Corso di aggiornamento professionale

Progetto di aste e collegamenti in acciaio

Parma

25 novembre 2011

10 - Collegamenti trave-colonna

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

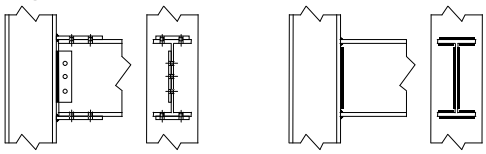
Tipi di collegamenti
in funzione della rigidezza

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

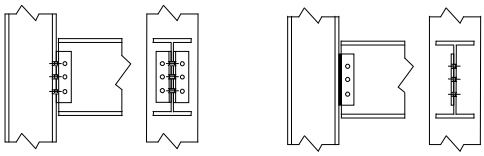


* Nota: è importante anche la rigidezza del nodo

Tipi di collegamenti

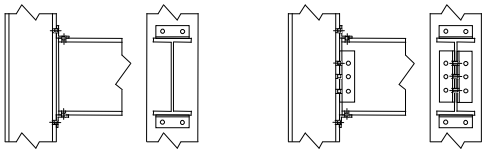
2. Collegamento a cerniera
   - Non trasmette momento flettente
   - Non impedisce rotazioni relative

Collegamenti con angolari o piastra d'anima

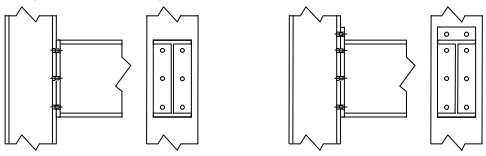


Altri esempi di collegamento

Collegamenti con angolari



Collegamenti flangiati

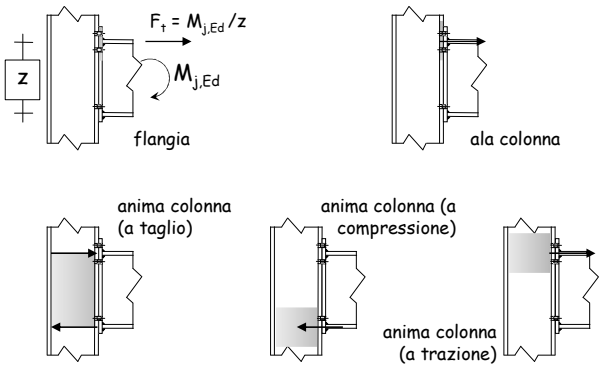


Resistenza

Resistenza di un giunto

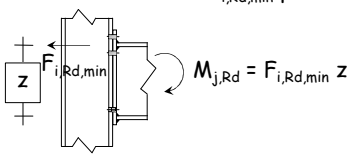
- Il giunto è costituito da varie componenti, ciascuna delle quali ha un limite di resistenza
- La resistenza del giunto è dettata dalla resistenza minore delle sue componenti

Resistenza delle componenti



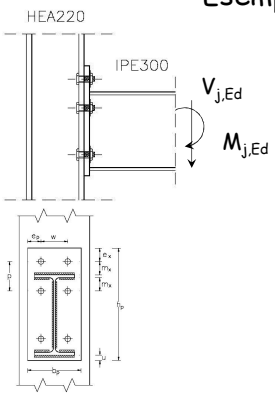
Verifica del giunto

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 $M_{j,Ed}$

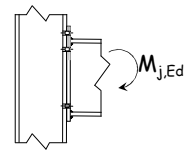
Esempio - Dati



Acciaio	S275
Bulloni	M20, classe 10.9
Piatto della flangia	t_p = 25 mm b_p = 200 mm h_p = 420 mm e_p = 50 mm m_x=e_x = 50 mm u =20 mm
Saldature	a_w = 4 mm a_f = 6 mm
Colonna	t_{wc} = 7 mm t_{fc} = 11 mm r_c = 18 mm
Trave	t_{fb} = 10.7 t_{wb} = 7.1

Esempio
Resistenza della flangia

Dati



Acciaio	S275
Piastra	t_p = 25 mm
Bulloni	m = 43.2 mm e_x = 50 mm

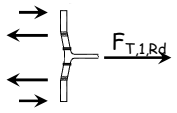
Già dimensionato in precedenza

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 = 25 mm
	m = 43.2 mm
	e_x = 50 mm

