

Corso di aggiornamento

Elementi strutturali e collegamenti in acciaio

12 - Collegamenti flangiati

Villa Redenta, Spoleto

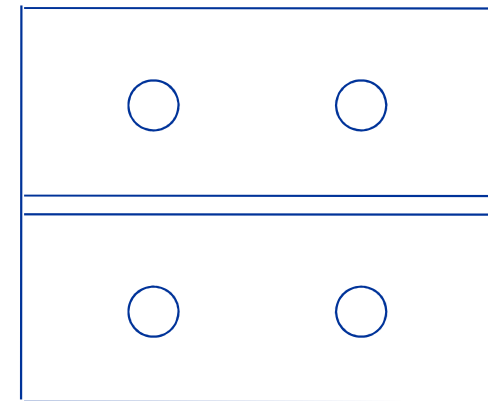
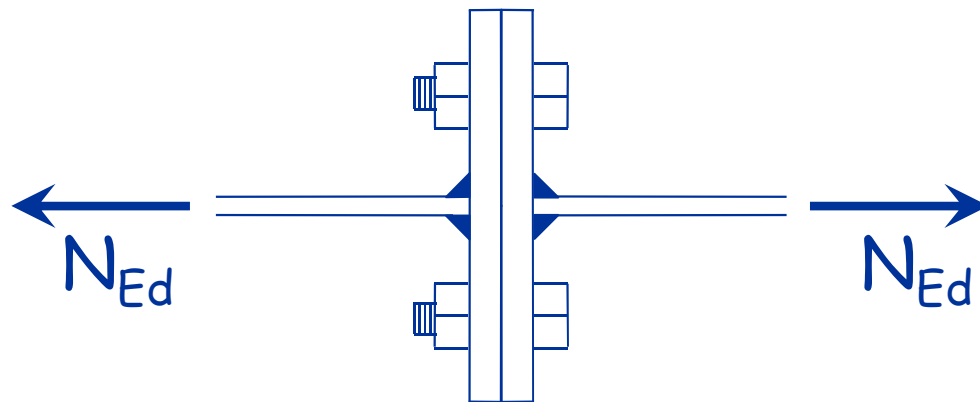
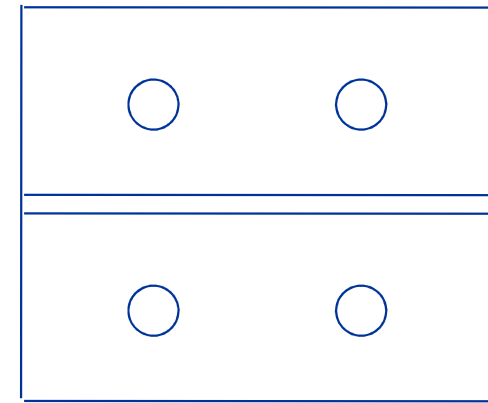
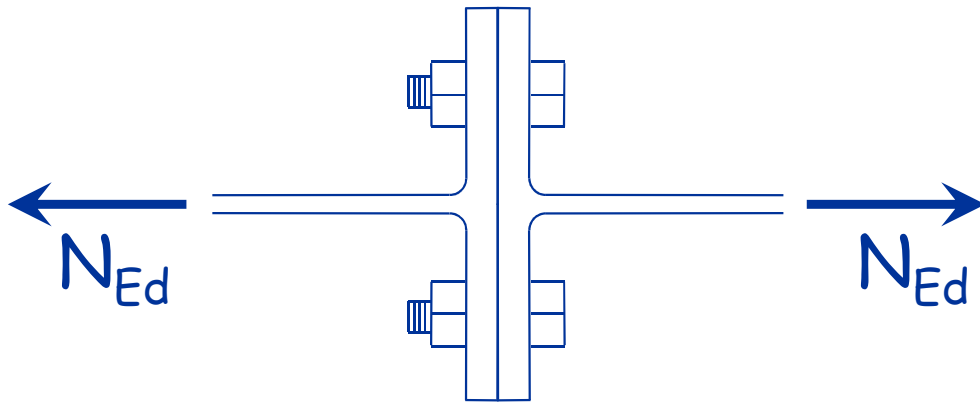
2-4 marzo 2017

Aurelio Ghersi

Collegamento a T equivalente (T stub)

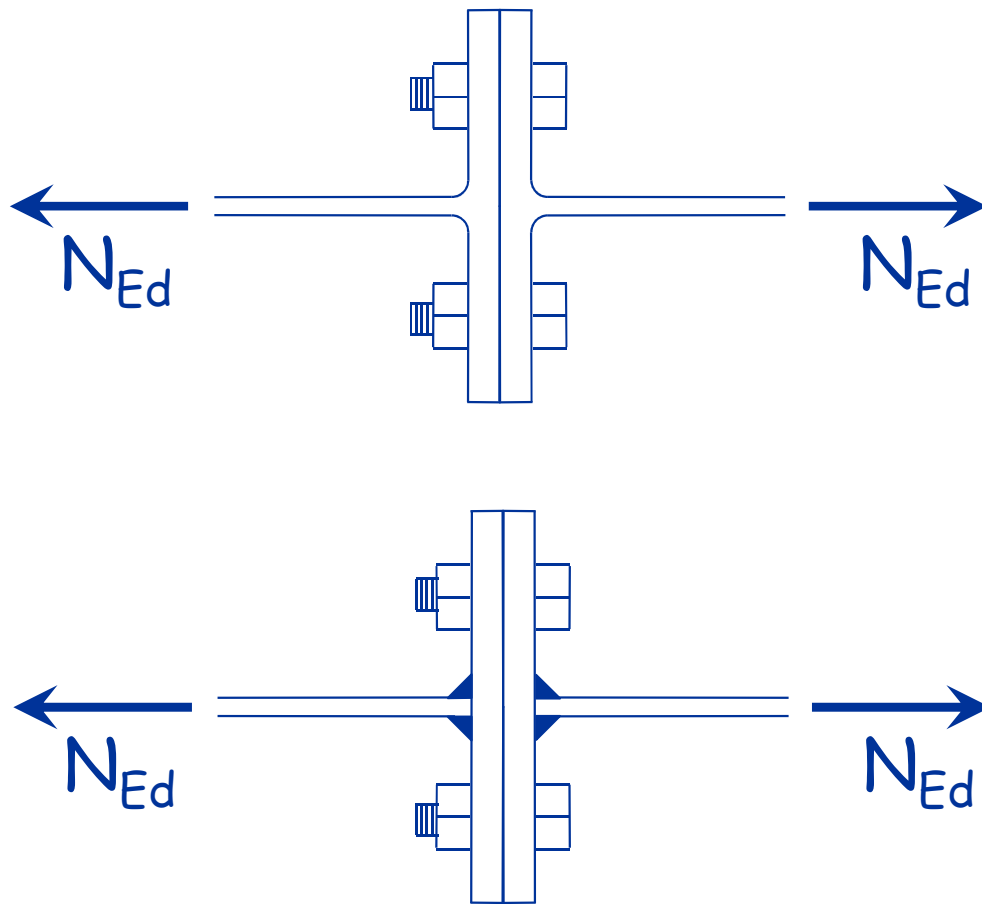
Eurocodice 3, parte 1-8

Collegamento di elementi a T equivalente



I risultati sono utili per la verifica di collegamenti più complessi (es. collegamenti trave-colonna)

Collegamento di elementi a T equivalente

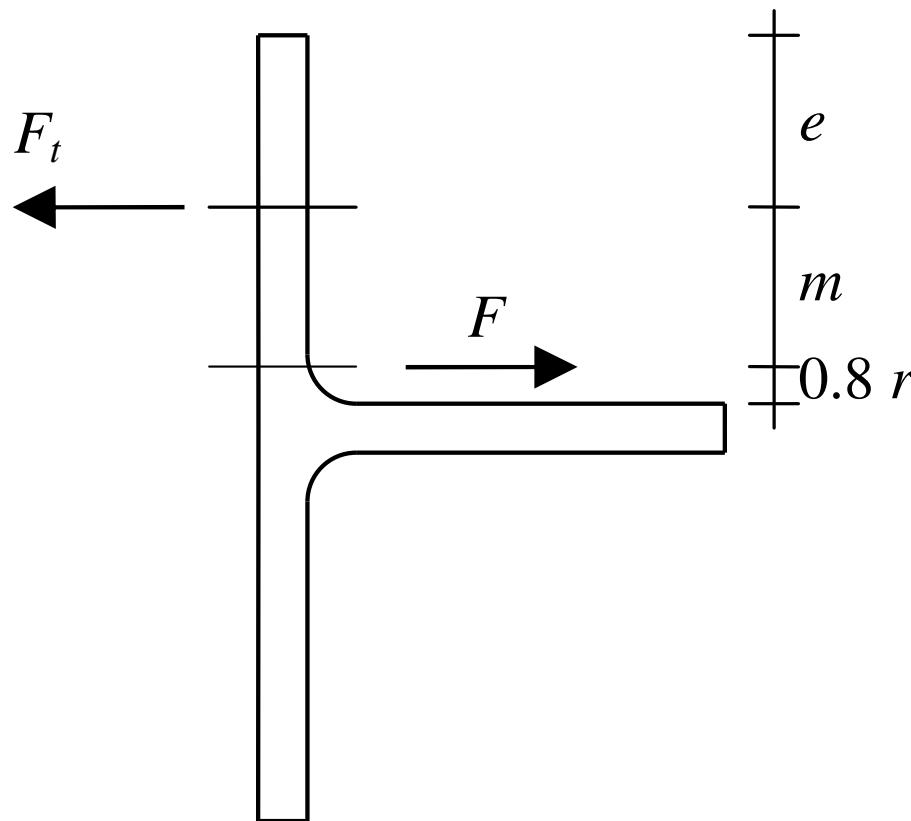


Verifiche

- Bulloni
 - Rottura a trazione
 - Punzonamento flangia
- Flangia
 - Bisogna considerare diversi meccanismi di collasso

