

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

Progetto di aste e collegamenti in acciaio

9 - Collegamenti trave-colonna

Spoletto
21-23 ottobre 2010
Edoardo M. Marino

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

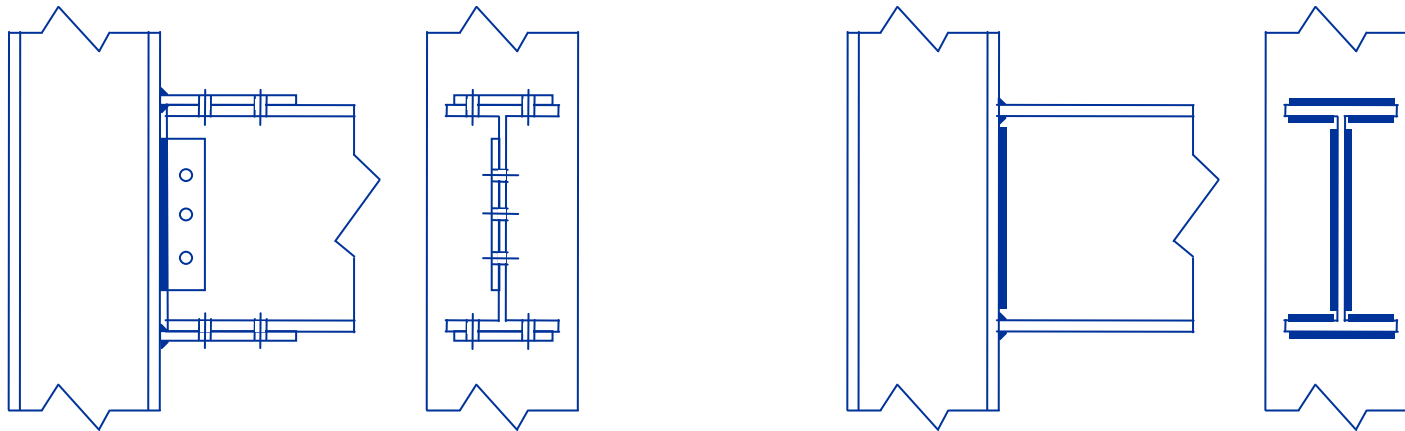
2. Collegamento a cerniera
 - Non trasmette momento flettente
 - Non impedisce rotazioni relative

Tipi di collegamenti

1. Collegamento rigido (ad incastro)

- In grado di trasmettere momento flettente
- Impedisce rotazioni relative

Collegamenti saldati

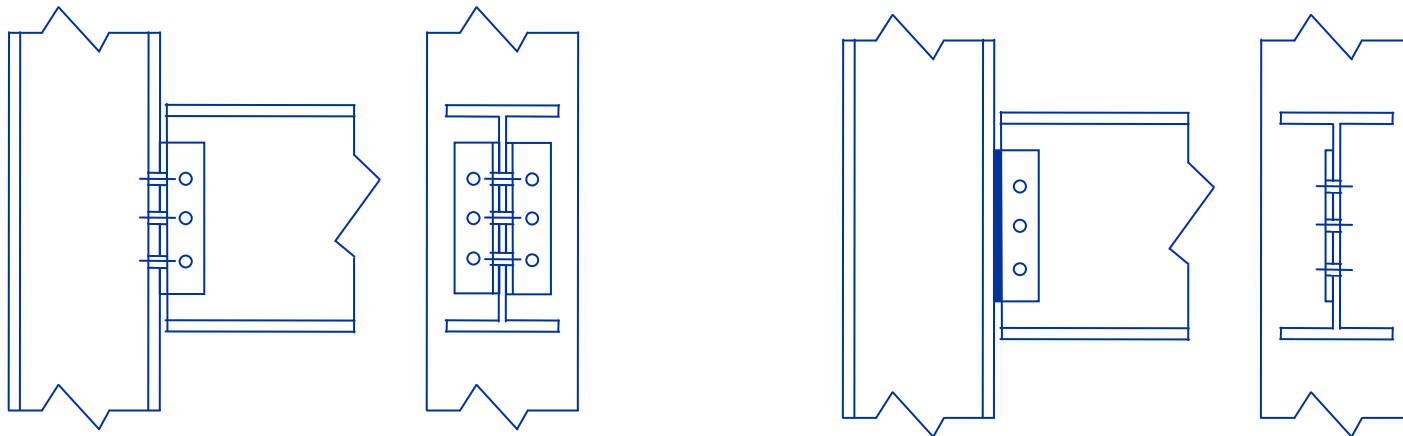


Tipi di collegamenti

2. Collegamento a cerniera

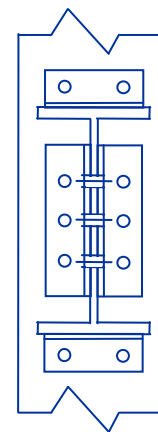
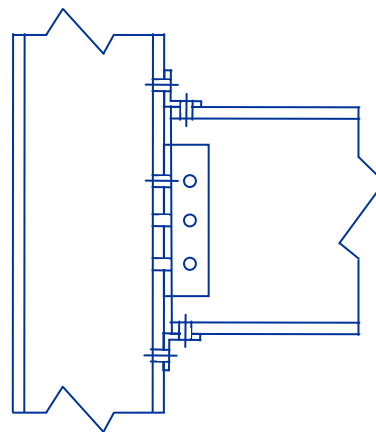
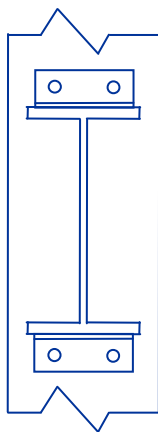
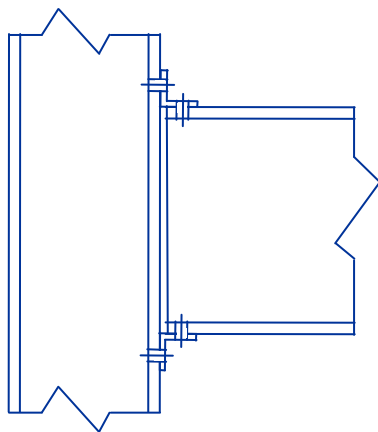
- Non trasmette momento flettente
- Non impedisce rotazioni relative

Collegamenti con angolari o piastra d'anima

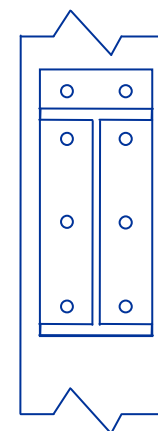
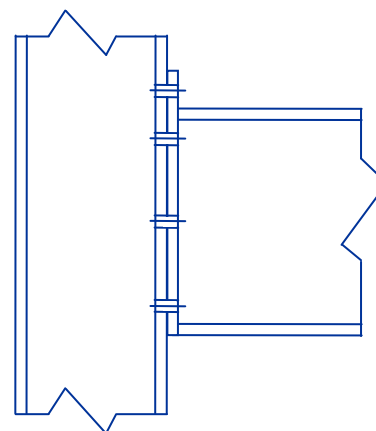
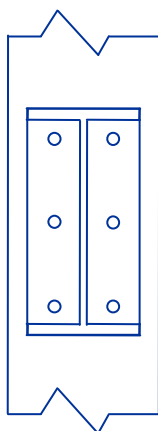
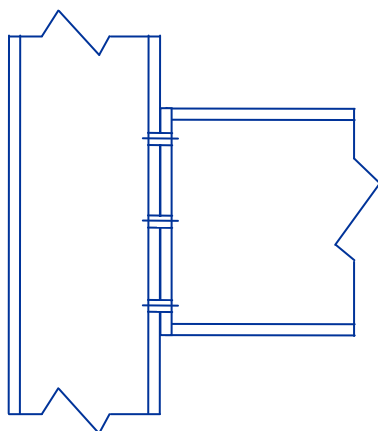