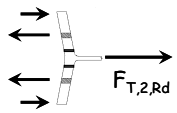
$L_{eff} = 200$ mm

$$M_{pl,Rd} = \frac{L_{eff}\, t_p^2}{4} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{200 \times 25^2 \times 275}{4 \times 1.05 \times 10^6} = 8.19 \text{ kN m}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4\, M_{pl,Rd}}{m} = \frac{4 \times 8.19}{43.2 \times 10^{-3}} = 757.8 \text{ kN}$$

Esempio
Resistenza della flangia

Dati



Acciaio	S275
Piastra	t_p = 25 mm
	m = 43.2 mm
	e_x = 50 mm
Bulloni	n_b = 4
	M20, classe 10.9

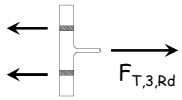
$M_{pl,Rd} = 8.19$ kN m

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

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2\, M_{pl,Rd} + n_b \min(F_{t,Rd}, B_{b,Rd})\, e_x}{m + e_x} = 554.2 \text{ kN}$$

Esempio
Resistenza della flangia

Dati



Acciaio	S275
Piastra	t_p = 25 mm
	m = 43.2 mm
	e_x = 50 mm
Bulloni	n_b = 4
	M20, classe 10.9

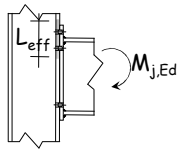
$F_{T,3,Rd} = n_b\, F_{t,Rd} = 4 \times 176.4 = 705.6$ kN

$F_{T,fb,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) =$

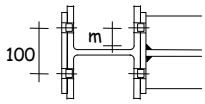
$= \min(757.8, 554.2, 705.6) = 554.2$ kN

Esempio
Resistenza dell'ala della colonna

Dati



Acciaio	S275	
Colonna	$t_{f,c}$ =	11 mm
	$t_{w,c}$ =	7 mm
	r_c =	18 mm
	m =	32.1 mm

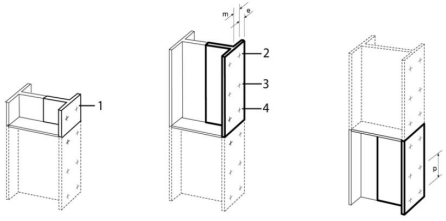


$m = 50 - t_{w,c}/2 - 0.8\, r_c = 32.1$ mm

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}



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}

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

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

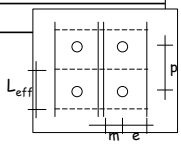
$2\,m + 0.625\,e = 95.5$ mm

$0.5\,p = 55.3$ mm

$L_{eff} = 150.8$ mm $\times 2$

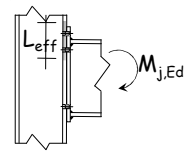
EN 1993, parte 1-8, punto 6.2.6.4

m = 32.1 mm
e = 50.0 mm
p = 110.7 mm



Esempio
Resistenza dell'ala della colonna

Dati



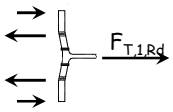
Acciaio	S275	
Colonna	$t_{f,c}$ =	11 mm
	$t_{w,c}$ =	7 mm
	r_c =	18 mm
	m =	32.1 mm
	L_{eff} =	301.6 mm
Bulloni	n_b = 4	
	M20, classe 10.9	

Si tiene conto dell'effetto leva

Si considerano i tre meccanismi di collasso

Esempio
Resistenza dell'ala della colonna

Dati



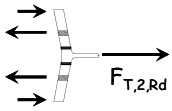
Acciaio	S275	
Colonna	$t_{f,c}$ =	11 mm
	$t_{w,c}$ =	7 mm
	r_c =	18 mm
	m =	32.1 mm
	L_{eff} =	301.6 mm
Bulloni	n_b = 4	
	M20, classe 10.9	

$$M_{pl,Rd} = \frac{L_{eff}\, t_{fc}^2}{4} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{301.6 \times 11^2 \times 275}{4 \times 1.05 \times 10^6} = 2.39 \text{ kN m}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4\, M_{pl,Rd}}{m} = \frac{4 \times 2.39}{32.1 \times 10^{-3}} = 297.8 \text{ kN}$$

