

Corso di aggiornamento

Elementi strutturali e collegamenti in acciaio

11 - Collegamenti bullonati

Villa Redenta, Spoleto

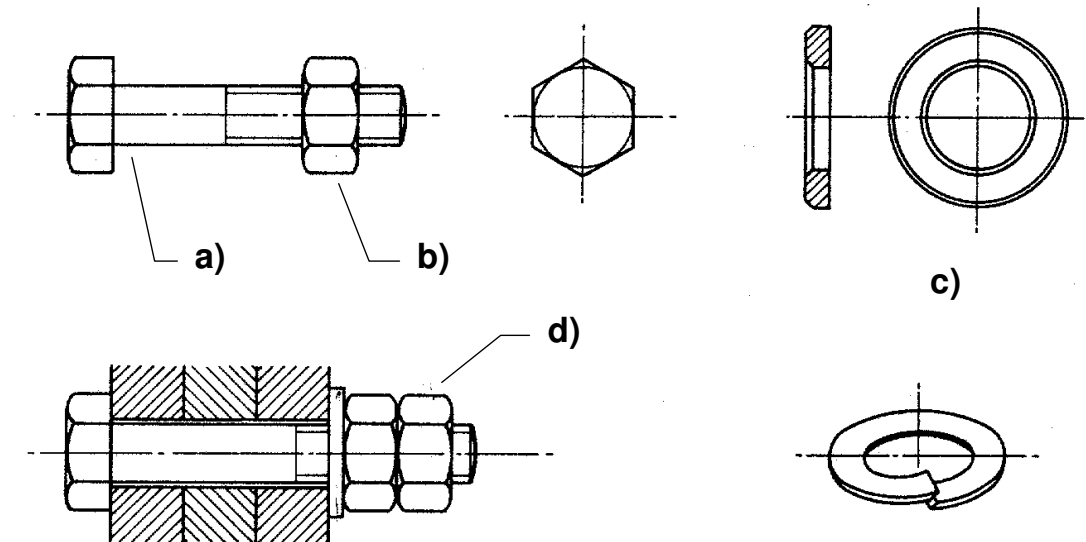
2-4 marzo 2017

Aurelio Ghersi

I bulloni

Sono costituiti da:

- a) vite con testa esagonale e gambo filettato in tutta o in parte
- b) dado di forma esagonale
- c) rondella sia del tipo elastico che rigido (o rosetta)
- d) controdado (se necessario) per garantire che il dado non si sviti neanche in presenza di vibrazioni



I bulloni

caratteristiche geometriche

- diametro (nominale)
individuato dalla lettera M più il diametro in mm

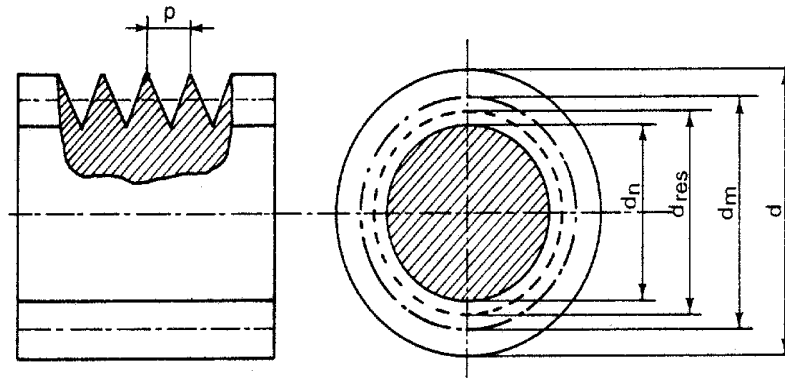
diámetro (mm)	12	14	16	18	20	22	24	27	30
sigla	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30

- lunghezza
tale da assicurare l'attraversamento degli elementi da collegare;
non eccessiva per evitare sprechi e necessità di tagliare i pezzi
in eccesso
- lunghezza della parte filettata

I bulloni

area nominale ed area resistente

- la sezione si riduce in corrispondenza della filettatura



sigla	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30
$A \text{ (mm}^2\text{)}$	113	154	201	254	314	380	452	573	707
$A_{res} \text{ (mm}^2\text{)}$	84.3	115	157	192	245	303	353	459	581
A_{res} / A	0.75	0.75	0.78	0.75	0.78	0.80	0.78	0.80	0.82

I bulloni

classe di resistenza

- Sigla che individua le caratteristiche dell'acciaio: due numeri separati da un punto
 - Primo numero: indica la tensione di rottura in MPa (divisa per 100: 4 → 400 MPa)
 - Secondo numero: indica il rapporto tra tensione di snervamento e tensione di rottura (moltiplicato per 10: 6 → 0.6)

bulloni ad alta resistenza

- Classi previste dalle NTC08:



classe	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
f_{ub} (MPa)	400	500	600	800	1000
f_{yb} (MPa)	240	300	480	640	900

NTC08, punto 4.2.8.1.1

I bulloni

diametri dei fori

- condiziona sia la facilità di montaggio della struttura che la sua deformazione

d diametro bullone

d_0 diametro foro

$d-d_0$ gioco foro-bullone

diametro bullone d	12	14	16	18	20	22	24	27	30
NTC08	1	1	1	1	1	1.5	1.5	1.5	1.5
Eurocodice 3	1	1	2	2	2	2	2	3	3

Valori massimi del gioco foro-bullone (mm)