Altri esempi di collegamento

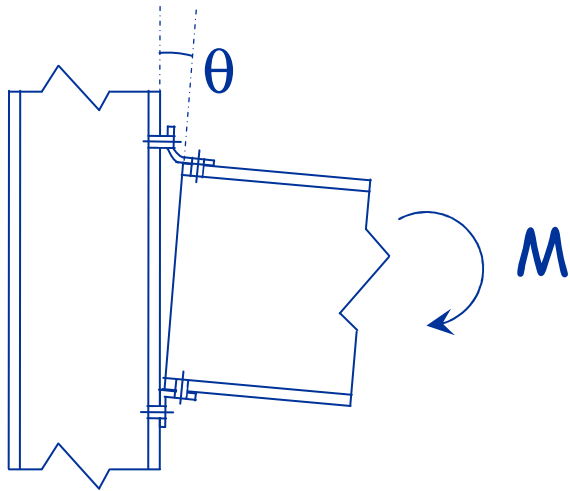
Collegamenti con angolari



Collegamenti flangiati

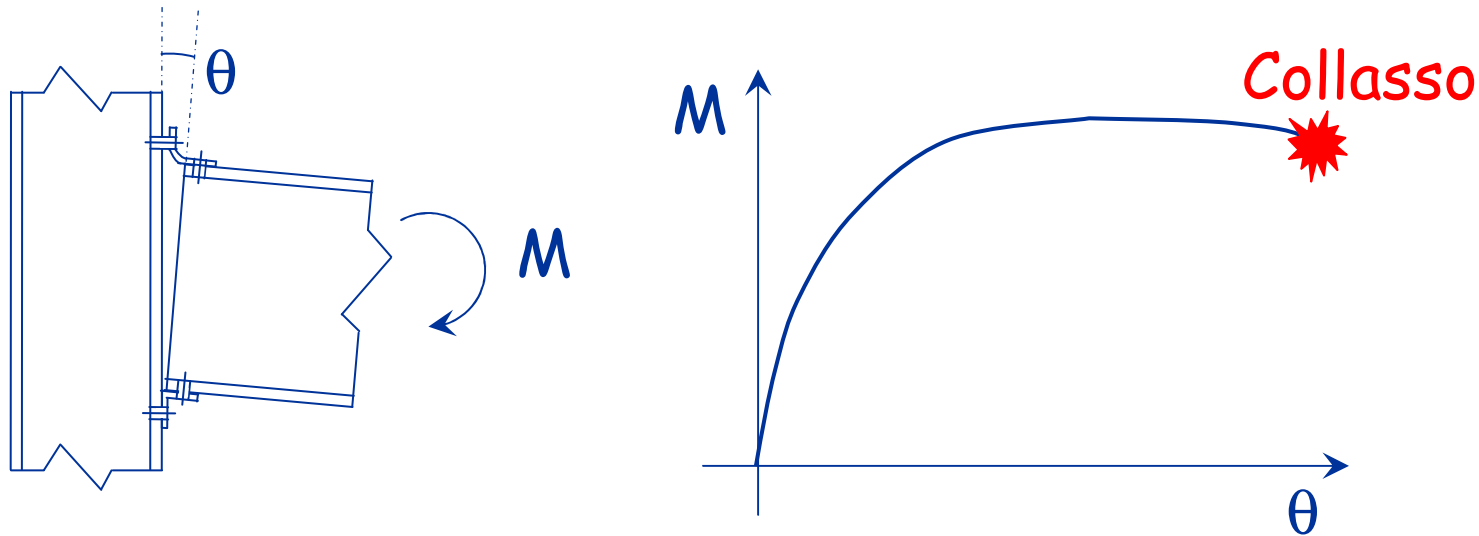


Comportamento sperimentale



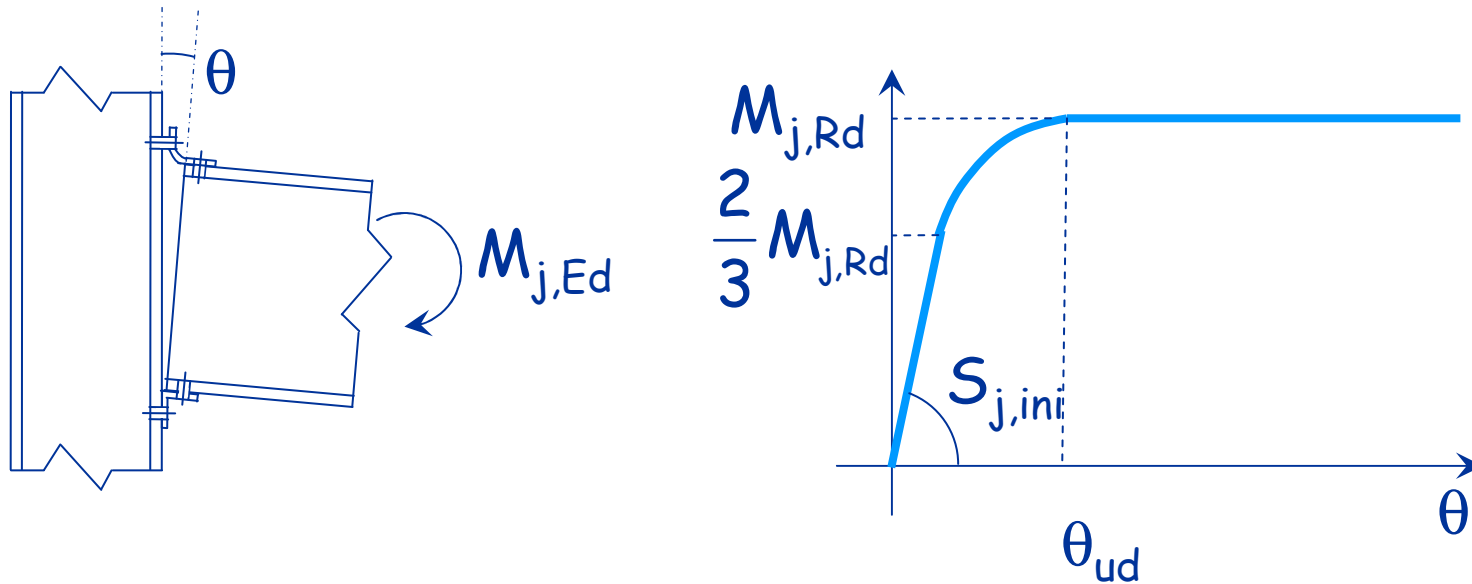
- Le varie parti del collegamento (angolari, bulloni, zone tese e compresse della trave e della colonna) sono deformabili
- La deformazione di queste parti provoca la rotazione relative tra trave e colonna
- Il comportamento è intermedio tra quello di una cerniera e quello di un incastro

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

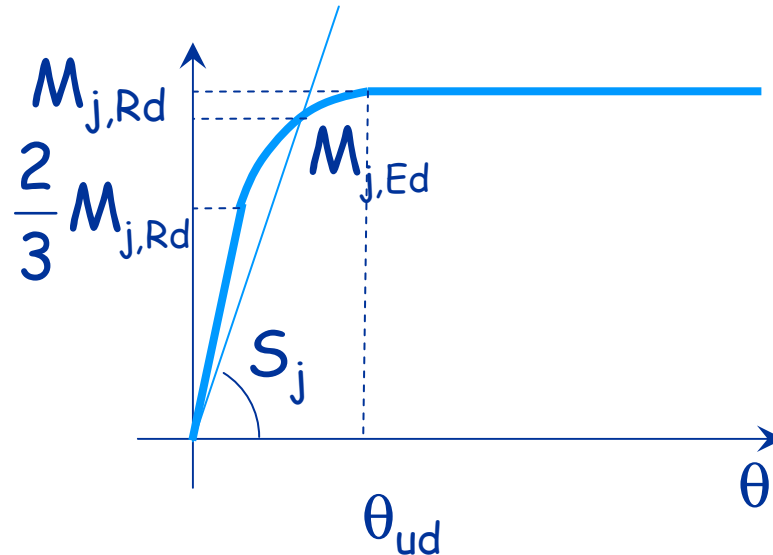
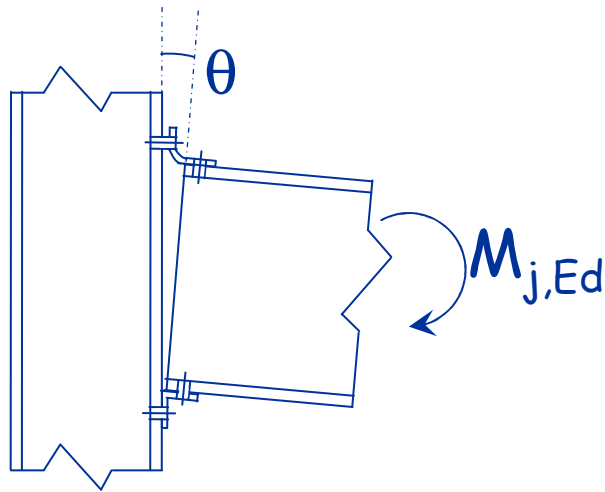
Rigidezza rotazionale



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

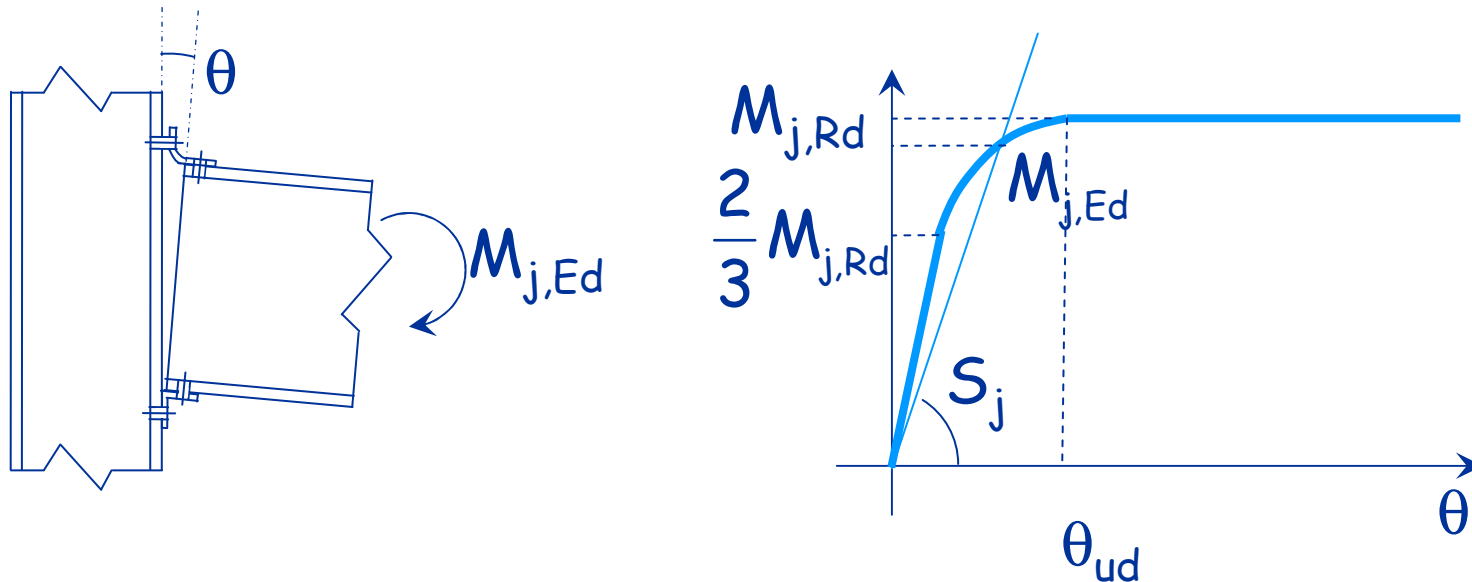
$$S_j = \frac{S_{j,ini}}{\mu} \quad \mu = \left(1.5 \frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} \right)^\psi$$

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

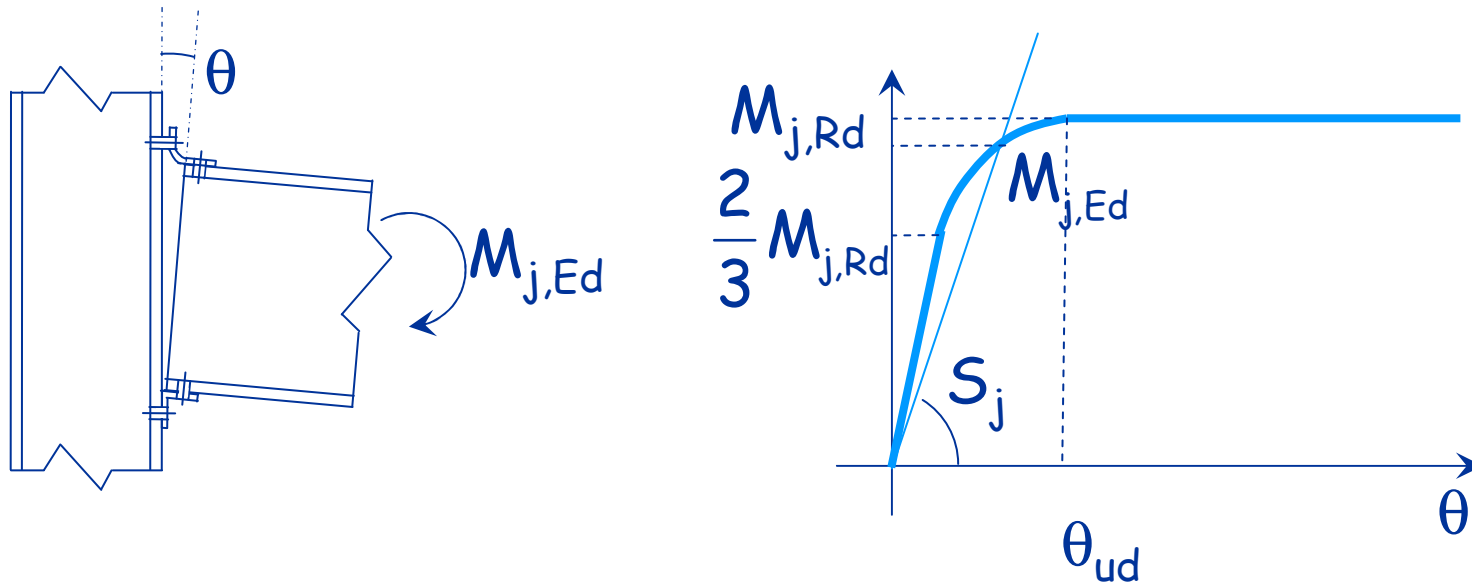
Rigidezza rotazionale metodo semplificato



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

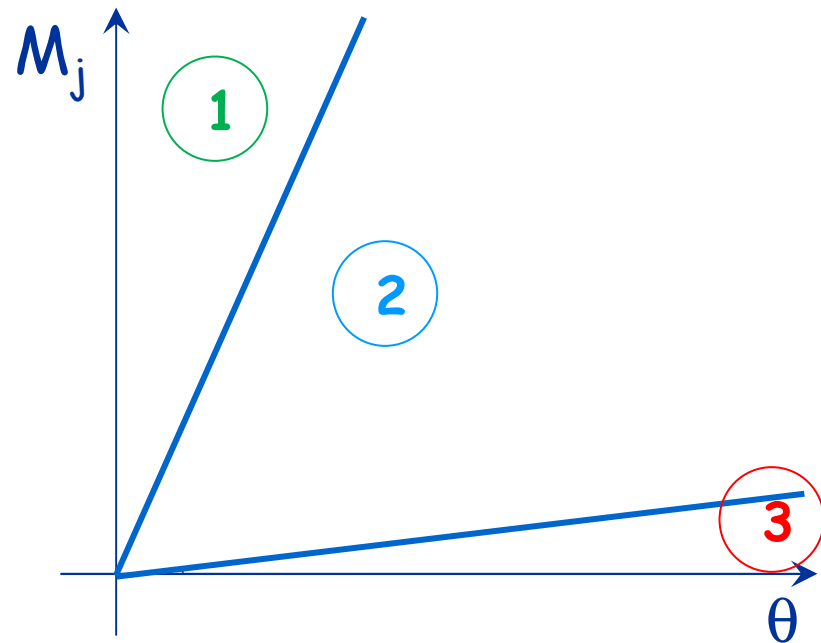
La classificazione si esegue in funzione della rigidezza iniziale $S_{j,ini}$, del tipo di telaio, del momento d'inerzia della trave I_b e luce della trave L_b