Esempio
Resistenza dell'ala della colonna

Dati



Acciaio	S275	
Colonna	$t_{f,c}$ =	11 mm
	$t_{w,c}$ =	7 mm
	r_c =	18 mm
	m =	32.1 mm
	L_{eff} =	301.6 mm
Bulloni	n_b = 4	
	M20, classe 10.9	

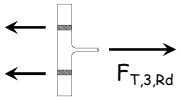
$M_{pl,Rd} = 2.39$ kN m

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

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2\, M_{pl,Rd} + n_b \min(F_{t,Rd}, B_{b,Rd})\, e_x}{m + e_x} = 487.9 \text{ kN}$$

Esempio
Resistenza dell'ala della colonna

Dati



Acciaio	S275	
Colonna	$t_{f,c}$ =	11 mm
	$t_{w,c}$ =	7 mm
	r_c =	18 mm
	m =	32.1 mm
	L_{eff} =	301.6 mm
Bulloni	n_b = 4	
	M20, classe 10.9	

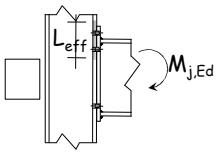
$$F_{t,Rd} = \frac{0.9\, A_{res}\, f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 \times 245 \times 1000}{1.25 \times 10^3} = 176.4 \text{ kN}$$

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

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

Esempio
Resistenza dell'ala della colonna

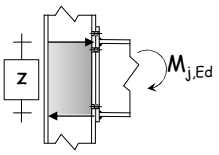
Dati



$$F_{T,fc,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) =$$
$$= \min(297.8,\ 487.9,\ 705.6) = 297.8 \text{ kN}$$

Esempio
Resistenza anima colonna soggetta a taglio

Dati



Acciaio	S275
Colonna	A = 64.3 cm^2 h_f = 210 mm b_f = 220 mm t_{fc} = 11 mm r_c = 18 mm

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

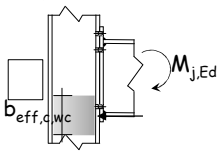
$$A_{VC} = 20.67 \text{ cm}^2$$

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

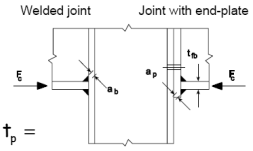
EN 1993, parte 1-8, punto 6.2.6.1

Esempio
Resistenza anima colonna in compressione

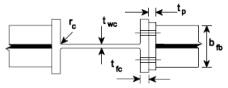
Dati



Colonna	$t_{f,c}$ = 11 mm r_c = 18 mm
Trave	$t_{f,b}$ = 10.7 mm



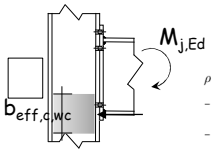
$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2}\ a_p + 5(t_{fc} + r_c) + 2t_p =$$
$$= 222.7 \text{ mm}$$



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

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

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

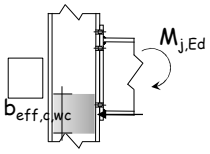
- for a rolled I or H section column: $d_{wc} = h_c - 2(t_{fc} + r_c)$
- for a welded I or H section column: $d_{wc} = h_c - 2(t_{fc} + \sqrt{2}a_c)$

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

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:

$d_{wc} = 152$ mm

$\bar{\lambda}_p = 2.368$

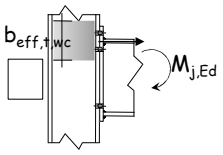
$\rho = 0.387$

$$F_{c,wc,Rd} = \rho\, b_{eff,c,wc}\ t_{wc}\ \frac{f_y}{\gamma_{M1}} =$$
$$= 0.387 \times 222.7 \times 7 \times \frac{275}{1.05} \times 10^{-3} = 157.8 \text{ kN}$$

