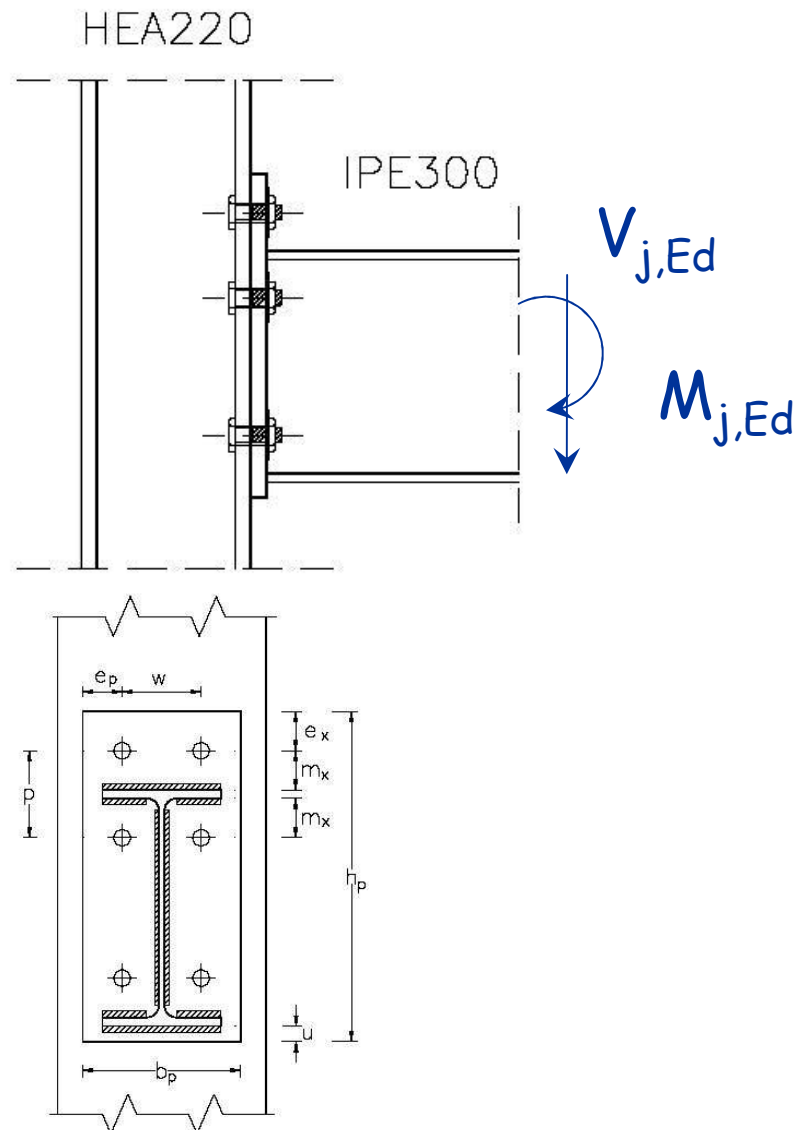
Verifica del giunto

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
della flangia

$t_p = 15 \text{ mm}$

$b_p = 200 \text{ mm}$

$h_p = 420 \text{ mm}$

$e_p = 50 \text{ mm}$

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

$u = 20 \text{ mm}$

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

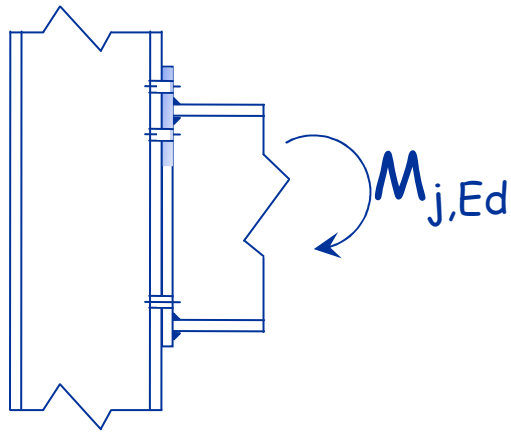
$t_{fb} = 10.7$

$t_{wb} = 7.1$

Esempio

Resistenza della flangia

Dati



Acciaio

S275

Piastra

$t_p = 25 \text{ mm}$

Bulloni

$m = 43.2 \text{ mm}$

$e_x = 50 \text{ mm}$

Già dimensionato in precedenza

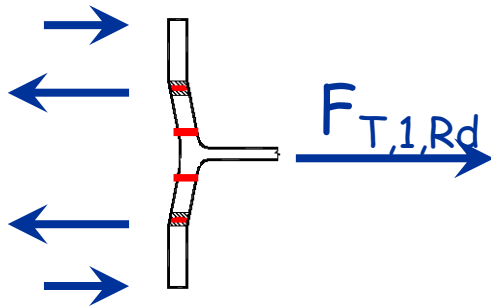
Si è tenuto conto dell'effetto leva

Si sono considerati i tre meccanismi di collasso

Esempio

Resistenza della flangia

Dati



Acciaio

S275

Piastra

$t_p = 15 \text{ mm}$

$m = 27.9 \text{ mm}$

$e_x = 50 \text{ mm}$

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

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

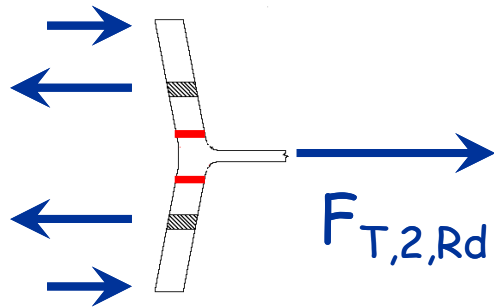
$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 M_{pl,Rd}}{m} = \frac{4 \times 2.95}{27.9 \times 10^{-3}} = 423.0 \text{ kN}$$

Ma il bullone
non ce la fa

Esempio

Resistenza della flangia

Dati



Acciaio

S275

Piastra

$t_p = 15 \text{ mm}$

$m = 27.92 \text{ mm}$

$e_x = 50 \text{ mm}$

Bulloni

$n_b = 4$

M20, classe 6.8

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

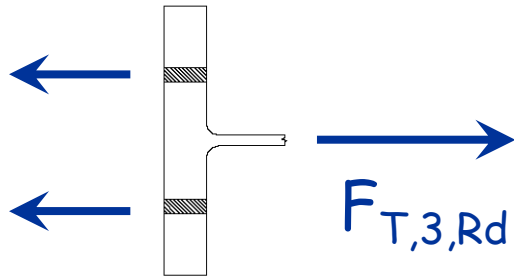
$$\min(F_{t,Rd}, B_{b,Rd}) = 105.8 \text{ kN}$$

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

Esempio

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

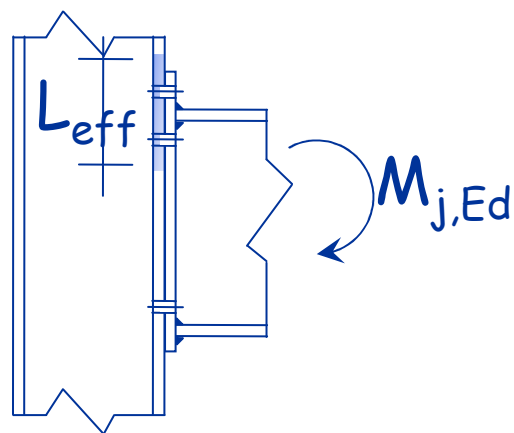
$$F_{T,3,Rd} = n_b F_{t,Rd} = 4 \times 105.8 = 423.2 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} F_{T,fb,Rd} &= \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = \\ &= \min(423.0, 347.5, 423.2) = 347.5 \text{ kN} \end{aligned}$$

Esempio

Resistenza dell'ala della colonna

Dati



Acciaio

S275

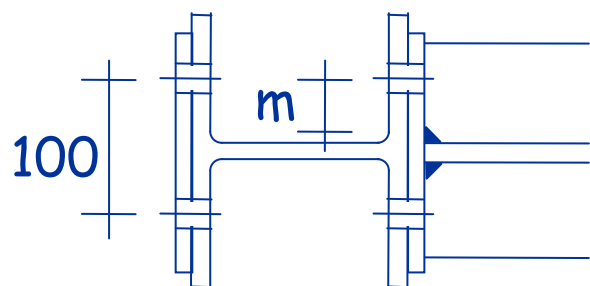
Colonna

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

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

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

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

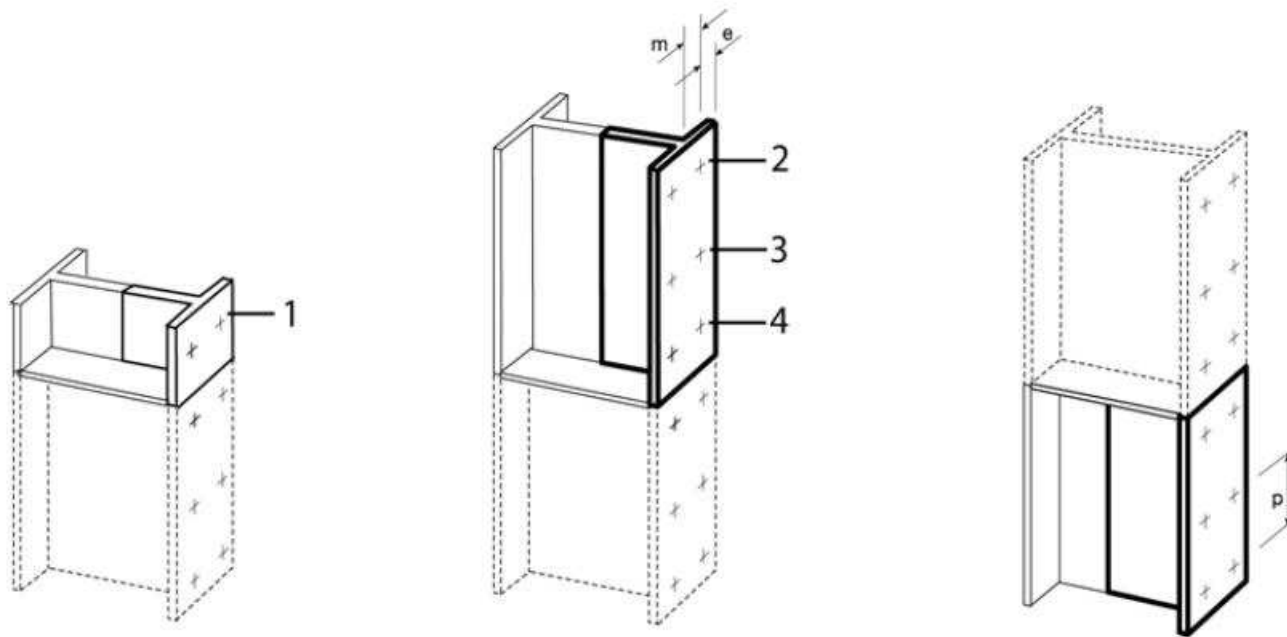


$$m = 50 - t_{w,c} / 2 - 0.8 r_c = 32.1 \text{ mm}$$

EN 1993, parte 1-8, punto 6.2.6.4

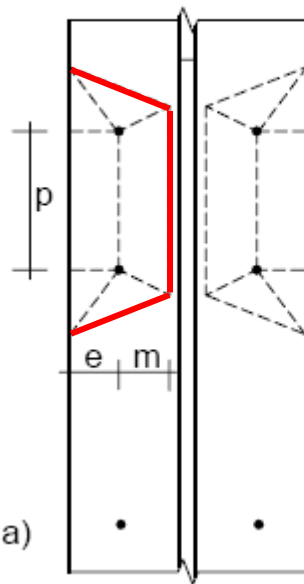
Indicazioni per la determinazione dell'altezza efficace della colonna