I risultati sono utili per la verifica di collegamenti più complessi (es. collegamenti trave-colonna)

Indicazioni geometriche



e distanza asse bullone
estremo flangia

m distanza asse bullone
sezione da verificare

Nota:

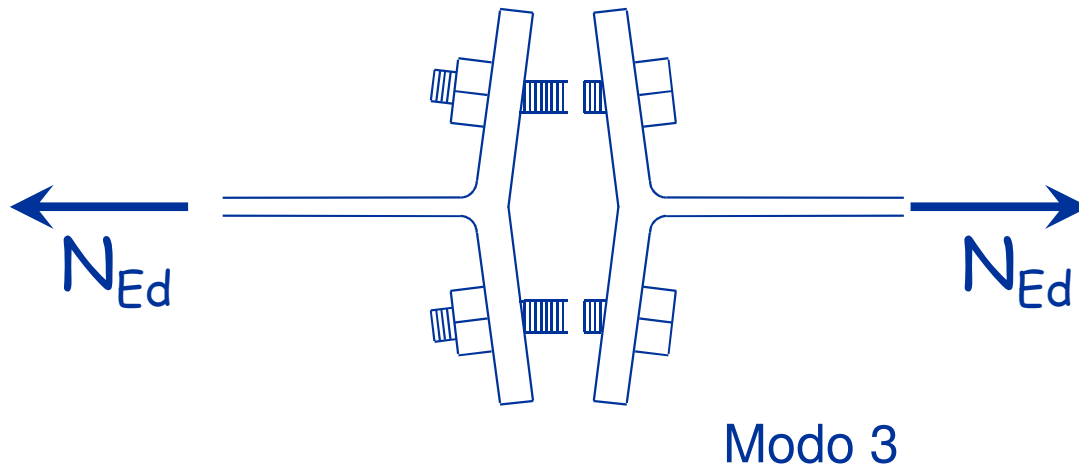
la verifica a flessione
della flangia va fatta
ad una distanza $0.8 r$
dal filo piatto

oppure
 $0.8 a \sqrt{2}$

L_{eff} larghezza efficace della flangia
(ortogonale al piano della figura)

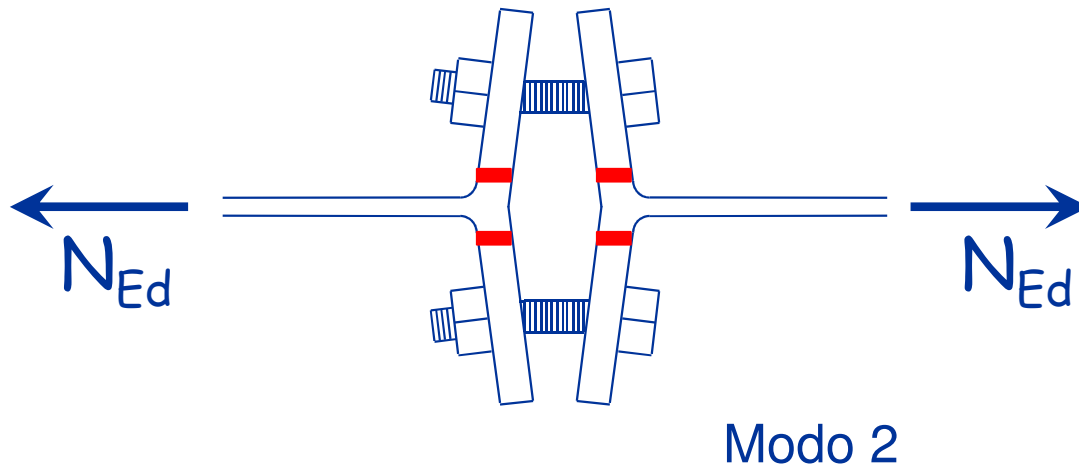
Meccanismi di collasso del bullone/flangia

- Rottura a trazione del bullone
(o a punzonamento della flangia)



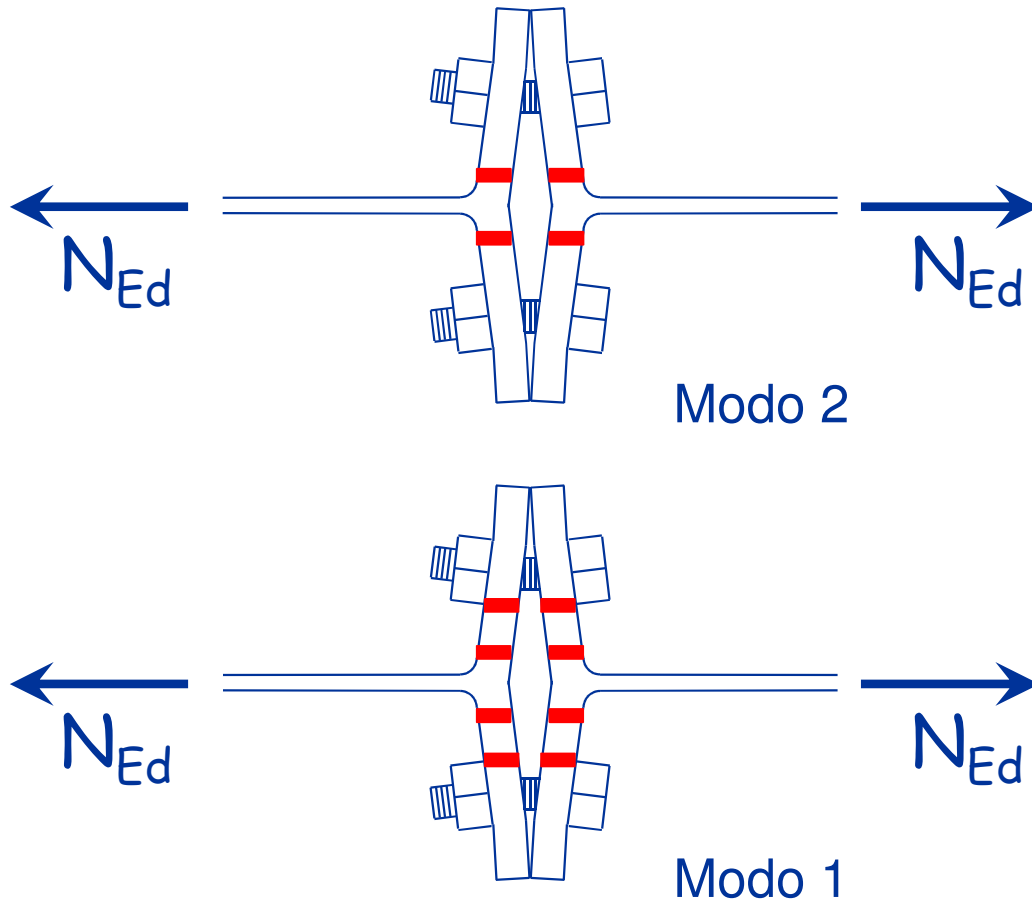
Meccanismi di collasso della flangia

- Rottura del piatto per flessione
(senza effetto leva)



Meccanismi di collasso della flangia

- Rottura del piatto per flessione (con effetto leva)