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

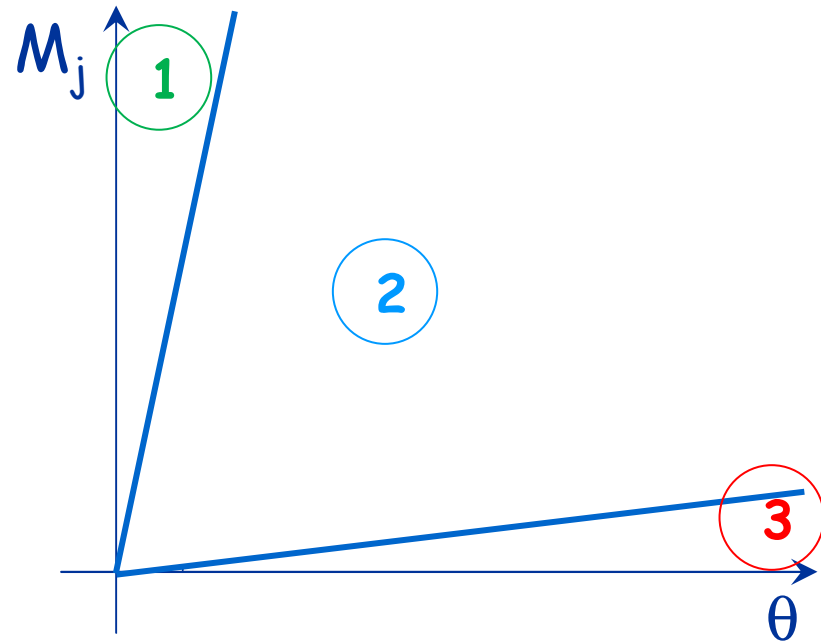
La classificazione si esegue in funzione della rigidezza iniziale $S_{j,ini}$, del tipo di telaio, del momento d'inerzia della trave I_b e luce della trave L_b

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 6.3.1

Metodo delle componenti

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

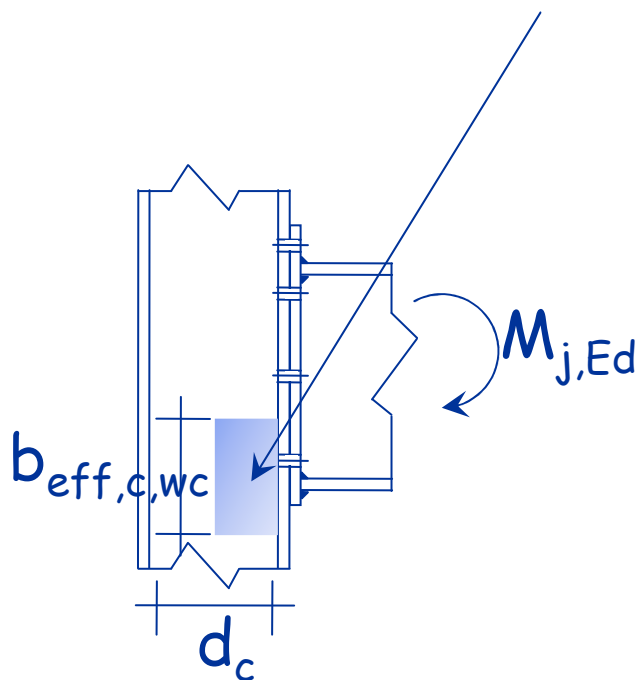
2. Anima della colonna in compressione

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

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 6.3.1

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

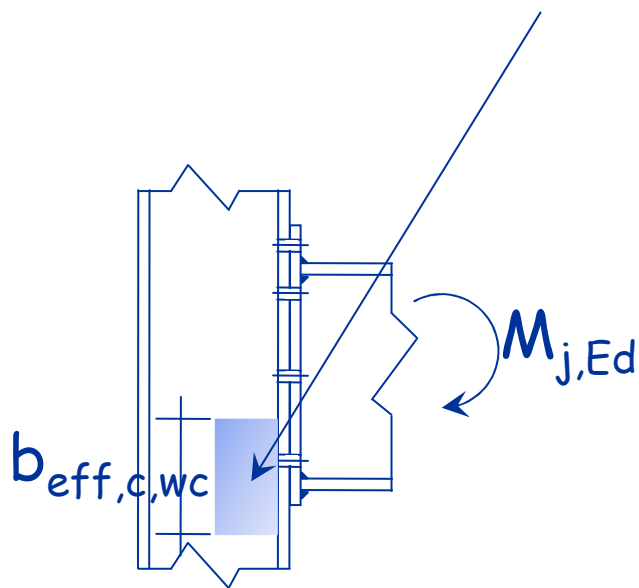
$$b_{\text{eff},c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_p + 5(t_{fc} + r_c) + s_p$$

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



EN 1993, parte 1-8, punto 6.3.1

Metodo delle componenti

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

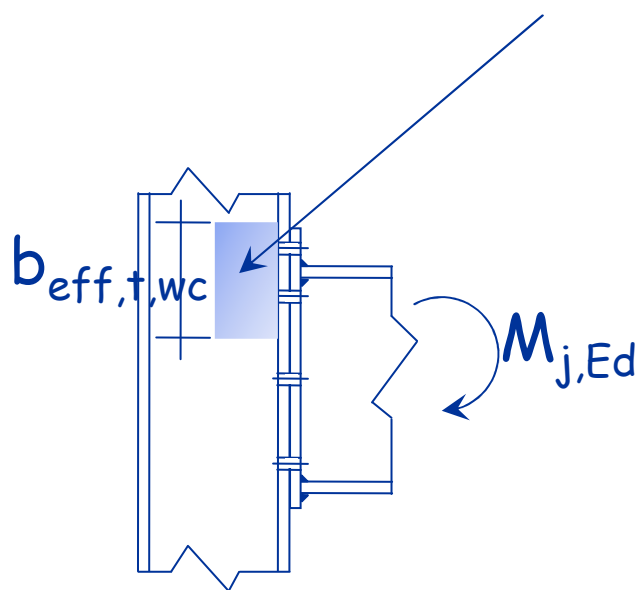
3. Anima della colonna in trazione

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

t_{wc} spessore anima colonna

d_c altezza anima colonna (al netto dei raccordi circolari)

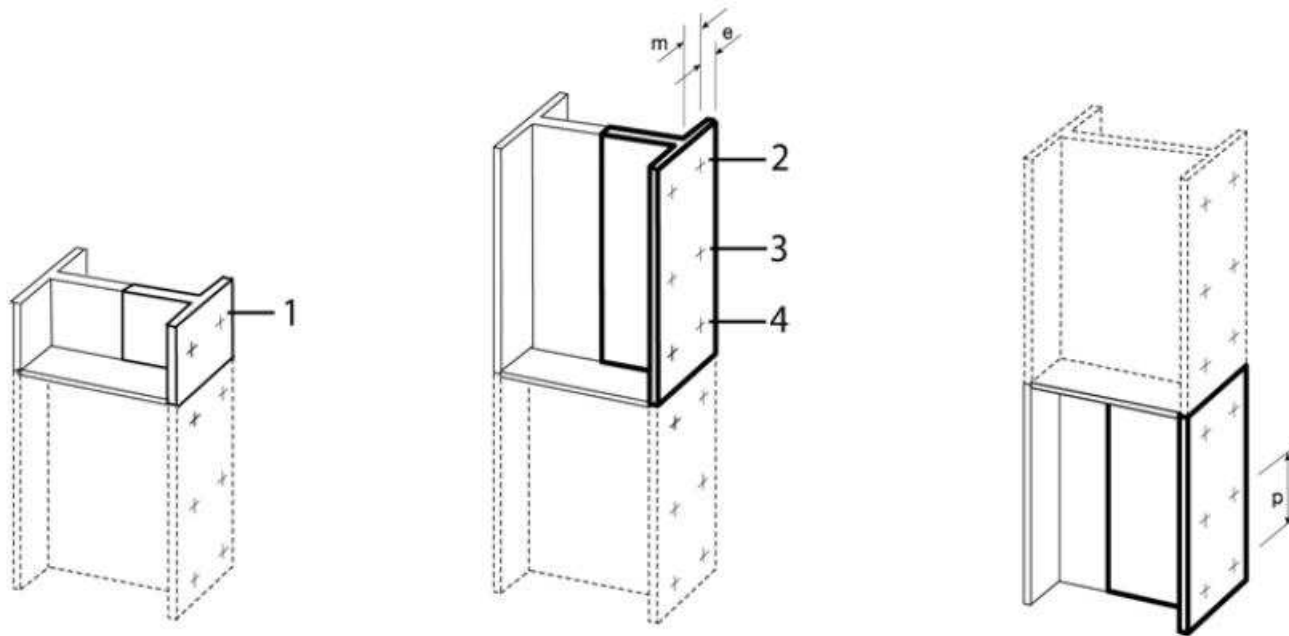
$b_{\text{eff},t,wc}$ altezza efficace anima dell'elemento equivalente a T



EN 1993, parte 1-8, punto 6.3.1

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 $b_{eff,c,wc}$



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 $b_{eff,c,wc}$

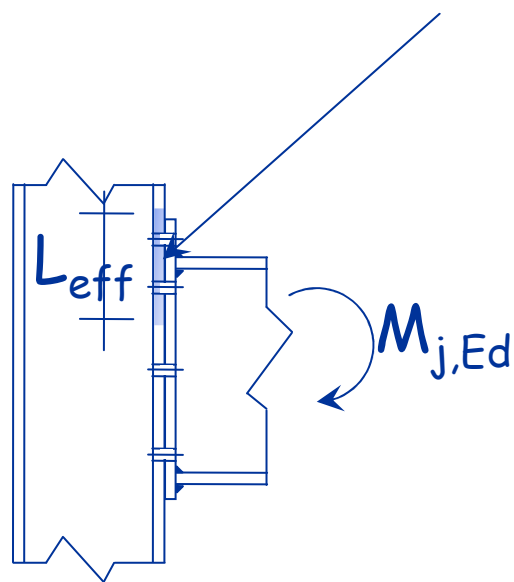
Table 6.4: Effective lengths for an unstiffened column flange

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 6.2.6.4.1

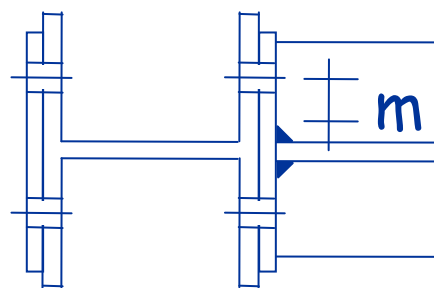
Metodo delle componenti

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 6.3.1

Metodo delle componenti

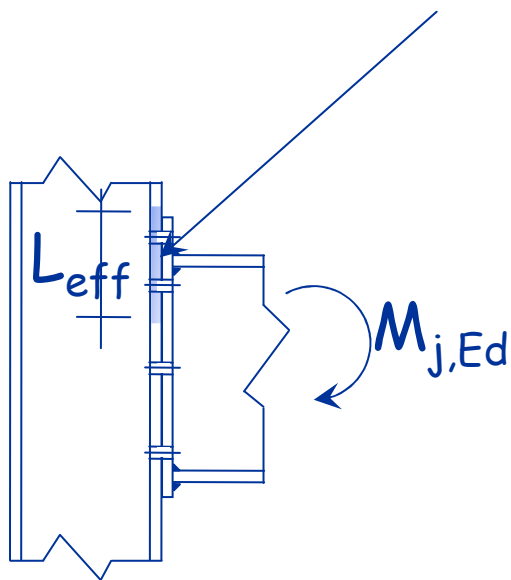
1. Si individuano i diversi componenti che subiscono deformazioni
2. Si valuta la rigidezza di ciascun componente

