

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

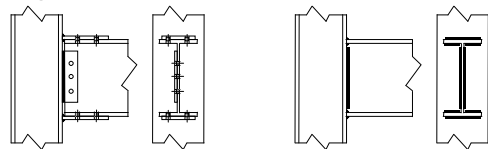
### Tipi di collegamenti in funzione della rigidità

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

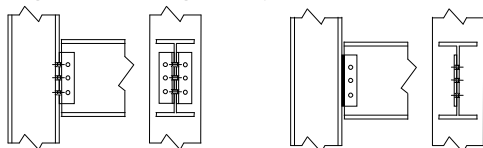
Collegamenti saldati



### Tipi di collegamenti

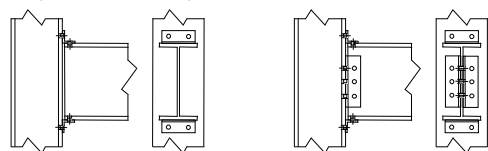
2. Collegamento a cerniera
  - Non trasmette momento flettente
  - Non impedisce rotazioni relative

Collegamenti con angolari o piastra d'anima

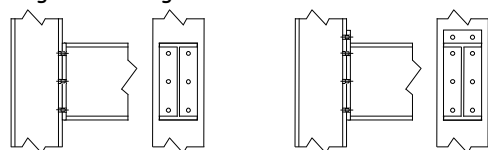


### Altri esempi di collegamento

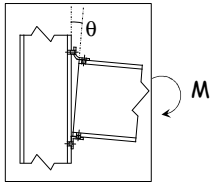
Collegamenti con angolari



Collegamenti flangiati

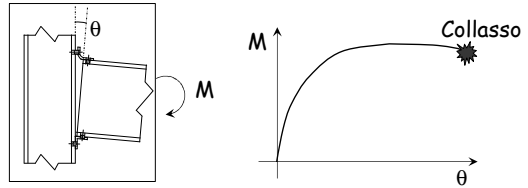


### Comportamento sperimentale



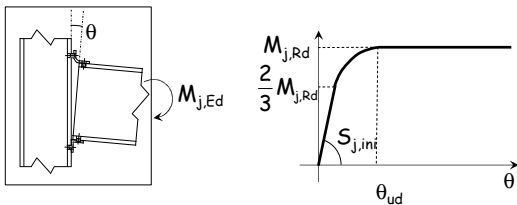
- Le varie parti del collegamento (angolari, bulloni, zone tese e compresse della trave e della colonna) sono deformabili
- La deformazione di queste parti provoca la rotazione relativa tra trave e colonna
- Il comportamento è intermedio tra quello di una cerniera e quello di un incastro

### 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  $M-\theta$  è non lineare, dunque la rigidezza della molla non è costante

### Rigidezza rotazionale

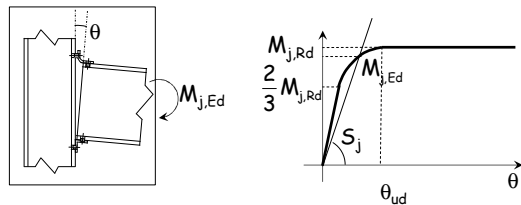


se  $M_{j,Ed} \leq \frac{2}{3} M_{j,Rd}$  la rigidezza è quella iniziale  $S_{j,ini}$

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

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  $S_j$

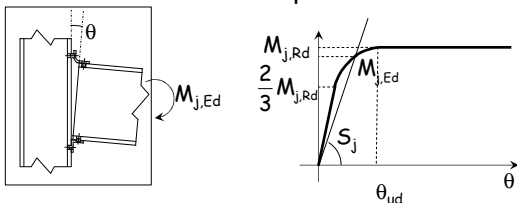
$$S_j = \frac{S_{j,ini}}{\mu} \quad \mu = \left( 1.5 \frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} \right)^\psi$$

o in alternativa ...