EN 1993, parte 1-8, punto 6.2.6.2

Esempio
Resistenza anima colonna in trazione

Dati



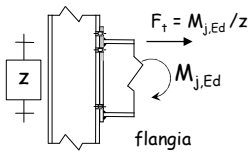
La larghezza di riferimento coincide con la larghezza efficace del T-stub esaminato per la verifica dell'ala della colonna

$$b_{eff,t,wc} = L_{eff} = 301.6 \text{ mm}$$

$$F_{t,cw,Rd} = b_{eff,t,wc}\ t_{wc}\ \frac{f_y}{\gamma_{M0}} =$$
$$= 301.6 \times 7 \times \frac{275}{1.05} \times 10^{-3} = 552.9 \text{ kN}$$

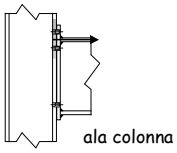
EN 1993, parte 1-8, punto 6.2.6.3

Esempio
Riepilogo delle resistenze



$F_{T,fb,Rd} = 554.2$ kN

$M_{Rd} = 160.3$ kNm OK



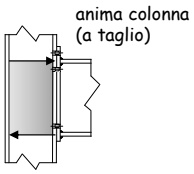
$F_{T,fc,Rd} = 297.8$ kN

$M_{Rd} = 86.2$ kNm

Non va bene

Occorre irrigidire

Esempio
Riepilogo delle resistenze

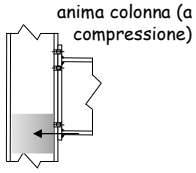


$V_{pl,Rd} = 312.6$ kN

$M_{Rd} = 90.4$ kNm

Non va bene
Occorre irrigidire

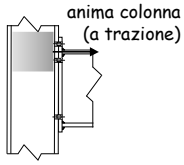
Esempio
Riepilogo delle resistenze



$F_{c,wc,Rd} = 157.8$ kN

$M_{Rd} = 45.7$ kNm

Non va bene
Occorre irrigidire

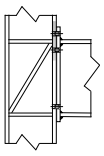


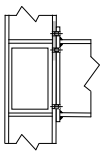
$F_{t,cw,Rd} = 552.9$ kN

$M_{Rd} = 160.0$ kNm OK

Esempio
resistenza della sezione

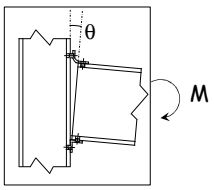
- Se non si rinforza il collegamento, la sua resistenza è il minore tra i valori indicati, cioè 45.7 kN, nettamente inferiore al necessario
- Per mantenere la resistenza voluta occorre inserire piatti in corrispondenza delle ali e rinforzare anche l'anima (con un piatto diagonale o piatti saldati sull'anima)





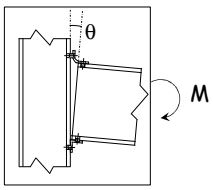
Rigidezza

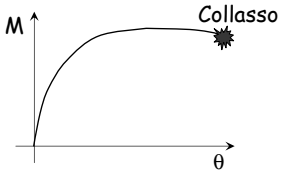
Comportamento sperimentale



- 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

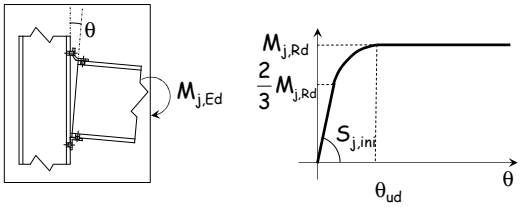
Comportamento sperimentale





- 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

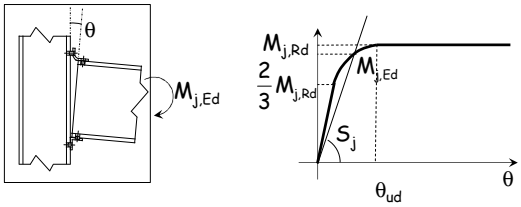


se $M_{j,Ed} \le \frac{2}{3} M_{j,Rd}$ la rigidezza è quella iniziale $S_{j,ini}$