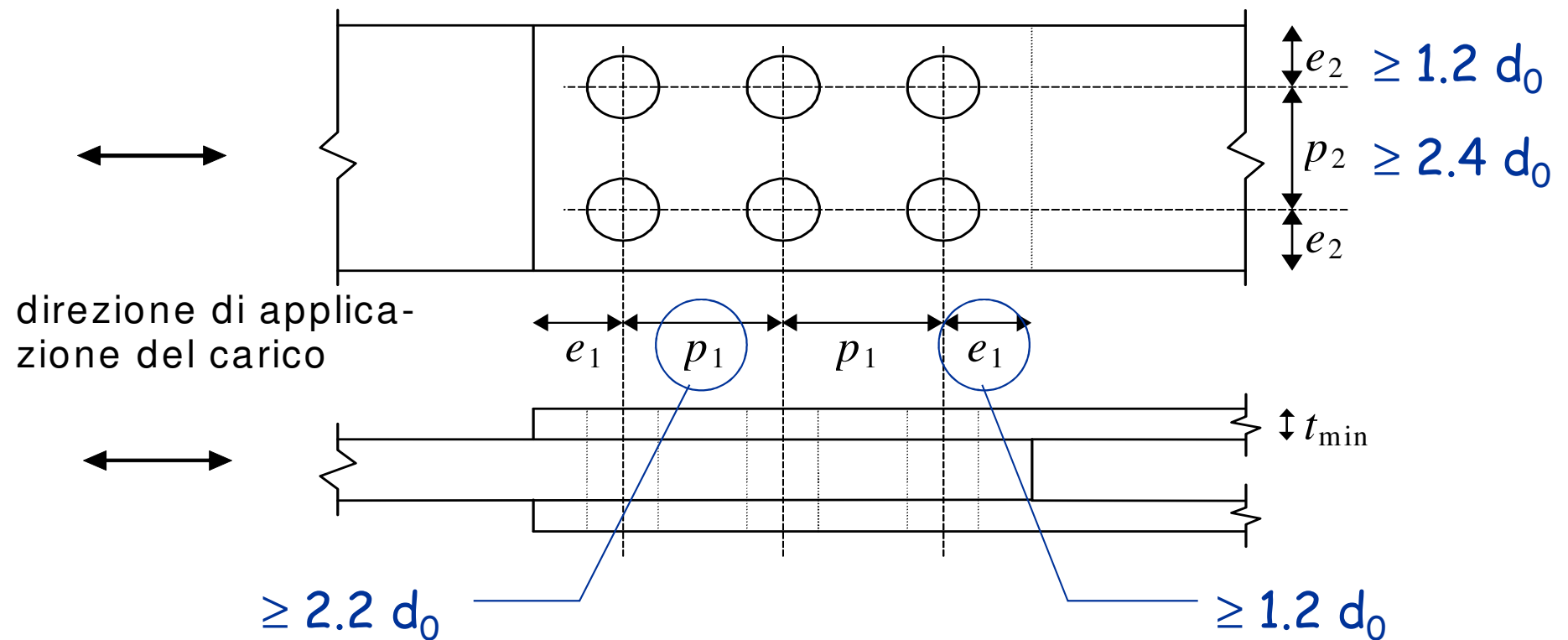
- fori calibrati: $d-d_0 \leq 0.3$ mm
usati per limitare al massimo le deformazioni indotte dallo scorrimento del bullone nel foro

NTC08, punto 4.2.8.1.1

I bulloni

distanze tra fori e foro-bordo

- limiti per le distanze minime, sia in direzione della forza trasmessa che perpendicolarmente



I limiti nascono da problemi di resistenza della lamiera

I bulloni

distanze tra fori e foro-bordo

- limiti per le distanze massime, sia in direzione della forza trasmessa che perpendicolarmente

Distanze massime	Esposizione ad fenomeni corrosivi o ambientali	
	Unioni esposte	Unioni non esposte
e_1	$4 t + 40 \text{ mm}$	--
e_2	$4 t + 40 \text{ mm}$	--
p_1	$\min(14t; 200\text{mm})$	$\min(14t; 200\text{mm})$
p_2	$\min(14t; 200\text{mm})$	$\min(14t; 200\text{mm})$

L'instabilità del piatto tra i bulloni non deve essere considerata se

$$p_1 < 9 \sqrt{\frac{235}{f_y}} t$$

I limiti nascono da problemi di durabilità e resistenza e instabilità della lamiera

I bulloni serraggio

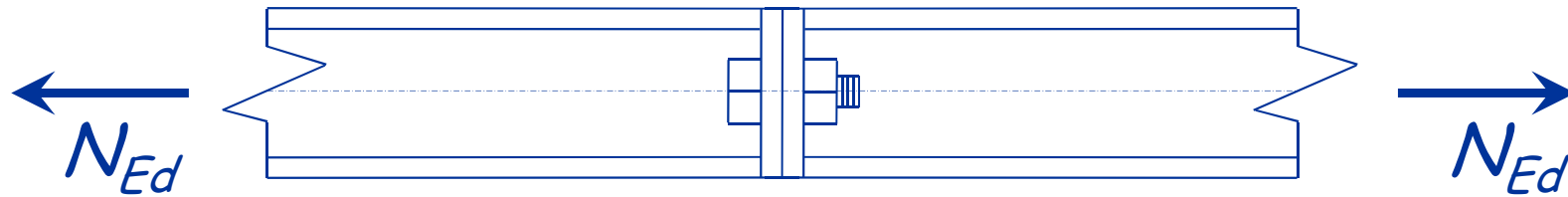
- Serraggio:
 - importante per garantire un buon comportamento e limitare deformabilità
 - fondamentale nelle unioni ad attrito
- Forza di precarico:

$$F_{p,Cd} = 0.7 \frac{f_{ub} A_{res}}{\gamma_{M7}}$$

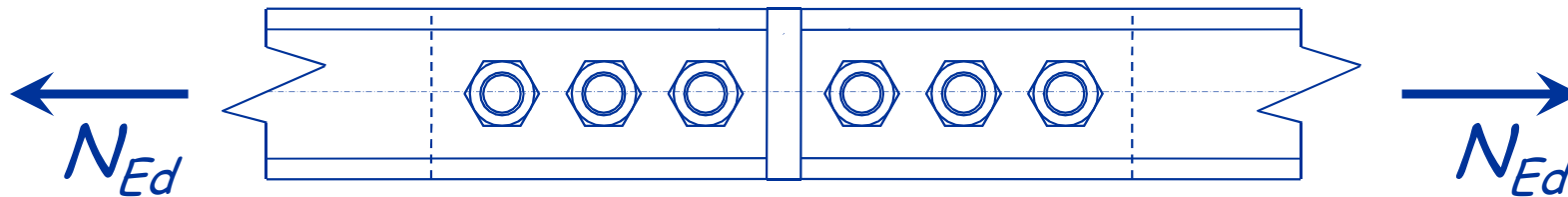
$$\gamma_{M7} = 1.10$$

Collegamenti bullonati modalità di comportamento

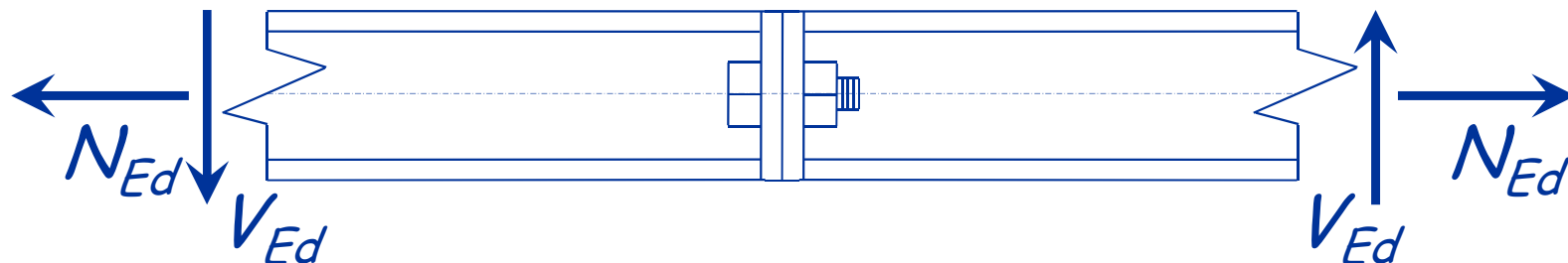
1 - Con bulloni sollecitati a trazione



2 - Con bulloni sollecitati a taglio



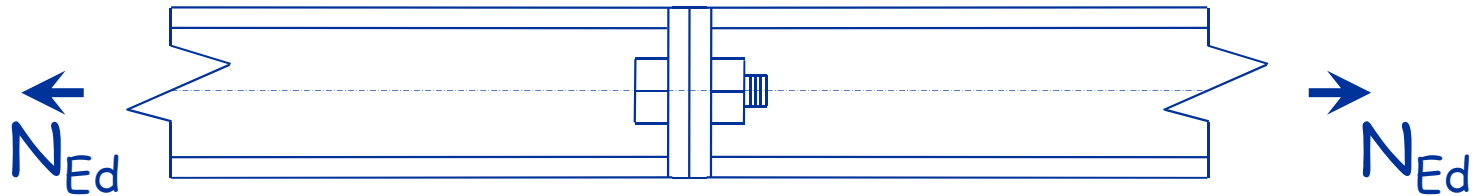
3 - Con bulloni sollecitati a trazione e taglio



Bulloni soggetti a trazione

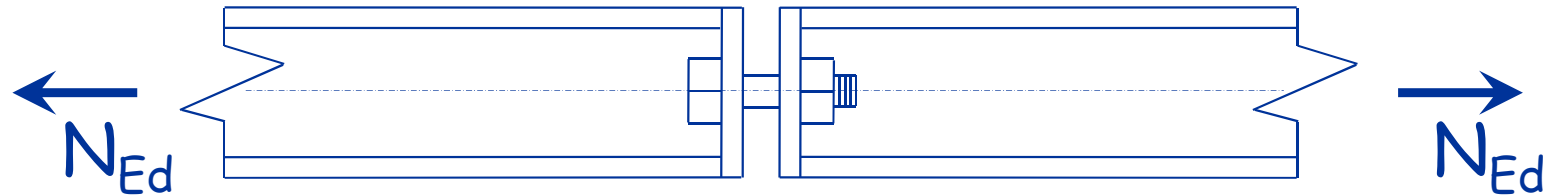
Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

Meccanismi di rottura



Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

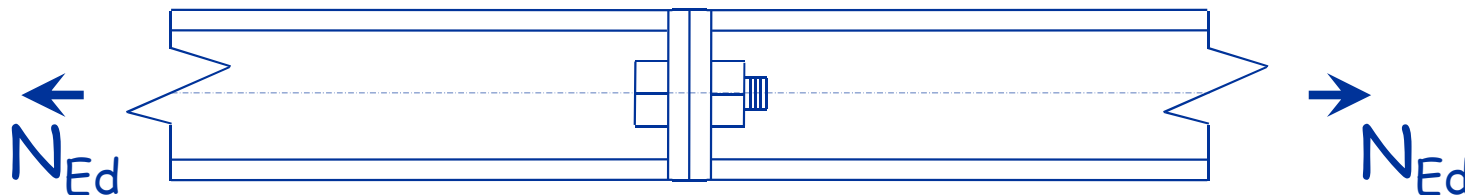
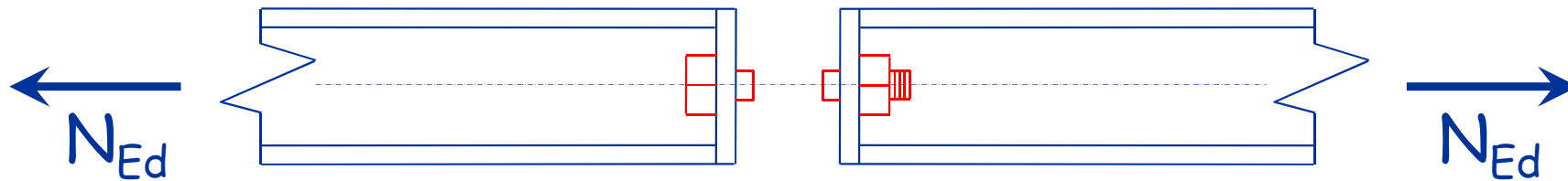
Meccanismi di rottura



Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

Meccanismi di rottura

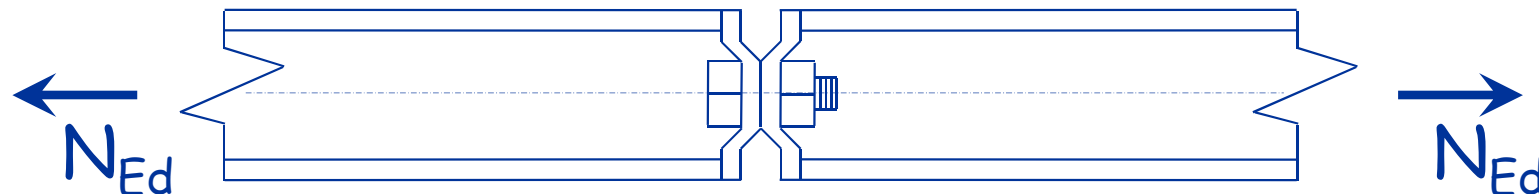
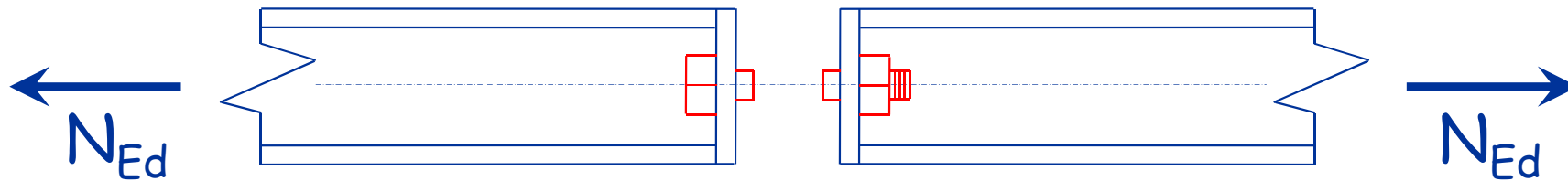
1 - Rottura dei bulloni a trazione



Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

Meccanismi di rottura

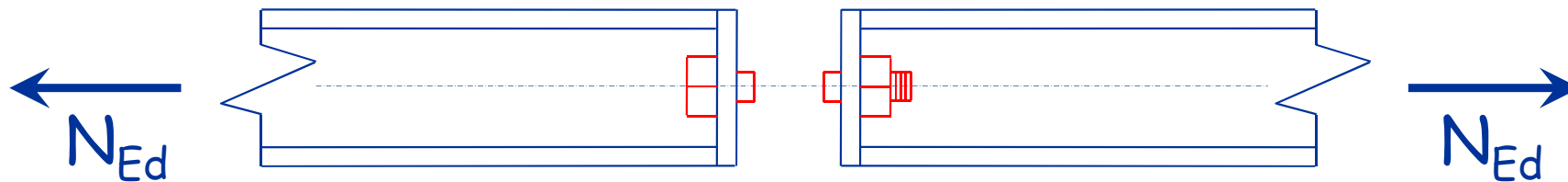
1 - Rottura dei bulloni a trazione



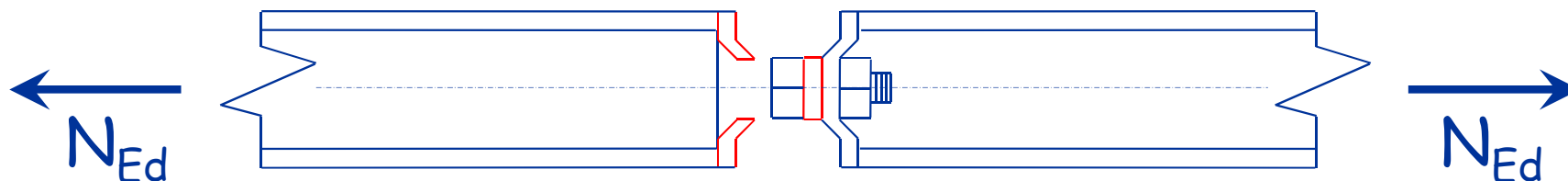
Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

Meccanismi di rottura

1 - Rottura dei bulloni a trazione

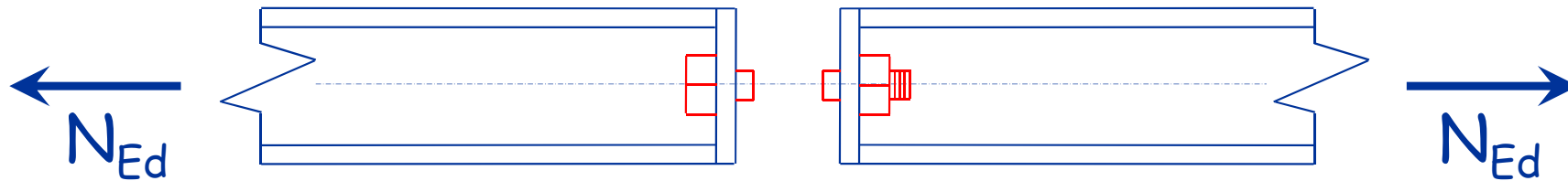


2 - Punzonamento della piastra



Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

1 - Rottura dei bulloni a trazione



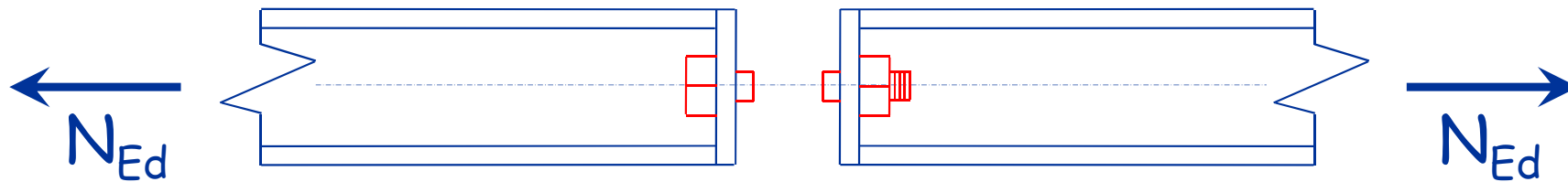
La tensione nel bullone per effetto della forza F_t è uniforme

$$\sigma = \frac{F_t}{A_{res}}$$

A_{res} Area resistente del bullone

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

1 - Rottura dei bulloni a trazione



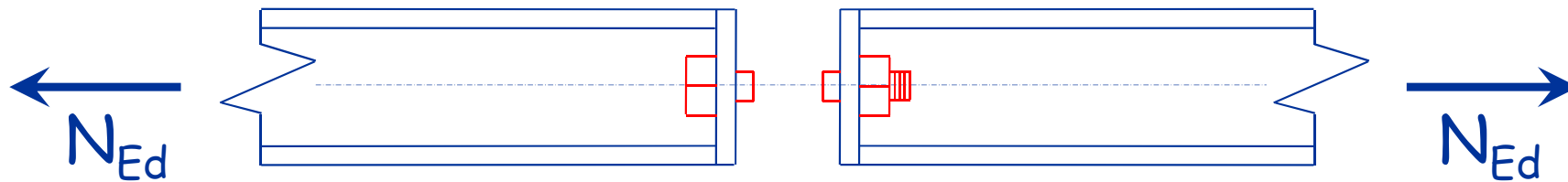
Il bullone si rompe quando la tensione sul bullone è pari a f_{ub}

$$F_{t,max} = A_{res} f_{ub}$$

A_{res} Area resistente del bullone

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

1 - Rottura dei bulloni a trazione



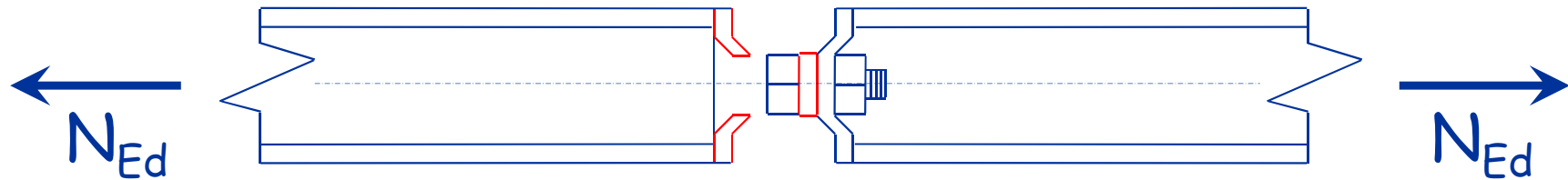
Il bullone si rompe quando la tensione sul bullone è pari a f_{ub}