EN 1993, parte 1-8, punto 6.3.1

Connessione	$\psi$
Saldata o flangiata	2.7
Con angolari	3.1
Con piastra di base	2.7

### Rigidezza rotazionale metodo semplificato

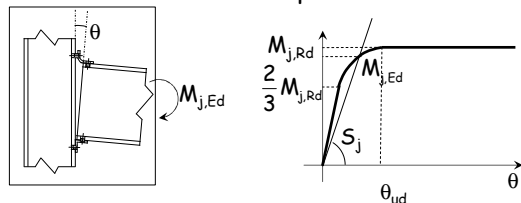


se  $M_{j,Ed} > \frac{2}{3} M_{j,Rd}$  la rigidezza è quella secante  $S_j$

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

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

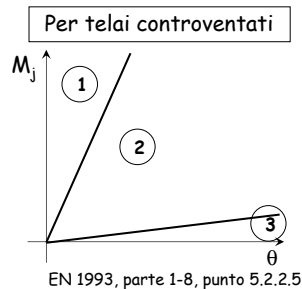
## Tipi di collegamenti

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

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

2. Collegamenti semi-rigidi

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



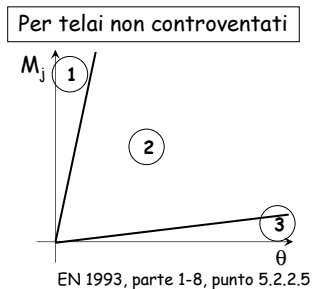
## Tipi di collegamenti

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

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

2. Collegamenti semi-rigidi

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

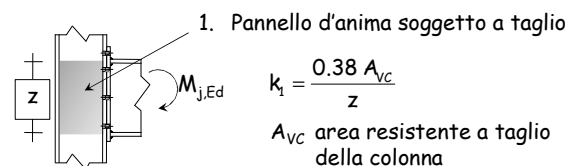


## Metodo delle componenti

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

## Metodo delle componenti

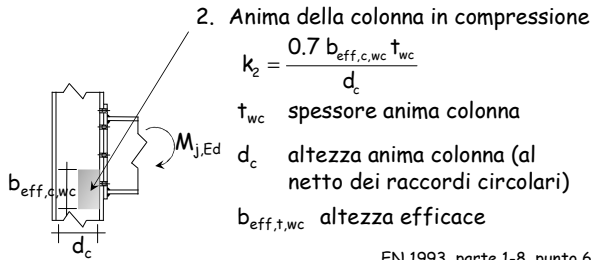
1. Si individuano i diversi componenti che subiscono deformazioni
2. Si valuta la rigidità di ciascun componente



EN 1993, parte 1-8, punto 6.3.1

### Metodo delle componenti

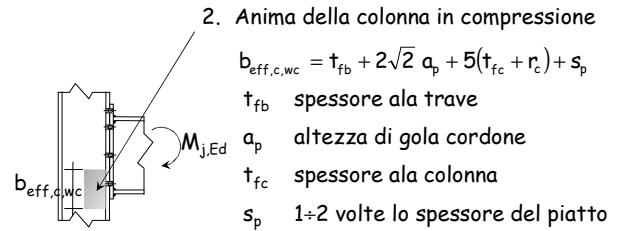
1. Si individuano i diversi componenti che subiscono deformazioni
2. Si valuta la rigidezza di ciascun componente



EN 1993, parte 1-8, punto 6.3.1

### Metodo delle componenti

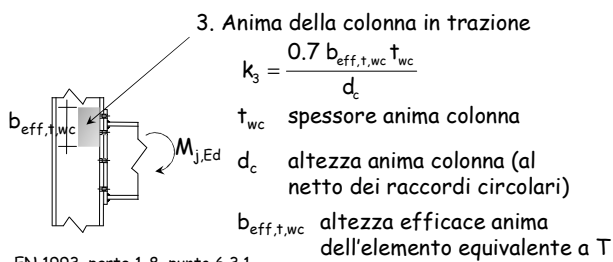
1. Si individuano i diversi componenti che subiscono deformazioni
2. Si valuta la rigidezza di ciascun componente



EN 1993, parte 1-8, punto 6.3.1

### Metodo delle componenti

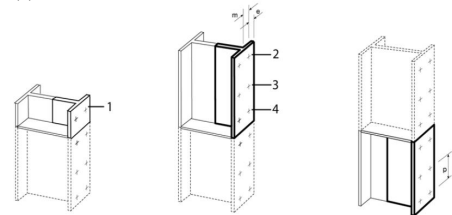
1. Si individuano i diversi componenti che subiscono deformazioni
2. Si valuta la rigidezza di ciascun componente