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

EN 1993, parte 1-8, punto 6.3.1

Rigidezza rotazionale



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

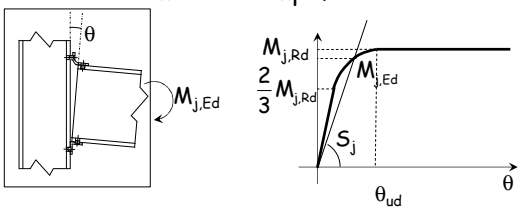
$$S_j = \frac{S_{j,ini}}{\mu} \qquad \mu = \left(1.5 \frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}}\right)^{\psi}$$

o in alternativa …

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

EN 1993, parte 1-8, punto 6.3.1

Rigidezza rotazionale
metodo semplificato



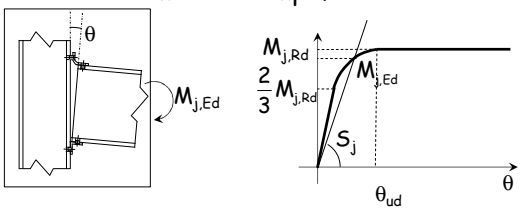
se $M_{j,Ed} > \frac{2}{3} M_{j,Rd}$ la rigidezza è quella secante S_j

$$S_j = \frac{S_{j,ini}}{\eta}$$

η = 2 per collegamenti trave-colonna
= 3 ÷ 3.5 per altri tipi di collegamento

EN 1993, 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

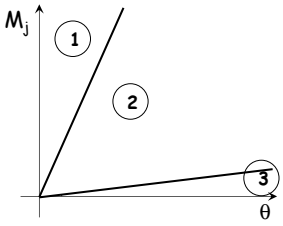
3. Collegamento a cerniera
   - Non trasmette momento flettente apprezzabile
   - Consente grandi rotazioni relative

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

Per telai controventati

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



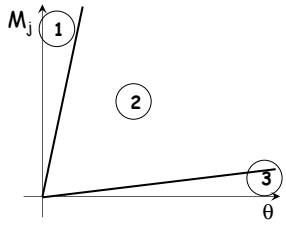
EN 1993, parte 1-8, punto 5.2.2.5

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

Per telai non controventati

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



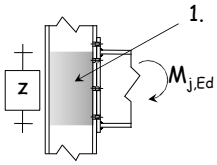
EN 1993, parte 1-8, punto 5.2.2.5

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

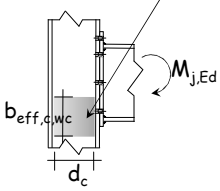
$$\delta = \frac{\chi V}{G A} l = \frac{V}{G A_v} l$$

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

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

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

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

t_{wc} spessore anima colonna

d_c altezza anima colonna (al netto dei raccordi circolari)

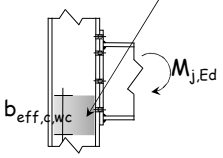
$b_{eff,t,wc}$ altezza efficace

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



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

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 6.2.6.2

Note sulle formule

- Pannello d'anima soggetto a compressione

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

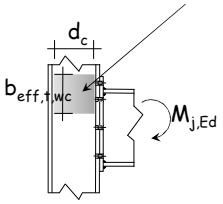
$$k = \frac{N}{\delta} = \frac{E\,A}{l} = E\frac{b\,t}{l} = E\frac{b_{eff,c,wc}\,t_{wc}}{d_c}$$

- 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)

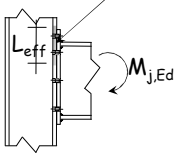
$b_{eff,t,wc}$ altezza efficace

EN 1993, parte 1-8, punto 6.3.2

Metodo delle componenti

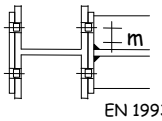
1. Si individuano i diversi componenti che subiscono deformazioni
2. Si valuta la rigidezza di ciascun componente

4. Flangia della colonna in flessione



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

t_{fc} spessore flangia colonna

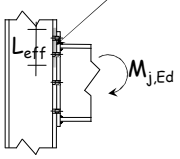


EN 1993, parte 1-8, punto 6.3.2

Metodo delle componenti

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

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

EN 1993, parte 1-8, punto 6.3.2

Note sulle formule

- Pannello d'ala soggetto a flessione

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

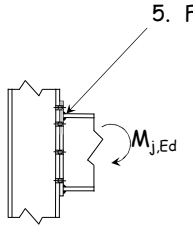
$$k = \frac{F}{\delta} = \frac{3\,E\,I}{l^3} = E\frac{3\,b\,t^3/12}{l^3} = E\frac{0.25\,L_{eff}\,t_{fc}^3}{m^3}$$