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

A_{res} Area resistente del bullone

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

2 - Punzonamento della piastra

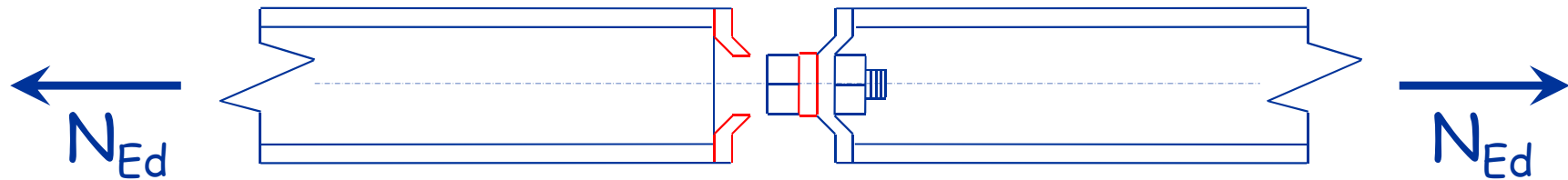


La superficie di rottura è cilindrica con altezza t_p e diametro d_m

$$\tau = \frac{F_t}{\pi d_m t_p}$$

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

2 - Punzonamento della piastra



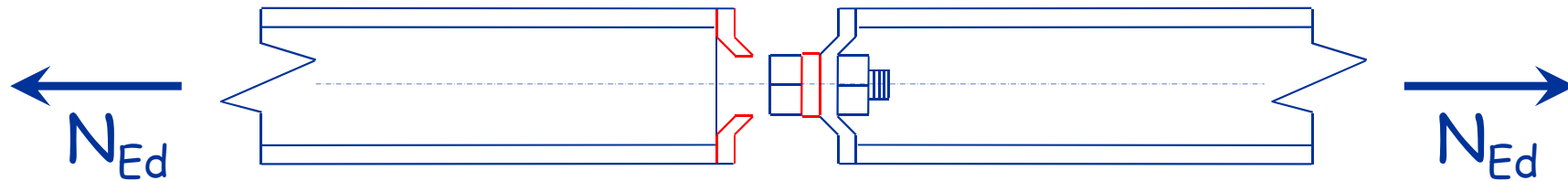
Secondo il criterio di Von Mises la piastra si rompe quando la tensione ideale sulla giacitura di rottura è pari ad f_u :

$$\sigma_{id} = \sqrt{(\sigma^2 + 3 \tau^2)} = \sqrt{3} \tau = f_u$$

ovvero...

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

2 - Punzonamento della piastra



La piastra si rompe quando la tensione tangenziale sulla giacitura di rottura è pari a $f_u / \sqrt{3}$

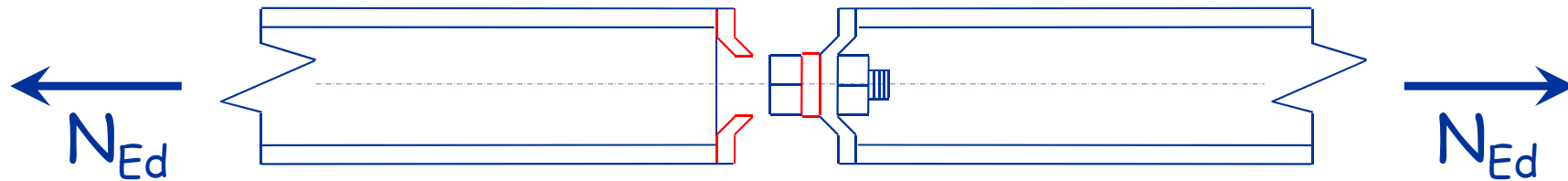
$$B_{p,max} = \pi d_m t_p (f_u / \sqrt{3})$$

d_m Diametro della giacitura di rottura

t_p Spessore della piastra

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

2 - Punzonamento della piastra



La piastra si rompe quando la tensione tangenziale sulla giacitura di rottura è pari a $f_u / \sqrt{3}$

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

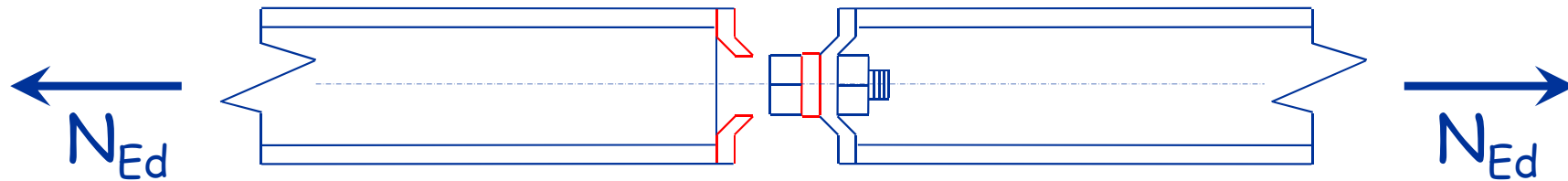
d_m Diametro della giacitura di rottura

t_p Spessore della piastra

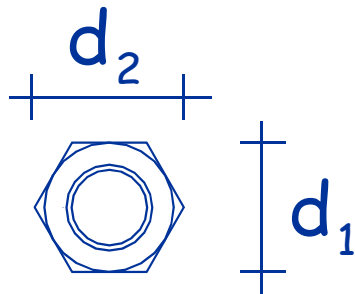
NTC08, punto 4.2.8.1.1

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

2 - Punzonamento della piastra



Diametro della giacitura di rottura



$$d_m = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

$$d_m \cong 1.6 d$$

Verifica di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

1 - Rottura dei bulloni a trazione

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

A_{res} Area resistente del bullone

2 - Punzonamento della piastra

$$F_{t,Ed} \leq B_{p,Rb} = \frac{0.6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}}$$

d_m Diametro della giacitura di rottura

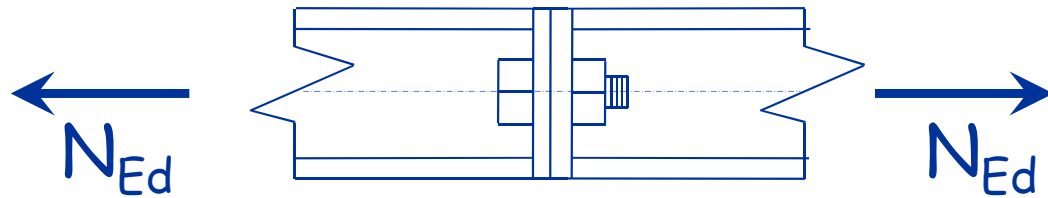
t_p Spessore della piastra

NTC08, punto 4.2.8.1.1

Esempio

collegamento tra profili HE flangiati

Dati:



N_{Ed}	100 kN
Acciaio	S235
2 Bulloni	M16
	classe 5.6
Piatto	$t_p = 5 \text{ mm}$

1 - Determinazione di $F_{t,Rd}$ (per un bullone)