4. Flangia della colonna in flessione

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

t_{fc} spessore flangia colonna

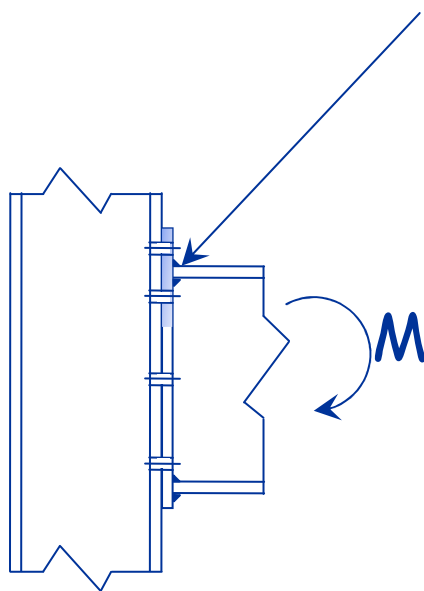
L_{eff} larghezza efficace flangia dell'elemento equivalente a T



Metodo delle componenti

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

5. Flessione della piastra



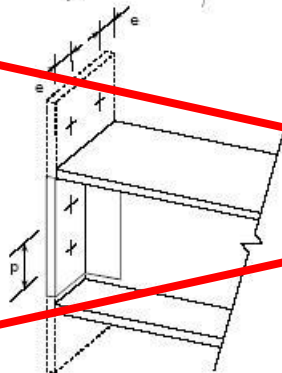
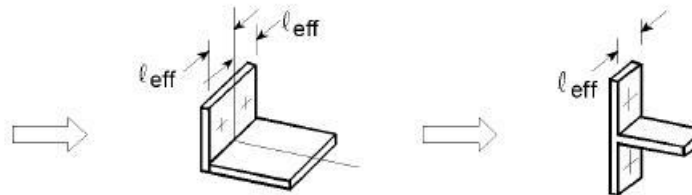
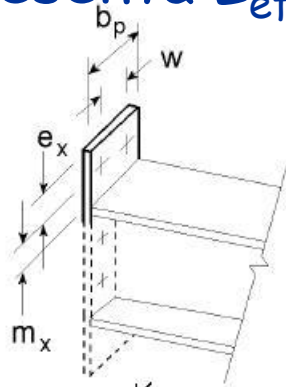
$$k_5 = \frac{0.9 L_{eff} t_p^3}{m^3} \times 2$$

t_p spessore piatto

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

Indicazioni per la determinazione della larghezza efficace della piastra

1. La piastra è modellata con due elementi a T equivalenti
2. Il doppio della larghezza dell'elemento esterno rappresenta L_{eff}



The extension of the end-plate and the portion between the beam flanges are modelled as two separate equivalent T-stub flanges.

For the end-plate extension, use e_x and m_x in place of e and m when determining the design resistance of the equivalent T-stub flange.

EN 1993, parte 1-8, punto 6.2.6.4.1

Indicazioni per la determinazione della larghezza efficace della piastra

Table 6.6: Effective lengths for an end-plate

Bolt-row location	Bolt-row considered individually		Bolt-row considered as part of a group of bolt-rows	
	Circular patterns $\ell_{\text{eff,cp}}$	Non-circular patterns $\ell_{\text{eff,nc}}$	Circular patterns $\ell_{\text{eff,cp}}$	Non-circular patterns $\ell_{\text{eff,nc}}$
Bolt-row outside tension flange of beam	Smallest of: $2\pi m_x$ $\pi m_x + w$ $\pi m_x + 2e$	Smallest of: $4m_x + 1,25e_x$ $e + 2m_x + 0,625e_x$ $0,5b_p$ $0,5w + 2m_x + 0,625e_x$	—	—
First bolt-row below tension flange of beam	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Other inner bolt-row	$2\pi m$	$4m + 1,25 e$	$2p$	p
Other end bolt-row	$2\pi m$	$4m + 1,25 e$	$\pi m + p$	$2m + 0,625e + 0,5p$
Mode 1:	$\ell_{\text{eff},1} = \ell_{\text{eff,nc}}$ but $\ell_{\text{eff},1} \leq \ell_{\text{eff,cp}}$		$\sum \ell_{\text{eff},1} = \sum \ell_{\text{eff,nc}}$ but $\sum \ell_{\text{eff},1} \leq \sum \ell_{\text{eff,cp}}$	
Mode 2:	$\ell_{\text{eff},2} = \ell_{\text{eff,nc}}$		$\sum \ell_{\text{eff},2} = \sum \ell_{\text{eff,nc}}$	
α should be obtained from Figure 6.11.				

EN 1993, parte 1-8, punto 6.2.6.4.1

Metodo delle componenti

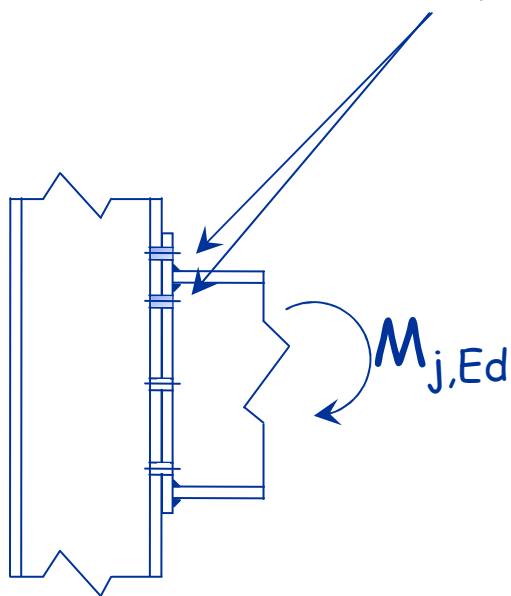
1. Si individuano i diversi componenti che subiscono deformazioni
2. Si valuta la rigidezza di ciascun componente

6. Bulloni tesi

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

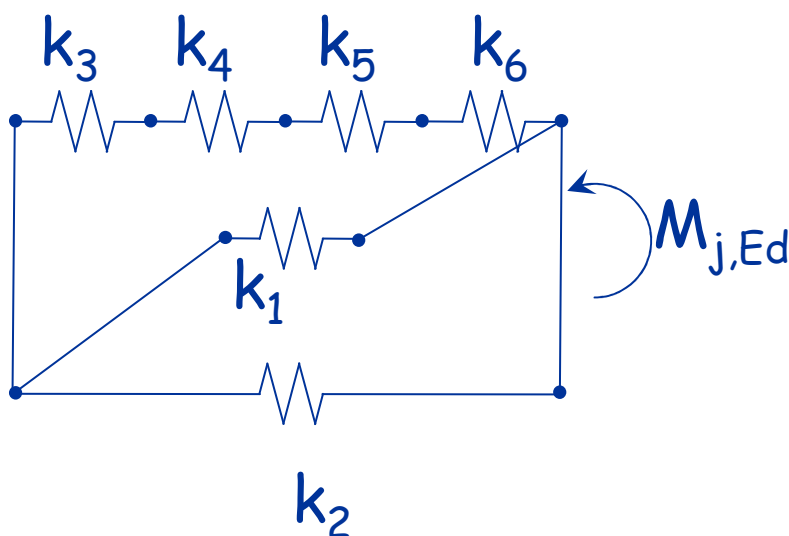
A_{res} area resistente del bullone

L_b lunghezza della parte del bullone soggetta a trazione



Metodo delle componenti

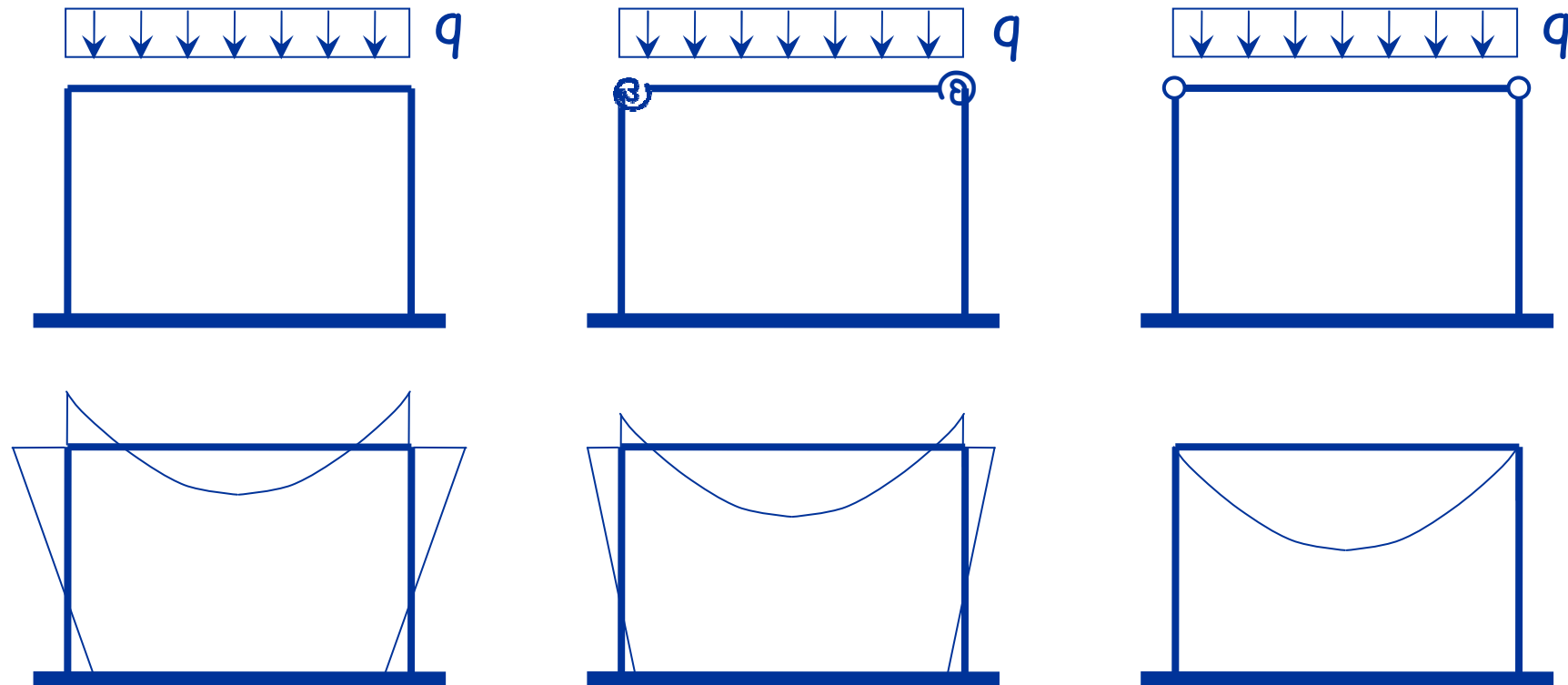
1. Si individuano i diversi componenti che subiscono deformazioni
2. Si valuta la rigidezza di ciascun componente
3. Si assemblano i diversi componenti e si valuta la rigidezza complessiva del nodo