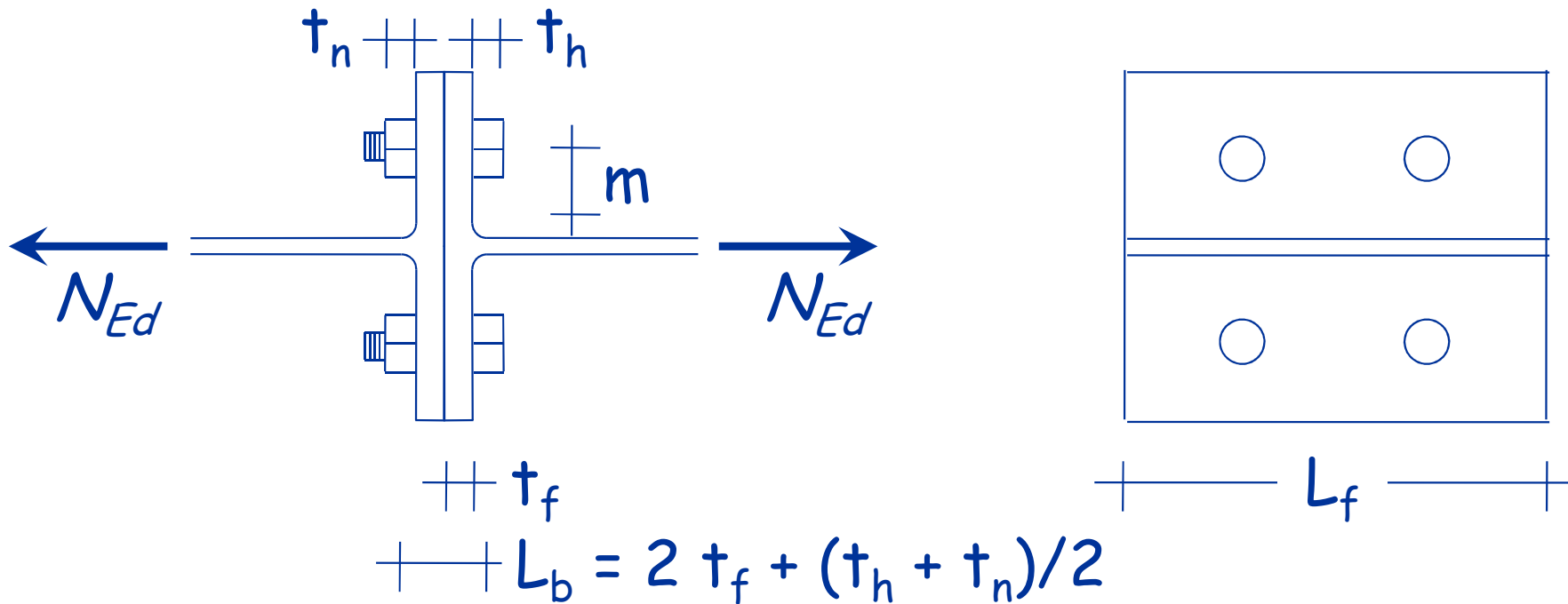


L'effetto leva

- incrementa la forza sollecitante dei bulloni
- modifica la modalità di collasso della flangia

Irrigidire l'elemento se si vuole evitare questo effetto

Effetto leva



L_b lunghezza parte del bullone sottoposta a trazione

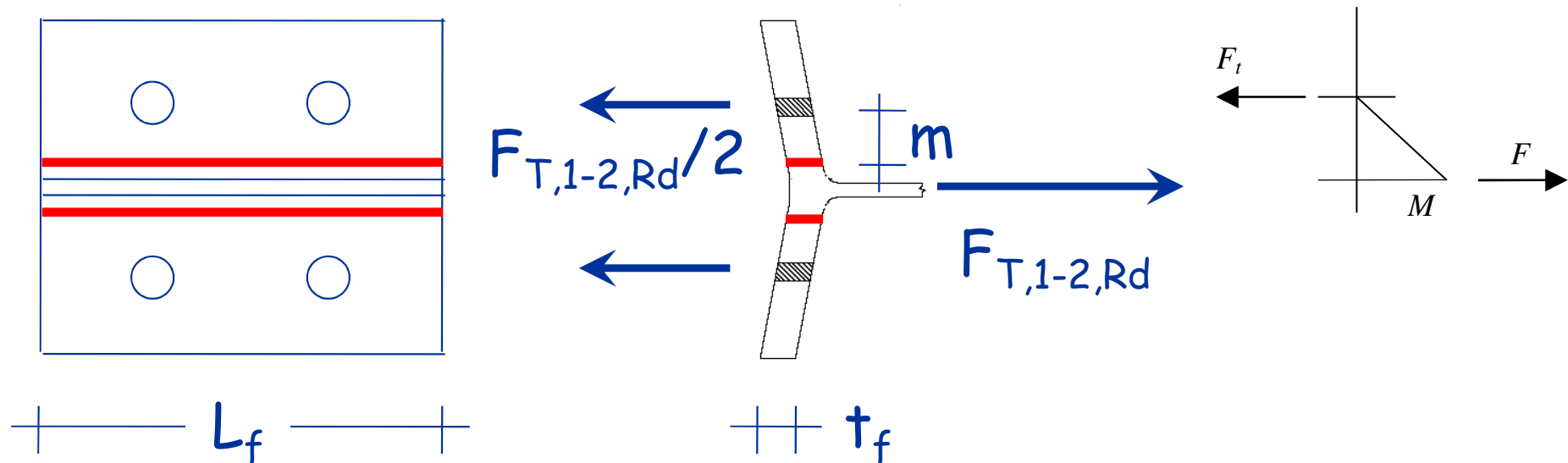
Non si ha effetto leva se la piastra è spessa, ovvero

$$L_b \geq \frac{8.8 m^3 A_{res}}{L_f t_f^3}$$

Eurocodice 3, parte 1-8, punto 6.2.4.1

Meccanismi di collasso in assenza di effetto leva

Meccanismo 2: plasticizzazione della flangia

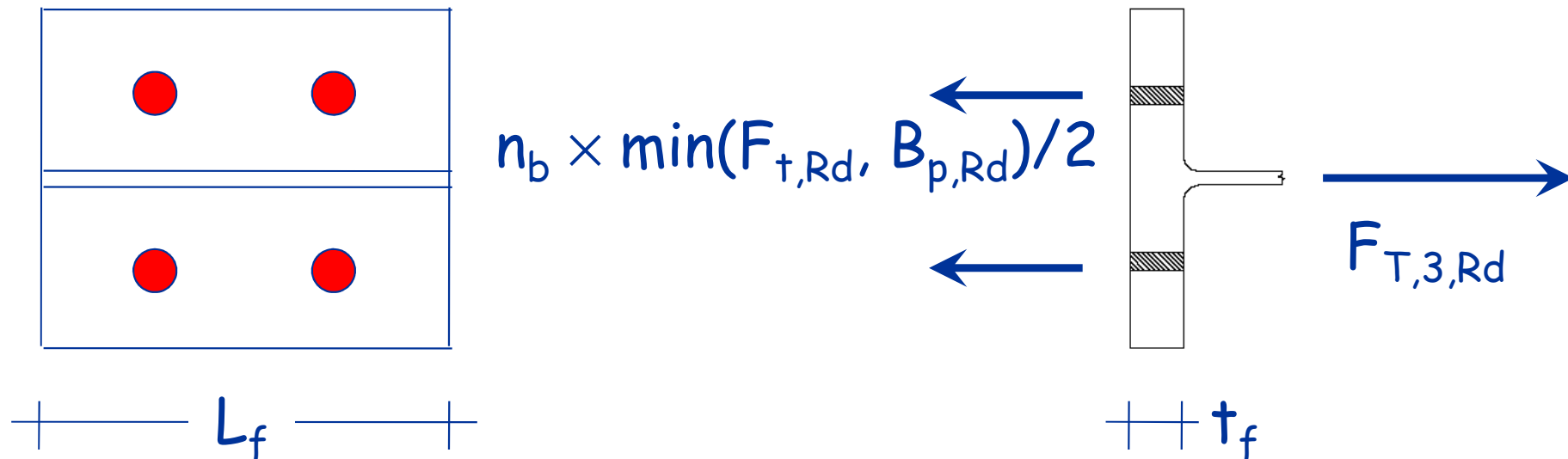


$$M_{pl,Rd} = W_{pl} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{b_f t_f^2}{4} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \Rightarrow \quad F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,Rd}}{m}$$

Eurocodice 3, parte 1-8, punto 6.2.4.1

Meccanismi di collasso in assenza di effetto leva

Meccanismo 3: collasso bulloni

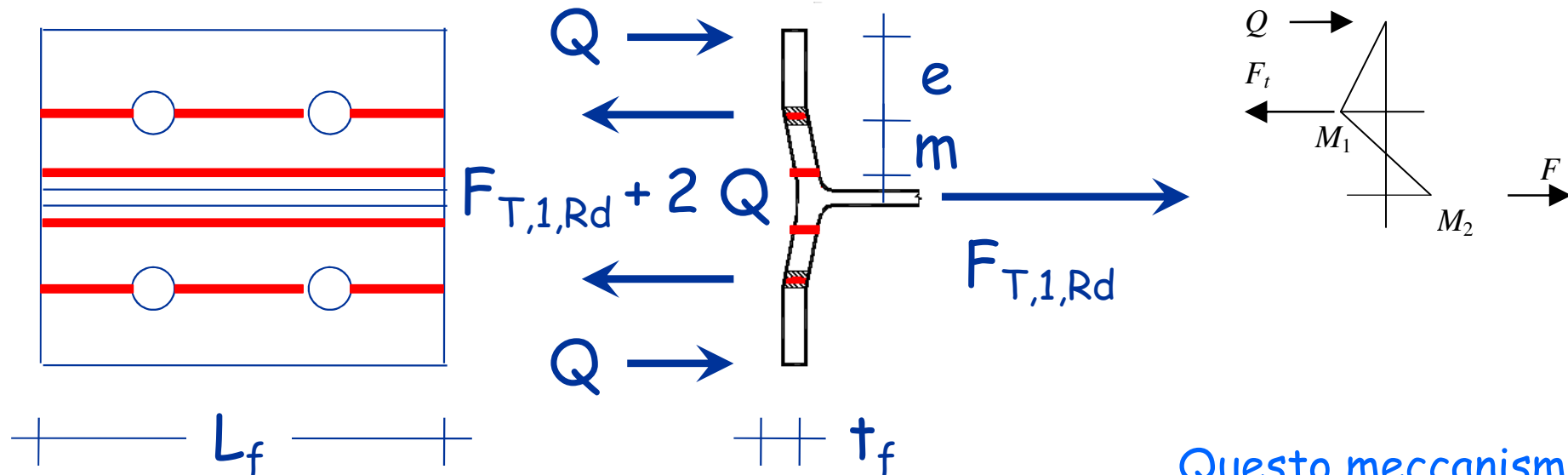


n_b numero di bulloni

$$F_{T,3,Rd} = n_b \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd})$$

Meccanismi di collasso in presenza di effetto leva

Meccanismo 1: plasticizzazione doppia della flangia



$$Q = M_{pl,Rd} / e$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 M_{pl,Rd}}{m}$$

$$\text{con } M_{pl,Rd} = \frac{b_f t_f^2}{4} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