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



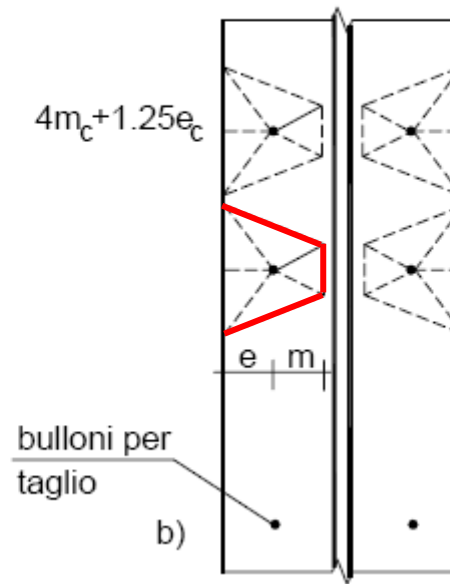
- Possibili meccanismi di rottura, che definiscono differenti valori di L_{eff}

a) meccanismo globale per il gruppo



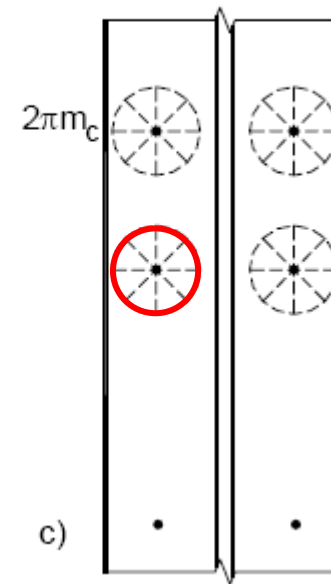
a)

b) meccanismi separati per ogni bullone



b)

c) meccanismo per imbutimento



c)

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

$$4m + 1.25e$$

$$2\pi m$$

Indicazioni per la determinazione dell'altezza efficace della colonna

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 $l_{eff,cp}$	Non-circular patterns $l_{eff,nc}$	Circular patterns $l_{eff,cp}$	Non-circular patterns $l_{eff,nc}$
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:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ but $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\sum l_{eff,1} = \sum l_{eff,nc}$ but $\sum l_{eff,1} \leq \sum l_{eff,cp}$	
Mode 2:	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		$\sum l_{eff,2} = \sum l_{eff,nc}$	

EN 1993, parte 1-8, punto 6.2.6.4

Esempio

Resistenza dell'ala della colonna

- Larghezza efficace

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 $l_{eff,cp}$	Non-circular patterns $l_{eff,nc}$	Circular patterns $l_{eff,cp}$	Non-circular patterns $l_{eff,nc}$
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:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ but $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\sum l_{eff,1} = \sum l_{eff,nc}$ but $\sum l_{eff,1} \leq \sum l_{eff,cp}$	
Mode 2:	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		$\sum l_{eff,2} = \sum l_{eff,nc}$	

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

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

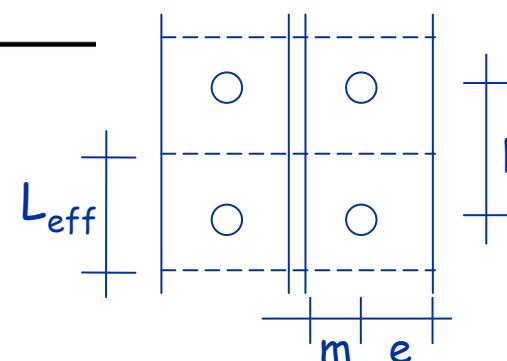
$$L_{eff} = 135.5 \text{ mm} \times 2$$

EN 1993, parte 1-8, punto 6.2.6.4

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

$$e = 50.0 \text{ mm}$$

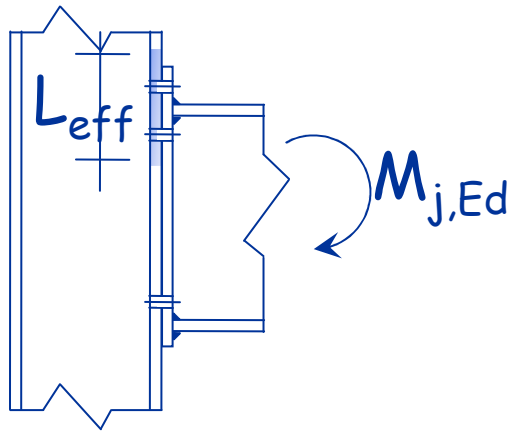
$$p = 80.0 \text{ mm}$$



Esempio

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

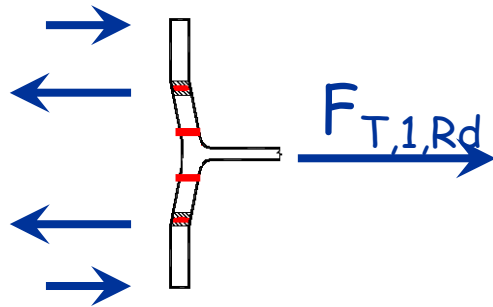
Si tiene conto dell'effetto leva

Si considerano i tre meccanismi di collasso

Esempio

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

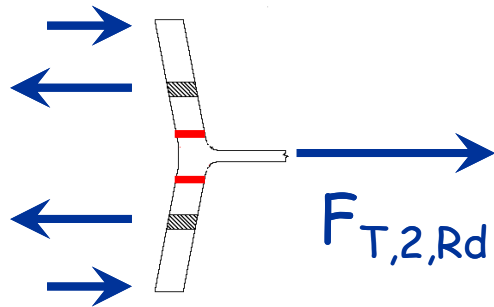
$$M_{pl,Rd} = \frac{L_{eff} t_{fc}^2 f_y}{4 \gamma_{M0}} = \frac{271 \times 11^2 \times 275}{4 \times 1.05 \times 10^6} = 2.15 \text{ kN m}$$

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

Esempio

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

$$M_{pl,Rd} = 2.15 \text{ kN m}$$

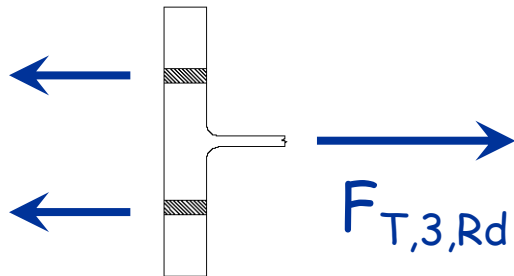
$$\min(F_{t,Rd}, B_{b,Rd}) = 105.8 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,Rd} + n_b \min(F_{t,Rd}, B_{b,Rd}) e_x}{m + e_x} = 310.1 \text{ kN}$$

Esempio

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

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

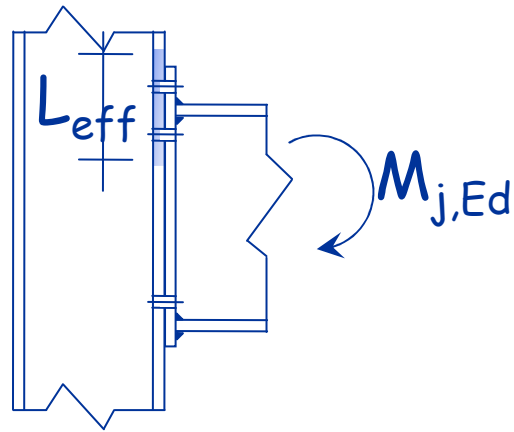
$$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.6 \times \pi \times 30 \times 11 \times 430}{1.25 \times 10^3} = 214.0 \text{ kN}$$

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

Esempio

Resistenza dell'ala della colonna

Dati

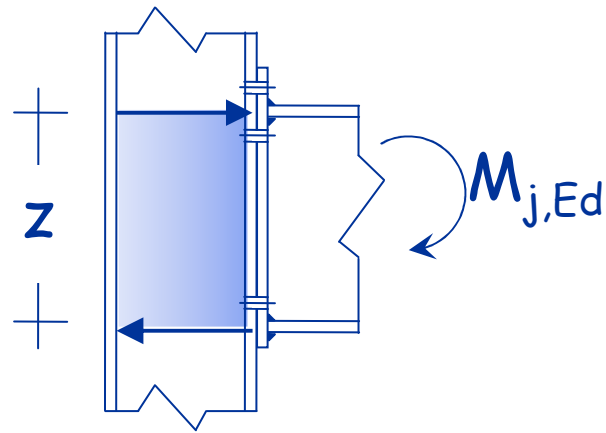


$$F_{T,fc,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = \\ = \min(267.5, 310.1, 423.4) = 267.5 \text{ kN}$$

Esempio

Resistenza anima colonna soggetta a taglio

Dati



Acciaio

S275

Colonna

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

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

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

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

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

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

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

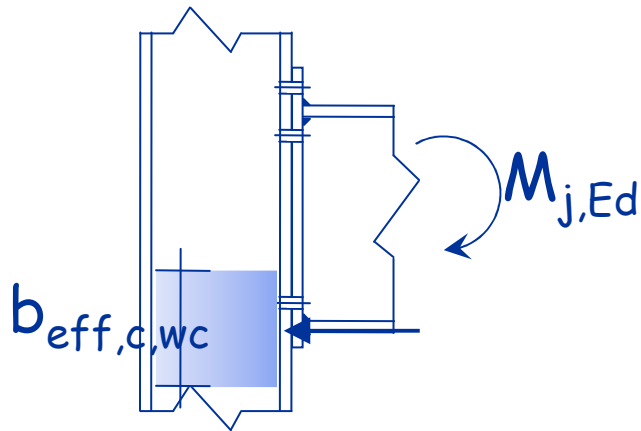
$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vc} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{20.67 \times 275}{\sqrt{3} \times 1.05} \times 10^{-1} = 312.6 \text{ kN}$$