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  $b_{eff,c,wc}$



EN 1993, parte 1-8, punto 6.2.6.4.1

### 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  $b_{eff,c,wc}$

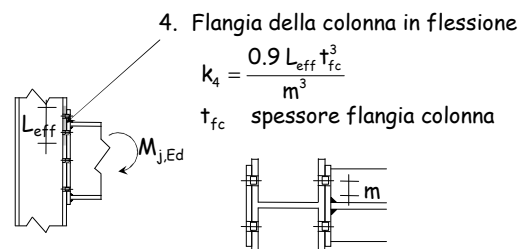
Table 6.4: Effective lengths for an unstiffened column flange

Bolt-row Location	Bolt-row considered individually		Bolt-row considered as part of a group of bolt-rows	
	Circular patterns	Non-circular patterns	Circular patterns	Non-circular patterns
Inner bolt-row	$l_{eff,co}$	$l_{eff,ac}$	$l_{eff,co}$	$l_{eff,ac}$
	$2\pi m$	$4m + 1.25e$	$2p$	$p$
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:	$l_{eff,1} = l_{eff,ac}$ but $l_{eff,1} \leq l_{eff,op}$		$\sum l_{eff,1} = \sum l_{eff,ac}$ but $\sum l_{eff,1} \leq \sum l_{eff,op}$	
Mode 2:	$l_{eff,2} = l_{eff,ac}$		$\sum l_{eff,2} = \sum l_{eff,ac}$	

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



EN 1993, parte 1-8, punto 6.3.1

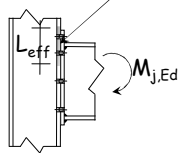
## Metodo delle componenti

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



EN 1993, parte 1-8, punto 6.3.1

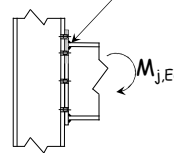
## Metodo delle componenti

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

### 5. Flessione della piastra

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

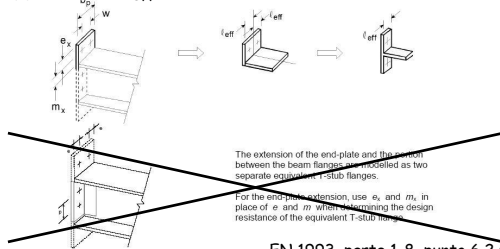
$t_p$  spessore piastra  
 $L_{eff}$  larghezza efficace piastra esterna alla trave dell'elemento equivalente a T



EN 1993, parte 1-8, punto 6.3.1

## 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  $L_{eff}$



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 $l_{eff,cc}$	Non-circular patterns $l_{eff,nc}$	Circular patterns $l_{eff,cc}$	Non-circular patterns $l_{eff,nc}$
Bolt-row outside tension flange of beam	Smallest of: $2m_2$ $\pi m_2 + w$ $\pi m_2 + 2e$	Smallest of: $4m_2 + 1.25e_x$ $e + 2m_2 + 0.625e_x$ $0.5l_p$ $0.5w + 2m_2 + 0.625e_x$	—	—
First bolt-row below tension flange of beam	$2\pi m$	$am$	$\pi m + p$	$0.5p + am - (2m + 0.625e)$
Other inner bolt-row	$2\pi m$	$4m + 1.25e$	$2p$	$p$
Other end bolt-row	$2\pi m$	$4m + 1.25e$	$\pi m + p$	$2m + 0.625e + 0.5p$
Mode 1:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ but $l_{eff,1} \leq l_{eff,1p}$		$\sum l_{eff,1} = \sum l_{eff,nc}$ but $\sum l_{eff,1} \leq \sum l_{eff,1p}$	
Mode 2:	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		$\sum l_{eff,2} = \sum l_{eff,nc}$	

$\alpha$  should be obtained from Figure 6.11.