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

EN 1993, parte 1-8, punto 6.3.1

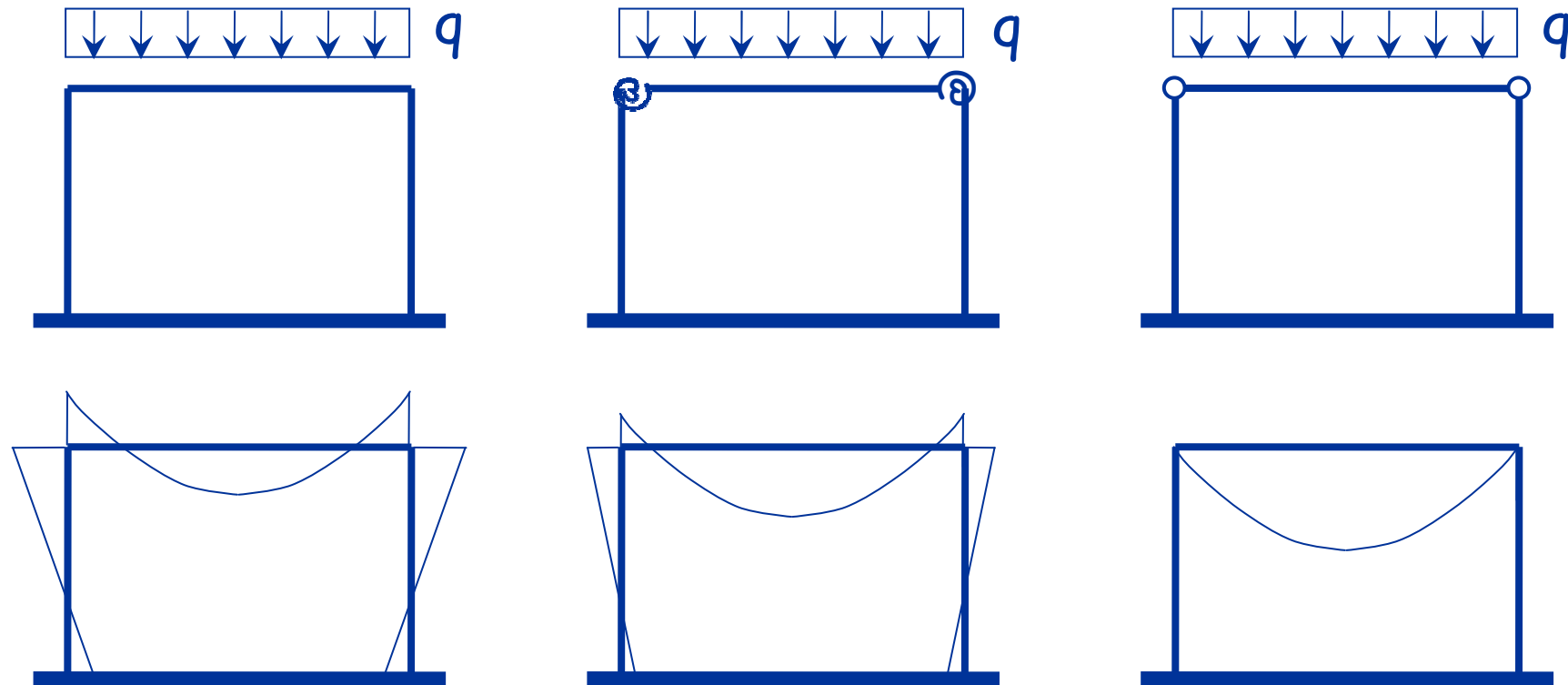
Collegamenti semi-rigidi e sollecitazioni



Momenti Trave

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

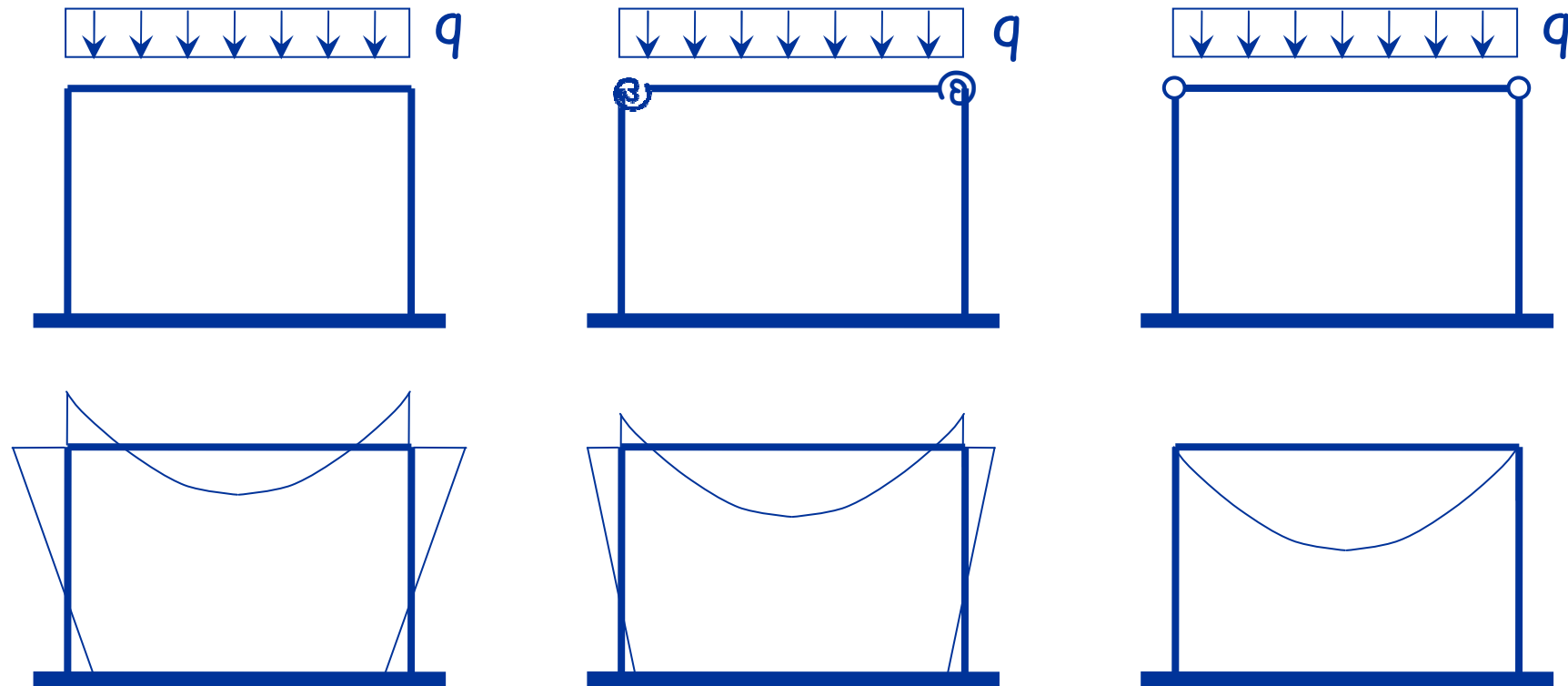
Collegamenti semi-rigidi e sollecitazioni



Colonna

- sollecitata a presso-flessione
- generalmente minori rispetto al caso dello schema con nodi rigidi

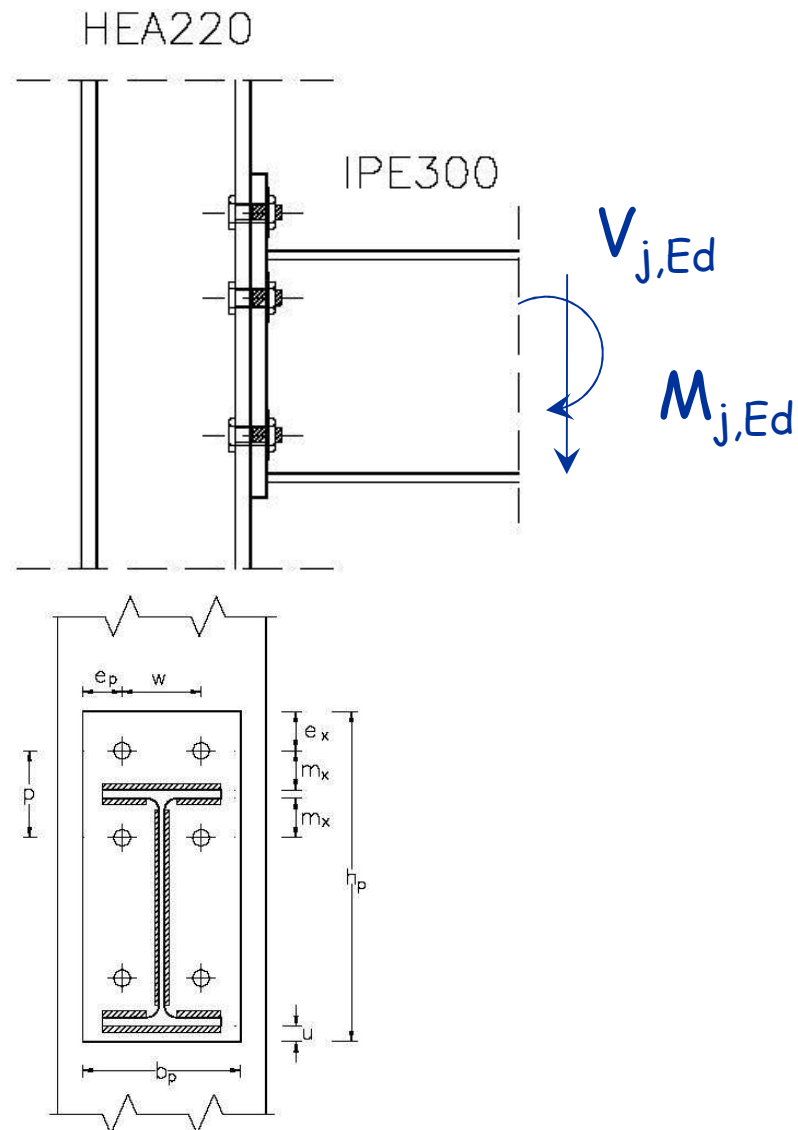
Collegamenti semi-rigidi e sollecitazioni



Momento collegamento

- maggiore rispetto al caso dello schema con cerniere
- minore rispetto al caso dello schema con nodi rigidi

Esempio - Dati



Acciaio

S235

Bulloni

M20, classe 10.9

Piatto

$t_p = 20 \text{ mm}$

$b_p = 200 \text{ mm}$

$h_p = 420 \text{ mm}$

$e_p = 50 \text{ mm}$

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

$u = 20 \text{ mm}$

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

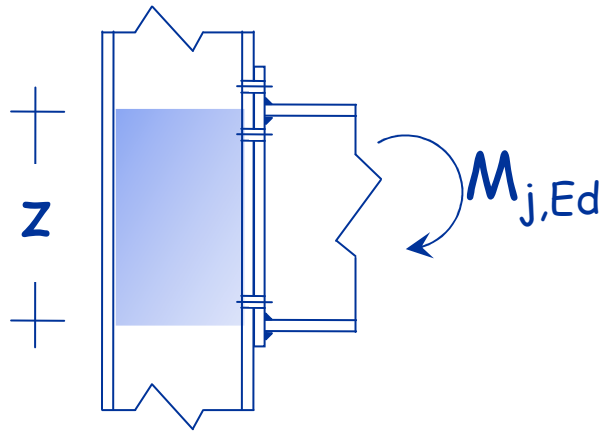
$t_{fb} = 10.7$

$t_{wb} = 7.1$

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

$$t_{fb} = 10.7$$

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

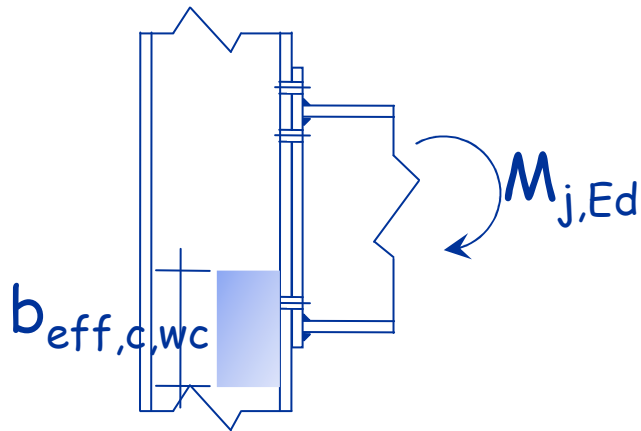
$$A_{vc} = 20.6 \text{ cm}^2$$

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

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

$$t_{fb} = 10.7$$

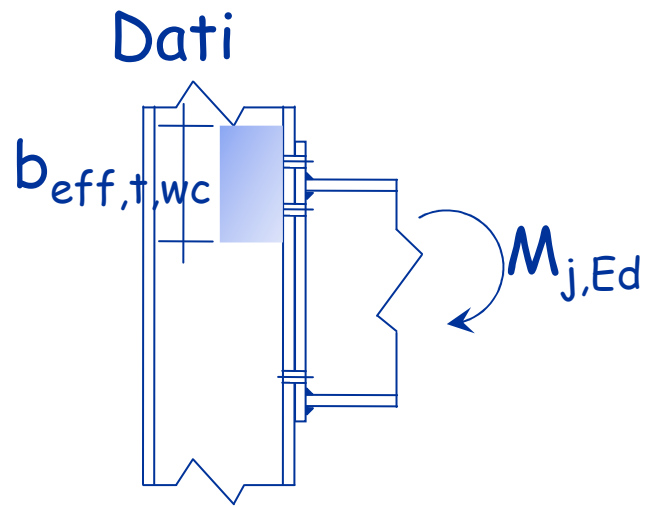
$$k_2 = \frac{0.7 b_{eff,c,wc} t_{wc}}{d_c} = 6.86 \text{ mm}$$