EN 1993, parte 1-8, punto 6.2.6.1

Esempio

Resistenza anima colonna in compressione

Dati



Colonna

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

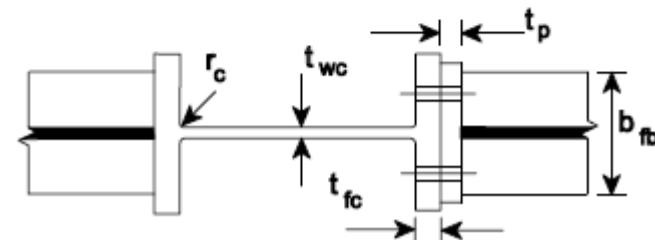
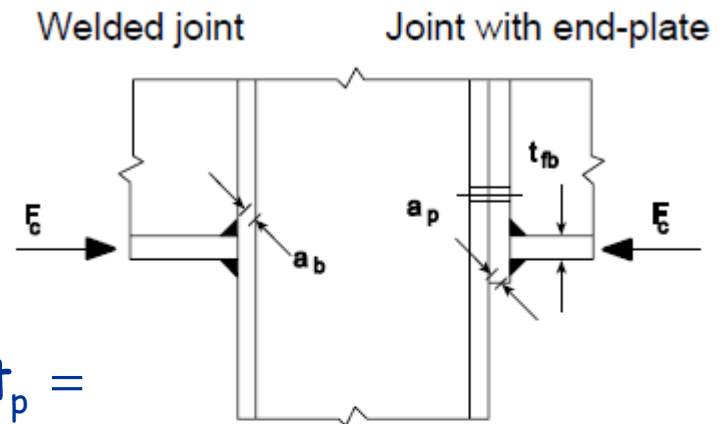
$$r_c = 18 \text{ mm}$$

Trave

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

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

$$= 202.7 \text{ mm}$$

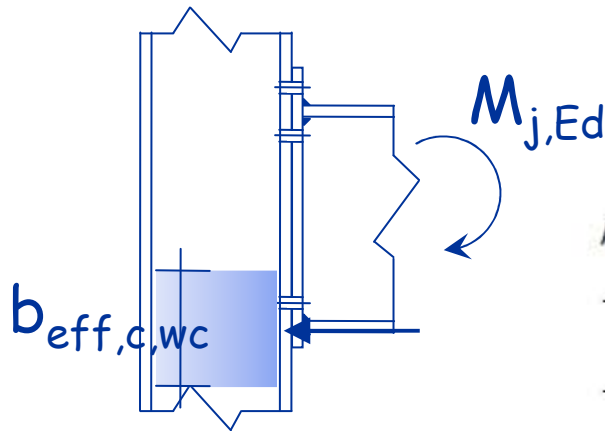


EN 1993, parte 1-8, punto 6.2.6.2

Esempio

Resistenza anima colonna in compressione

Dati



L'anima si verifica come asta 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: $d_{wc} = h_c - 2(t_{fc} + \sqrt{2}a_c)$

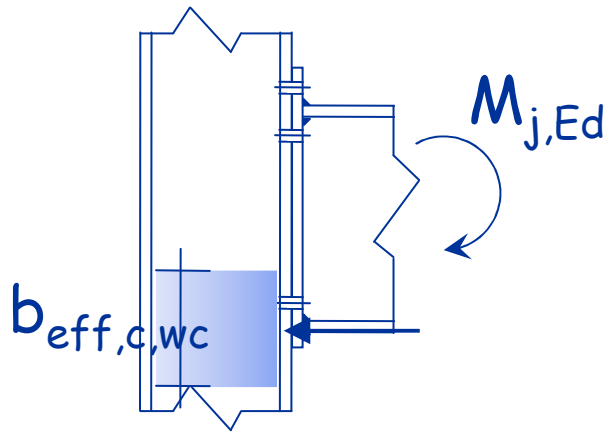
$$F_{c,wc,Rd} = \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

EN 1993, parte 1-8, punto 6.2.6.2

Esempio

Resistenza anima colonna in compressione

Dati



L'anima si verifica come asta compressa

Si ottiene:

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

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

$$\rho = 0.403$$

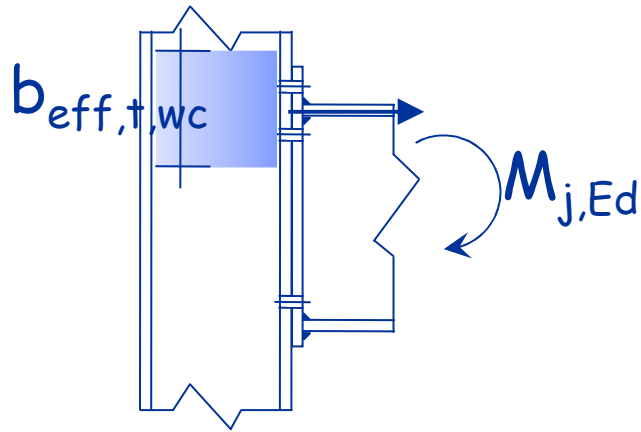
$$\begin{aligned} F_{c,wc,Rd} &= \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = \\ &= 0.403 \times 202.7 \times 7 \times \frac{275}{1.05} \times 10^{-3} = 149.9 \text{ kN} \end{aligned}$$

EN 1993, parte 1-8, punto 6.2.6.2

Esempio

Resistenza anima colonna in trazione

Dati



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

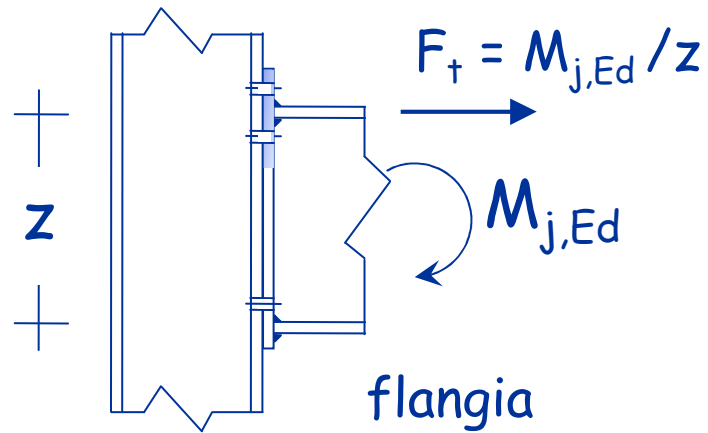
$$b_{eff,t,wc} = L_{eff} = 271.0 \text{ mm}$$

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

EN 1993, parte 1-8, punto 6.2.6.3

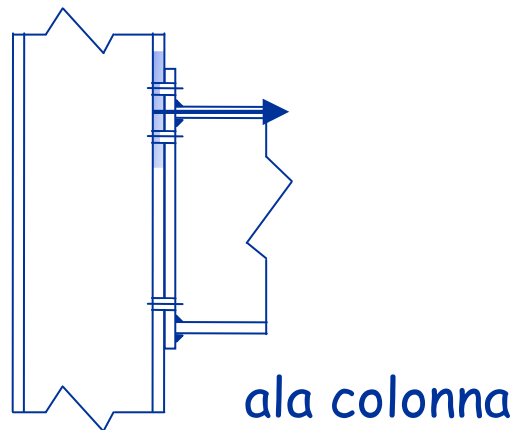
Esempio

Riepilogo delle resistenze



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

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



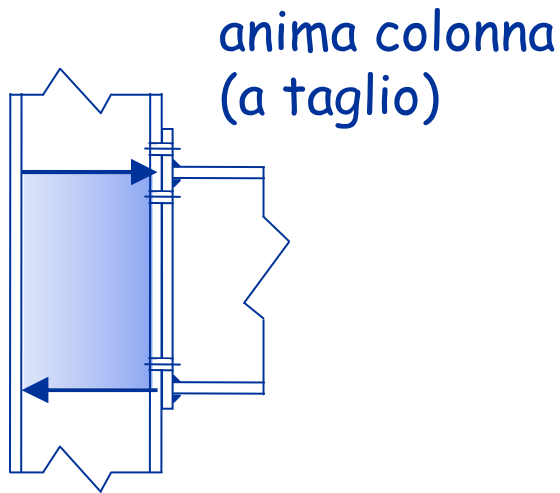
$$F_{T,fc,Rd} = 267.5 \text{ kN}$$

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

Non va bene
Occorre irrigidire

Esempio

Riepilogo delle resistenze



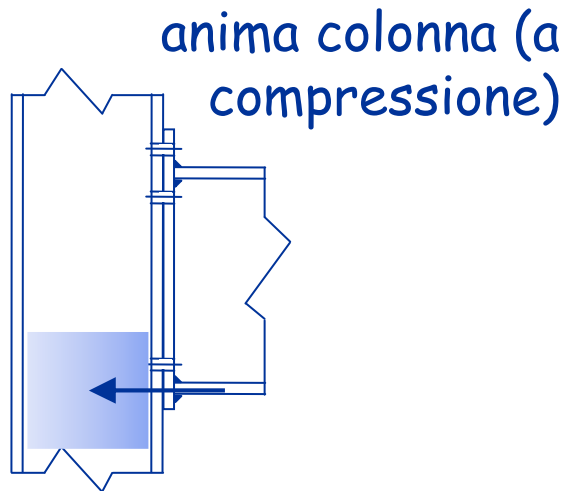
$$V_{pl,Rd} = 312.6 \text{ kN}$$

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

Non va bene
Occorre irrigidire

Esempio

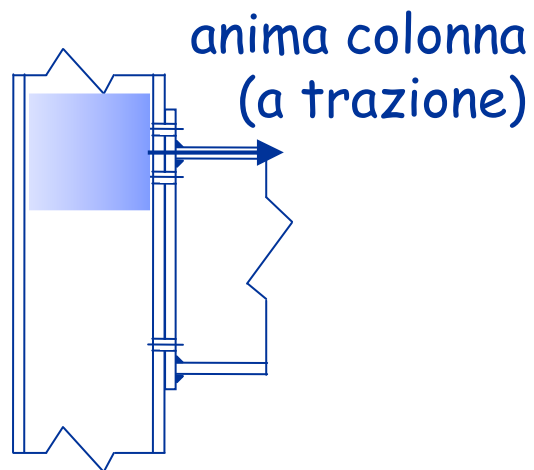
Riepilogo delle resistenze



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

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

Non va bene
Occorre irrigidire

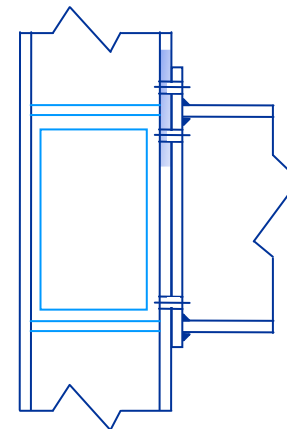
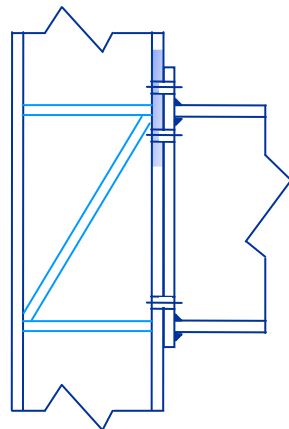