EN 1993, parte 1-8, punto 6.2.6.4.1

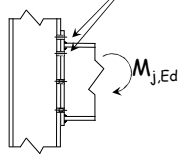
## Metodo delle componenti

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

### 6. Bulloni tesi

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

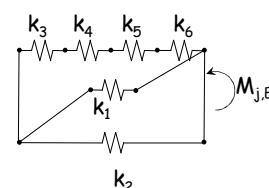
$A_{res}$  area resistente del bullone  
 $L_b$  lunghezza della parte del bullone soggetta a trazione



EN 1993, parte 1-8, punto 6.3.1

## Metodo delle componenti

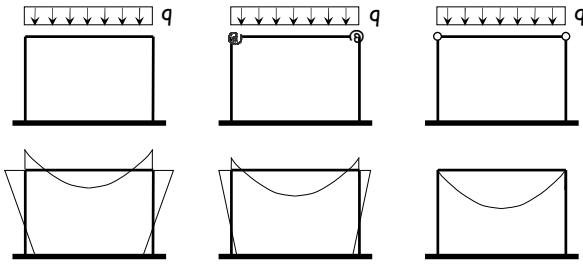
1. Si individuano i diversi componenti che subiscono deformazioni
2. Si valuta la rigidezza di ciascun componente
3. Si assemblano i diversi componenti e si valuta la rigidezza complessiva del nodo



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

EN 1993, parte 1-8, punto 6.3.1

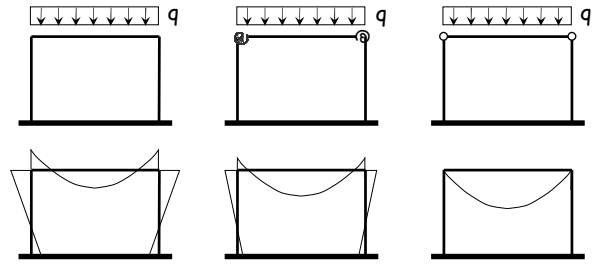
### Collegamenti semi-rigidi e sollecitazioni



#### Momenti Trave

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

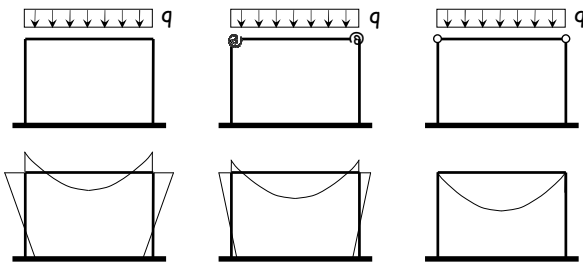
### Collegamenti semi-rigidi e sollecitazioni



#### Colonna

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

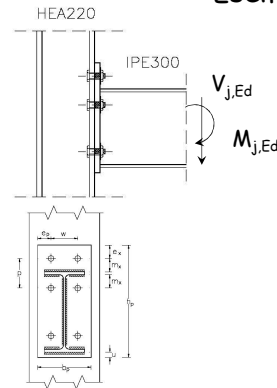
### Collegamenti semi-rigidi e sollecitazioni



#### Momento collegamento

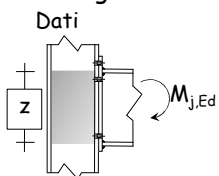
- maggiore rispetto al caso dello schema con cerniere
- minore rispetto al caso dello schema con nodi rigidi

### Esempio - Dati



Acciaio	S235
Bulloni	M20, classe 10.9
Piatto	$t_p = 20$ 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	$t_{fb} = 10.7$ mm $t_{wb} = 7.1$ mm

### Esempio Rigidezza anima colonna soggetta a taglio



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

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

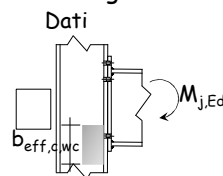
$$z = 289.3 \text{ mm}$$

Colonna

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

Trave

### Esempio Rigidezza anima colonna in compressione



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

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

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

Piatto

$t_p = 20$  mm  
 $u = 20$  mm

Saldature

$a_f = 6$  mm

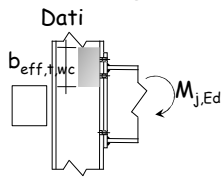
Colonna

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

Trave

$t_{fb} = 10.7$  mm

### Esempio Rigidità anima colonna in trazione



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

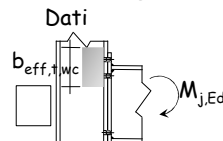
**Colonna**  $h_f = 210 \text{ mm}$   
 $t_{fc} = 11 \text{ mm}$   
 $t_{wc} = 7 \text{ mm}$   
 $r_c = 18 \text{ mm}$