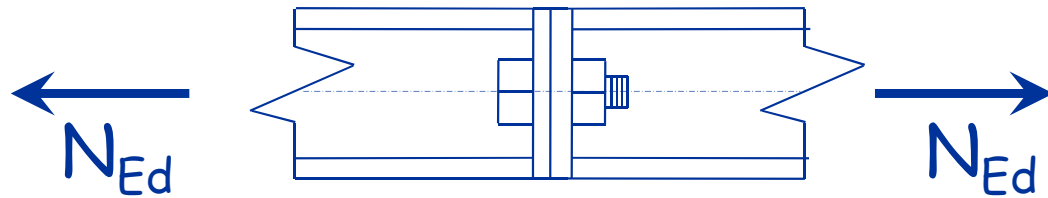
$$A_{res} = 157 \text{ mm}^2$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 A_{res} f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 \times 157 \times 500}{1.25 \times 10^3} = 56.5 \text{ kN}$$

Esempio

collegamento tra profili HE flangiati

Dati:



N_{Ed}	100 kN
Acciaio	S235
2 Bulloni	M16
	classe 5.6
Piatto	$t_p = 5 \text{ mm}$

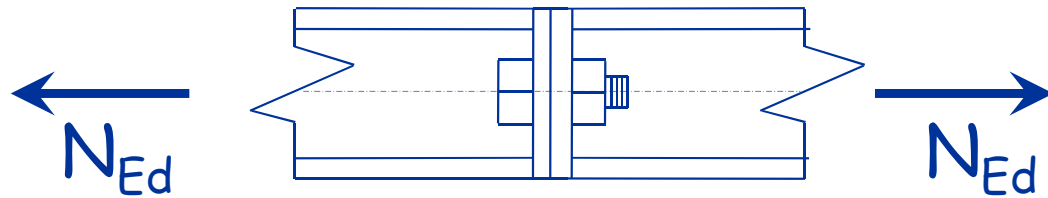
2 - Determinazione di $B_{p,Rd}$ (per un bullone)

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.6 \times \pi \times 25.6 \times 5 \times 360}{1.25 \times 10^3} = 69.5 \text{ kN}$$

Esempio

collegamento tra profili HE flangiati

Dati:



N_{Ed}	100 kN
Acciaio	S235
2 Bulloni	M16
	classe 5.6
Piatto	$t_p = 5 \text{ mm}$

3 - Verifica

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{n_b} = \frac{100}{2} = 50.0 \text{ kN}$$

$$< F_{t,Rd} < B_{p,Rd}$$

$$F_{t,Rd} = 56.5 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = 69.5 \text{ kN}$$

Il collegamento è verificato

Occorre però verificare anche la resistenza a flessione del piatto

Applicazioni

Foglio di calcolo Bulloni e T-stub

È disponibile il file Excel Bulloni e T-stub

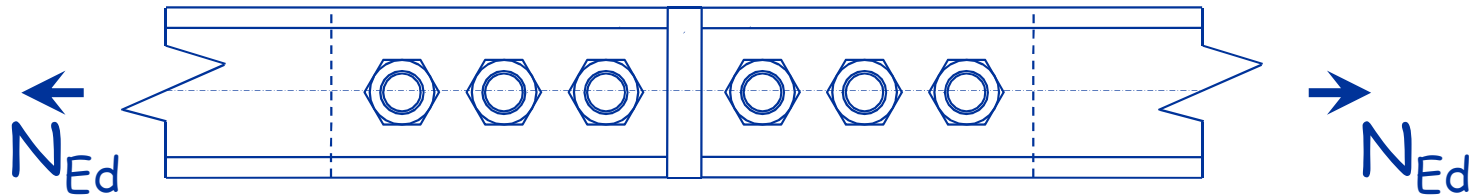
- Il foglio Trazione consente la verifica a trazione e punzonamento

Bulloni sollecitati a trazione										
Resistenza a trazione								ft,Rd	56.52	kN
bullone	M16		d	16	mm					
			A	201	mm ²					
			Ares	157	mm ²					
classe	5.6		γM2	1.25						
diametro dm	25.6	mm	fub	500	MPa					
Resistenza a punzonamento								Bp,Rd	69.49	kN
spessore tp	5	mm								
acciaio	S235		fy	235	MPa					
			fu	360	MPa					

Bulloni soggetti a taglio

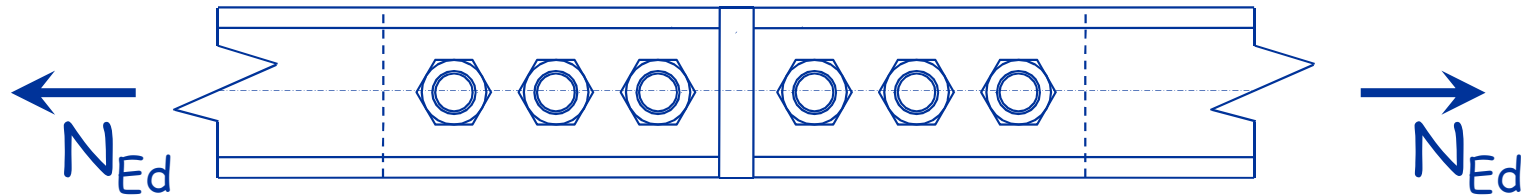
Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

Meccanismi di rottura



Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

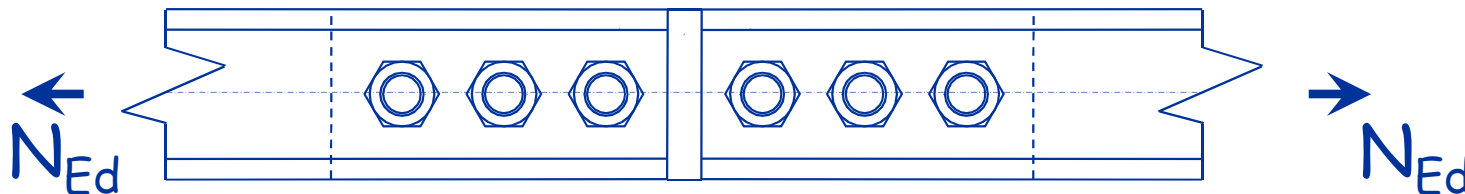
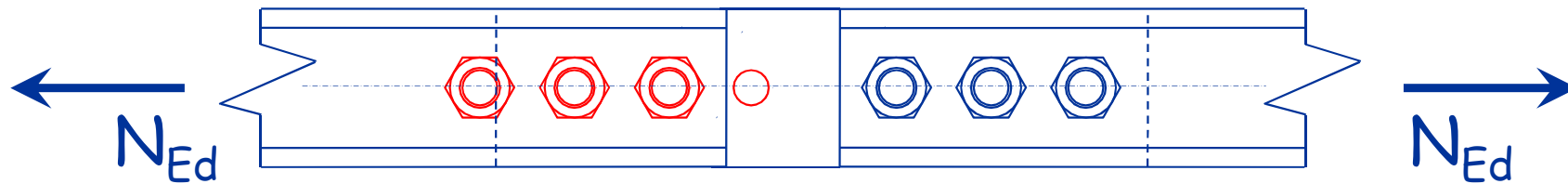
Meccanismi di rottura



Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

Meccanismi di rottura

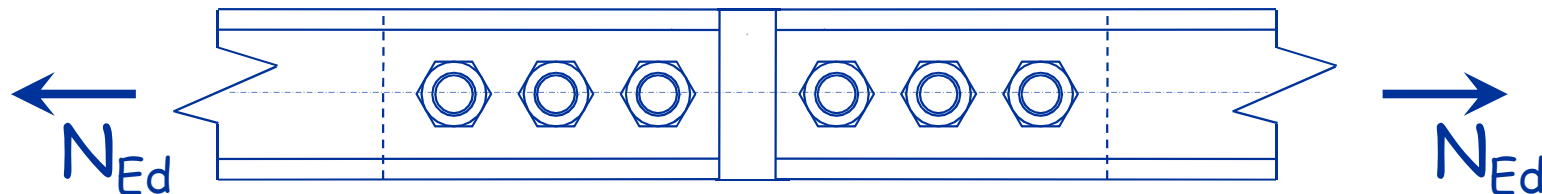
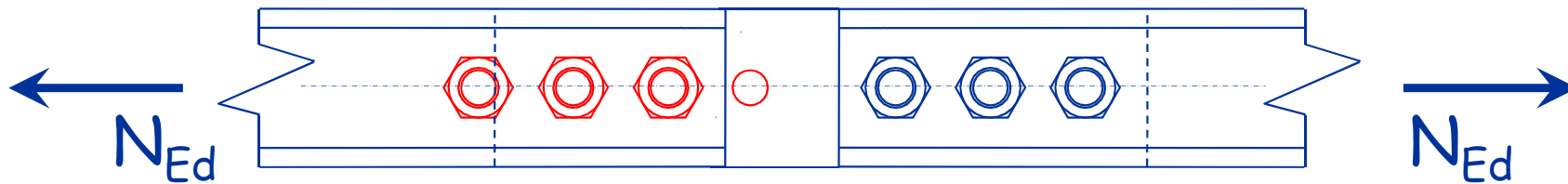
1 - Rottura dei bulloni a taglio



Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

Meccanismi di rottura

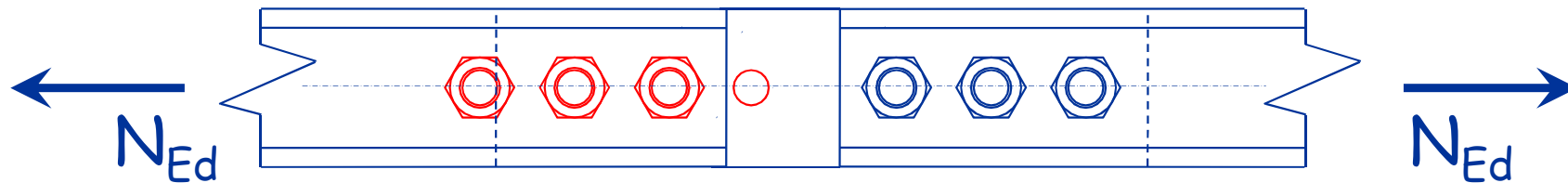
1 - Rottura dei bulloni a taglio



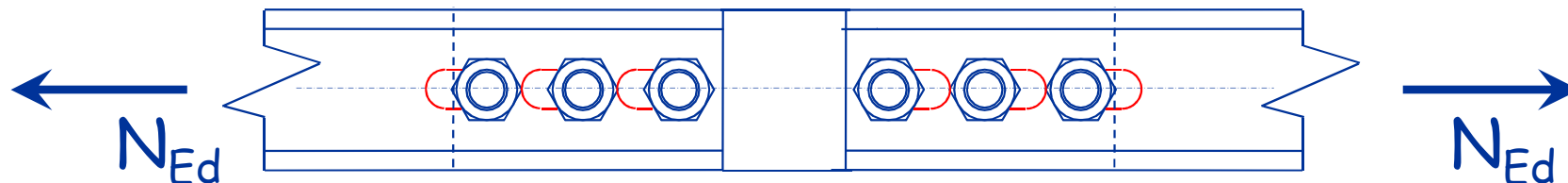
Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

Meccanismi di rottura

1 - Rottura dei bulloni a taglio

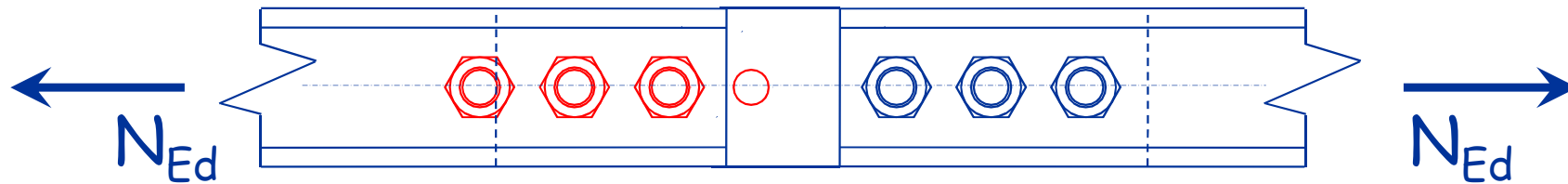


2 - Rifollamento delle lamiere



Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

1 - Rottura dei bulloni a taglio



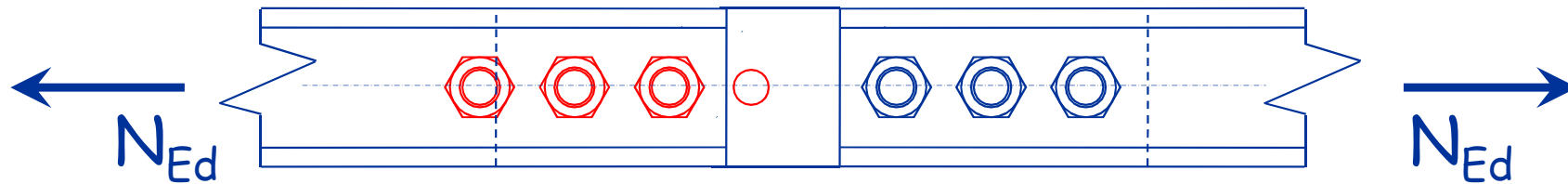
Il bullone si rompe quando la tensione tangenziale sul bullone è pari a $f_{ub} / \sqrt{3}$