$$F_{t,cw,Rd} = 496.8 \text{ kN}$$

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

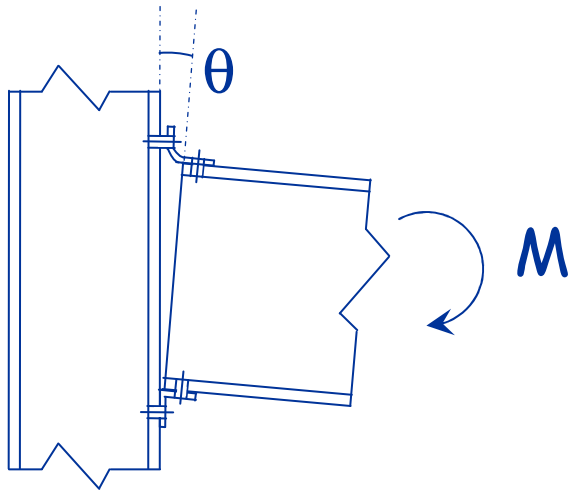
Esempio resistenza della sezione

- 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)



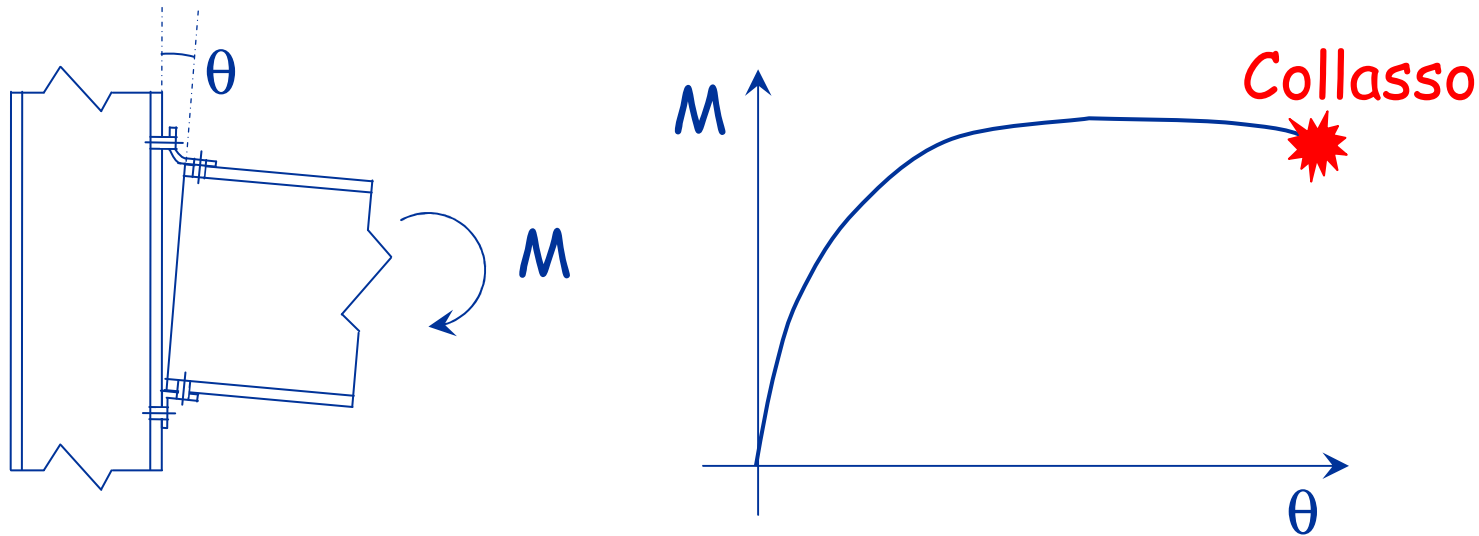
Rigidezza

Comportamento sperimentale



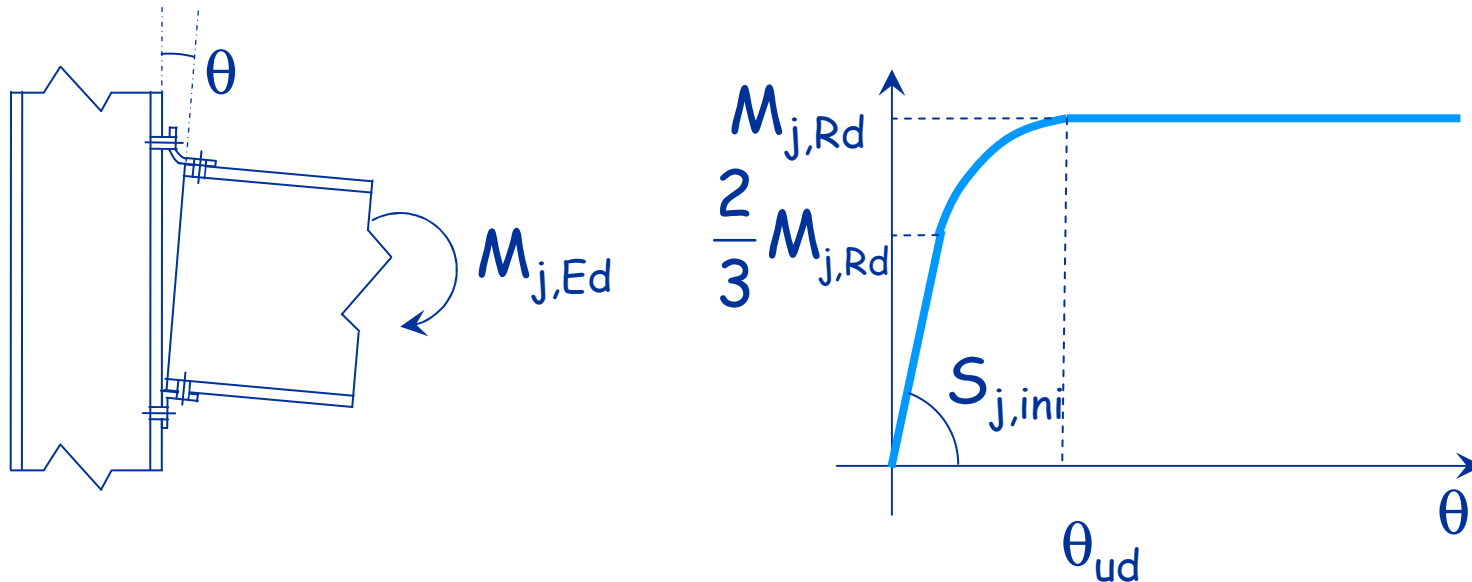
- Le varie parti del collegamento (angolari, bulloni, zone tese e compresse della trave e della colonna) sono deformabili
- La deformazione di queste parti provoca la rotazione relative tra trave e colonna
- Il comportamento è intermedio tra quello di una cerniera e quello di un incastro

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

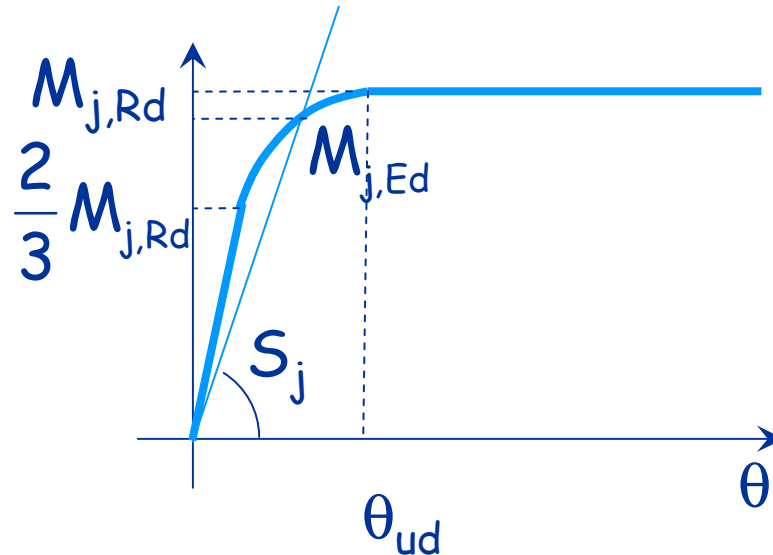
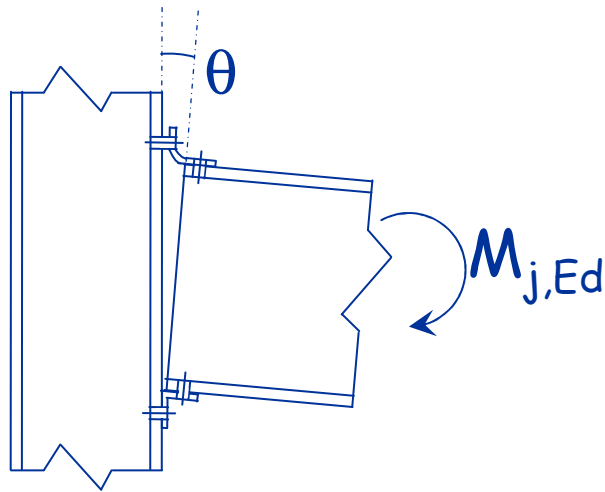
Rigidezza rotazionale