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

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

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

### Esempio Rigidità anima colonna in trazione



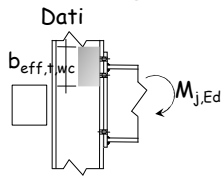
**Bulloni**  $p = 110.7 \text{ mm}$   
 $m = 32.1 \text{ mm}$   
 $e = 60 \text{ mm}$

**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	Non-circular patterns	Circular patterns	Non-circular patterns
Inner bolt-row	$\ell_{\text{eff},ci}$	$\ell_{\text{eff},nc}$	$\ell_{\text{eff},ci}$	$\ell_{\text{eff},nc}$
	$2m$	$4m + 1.25e$	$2p$	$p$
End bolt-row	The smaller of: $2m$ $4m + 1.25e$	The smaller of: $4m + 1.25e$ $2m + 0.625e$	The smaller of: $2m + p$ $2m + 0.625e$	The smaller of: $2m + 0.625e + 0.5p$ $2m + 0.625e$
Mode 1:	$\ell_{\text{eff},1} = \ell_{\text{eff},ci}$ but $\ell_{\text{eff},1} \leq \ell_{\text{eff},ci}$		$\sum \ell_{\text{eff},1} = \sum \ell_{\text{eff},ci}$ but $\sum \ell_{\text{eff},1} \leq \sum \ell_{\text{eff},ci}$	
Mode 2:	$\ell_{\text{eff},2} = \ell_{\text{eff},nc}$		$\sum \ell_{\text{eff},2} = \sum \ell_{\text{eff},nc}$	

### Esempio Rigidità anima colonna in trazione



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

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

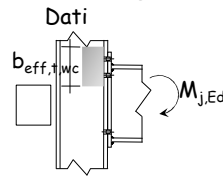
$$b_{\text{eff},1} = 2 \times 2 \pi m = 403.4 \text{ mm}$$

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

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

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

### Esempio Rigidità anima colonna in trazione



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

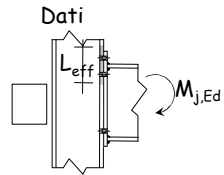
**Colonna**  $h_f = 210 \text{ mm}$   
 $t_{fc} = 11 \text{ mm}$   
 $t_{wc} = 7 \text{ mm}$   
 $r_c = 18 \text{ mm}$

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

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

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

### Esempio Rigidità flangia colonna in flessione



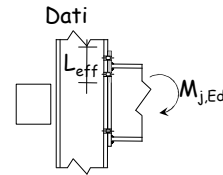
**Bulloni**  $p = 110.7 \text{ mm}$   
 $m = 32.1 \text{ mm}$   
 $e = 60 \text{ mm}$

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

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

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

### Esempio Flessione della piastra



**Piastra**  $b_p = 200 \text{ mm}$   
 $t_p = 20 \text{ mm}$

**Bulloni**  $w = 100 \text{ mm}$   
 $m_{xs} = 41.5 \text{ mm}$   
 $e_x = 50 \text{ mm}$   
 $e_p = 50 \text{ mm}$

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

$L_{\text{eff}} = ?$  Si riferisce alla parte di flangia esterna alla trave

### Esempio Flessione della piastra

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

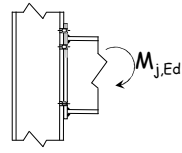
Table 6.6: Effective lengths for an end-plate

Bolt-row location	Bolt-row considered individually		Bolt-row considered as part of a group of bolt-rows	
	Circular patterns $l_{eff,cp}$	Non-circular patterns $l_{eff,nc}$	Circular patterns $l_{eff,cp}$	Non-circular patterns $l_{eff,nc}$
Bolt-row outside tension flange of beam	Smallest of: $2m_x$ $m_{xs} + w$ $m_{xs} + 2e$	Smallest of: $(4m_x + 1.25e_x)$ $(e + 2m_x + 0.625e_x)$ $0.5b_p$ $10.5w + 2m_x + 0.525e_x$	—	—
First bolt-row below tension flange of beam	$2\pi m$	$\pi m$	$\pi m + p$	$0.5p + \pi m$ $-(2m + 0.625e)$
Other inner bolt-row	$2\pi m$	$4m + 1.25e$	$2p$	$p$
Other end bolt-row	$2\pi m$	$4m + 1.25e$	$\pi m + p$	$2m + 0.625e + 0.5p$
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:	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		$\sum l_{eff,2} = \sum l_{eff,nc}$	

$\alpha$  should be obtained from Figure 6.11.