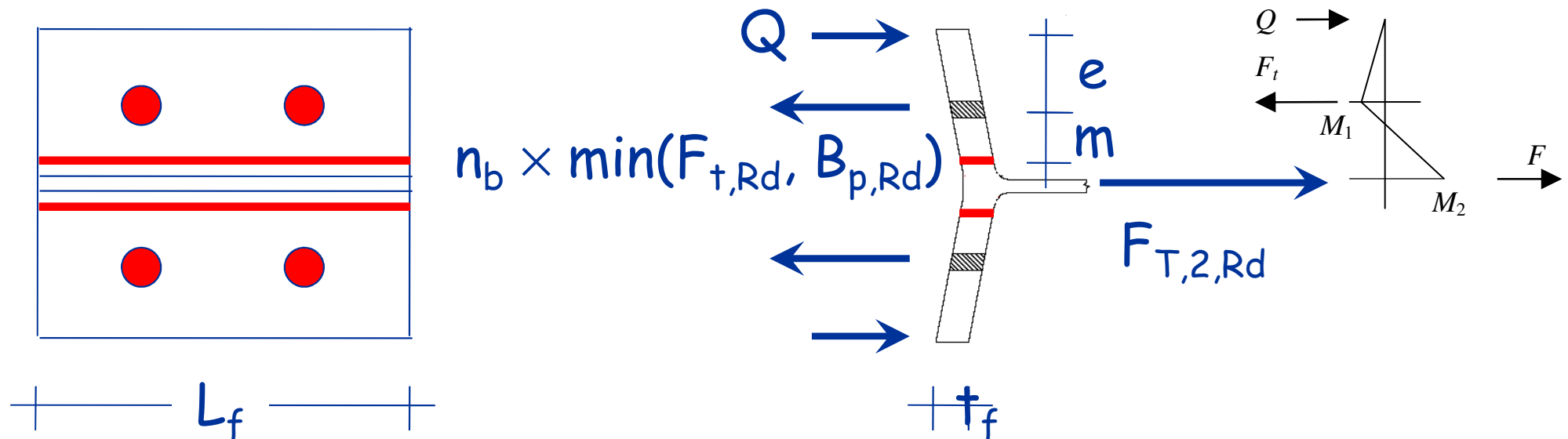
Questo meccanismo
si può avere se $F_{t,Ed}$
è minore di $F_{T,3,Rd}$

$$F_{t,Ed} = F_{T,1,Rd} + 2Q$$

Eurocodice 3, parte 1-8, punto 6.2.4.1

Meccanismi di collasso in presenza di effetto leva

Meccanismo 2: plasticizzazione della flangia



$$Q = [n_b \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) - F_{T,2,Rd}] / 2$$

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

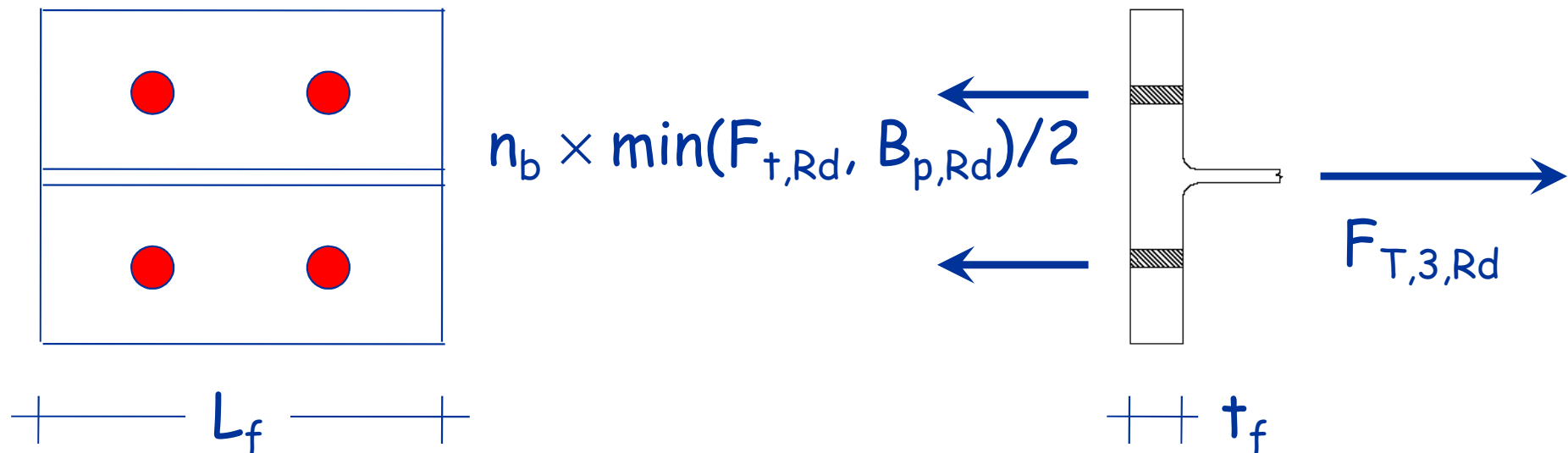
$$M_1 = Q e$$

$$M_2 = M_{pl,Rd}$$

Eurocodice 3, parte 1-8, punto 6.2.4.1

Meccanismi di collasso in presenza di effetto leva

Meccanismo 3: collasso bulloni

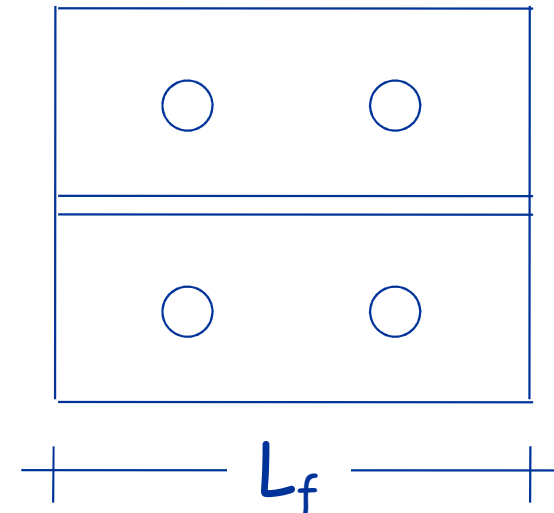
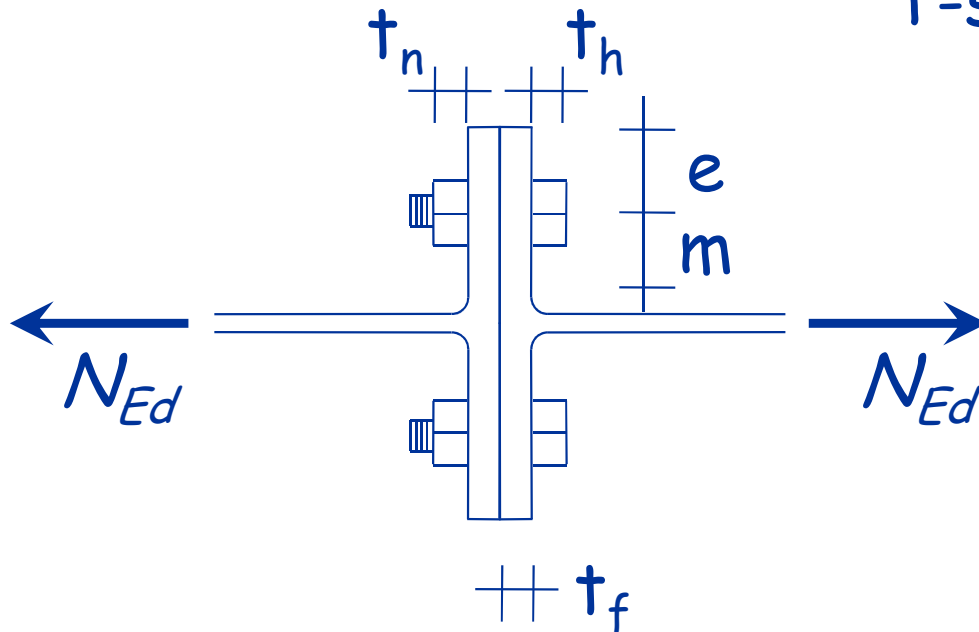


n_b numero di bulloni

$$F_{T,3,Rd} = n_b \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd})$$

Esempio 1

T-stub



$$t_f = 25 \text{ mm}$$

$$t_n = 10 \text{ mm}$$

$$t_h = 10 \text{ mm}$$

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

$$m = 43.2 \text{ mm}$$

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

Bulloni

M16, classe 6.8

Lunghezza bullone soggetto a trazione:

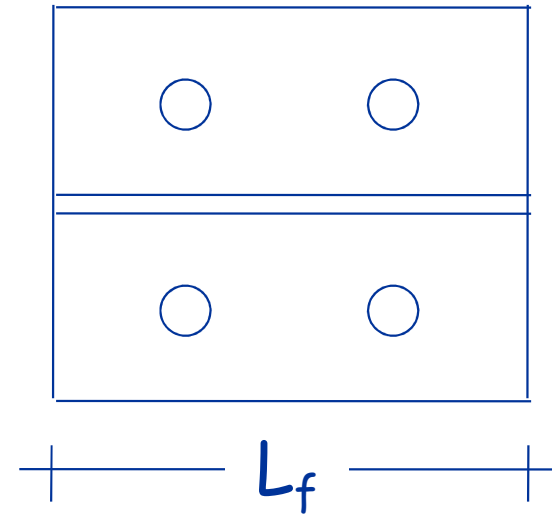
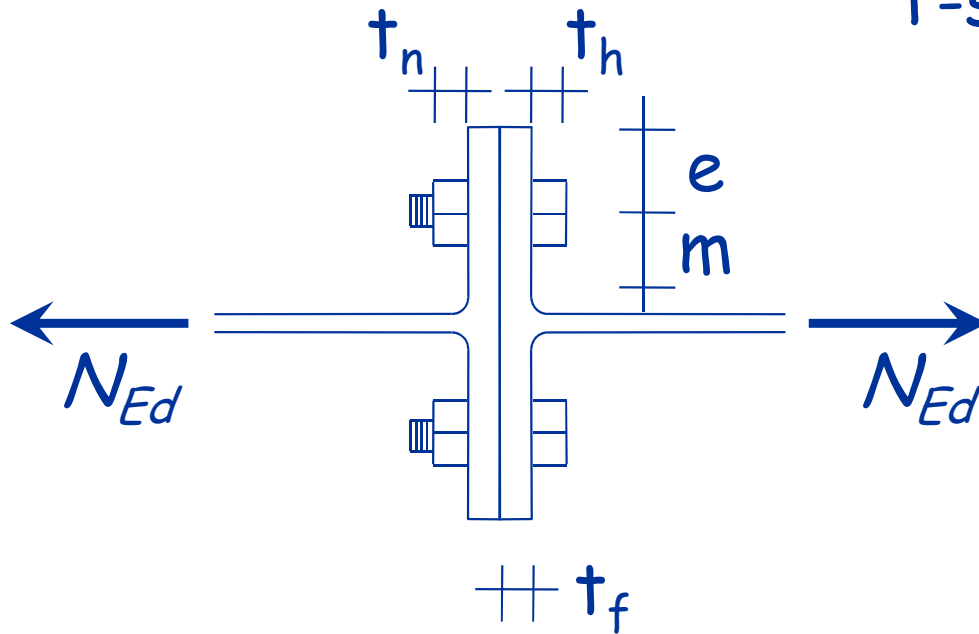
$$L_b = 2 t_f + (t_h + t_n)/2 = 60 \text{ mm}$$

$$L_{b,lim} = \frac{8.8 m^3 A_{res}}{L_f t_f^3} = 35.6 \text{ mm}$$

Non si ha effetto leva

Esempio 1

T-stub



1 bullone

$$F_{t,Rd} = 67.82 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = 347.44 \text{ kN}$$

4 bulloni

$$F_{T,3,Rd} = 271.3 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = 271.3 \text{ kN}$$

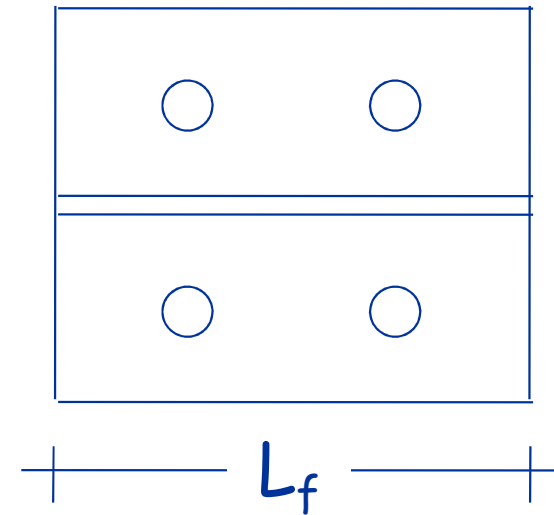
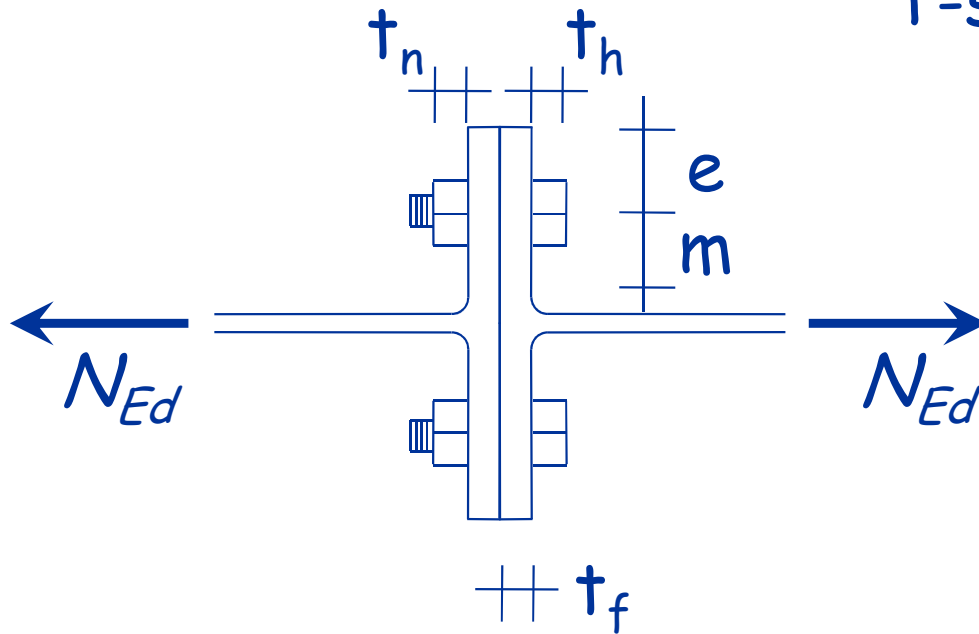
Piatto

$$M_{pl,Rd} = \frac{b_f t_f^2}{4} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 6.99 \text{ kNm}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,Rd}}{m} = 323.8 \text{ kN}$$

Esempio 2

T-stub



$$t_f = 12 \text{ mm}$$

$$t_n = 10 \text{ mm}$$

$$t_h = 10 \text{ mm}$$

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

$$m = 43.2 \text{ mm}$$

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

Bulloni

M16, classe 6.8

Lunghezza bullone soggetto a trazione:

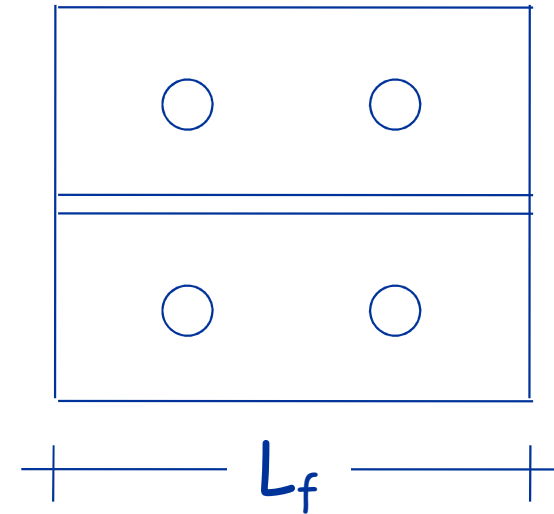
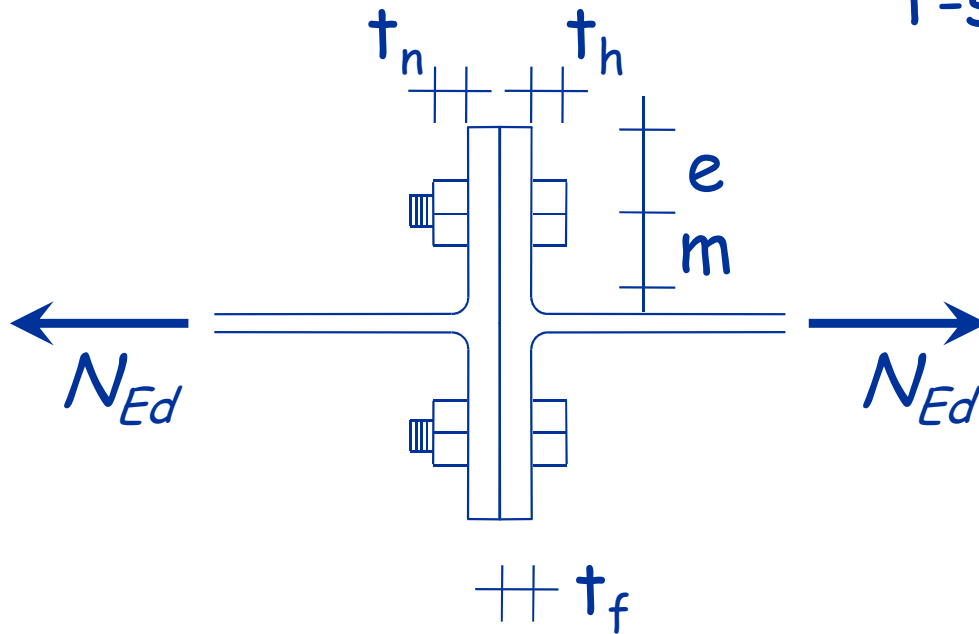
$$L_b = 2 t_f + (t_h + t_n)/2 = 34 \text{ mm}$$

$$L_{b,lim} = \frac{8.8 m^3 A_{res}}{L_f t_f^3} = 322.3 \text{ mm}$$

Si può avere effetto leva

Esempio 2

T-stub



1 bullone

$$F_{t,Rd} = 67.82 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = 347.44 \text{ kN}$$