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

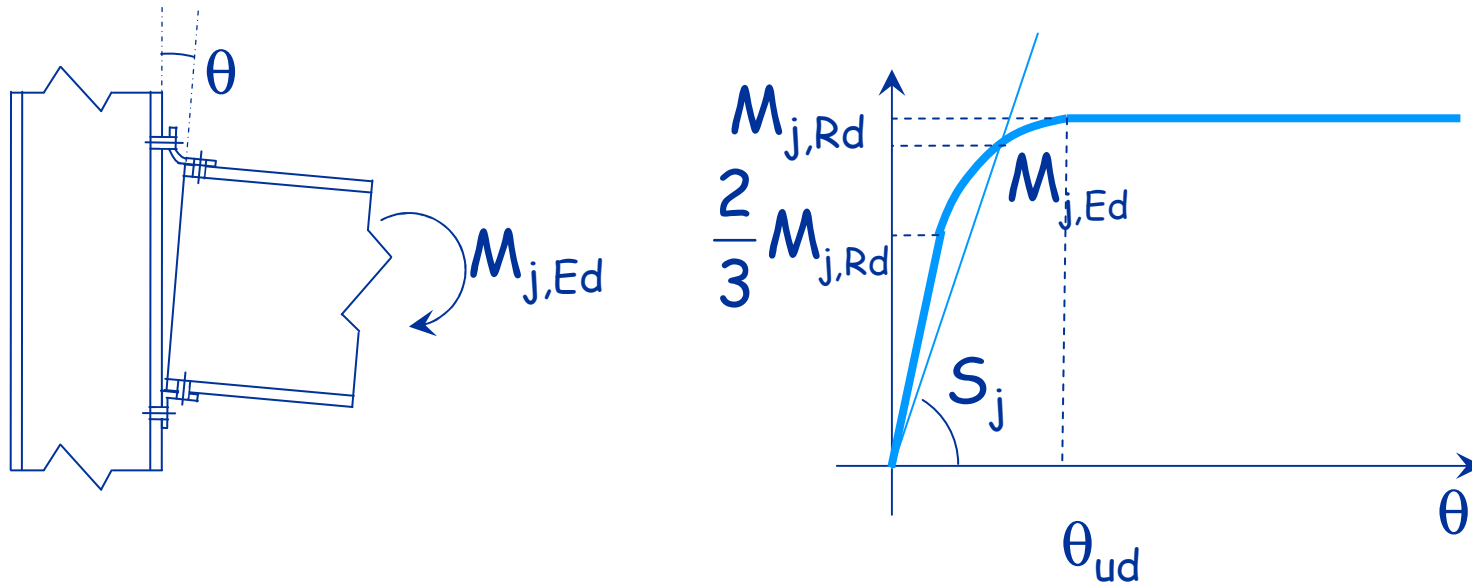
$$S_j = \frac{S_{j,ini}}{\mu} \quad \mu = \left(1.5 \frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} \right)^\psi$$

o in alternativa ...

EN 1993, parte 1-8, punto 6.3.1

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

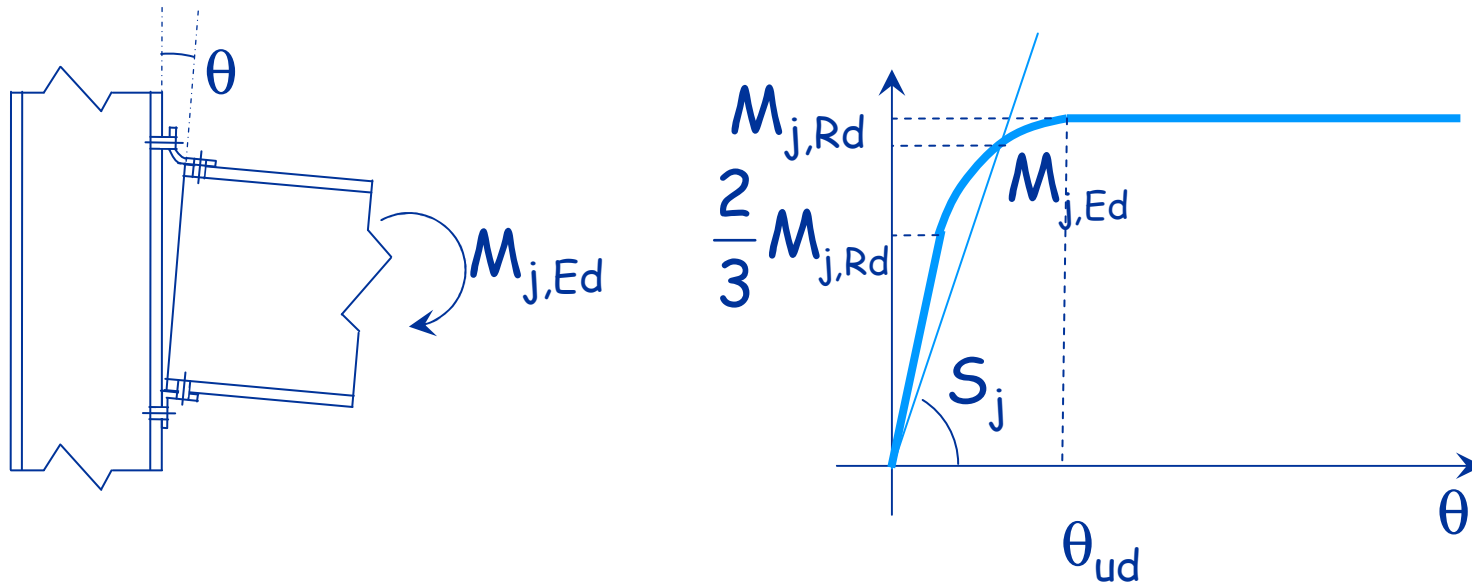
Rigidezza rotazionale metodo semplificato



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

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

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

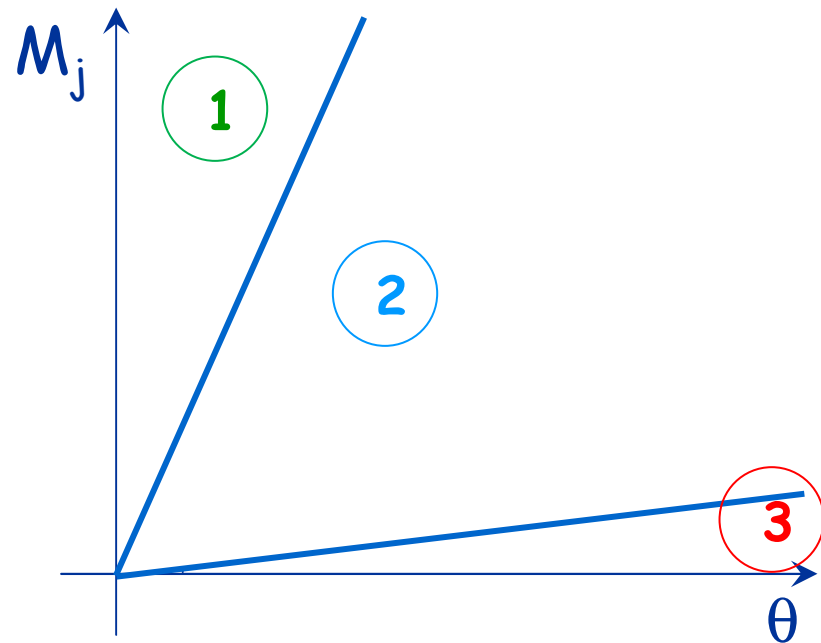
La classificazione si esegue in funzione della rigidezza iniziale $S_{j,ini}$, del tipo di telaio, del momento d'inerzia della trave I_b e luce della trave L_b

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



EN 1993, parte 1-8, punto 5.2.2.5

Tipi di collegamenti

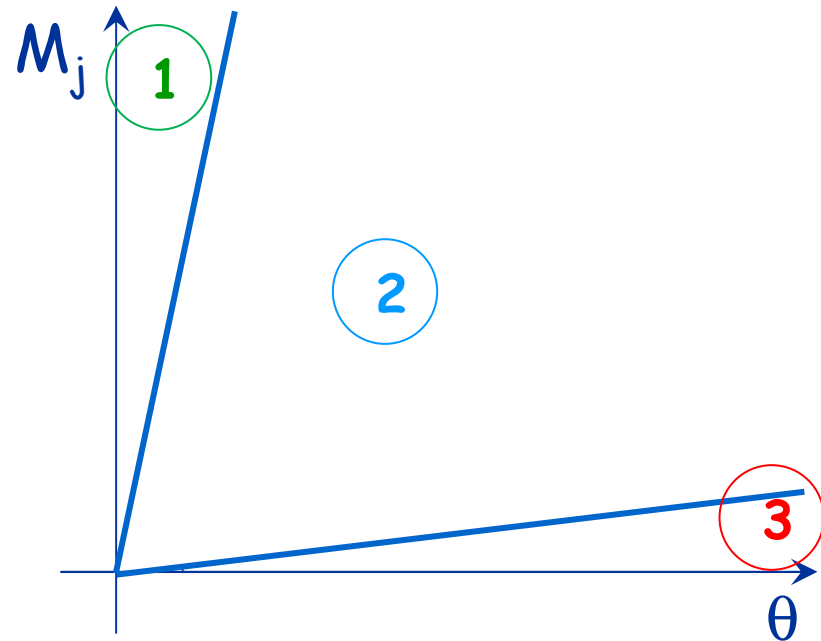
La classificazione si esegue in funzione della rigidezza iniziale $S_{j,ini}$, del tipo di telaio, del momento d'inerzia della trave I_b e luce della trave L_b

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



EN 1993, parte 1-8, punto 5.2.2.5

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

EN 1993, parte 1-8, punto 6.3.2

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

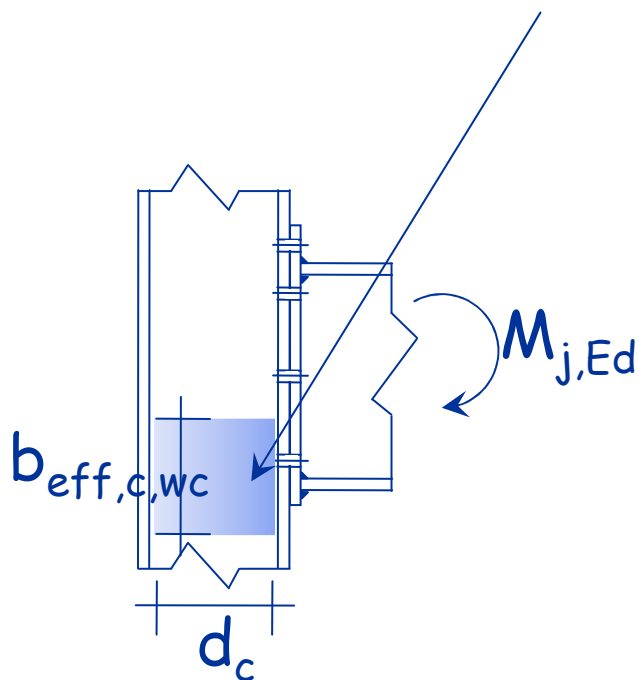
2. Anima della colonna in compressione

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

t_{wc} spessore anima colonna

d_c altezza anima colonna (al netto dei raccordi circolari)