$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_f + 5(t_{fc} + r_c) + 2 t_p = 213 \text{ mm}$$

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

Esempio

Rigidezza anima colonna in trazione



Bulloni

$p = 110.7 \text{ mm}$
 $m = 32.1 \text{ mm}$
 $e = 60 \text{ mm}$

Colonna

$h_f = 210 \text{ mm}$
 $t_{fc} = 11 \text{ mm}$
 $t_{wc} = 7 \text{ mm}$
 $r_c = 18 \text{ mm}$

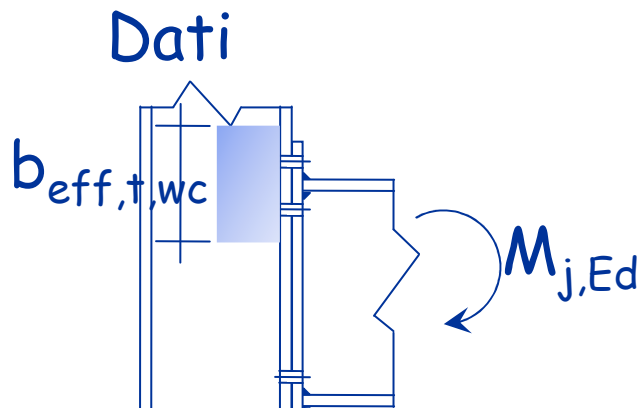
$$k_3 = \frac{0.7 b_{eff,t,wc} t_{wc}}{d_c}$$

$b_{eff,t,wc} = ?$ Bisogna calcolarlo

$d_c = 152 \text{ mm}$

Esempio

Rigidezza anima colonna in trazione



Bulloni

$p = 110.7 \text{ mm}$
 $m = 32.1 \text{ mm}$
 $e = 60 \text{ mm}$

Colonna

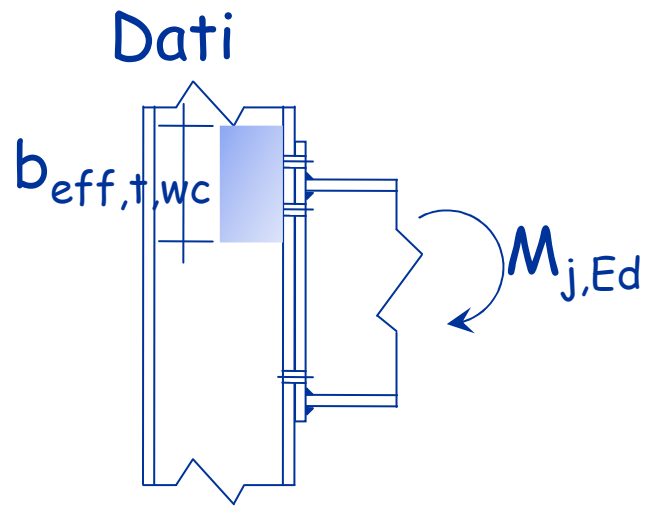
$h_f = 210 \text{ mm}$
 $t_{fc} = 11 \text{ mm}$
 $t_{wc} = 7 \text{ mm}$

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:	$\ell_{eff,2} = \ell_{eff,nc}$		$\sum \ell_{eff,2} = \sum \ell_{eff,nc}$	

Esempio

Rigidezza anima colonna in trazione



Bulloni

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

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

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

Colonna

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

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

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

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

$$b_{eff,1} = 2 \times 2 \pi m = 403.4 \text{ mm}$$

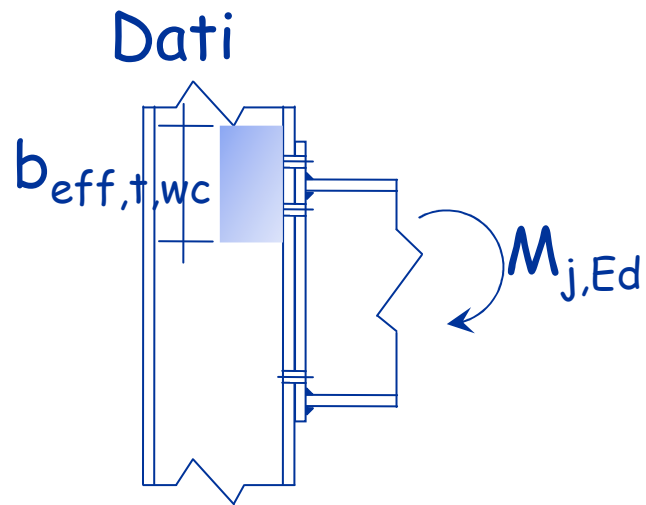
$$b_{eff,2} = 2 \times (4 m + 1.25 e) = 406.8 \text{ mm}$$

$$b_{eff,3} = 2 \times (\pi m + p) = 423.1 \text{ mm}$$

$$b_{eff,4} = 2 \times (2 m + 0.625 e + 0.5 p) = 314.1 \text{ mm}$$

Esempio

Rigidezza anima colonna in trazione



Bulloni

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

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

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

Colonna

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

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

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

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

$$k_3 = \frac{0.7 b_{eff,t,wc} t_{wc}}{d_c} = 10.13 \text{ mm}$$

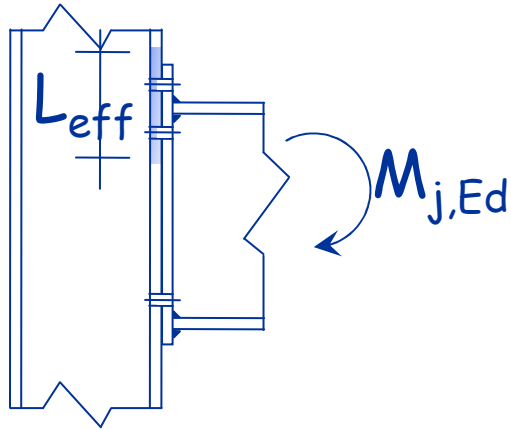
$$b_{eff,t,wc} = 314.1 \text{ mm}$$

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

Esempio

Rigidezza flangia colonna in flessione

Dati



Bulloni

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

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

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

Colonna

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

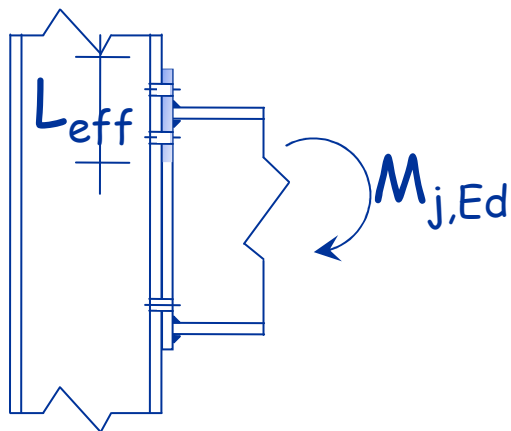
$$k_4 = \frac{0.9 L_{eff} t_{fc}^3}{m^3} = 11.38 \text{ mm}$$

$$L_{eff} = b_{eff,t,wc} = 314.1 \text{ mm}$$

Esempio

Flessione della piastra

Dati



Piastra

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

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

Bulloni

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

$$m_{xs} = 41.5 \text{ mm}$$

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

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

$$k_5 = \frac{0.9 L_{eff} t_p^3}{m_{xs}^3} \times 2 \text{ (è una semplificazione)}$$

$$L_{eff} = ?$$

Si riferisce alla parte di flangia esterna alla trave

Esempio

Flessione della piastra

Dati

Piastra

$b_p = 200 \text{ mm}$

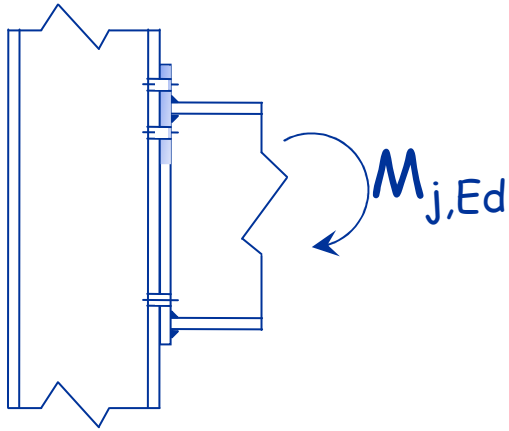
Table 6.6: Effective lengths for an end-plate

Bolt-row location	Bolt-row considered individually		Bolt-row considered as part of a group of bolt-rows	
	Circular patterns $\ell_{\text{eff,cp}}$	Non-circular patterns $\ell_{\text{eff,nc}}$	Circular patterns $\ell_{\text{eff,cp}}$	Non-circular patterns $\ell_{\text{eff,nc}}$
Bolt-row outside tension flange of beam	Smallest of: $2\pi m_x$ $\pi m_x + w$ $\pi m_x + 2e$	Smallest of: $4m_x + 1,25e_x$ $e + 2m_x + 0,625e_x$ $0,5b_p$ $0,5w + 2m_x + 0,625e_x$	—	—
First bolt-row below tension flange of beam	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Other inner bolt-row	$2\pi m$	$4m + 1,25 e$	$2p$	p
Other end bolt-row	$2\pi m$	$4m + 1,25 e$	$\pi m + p$	$2m + 0,625e + 0,5p$
Mode 1:	$\ell_{\text{eff},1} = \ell_{\text{eff,nc}}$ but $\ell_{\text{eff},1} \leq \ell_{\text{eff,cp}}$		$\sum \ell_{\text{eff},1} = \sum \ell_{\text{eff,nc}}$ but $\sum \ell_{\text{eff},1} \leq \sum \ell_{\text{eff,cp}}$	
Mode 2:	$\ell_{\text{eff},2} = \ell_{\text{eff,nc}}$		$\sum \ell_{\text{eff},2} = \sum \ell_{\text{eff,nc}}$	
α should be obtained from Figure 6.11.				