- 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



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

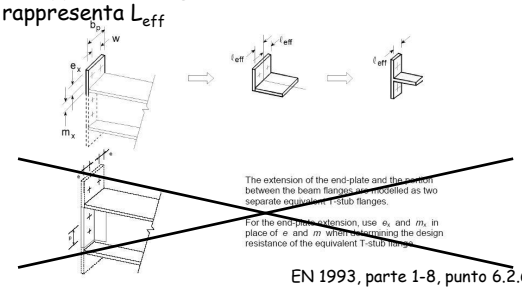
t_p spessore piatto

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

EN 1993, parte 1-8, punto 6.3.2

Indicazioni per la determinazione della larghezza efficace della piastra

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



EN 1993, parte 1-8, punto 6.2.6.5

Indicazioni per la determinazione della larghezza efficace della piastra

Table 6.6: Effective lengths for an end-plate

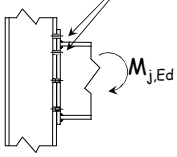
Bolt-row location	Bolt-row considered individually		Bolt-row considered as part of a group of bolt-rows	
	Circular patterns $\ell_{eff,cp}$	Non-circular patterns $\ell_{eff,nc}$	Circular patterns $\ell_{eff,cp}$	Non-circular patterns $\ell_{eff,nc}$
Bolt-row outside tension flange of beam	Smallest of: $2\pi m_x$ $\pi m_x + w$ $\pi m_x + 2e$	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:	$\ell_{eff,1} = \ell_{eff,nc}$ but $\ell_{eff,1} \le \ell_{eff,cp}$		$\sum \ell_{eff,1} = \sum \ell_{eff,nc}$ but $\sum \ell_{eff,1} \le \sum \ell_{eff,cp}$	
Mode 2:	$\ell_{eff,2} = \ell_{eff,nc}$		$\sum \ell_{eff,2} = \sum \ell_{eff,nc}$	
α should be obtained from Figure 6.11.				

EN 1993, parte 1-8, punto 6.2.6.5

Metodo delle componenti

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

6. Bulloni tesi



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

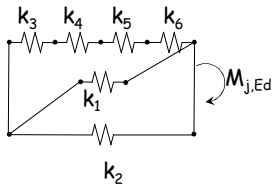
A_{res} area resistente del bullone

L_b lunghezza della parte del bullone soggetta a trazione

EN 1993, parte 1-8, punto 6.3.2

Metodo delle componenti

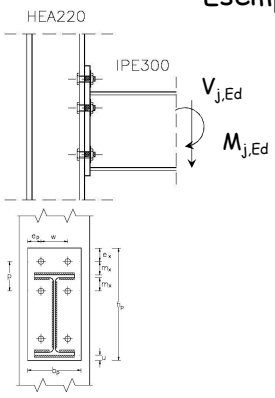
1. Si individuano i diversi componenti che subiscono deformazioni
2. Si valuta la rigidezza di ciascun componente
3. Si assemblano i diversi componenti e si valuta la rigidezza complessiva del nodo



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

EN 1993, parte 1-8, punto 6.3.1

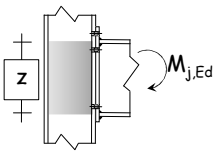
Esempio - Dati



Acciaio	S275
Bulloni	M20, classe 10.9
Piatto	t_p = 20 mm b_p = 200 mm h_p = 420 mm e_p = 50 mm m_x=e_x = 50 mm u =20 mm
Saldature	a_w = 4 mm a_f = 6 mm
Colonna	t_{wc} = 7 mm t_{fc} = 11 mm r_c = 18 mm
Trave	t_{fb} = 10.7 t_{wb} = 7.1

Esempio
Rigidezza anima colonna soggetta a taglio

Dati



Colonna	A = 64.3 cm^2
	h_f = 210 mm
	b_f = 220 mm
	t_{fc} = 11 mm
	r_c = 18 mm
Trave	t_{fb} = 10.7

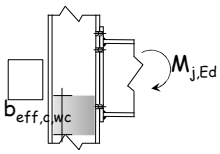
$$k_1 = \frac{0.38\ A_{VC}}{z} = 2.71 \text{ mm}$$