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



EN 1993, 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

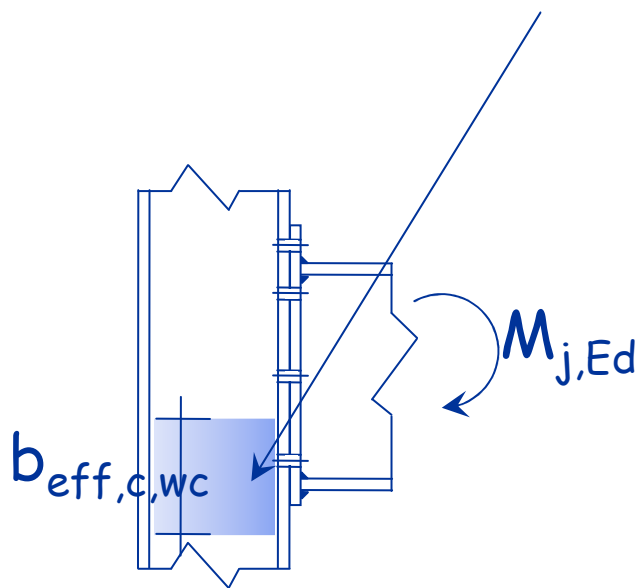
$$b_{\text{eff},c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_p + 5(t_{fc} + r_c) + s_p$$

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

$$\delta = \frac{N l}{E A}$$

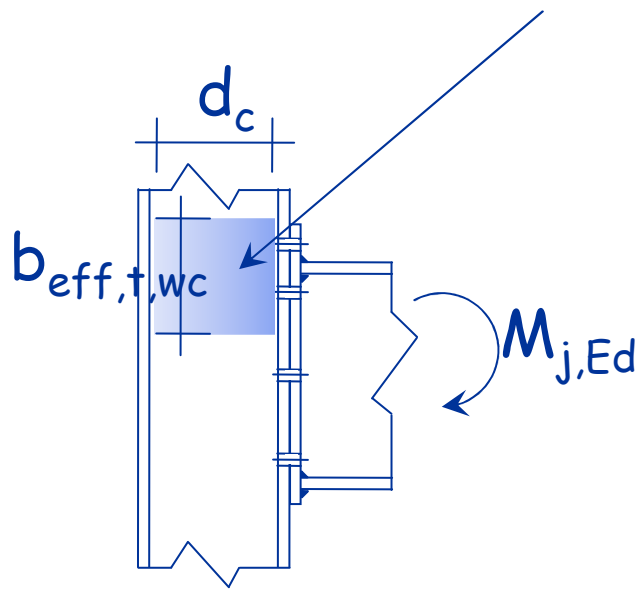
$$k = \frac{N}{\delta} = \frac{E A}{l} = E \frac{b t}{l} = E \frac{b_{\text{eff},c,wc} t_{wc}}{d_c}$$

- 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



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

t_{wc} spessore anima colonna

d_c altezza anima colonna (al netto dei raccordi circolari)

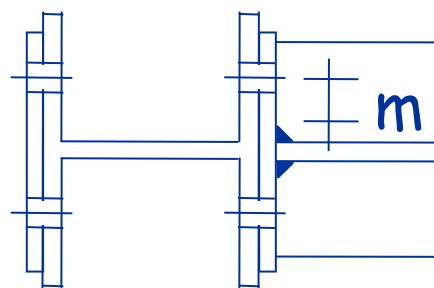
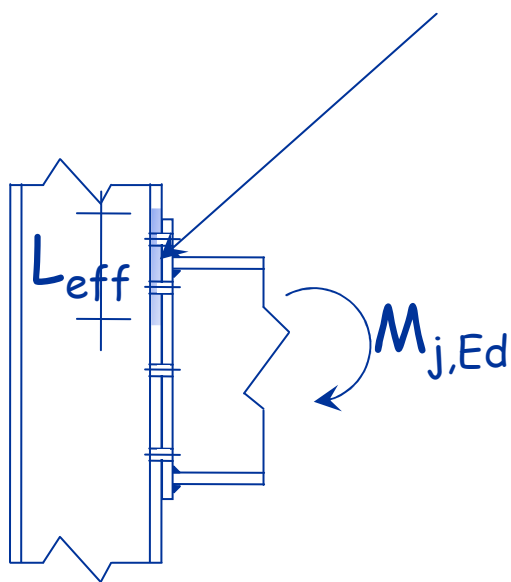
$b_{eff,t,wc}$ altezza efficace

Metodo delle componenti

1. Si individuano i diversi componenti che subiscono deformazioni
2. Si valuta la rigidezza di ciascun componente
3. Si valuta la deformazione di ciascun componente
4. Flangia della colonna in flessione

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

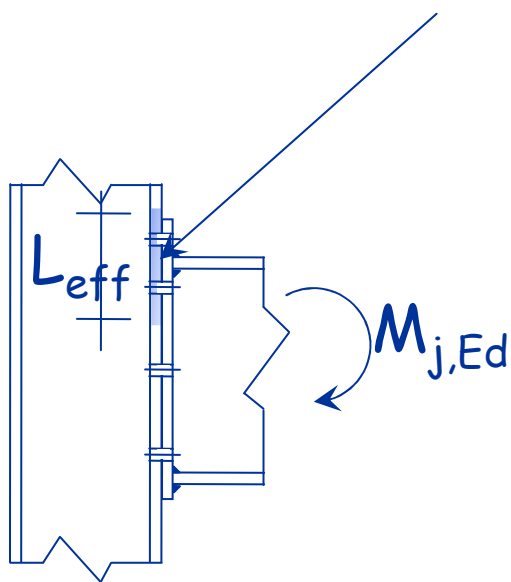
t_{fc} spessore flangia colonna



EN 1993, 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
3. Si valuta la deformazione 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

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

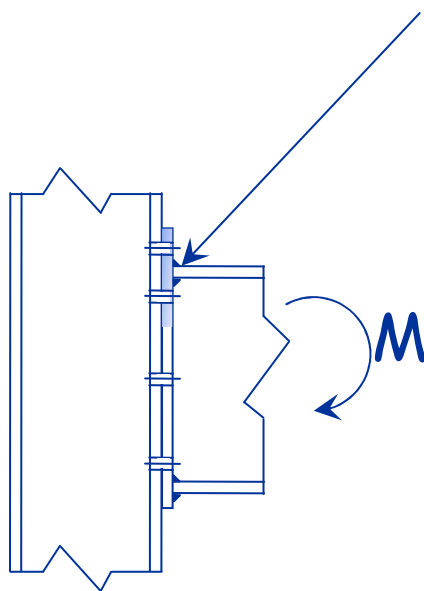
$$k = \frac{F}{\delta} = \frac{3 E I}{l^3} = E \frac{3 b t^3 / 12}{l^3} = E \frac{0.25 L_{eff} t_{fc}^3}{m^3}$$

- 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

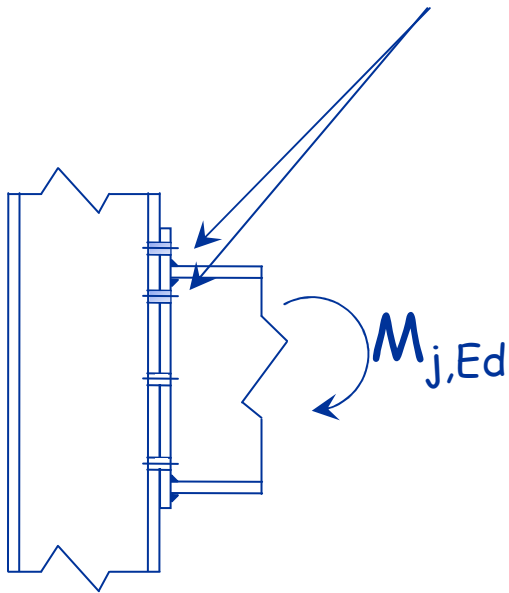
1. Si individuano i diversi componenti che subiscono deformazioni
2. Si valuta la rigidezza di ciascun componente