Esempio

Flessione della piastra

Dati



Piastra

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

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

Bulloni

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

$$m_{xs} = 41.5 \text{ mm}$$

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

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

$$L_{eff,1} = 2 \pi m_{xs} = 260.8 \text{ mm}$$

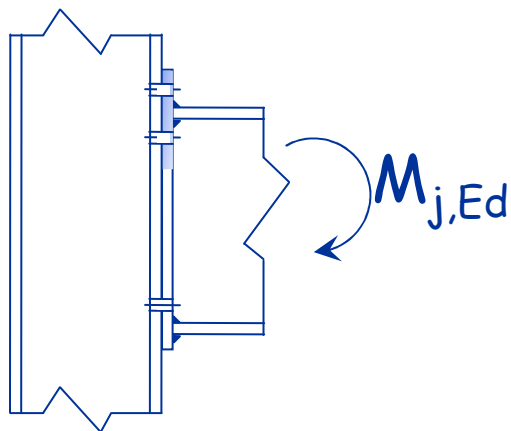
$$L_{eff,2} = \pi m_{xs} + w = 230.4 \text{ mm}$$

$$L_{eff,3} = \pi m_{xs} + 2 e = 230.4 \text{ mm}$$

Esempio

Flessione della piastra

Dati



Piastra

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

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

Bulloni

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

$$m_{xs} = 41.5 \text{ mm}$$

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

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

$$L_{eff,4} = 4 m_{xs} + 1.25 e_x = 228.5 \text{ mm}$$

$$L_{eff,5} = e_p + 2 m_{xs} + 0.625 e_x = 164.3 \text{ mm}$$

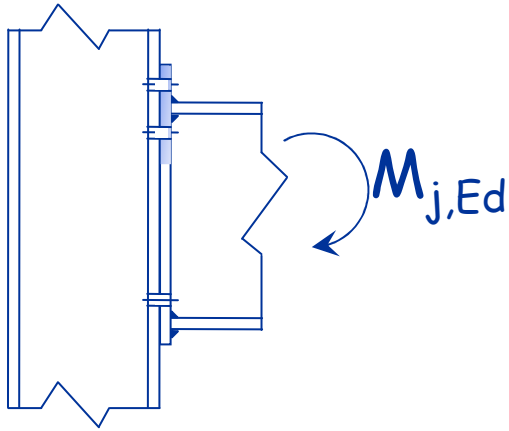
$$L_{eff,6} = 0.5 b_p = 100 \text{ mm}$$

$$L_{eff,7} = 0.5 w + 2 m_{xs} + 0.625 e_x = 164.3 \text{ mm}$$

Esempio

Flessione della piastra

Dati



Piastra

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

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

Bulloni

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

$$m_{xs} = 41.5 \text{ mm}$$

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

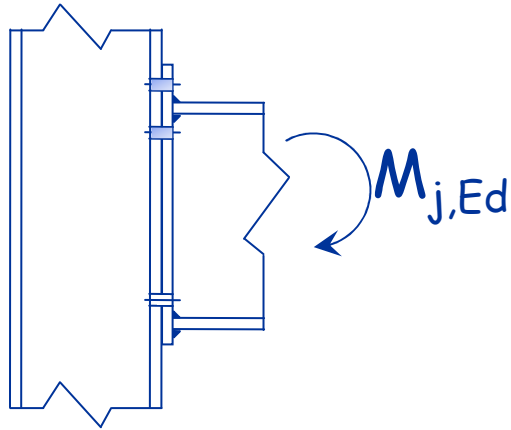
$$e_p = 50 \text{ mm}$$

$$k_5 = \frac{0.9 L_{eff} t_p^3}{m_{xs}^3} \times 2 = 20.15 \text{ mm}$$

$$L_{eff} = 0.5 b_p = 100 \text{ mm}$$

Esempio Bulloni tesi

Dati



Piastra
Colonna
Bulloni

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

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

M20

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

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

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

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

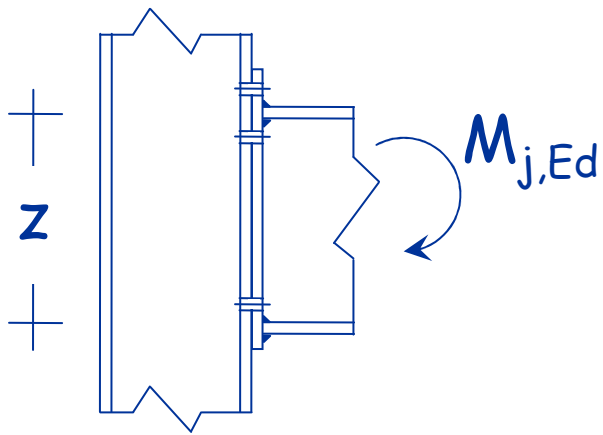
$$L_b = t_{fc} + t_p + 0.5 (t_h + t_n) = 43.5 \text{ mm}$$

Esempio

Calcolo $S_{j,ini}$

$$S_{j,ini} = \frac{E z^2}{\sum_{i=1}^6 \frac{1}{k_i}} = 22564 \frac{\text{kNm}}{\text{rad}}$$

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



Componente	k_i (mm)	$1/k_i$ (mm ⁻¹)
1	2.71	0.36903
2	6.86	0.14586
3	10.13	0.09876
4	11.38	0.08791
5	20.15	0.04963
6	36.05	0.02774
Totale		0.77894

Esempio

Classificazione collegamento

Limite superiore (telaio non controventato):

$$S_{j,ini} = 22564 \frac{\text{kNm}}{\text{rad}} < 25 \frac{EI}{L_b} = 25 \frac{210000 \times 8356}{500 \times 10^3} = 87738 \frac{\text{kNm}}{\text{rad}}$$

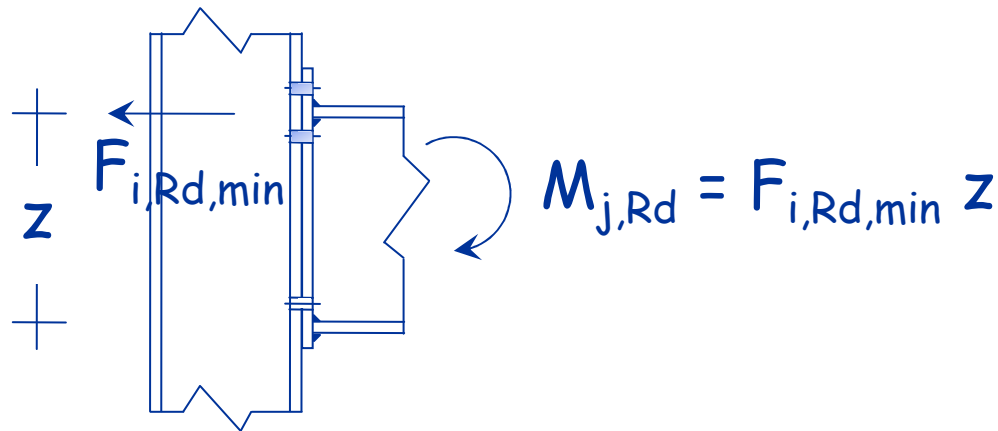
Limite inferiore:

$$S_{j,ini} = 22564 \frac{\text{kNm}}{\text{rad}} > 0.5 \frac{EI}{L_b} = 0.5 \frac{210000 \times 8356}{500 \times 10^3} = 1755 \frac{\text{kNm}}{\text{rad}}$$

Il collegamento è semi-rigido

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

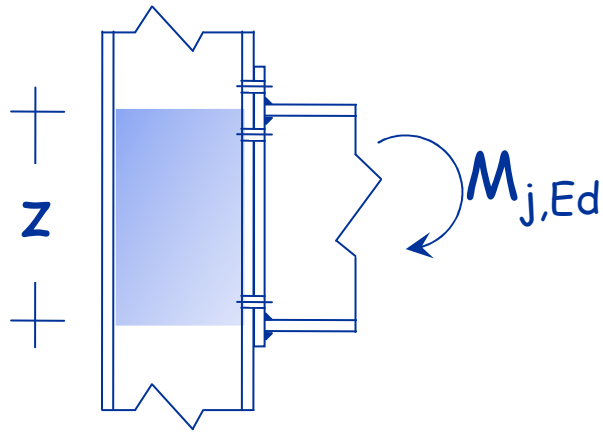


3. Si confronta $M_{j,Rd}$ con $M_{j,Ed}$

Esempio

Resistenza anima colonna soggetta a taglio

Dati



Acciaio

S275

Colonna

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

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

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

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

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

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vc} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{20.6 \times 275}{\sqrt{3} \times 1.05} = 311.5 \text{ kN}$$

$$A_{vc} = 20.6 \text{ cm}^2$$

Esempio

Resistenza anima colonna in compressione

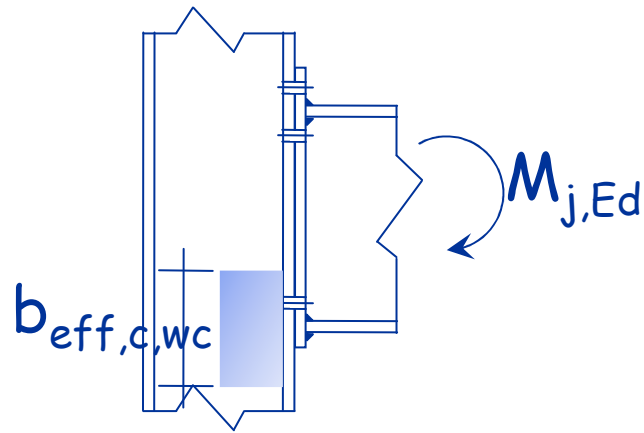
Dati

Acciaio

S275

Colonna

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

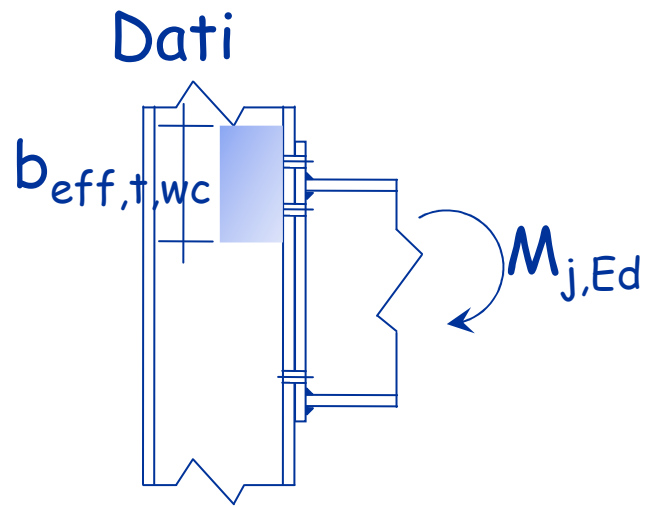


$$F_{pl,c,cw,Rd} = \frac{b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc}}{\gamma_{M0}} = \frac{213 \times 7 \times 275}{1.05 \times 10} = 390.5 \text{ kN}$$

$$b_{eff,c,wc} = 213 \text{ mm}$$

Esempio

Rigidezza anima colonna in trazione



Bulloni

$p = 110.7 \text{ mm}$
 $m = 32.1 \text{ mm}$
 $e = 60 \text{ mm}$

Colonna

$h_f = 210 \text{ mm}$
 $t_{fc} = 11 \text{ mm}$
 $t_{wc} = 7 \text{ mm}$
 $r_c = 18 \text{ mm}$

$$F_{pl,t,cw,Rd} = \frac{b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{yc}}{\gamma_{M0}} = \frac{314.1 \times 7 \times 275}{1.05 \times 10} = 575.9 \text{ kN}$$

$$b_{eff,t,wc} = 314.1 \text{ mm}$$

Esempio

Resistenza della flangia della colonna

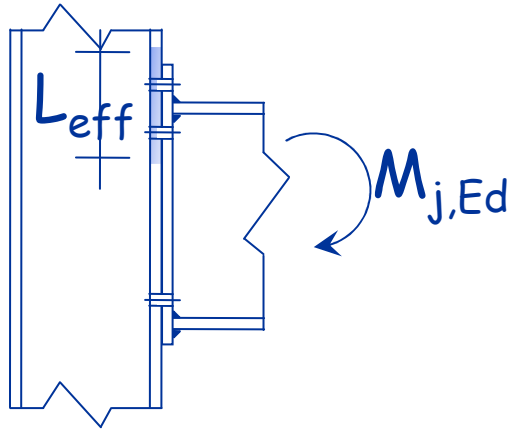
Dati

Acciaio

S275

Colonna

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



Suppongo che ci sia effetto leva perche i bulloni sono piuttosto grossi

Dunque devo considerare i tre meccanismi di collasso

Esempio

Resistenza della flangia della colonna

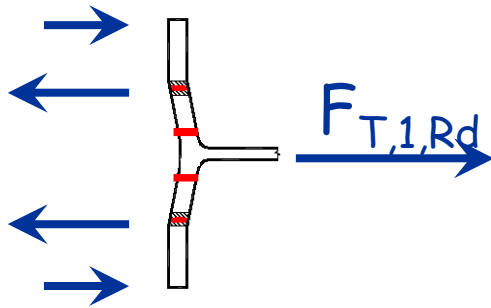
Dati

Acciaio

S275

Colonna

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



$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 M_{pl,Rd}}{m} = \frac{4 \times 2.49}{32.1 \times 10^{-3}} = 310.3 \text{ kN}$$