4 bulloni

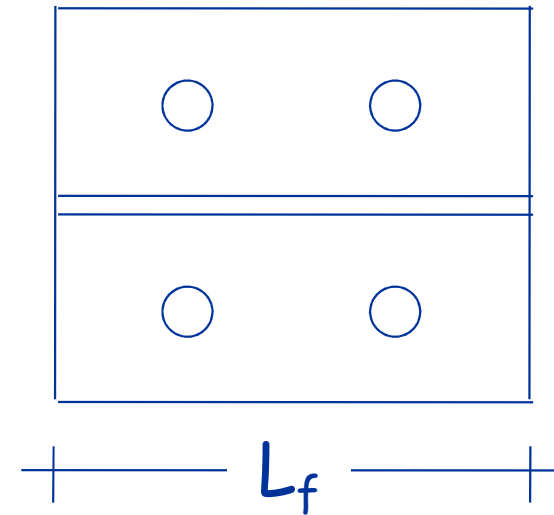
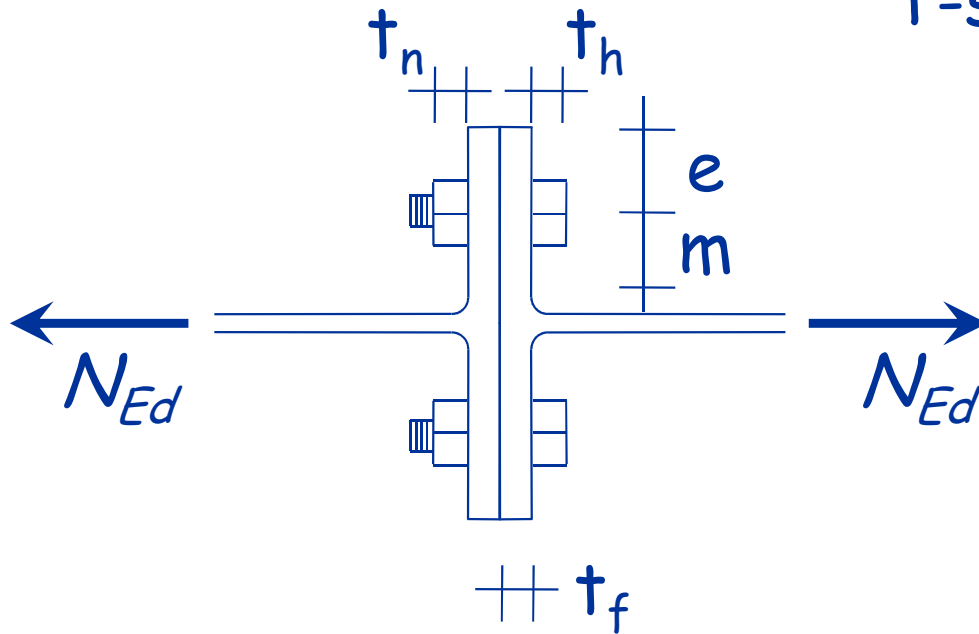
$$F_{T,3,Rd} = 271.3 \text{ kN}$$

Piatto

$$M_{pl,Rd} = \frac{b_f t_f^2}{4} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1.61 \text{ kNm}$$

Esempio 2

T-stub



Meccanismo 1
plasticizzazione doppia della flangia

$$M_{pl,Rd} = \frac{b_f t_f^2}{4} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1.61 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 M_{pl,Rd}}{m} = 149.2 \text{ kN}$$

$$Q = M_{pl,Rd} / e = 32.2 \text{ kN}$$

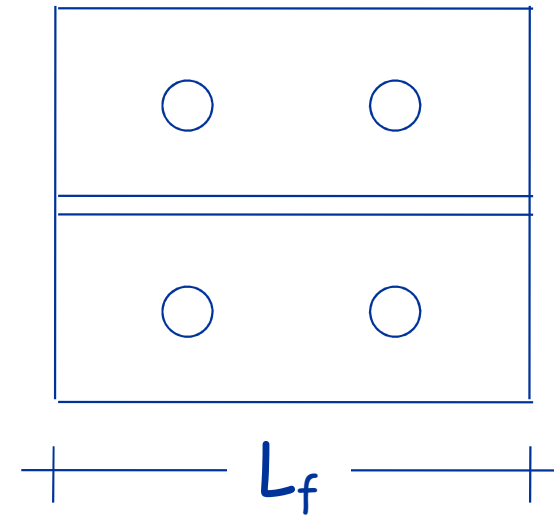
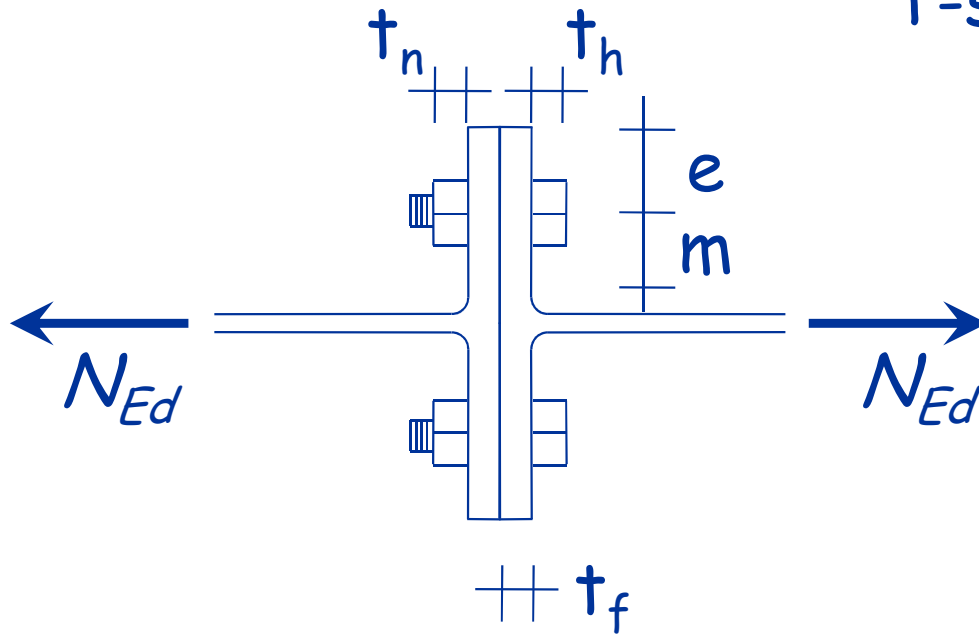
$$F_{t,Ed} = 213.6 \text{ kN}$$

Poiché $F_{t,Ed}$ è minore di $F_{T,3,Rd}$ è questo il meccanismo

$$F_{T,Rd} = 149.2 \text{ kN}$$

Esempio 3

T-stub



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

$$t_n = 10 \text{ mm}$$

$$t_h = 10 \text{ mm}$$

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

$$m = 43.2 \text{ mm}$$

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

Bulloni

M16, classe 6.8

Lunghezza bullone soggetto a trazione:

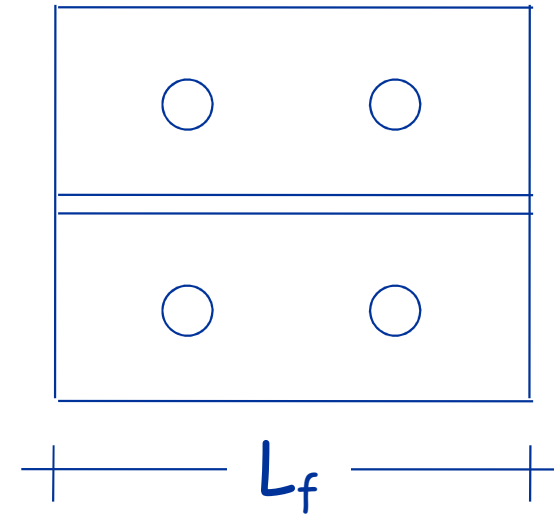
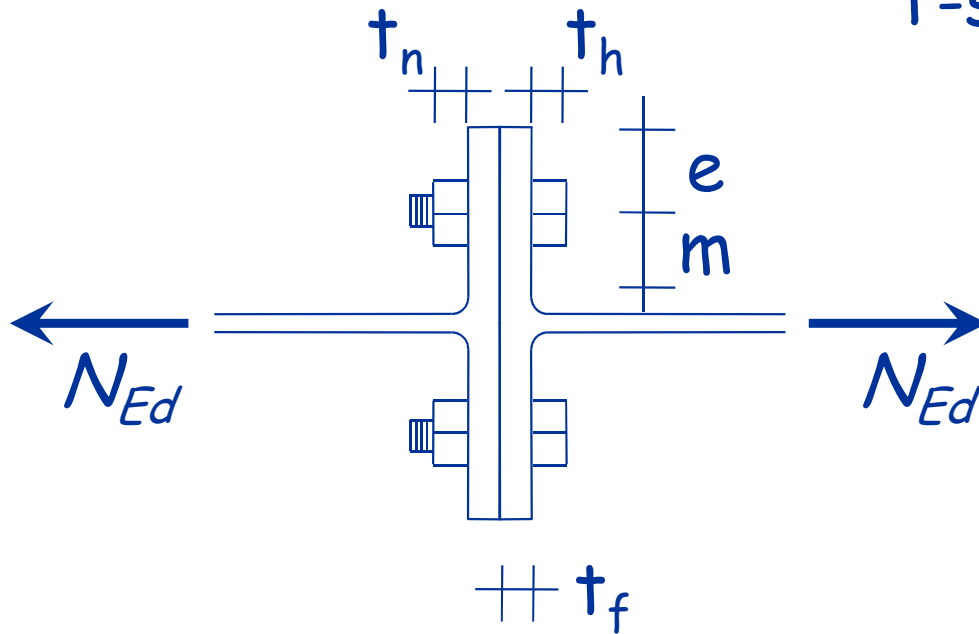
$$L_b = 2 t_f + (t_h + t_n)/2 = 40 \text{ mm}$$