### Esempio Flessione della piastra

Dati



Piastra  $b_p = 200 \text{ mm}$   
 $t_p = 20 \text{ mm}$   
Bulloni  $w = 100 \text{ mm}$   
 $m_{xs} = 41.5 \text{ mm}$   
 $e_x = 50 \text{ mm}$   
 $e_p = 50 \text{ mm}$

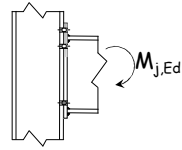
$$L_{eff,1} = 2 \pi m_{xs} = 260.8 \text{ mm}$$

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

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

### Esempio Flessione della piastra

Dati



Piastra  $b_p = 200 \text{ mm}$   
 $t_p = 20 \text{ mm}$   
Bulloni  $w = 100 \text{ mm}$   
 $m_{xs} = 41.5 \text{ mm}$   
 $e_x = 50 \text{ mm}$   
 $e_p = 50 \text{ mm}$

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

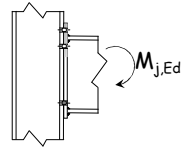
$$L_{eff,5} = e_p + 2 m_{xs} + 0.625 e_x = 164.3 \text{ mm}$$

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

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

### Esempio Flessione della piastra

Dati



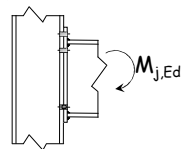
Piastra  $b_p = 200 \text{ mm}$   
 $t_p = 20 \text{ mm}$   
Bulloni  $w = 100 \text{ mm}$   
 $m_{xs} = 41.5 \text{ mm}$   
 $e_x = 50 \text{ mm}$   
 $e_p = 50 \text{ mm}$

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

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

### Esempio Bulloni tesi

Dati



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

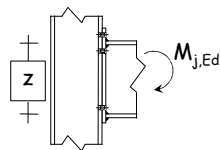
$$k_6 = \frac{1.6 A_{res}}{L_b} = 36.05 \text{ mm}$$

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

### 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 <sup>-1</sup> )
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):

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

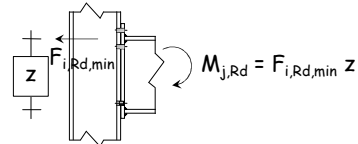
Limite inferiore:

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

Il collegamento è semi-rigido

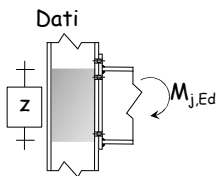
### Verifica del giunto

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

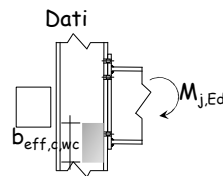


Dati	Acciaio	S275
Colonna		
	A =	64.3 cm <sup>2</sup>
	h <sub>f</sub> =	210 mm
	b <sub>f</sub> =	220 mm
	t <sub>fc</sub> =	11 mm
	r <sub>c</sub> =	18 mm

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

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

### Esempio Resistenza anima colonna in compressione

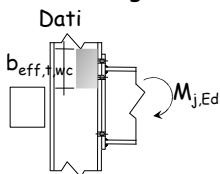


Dati	Acciaio	S275
Colonna		
	t <sub>wc</sub> =	7 mm

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

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

### Esempio Rigidità anima colonna in trazione

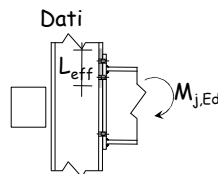


Dati	Bulloni	p = 110.7 mm m = 32.1 mm e = 60 mm
Colonna		
	h <sub>f</sub> =	210 mm
	t <sub>fc</sub> =	11 mm
	t <sub>wc</sub> =	7 mm
	r <sub>c</sub> =	18 mm