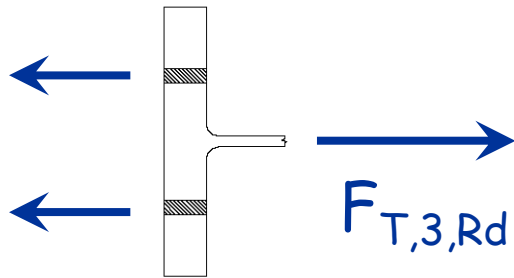
$$M_{pl,Rd} = \frac{L_{eff} t_{fc}^2 f_y}{4 \gamma_{M0}} = \frac{314.1 \times 11^2 \times 275}{4 \times 1.05 \times 10^6} = 2.49 \text{ kN m}$$

$$L_{eff} = 314.1 \text{ mm}$$

Esempio

Resistenza della flangia della colonna

Dati



Piastra

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

Colonna

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

Bulloni

M20, classe 10.9

$$d_m = 33 \text{ mm}$$

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

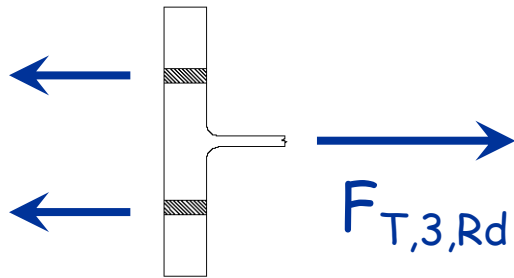
$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 A_{res} f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 \times 245 \times 1000}{1.25 \times 10^3} = 176.4 \text{ kN}$$

~~$$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.6 \times \pi \times 33 \times 11 \times 430}{1.25 \times 10^3} = 235.3 \text{ kN}$$~~

Esempio

Resistenza della flangia della colonna

Dati



Piastra

$t_p = 20 \text{ mm}$

Colonna

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

Bulloni

M20, classe 10.9

$d_m = 33 \text{ mm}$

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

$$F_{T,3,Rd} = 4 F_{t,Rd} = 4 \times 176.4 = 705.6 \text{ kN}$$

Esempio

Rigidezza della flangia colonna

Dati

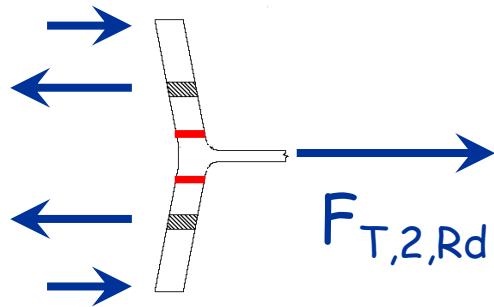
Acciaio

S275

Colonna

$e = 60 \text{ mm}$

$m = 32.1 \text{ mm}$



$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,Rd} + n_b \min(F_{t,Rd}, B_{b,Rd}) e}{m + e} = 513.7 \text{ kN}$$

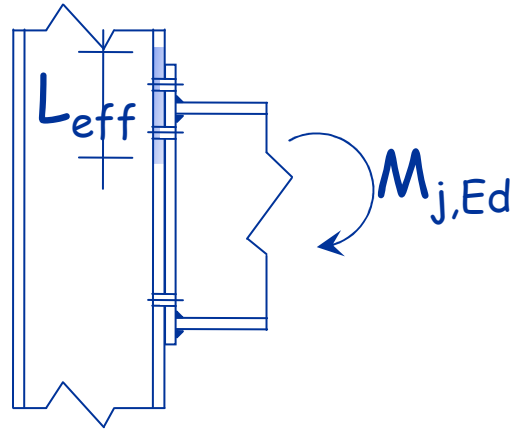
$$M_{pl,Rd} = 2.49 \text{ kN m}$$

$$\min(F_{t,Rd}, B_{b,Rd}) = 176.4 \text{ kN}$$

Esempio

Resistenza della flangia della colonna

Dati

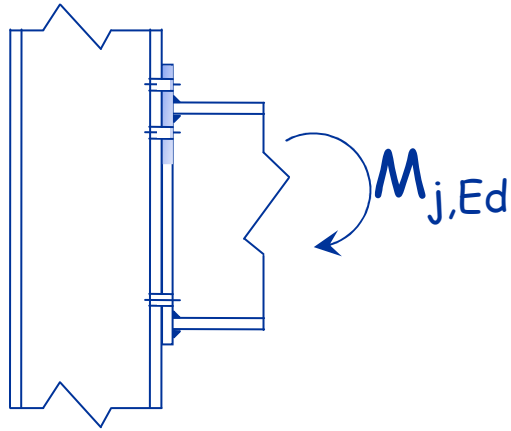


$$F_{T,fc,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = \\ = \min(310.3, 513.7, 705.6) = 310.3 \text{ kN}$$

Esempio

Resistenza della piastra

Dati



Acciaio

S275

Piastra

$t_p = 20 \text{ mm}$

Bulloni

$m_{xs} = 41.5 \text{ mm}$

$e_x = 50 \text{ mm}$

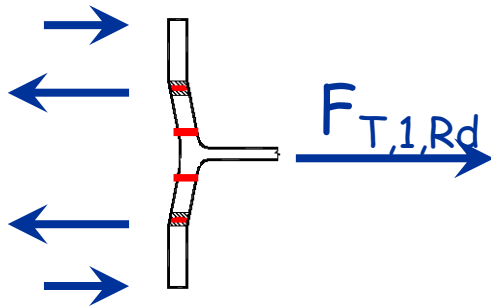
Suppongo che ci sia effetto leva perche i bulloni sono piuttosto grossi

Dunque devo considerare i tre meccanismi di collasso

Esempio

Resistenza della piastra

Dati



Acciaio

S275

Piastra

$t_p = 20 \text{ mm}$

Bulloni

$m_{xs} = 41.5 \text{ mm}$

$e_x = 50 \text{ mm}$

$$F_{T,1,Rd} = 2 \times \frac{4 M_{pl,Rd}}{m} = 2 \times \frac{4 \times 2.62}{41.5 \times 10^{-3}} = 505 \text{ kN}$$

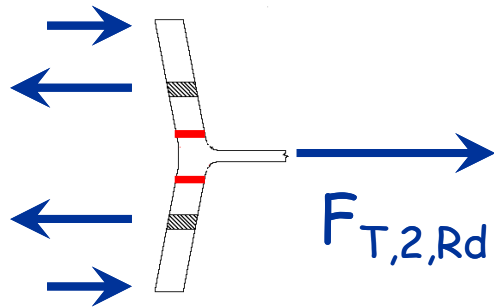
$$M_{pl,Rd} = \frac{L_{eff} t_p^2 f_y}{4 \gamma_{M0}} = \frac{100 \times 20^2 \times 275}{4 \times 1.05 \times 10^6} = 2.62 \text{ kN m}$$

$$L_{eff} = 100 \text{ mm}$$

Esempio

Resistenza della piastra

Dati



Acciaio

S275

Piastra

$t_p = 20 \text{ mm}$

Bulloni

$n_b = 2$

$m_{xs} = 41.5 \text{ mm}$

$e_x = 50 \text{ mm}$

$$F_{T,2,Rd} = 2 \times \frac{2 M_{pl,Rd} + n_b \min(F_{t,Rd}, B_{b,Rd}) e_x}{m_{xs} + e_x} = 500.1 \text{ kN}$$

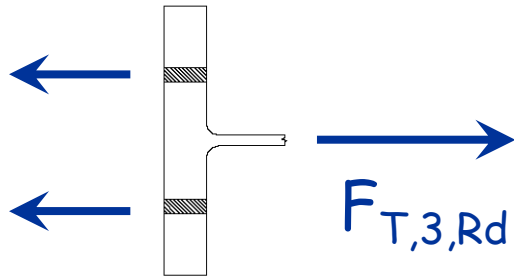
$$M_{pl,Rd} = 2.62 \text{ kN m}$$

$$\min(F_{t,Rd}, B_{b,Rd}) = 176.4 \text{ kN}$$

Esempio

Resistenza della piastra

Dati



Piastra

$t_p = 20 \text{ mm}$

Colonna

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

Bulloni

M20, classe 10.9

$n_b = 2$

$d_m = 33 \text{ mm}$

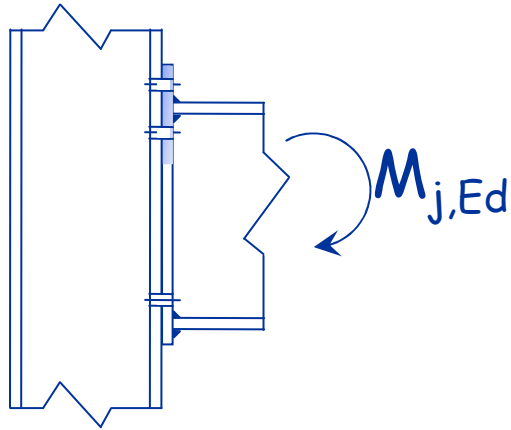
$A_{res} = 245 \text{ mm}^2$

$$F_{T,3,Rd} = 2 n_b F_{t,Rd} = 2 \times 2 \times 176.4 = 705.6 \text{ kN}$$

Esempio

Resistenza della flangia della colonna

Dati



$$\begin{aligned} F_{T,p,Rd} &= \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = \\ &= \min(505, 500.1, 705.6) = 500.1 \text{ kN} \end{aligned}$$

Esempio

Calcolo del momento resistente

Dati

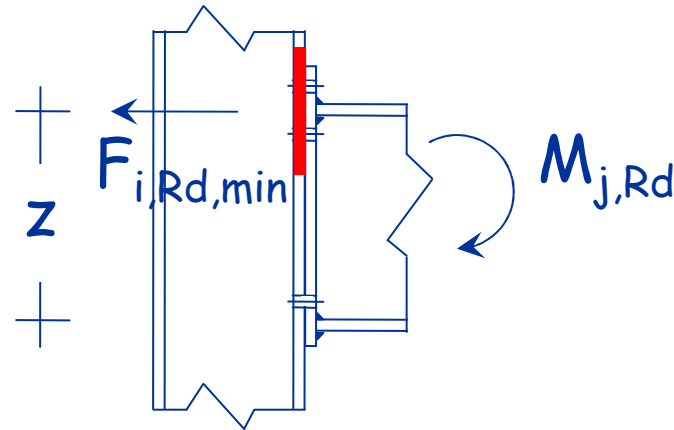
$$V_{pl,Rd} = 311.5 \text{ kN}$$

$$F_{pl,c,cw,Rd} = 390.5 \text{ kN}$$

$$F_{pl,t,cw,Rd} = 575.9 \text{ kN}$$

$$F_{T,fc,Rd} = 310.3 \text{ kN}$$

$$F_{T,p,Rd} = 500.1 \text{ kN}$$



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

$$M_{j,Rd} = F_{i,Rd,min} z = 89.7 \text{ kNm}$$