$$L_{b,lim} = \frac{8.8 m^3 A_{res}}{L_f t_f^3} = 165 \text{ mm}$$

Si può avere effetto leva

Esempio 3

T-stub



1 bullone

$$F_{t,Rd} = 67.82 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = 347.44 \text{ kN}$$

4 bulloni

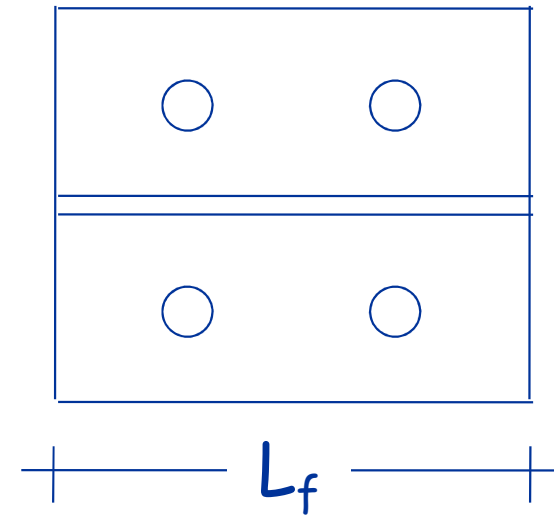
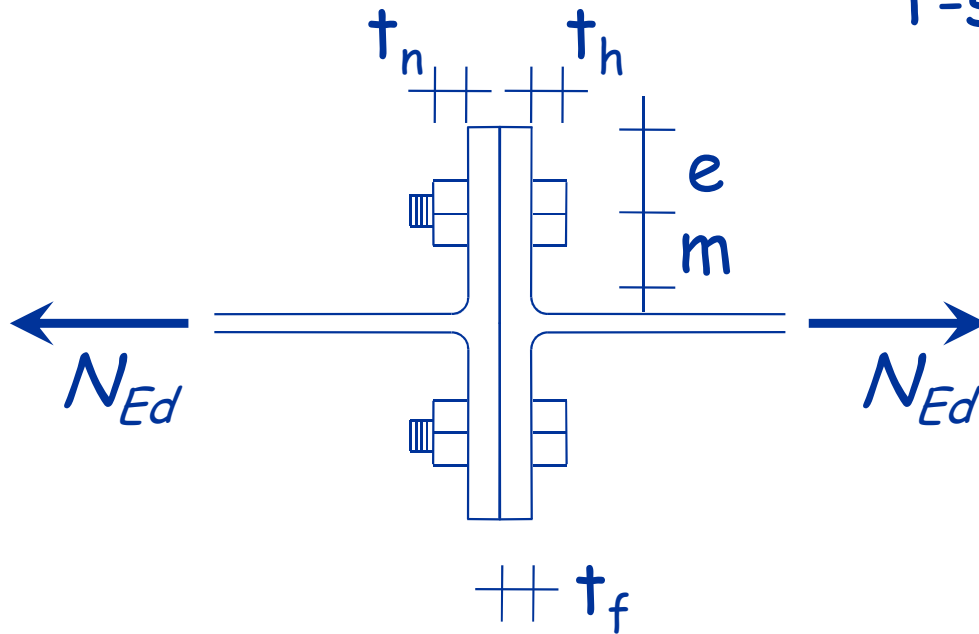
$$F_{T,3,Rd} = 271.3 \text{ kN}$$

Piatto

$$M_{pl,Rd} = \frac{b_f t_f^2}{4} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 4.48 \text{ kNm}$$

Esempio 3

T-stub



Meccanismo 1
plasticizzazione doppia della flangia

$$M_{pl,Rd} = \frac{b_f t_f^2}{4} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 4.48 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 M_{pl,Rd}}{m} = 414.5 \text{ kN}$$

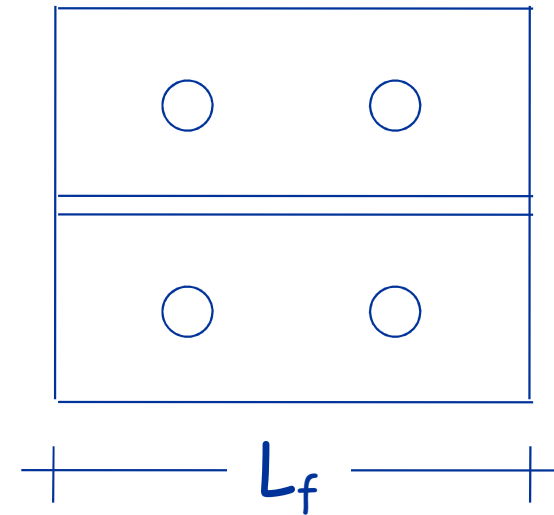
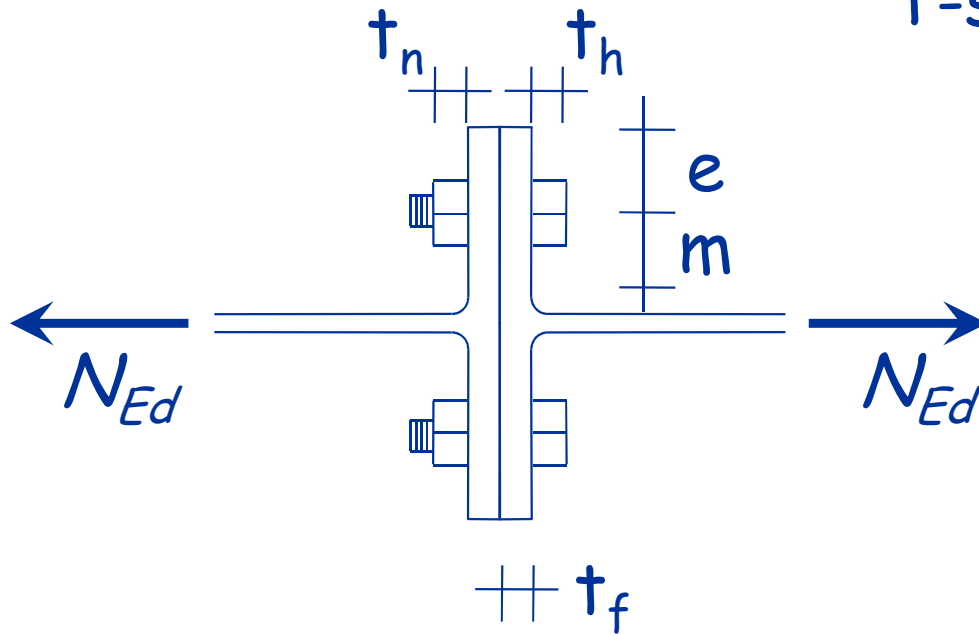
$$Q = M_{pl,Rd} / e = 89.5 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = 593.5 \text{ kN}$$

Poiché $F_{t,Ed}$ è maggiore di $F_{T,3,Rd}$ non è questo il meccanismo

Esempio 3

T-stub



Meccanismo 2
plasticizzazione singola della flangia

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,Rd} + n_b \min(F_{t,Rd}, B_{b,Rd}) e}{m + e} = 241.6 \text{ kN}$$

La resistenza è quindi

$$F_{T,Rd} = 241.6 \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{b_f t_f^2}{4} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 4.48 \text{ kNm}$$

Applicazioni

Foglio di calcolo Bulloni e T-stub

È disponibile il file Excel Bulloni e T-stub

- Il foglio T-stub consente la verifica di un T-stub

Collegamenti a T equivalente (T stub)			4 bulloni (2 sopra, 2 sotto)								
Bullone						Piatto					
bullone	M16		d	16	mm	acciaio	S235		fy	235	MPa
			A	201	mm2				fu	360	MPa
diametro dm	25.6	mm	Ares	157	mm2						
classe	6.8		γM2	1.25		tf	25	mm			
						Leff	200	mm	γM0	1.05	
						m	43.2	mm			
testa th	10	mm	fub	600	MPa	e	50	mm			
dado tn	10	mm									
			Resistenza a trazione						Momento di plasticizzazione		
1 bullone			Ft,Rd	67.82	kN				Mpl,Rd	6994048	Nmm
4 bulloni				271.30	kN					6.994	kNm
			Resistenza a punzonamento								
1 bullone			Bp,Rd	347.44	kN						
4 bulloni				1389.74	kN						
Lunghezza bullone soggetta a trazione			Lunghezza limite per effetto leva								
Lb	60	mm			35.6	mm	non si ha effetto leva				
Senza effetto leva											
Ft2,Rd	323.80	kN									
Ft3,Rd	271.30	kN									
Resistenza del collegamento											
Ft,Rd	271.30	kN									
condizionata da: resistenza a trazione del bullone											