6. Bulloni tesi

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

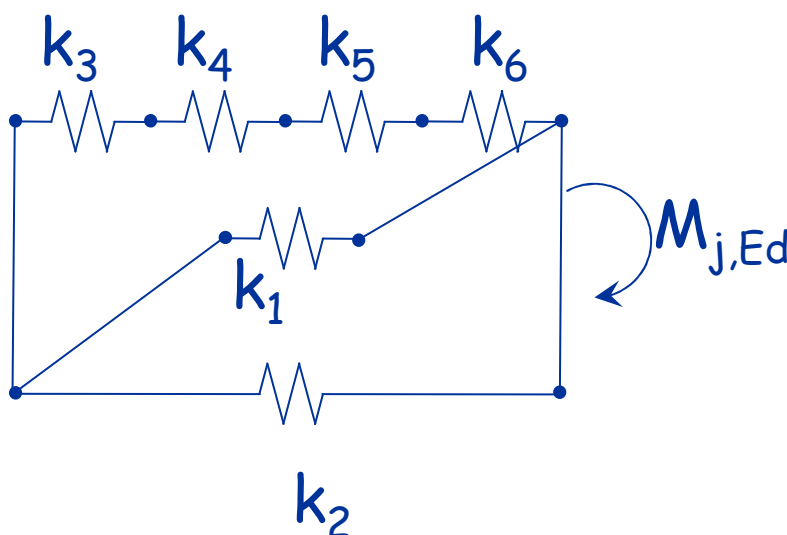
A_{res} area resistente del bullone

L_b lunghezza della parte del bullone soggetta a trazione



Metodo delle componenti

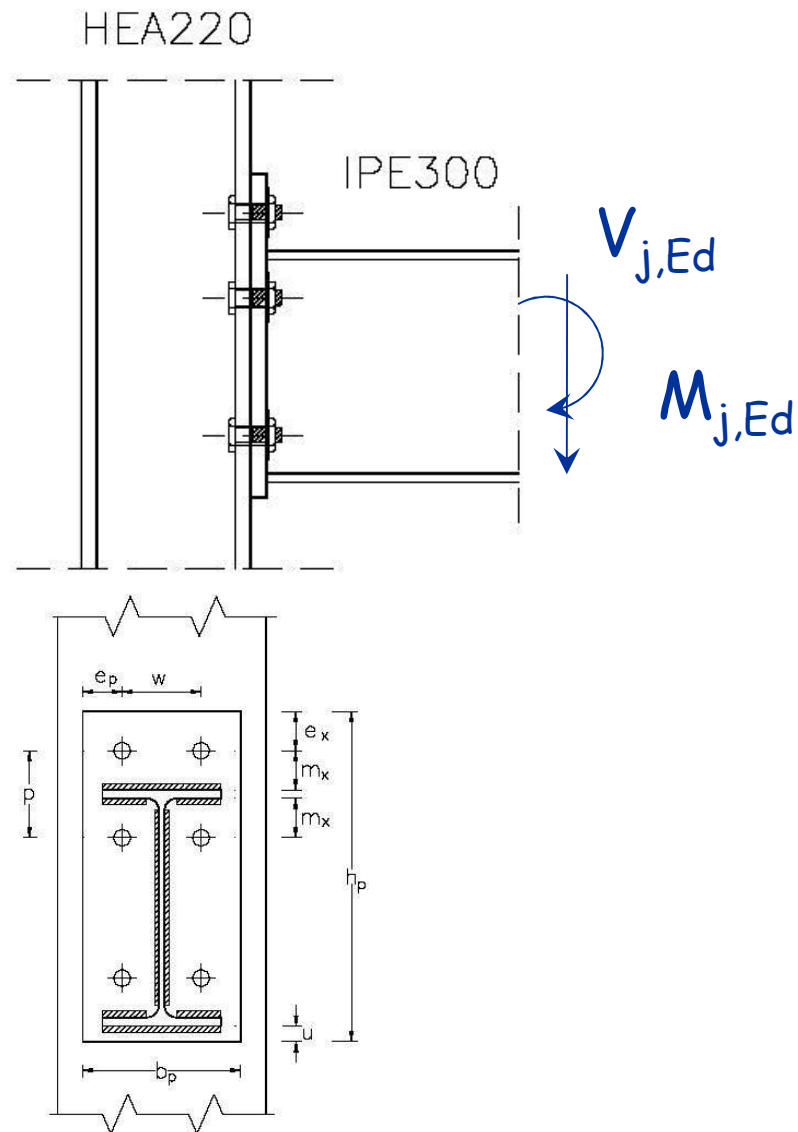
1. Si individuano i diversi componenti che subiscono deformazioni
2. Si valuta la rigidezza di ciascun componente
3. Si assemblano i diversi componenti e si valuta la rigidezza complessiva del nodo



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

EN 1993, 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

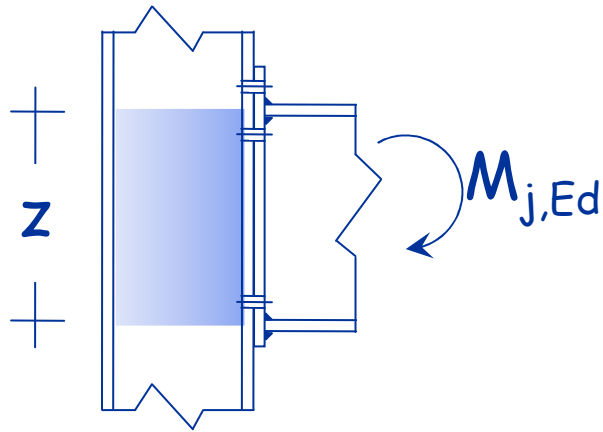
$t_{fb} = 10.7$

$t_{wb} = 7.1$

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

$$t_{fb} = 10.7$$

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

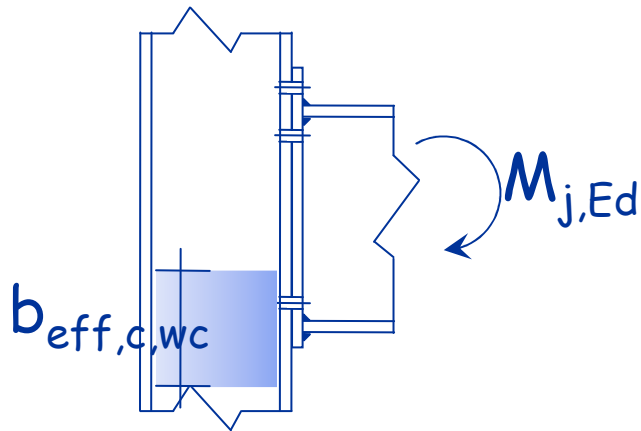
$$A_{vc} = 2060 \text{ mm}^2$$

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

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

$$t_{fb} = 10.7$$

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

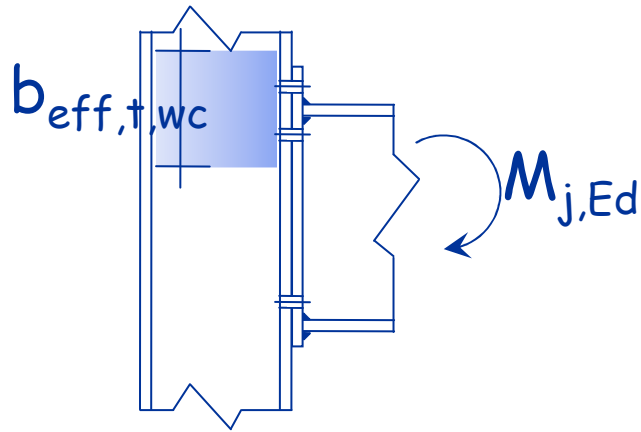
$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_f + 5(t_{fc} + r_c) + 2 t_p = 202.7 \text{ mm}$$

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

Esempio

Rigidezza anima colonna in trazione

Dati



Bulloni

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

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

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

Colonna

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

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

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

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

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

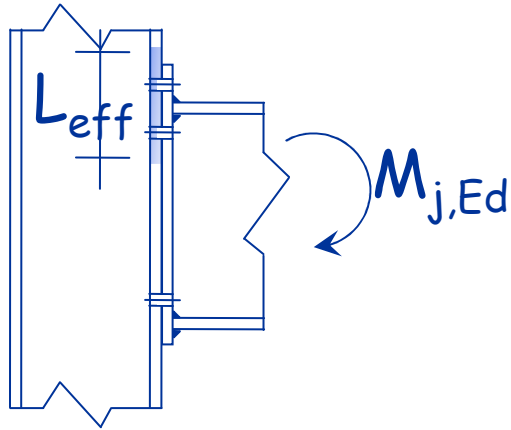
$$b_{eff,t,wc} = 271.0 \text{ mm}$$

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

Esempio

Rigidezza flangia colonna in flessione

Dati



Bulloni

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

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

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

Colonna

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

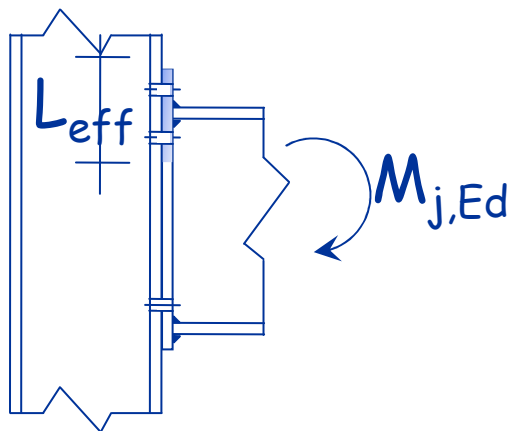
$$k_4 = \frac{0.9 L_{eff} t_{fc}^3}{m^3} \times 2 = 19.63 \text{ mm}$$

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

Esempio

Flessione della piastra

Dati



Piastra

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

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

Bulloni

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

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

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

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

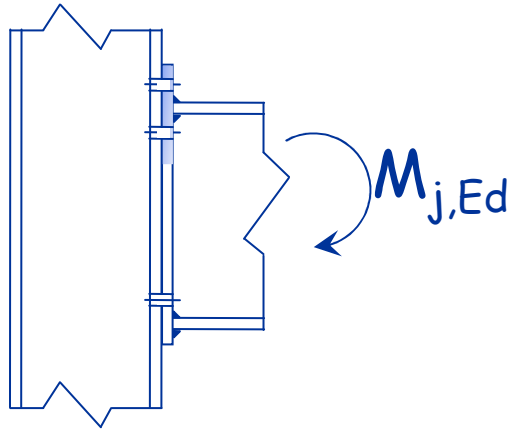
$$k_5 = \frac{0.9 L_{eff} t_p^3}{m_{xs}^3} \times 2 \quad (\text{è una semplificazione perché la fila inferiore è vincolata diversamente})$$

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

Esempio

Flessione della piastra

Dati



Piastra

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

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

Bulloni

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

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

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

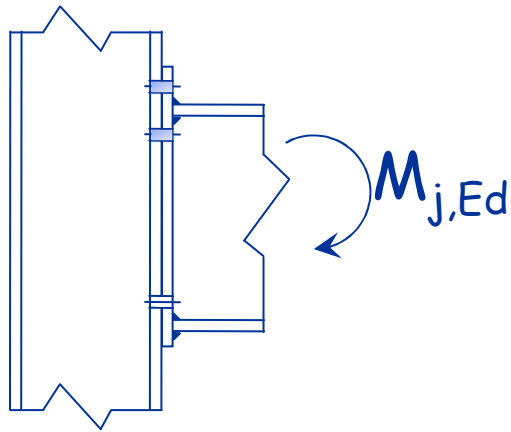
$$e_p = 50 \text{ mm}$$

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

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

Esempio Bulloni tesi

Dati



Piastra
Colonna
Bulloni

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

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

M20

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

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

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

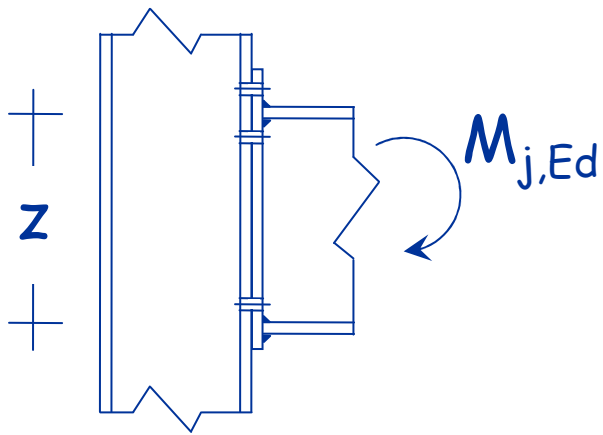
$$k_6 = n_b \frac{1.6 A_{res}}{L_b} = 36.05 \text{ mm}$$

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

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):