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

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

Esempio
Rigidezza anima colonna in compressione

Dati



Piatto	t_p = 20 mm
	u =20 mm
Saldature	a_f = 6 mm
Colonna	h_f = 210 mm
	t_{fc} = 11 mm
	r_c = 18 mm
	t_{wc} = 7 mm
Trave	t_{fb} = 10.7

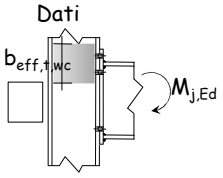
$$k_2 = \frac{0.7\ b_{eff,c,wc}\ t_{wc}}{d_c} = 6.86 \text{ mm}$$

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

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

Esempio
Rigidezza anima colonna in trazione

Dati



Bulloni	p = 110.7 mm
	m = 32.1 mm
	e = 60 mm
Colonna	h_f = 210 mm
	t_{fc} = 11 mm
	t_{wc} = 7 mm
	r_c = 18 mm

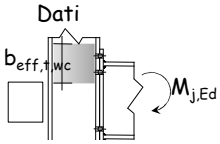
$$k_3 = \frac{0.7\ b_{eff,t,wc}\ t_{wc}}{d_c}$$

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

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

Esempio
Rigidezza anima colonna in trazione

Dati



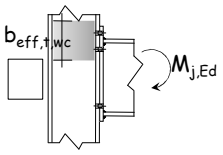
Bulloni	p = 110.7 mm
	m = 32.1 mm
	e = 60 mm
Colonna	h_f = 210 mm
	t_{fc} = 11 mm
	t_{wc} = 7 mm

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: $\pi m + p$; $2m + 0{,}625e + 0{,}5p$	The smaller of: $4m + 1{,}25e$; $2m + 0{,}625e + e + 0{,}5p$	The smaller of: $2\pi m + p$; $4m + 1{,}25e + p$	The smaller of: $2m + 0{,}625e + 0{,}5p$; $4m + 1{,}25e + e + 0{,}5p$
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

Dati



Bulloni	p = 110.7 mm
	m = 32.1 mm
	e = 60 mm
Colonna	h_f = 210 mm
	t_{fc} = 11 mm
	t_{wc} = 7 mm
	r_c = 18 mm

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

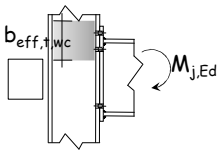
$$b_{eff,2} = 2 \times (4\ m + 1.25\ e) = 406.8 \text{ mm}$$

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

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

Esempio
Rigidezza anima colonna in trazione

Dati



Bulloni	p = 110.7 mm
	m = 32.1 mm
	e = 60 mm
Colonna	h_f = 210 mm
	t_{fc} = 11 mm
	t_{wc} = 7 mm
	r_c = 18 mm

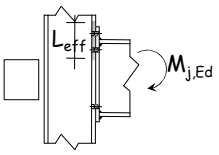
$$k_3 = \frac{0.7\ b_{eff,t,wc}\ t_{wc}}{d_c} = 10.13 \text{ mm}$$

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

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

Esempio
Rigidezza flangia colonna in flessione

Dati



Bulloni: p = 110.7 mm, m = 32.1 mm, e = 60 mm

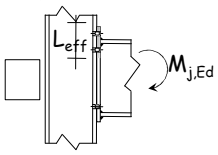
Colonna: t_{fc} = 11 mm

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

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

Esempio
Flessione della piastra

Dati



Piastra: b_p = 200 mm, t_p = 20 mm

Bulloni: w = 100 mm, m_{xs} = 41.5 mm, e_x = 50 mm, e_p = 50 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

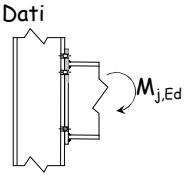
Piastra: b_p = 200 mm

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 $\ell_{eff,cp}$	Non-circular patterns $\ell_{eff,nc}$	Circular patterns $\ell_{eff,cp}$	Non-circular patterns $\ell_{eff,nc}$
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:	$\ell_{eff,1} = \ell_{eff,nc}$ but $\ell_{eff,1} \le \ell_{eff,cp}$		$\sum \ell_{eff,1} = \sum \ell_{eff,nc}$ but $\sum \ell_{eff,1} \le \sum \ell_{eff,cp}$	
Mode 2:	$\ell_{eff,2} = \ell_{eff,nc}$		$\sum \ell_{eff,2} = \sum \ell_{eff,nc}$	
α should be obtained from Figure 6.11.				