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

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

### Esempio Resistenza della flangia della colonna



Dati	Acciaio	S275
Colonna		
	t <sub>fc</sub> =	11 mm

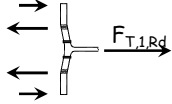
Suppongo che ci sia effetto leva perche i bulloni sono piuttosto grossi

Dunque devo considerare i tre meccanismi di collasso

### Esempio

#### Resistenza della flangia della colonna

Dati                      Acciaio            S275  
                                  Colonna             $t_{fc} = 11 \text{ mm}$



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

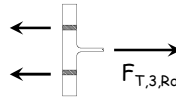
$$M_{pl,Rd} = \frac{L_{eff} t_{fc}^2 f_y}{4 \gamma_{M0}} = \frac{314.1 \times 11^2 \times 275}{4 \times 1.05 \times 10^6} = 2.49 \text{ kN m}$$

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

### Esempio

#### Resistenza della flangia della colonna

Dati                      Piastra             $t_p = 20 \text{ mm}$   
                                  Colonna             $t_{fc} = 11 \text{ mm}$   
                                  Bulloni            M20, classe 10.9  
                                                      $d_m = 33 \text{ mm}$   
                                                      $A_{res} = 245 \text{ mm}^2$



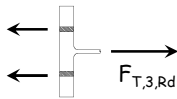
$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 A_{res} f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 \times 245 \times 1000}{1.25 \times 10^3} = 176.4 \text{ kN}$$

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

### 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             $e = 60 \text{ mm}$   
                                                      $m = 32.1 \text{ mm}$



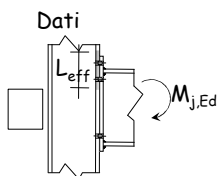
$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,Rd} + n_b \min(F_{t,Rd}, B_{b,Rd}) e}{m + e} = 513.7 \text{ kN}$$

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

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

### Esempio

#### Resistenza della flangia della colonna

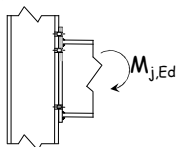


$$F_{T,fc,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = \min(310.3, 513.7, 705.6) = 310.3 \text{ kN}$$

### Esempio

#### Resistenza della piastra

Dati                      Acciaio            S275  
                                  Piastra             $t_p = 20 \text{ mm}$   
                                  Bulloni             $m_{xs} = 41.5 \text{ mm}$   
                                                      $e_x = 50 \text{ mm}$

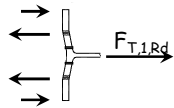


Suppongo che ci sia effetto leva perche i bulloni sono piuttosto grossi

Dunque devo considerare i tre meccanismi di collasso

### Esempio Resistenza della piastra

Dati



Acciaio S275  
Piastra  $t_p = 20 \text{ mm}$   
Bulloni  $m_{xs} = 41.5 \text{ mm}$   
 $e_x = 50 \text{ mm}$

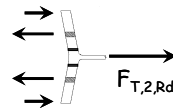
$$F_{T,1,Rd} = 2x \frac{4 M_{pl,Rd}}{m} = 2x \frac{4 \times 2.62}{41.5 \times 10^{-3}} = 505 \text{ kN}$$

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

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

### Esempio Resistenza della piastra

Dati



Acciaio S275  
Piastra  $t_p = 20 \text{ mm}$   
Bulloni  $n_b = 2$   
 $m_{xs} = 41.5 \text{ mm}$   
 $e_x = 50 \text{ mm}$

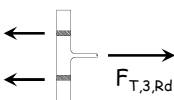
$$F_{T,2,Rd} = 2x \frac{2 M_{pl,Rd} + n_b \min(F_{t,Rd}, B_{b,Rd}) e_x}{m_{xs} + e_x} = 500.1 \text{ kN}$$

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

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

### Esempio Resistenza della piastra

Dati

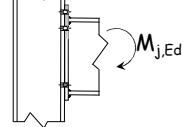


Piastra  $t_p = 20 \text{ mm}$   
Colonna  $t_{fc} = 11 \text{ mm}$   
Bulloni M20, classe 10.9  
 $n_b = 2$   
 $d_m = 33 \text{ mm}$   
 $A_{res} = 245 \text{ mm}^2$

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

### Esempio Resistenza della flangia della colonna

Dati



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

### Esempio Calcolo del momento resistente

Dati

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

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

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

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

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

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

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