Applicazioni

Foglio di calcolo Bulloni e T-stub

È disponibile il file Excel Bulloni e T-stub

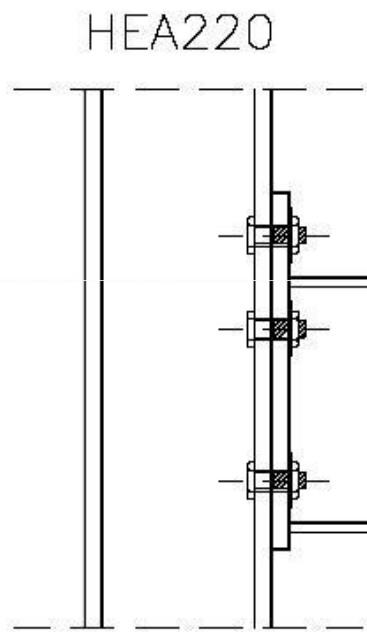
- Il foglio T-stub consente la verifica di un T-stub

[illegible]

Collegamento flangiato
trave-colonna

Esempio

Collegamento flangiato trave colonna



V_{Ed}

$M_{Ed} = 100 \text{ kNm}$

Acciaio

Bulloni

Piatto

da definire

da definire

$t_p = 15 \text{ mm}$

$b_p = 200 \text{ mm}$

$h_p = 420 \text{ mm}$

$e_p = 50 \text{ mm}$

$e_x = 50 \text{ mm}$

$u = 20 \text{ mm}$

Saldature

$a_w = 4 \text{ mm}$

$a_f = 6 \text{ mm}$

Colonna

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

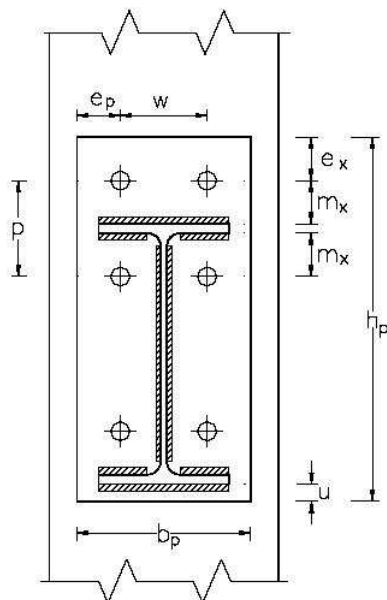
$t_{fc} = 11 \text{ mm}$

$r_c = 18 \text{ mm}$

Trave

$t_{fb} = 10.7$

$t_{wb} = 7.1$



Esempio

Collegamento flangiato trave colonna

La trazione corrispondente a M_{Rd} è portata dai 4 bulloni superiori

- Valuto la trazione
- Dimensiono i bulloni a trazione

MEd	100	kNm											
braccio coppia interna				289.3	mm								
forza di trazione			FEd	345.7	kN								
numero bulloni				4									
forza su un bullone			Ft,Ed	86.4	kN								
dimensionamento bullone	per dare sufficiente resistenza a trazione												
classe	6.8			area Ares necessaria	200.0	mm ²	>	M18					
fub	600	MPa		scelgo	M20								
				d	20	mm							
				A	314	mm ²							
				Ares	245	mm ²							
				dm	32	mm							
				Ft,Rd	105.8	kN	verificato						

$$F_{Ed} = 345.7 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = 86.4 \text{ kN per 1 bullone}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 A_{res} f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{t,Rd} = 105.8 \text{ kN per 1 bullone}$$

Vedi file Bulloni e T-stub, foglio Flangia

Esempio

Collegamento flangiato trave colonna

La trazione corrispondente a M_{Rd} è portata dai 4 bulloni superiori

- Valuto la trazione
- Dimensiono i bulloni a trazione
- Valuto lo spessore della flangia necessario per non avere problemi a punzonamento

dimensionamento flangia			per dare sufficiente resistenza a punzonamento									
Acciaio	S275											
f_y	275	MPa		t necessario	4.16	mm						
f_u	430	MPa										

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}}$$

Vedi file Bulloni, foglio Flangia

Esempio

Collegamento flangiato trave colonna

Completo la definizione geometrica

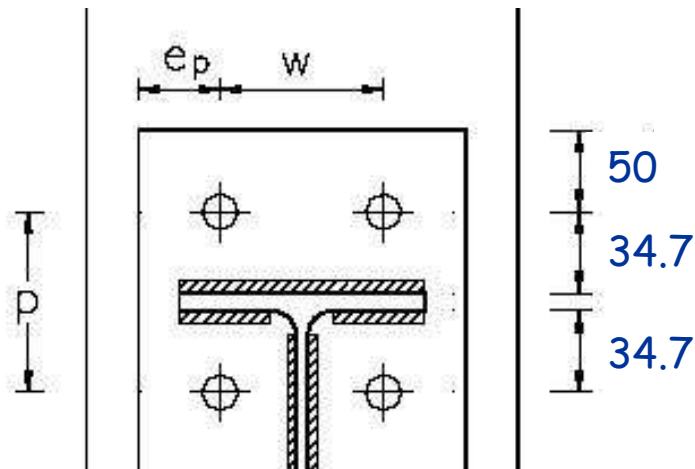
- Assegno il valore di p , ricordando che devo lasciare sufficiente distanza tra i fori in verticale, anche per consentire di avvitare i bulloni

posso usare $p = 80 \text{ mm}$

la distanza da filo ala è $(80 - 10.7)/2 = 34.65 \text{ mm}$

- Calcolo m : $m = 34.65 - 0.8 a \sqrt{2} = 27.9 \text{ mm}$

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



Vedi file Bulloni, foglio Flangia

Esempio

Collegamento flangiato trave colonna

Completo la definizione geometrica

- Assegno lo spessore e valuto la possibilità di effetto leva

$$L_b = t_{f,c} + t_p + (t_h + t_n)/2 = 36 \text{ mm}$$

$$L_b \geq \frac{8.8 \text{ m}^3 A_{res}}{L_f t_f^3} = 69.1 \text{ mm}$$

NO: si può avere effetto leva

verifica flangia (se t è assegnato)									
spessore ala colonna			tf,c	11	mm				
spessore flangia			tp	15	mm				
			Mpl,Rd	2946429	Nmm				
				2.946	kNm				
Lunghezza bullone soggetta a trazione				Lunghezza limite per effetto leva					
Lb	36	mm		69.1	mm	si può avere effetto leva			

$$M_{pl,Rd} = \frac{b_f t_f^2}{4} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Vedi file Bulloni e T-stub, foglio Flangia

Esempio

Collegamento flangiato trave colonna

Progetto la flangia in modo che resista a flessione

- Con effetto leva
 - modo 1: è il meno gravoso per la flangia, ma bisogna controllare i bulloni

con effetto leva, modo 1			FT1,Rd	423.0	kN	verificato				$F_{T,1,Rd} = \frac{4 M_{pl,Rd}}{m}$
			Q	58.9	kN					
			1 bullone	135.2	kN	non verificato				

Per il singolo bullone

$$F_{t,Ed} = 135.2 \text{ kN} > F_{t,Rd}$$

Il bullone non ce la fa

Vedi file Bulloni e T-stub, foglio Flangia

Esempio

Collegamento flangiato trave colonna

Progetto la flangia in modo che resista a flessione

- Con effetto leva

- modo 2: è un po' più gravoso per la flangia (rispetto al modo 1) ma il bullone sta bene

con effetto leva, modo 2			FT2,Rd	347.5	kN	verificato	$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,Rd} + n_b \min(F_{t,Rd}, B_{b,Rd}) e}{m + e}$
			Q	37.9	kN		
			1 bullone	105.8	kN		

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

E il bullone ovviamente sta bene

Collegamento flangiato trave colonna

- [illegible]

- | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------|-----|----------------------------|-------|----------------------|--|--|
| dimensionamento flangia | | | per resistenza a flessione | | (senza effetto leva) | | |
| Mpl,Ed | 4815378 | Nmm | | | | | |
| | 4.815 | kNm | t necessario | 19.18 | mm | | $M_{pl,Rd} = \frac{b_f t_f^2}{4} \frac{f_y}{\gamma_{MO}} \geq \frac{F_{Ed}}{2} m$ |
| | | | | | (con effetto leva) | | |
| Mpl,Ed | 2872926 | Nmm | | | | | |
| | 2.873 | kNm | t necessario | 14.81 | mm | | $M_{pl,Rd} = \frac{b_f t_f^2}{4} \frac{f_y}{\gamma_{MO}} \geq \frac{F_{Ed} (m + e) - n_b F_{t,Rd} e}{2}$ |