Esempio
Flessione della piastra

Dati



Piastra: b_p = 200 mm, t_p = 20 mm

Bulloni: w = 100 mm, m_{xs} = 41.5 mm, e_x = 50 mm, e_p = 50 mm

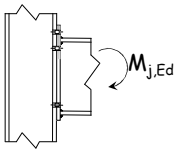
$$L_{eff,1} = 2\,\pi\, m_{xs} = 260.8 \text{ mm}$$

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

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

Esempio
Flessione della piastra

Dati



Piastra: b_p = 200 mm, t_p = 20 mm

Bulloni: w = 100 mm, m_{xs} = 41.5 mm, e_x = 50 mm, e_p = 50 mm

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

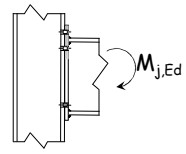
$$L_{eff,5} = e_p + 2\, m_{xs} + 0.625\, e_x = 164.3 \text{ mm}$$

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

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

Esempio
Flessione della piastra

Dati



Piastra: b_p = 200 mm, t_p = 20 mm

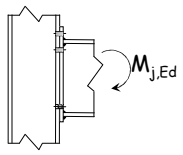
Bulloni: w = 100 mm, m_{xs} = 41.5 mm, e_x = 50 mm, e_p = 50 mm

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

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

Esempio
Bulloni tesi

Dati



Piastra	t_p = 20 mm
Colonna	t_{fc} = 11 mm
Bulloni	M20 t_h = 12.5 mm t_n = 12.5 mm A_{res} =245 mm^2

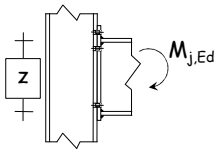
$$k_b = \frac{1.6\, A_{res}}{L_b} = 36.05 \text{ mm}$$

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

Esempio
Calcolo $S_{j,ini}$

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

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



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):

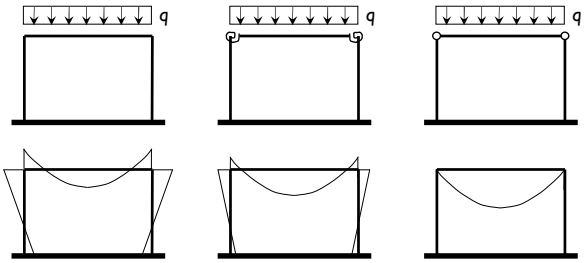
$$S_{j,ini} = 22564 \frac{\text{kNm}}{\text{rad}} < 25 \frac{EI}{L_b} = 25 \frac{210000 \text{x} 8356}{500 \text{ x } 10^3} = 87738 \frac{\text{kNm}}{\text{rad}}$$

Limite inferiore:

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

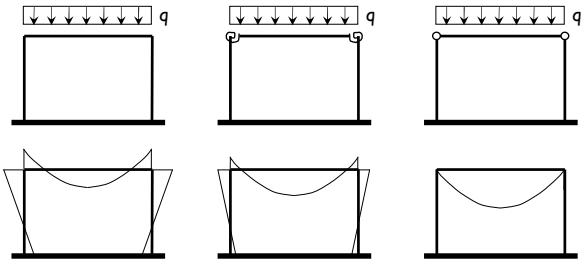
Il collegamento è semi-rigido

Collegamenti semi-rigidi e sollecitazioni



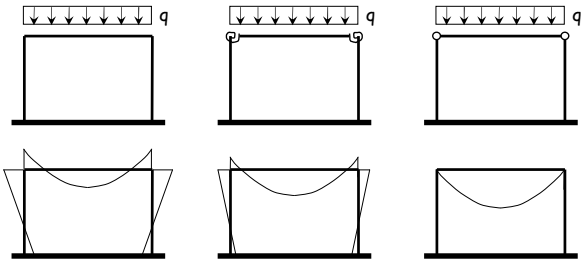
Momenti Trave
- minori rispetto al caso dello schema con cerniere
- Maggiori o minori rispetto al caso dello schema con nodi rigidi

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