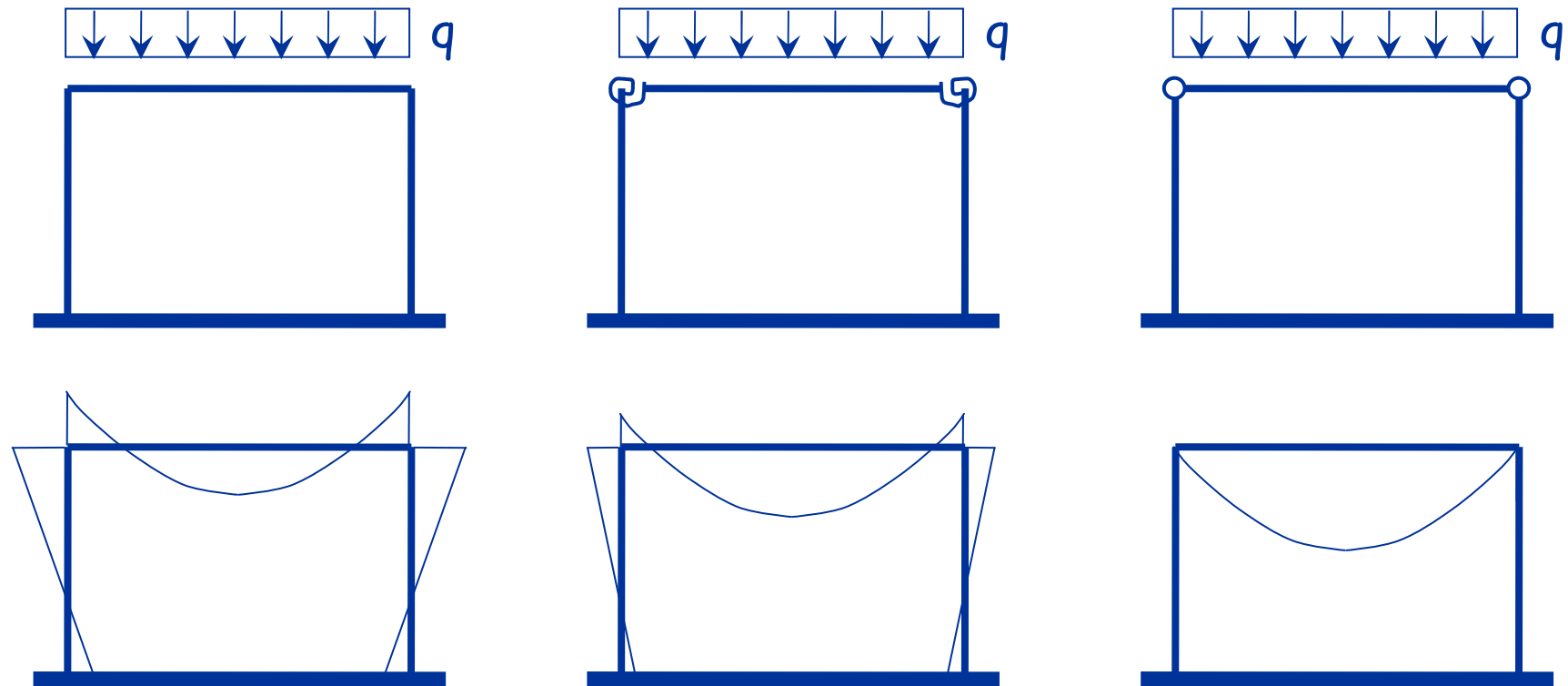
$$S_{j,ini} = 23503 \frac{\text{kNm}}{\text{rad}} < 25 \frac{EI}{L_b} = 25 \frac{210000 \times 8356}{500 \times 10^3} = 87738 \frac{\text{kNm}}{\text{rad}}$$

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

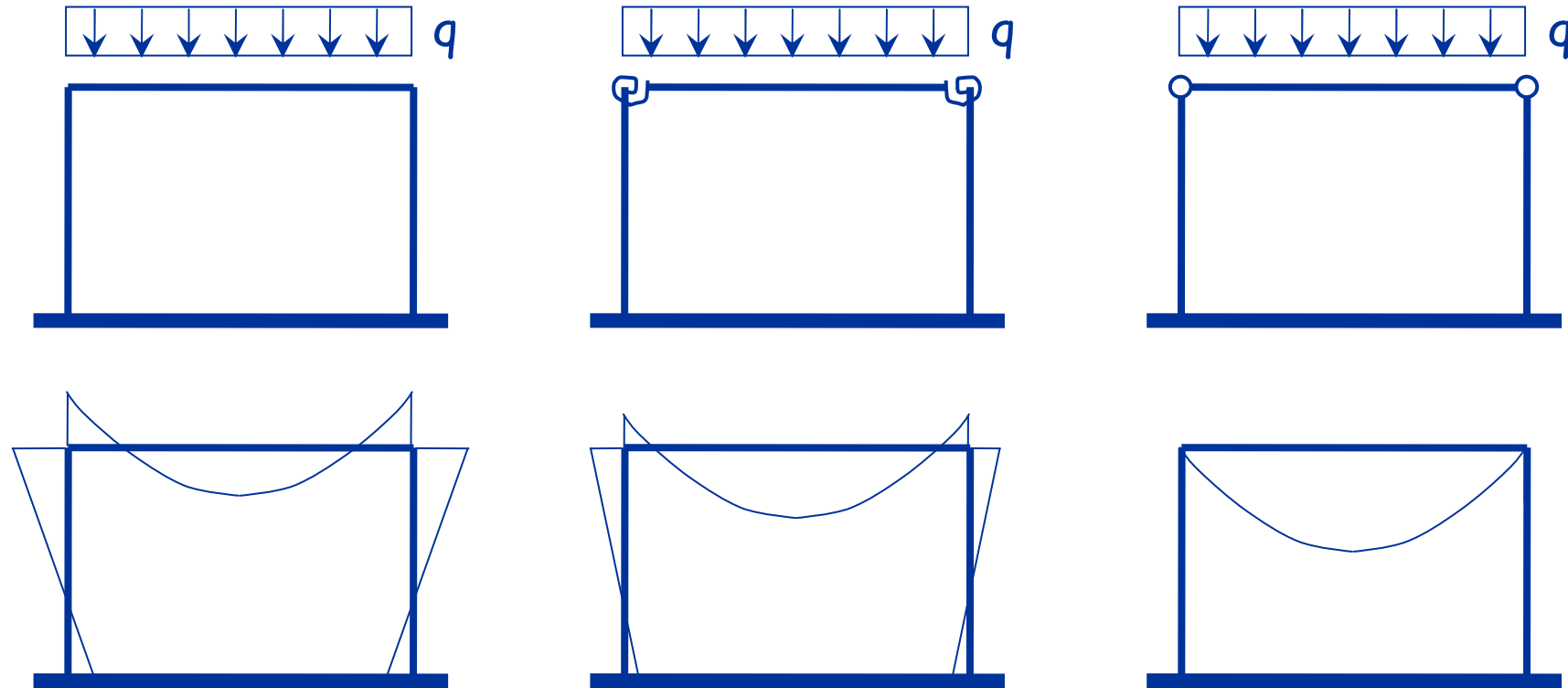
Collegamenti semi-rigidi e sollecitazioni



Momenti Trave

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

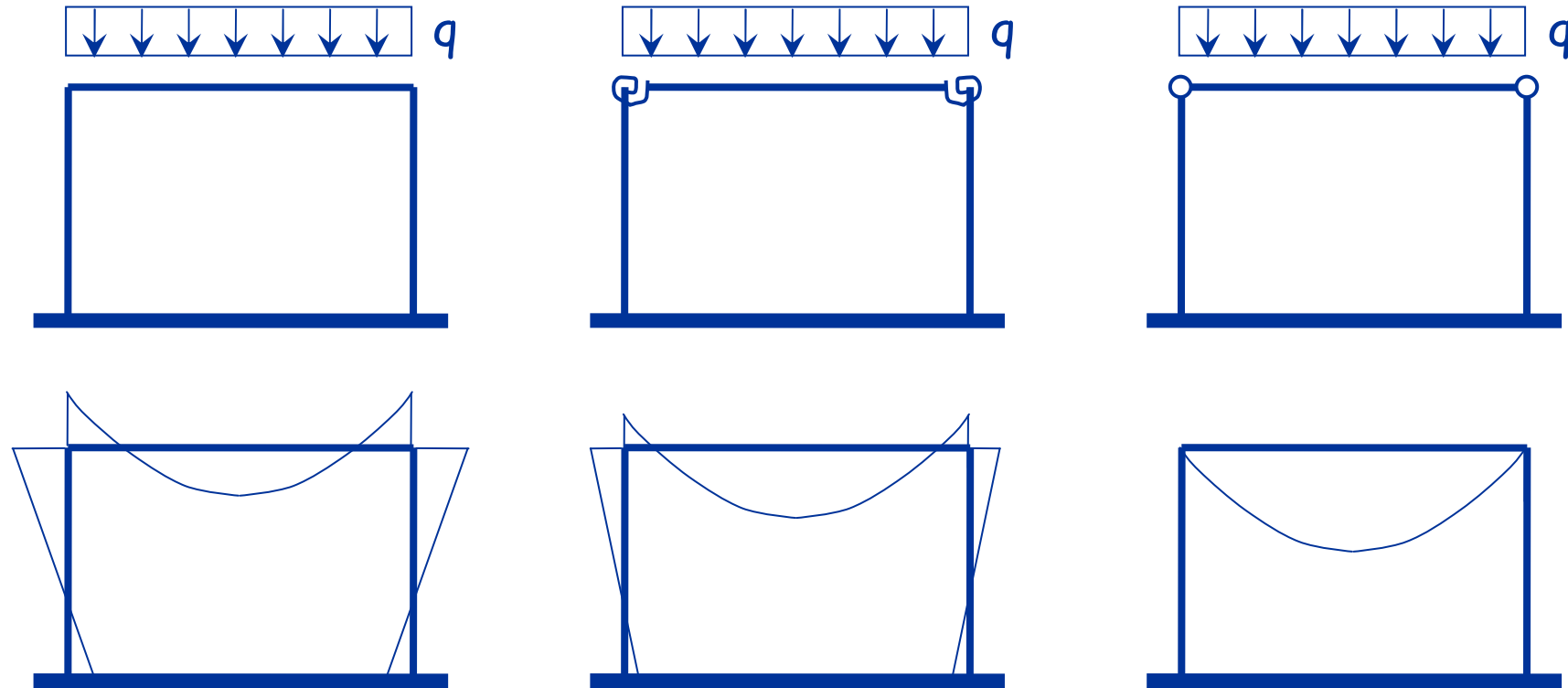
Collegamenti semi-rigidi e sollecitazioni



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