$$F_{V,max} = A (f_{ub} / \sqrt{3})$$

A Area nominale del bullone

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

1 - Rottura dei bulloni a taglio



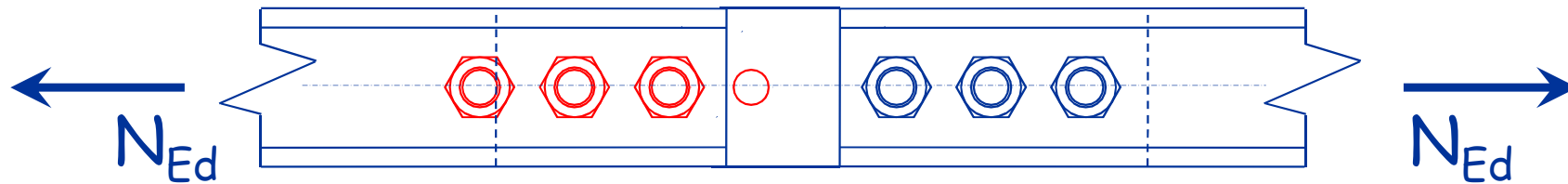
Il bullone si rompe quando la tensione tangenziale sul bullone è pari a $f_{ub} / \sqrt{3}$

$$F_{v,Rd} = \frac{A (0.6 f_{ub})}{\gamma_{M2}}$$

A Area nominale del bullone

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

1 - Rottura dei bulloni a taglio



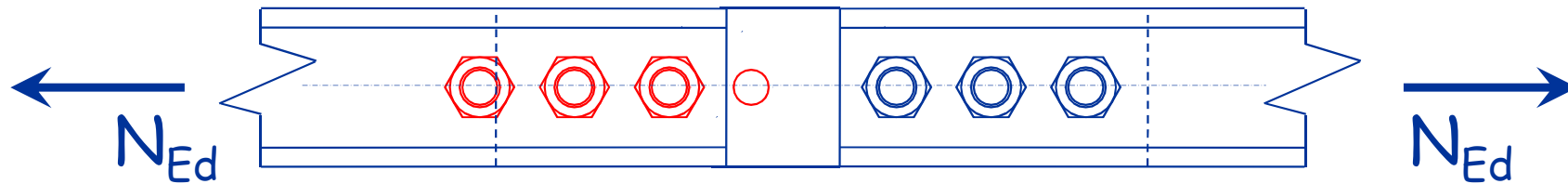
Se il piano di taglio non attraversa la parte filettata del bullone:

$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 A f_{ub}}{\gamma_{M2}} \quad (\text{per tutte le classi di bulloni})$$

A Area nominale del bullone

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

1 - Rottura dei bulloni a taglio



Se il piano di taglio attraversa la parte filettata del bullone:

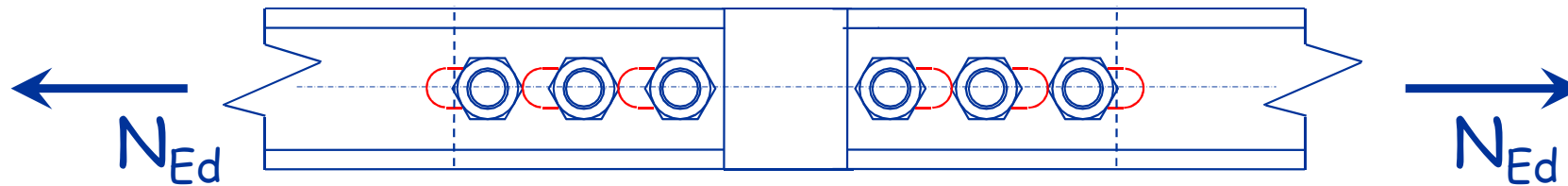
$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 A_{res} f_{ub}}{\gamma_{M2}} \quad (\text{per bulloni di classe 4.6, 5.6 ed 8.8})$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0.5 A_{res} f_{ub}}{\gamma_{M2}} \quad (\text{per bulloni di classe 6.8 e 10.9})$$

A_{res} Area resistente del bullone

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

2 - Rifollamento delle lamiere



Si ottiene quando la tensione esercitata dal bullone sulla lamiera raggiunge il valore convenzionale $k \propto f_u$

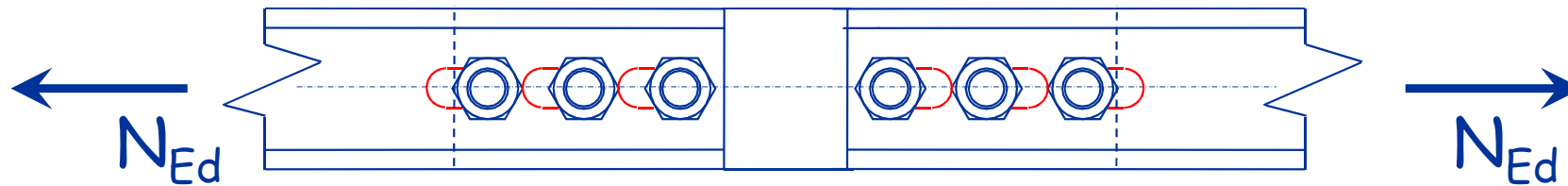
$$F_{b,max} = k \propto d t_p f_u$$

d Diametro del bullone

t_p Spessore della lamiera

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

2 - Rifollamento delle lamiere



Si ottiene quando la tensione esercitata dal bullone sulla lamiera raggiunge il valore convenzionale $k \propto f_u$

$$F_{b,max} = k \propto d t_p f_u$$

Bulloni:
di bordo

$$k = \min\left(\frac{2.8 e_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right)$$

$$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3 d_0}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right)$$

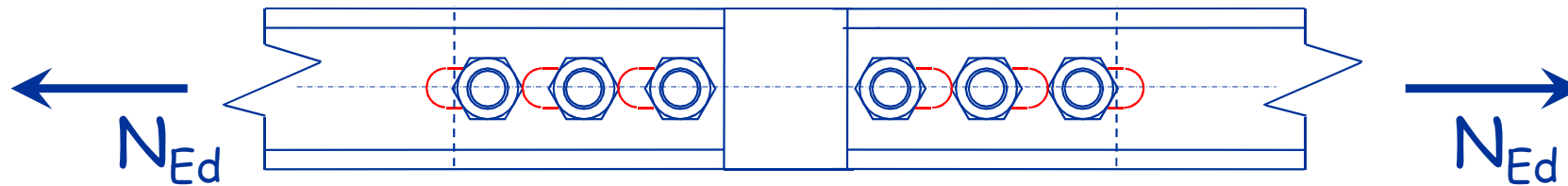
interni

$$k = \min\left(\frac{1.4 p_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right)$$

$$\alpha = \min\left(\frac{p_1}{3 d_0} - 0.25, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right)$$

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

2 - Rifollamento delle lamiere



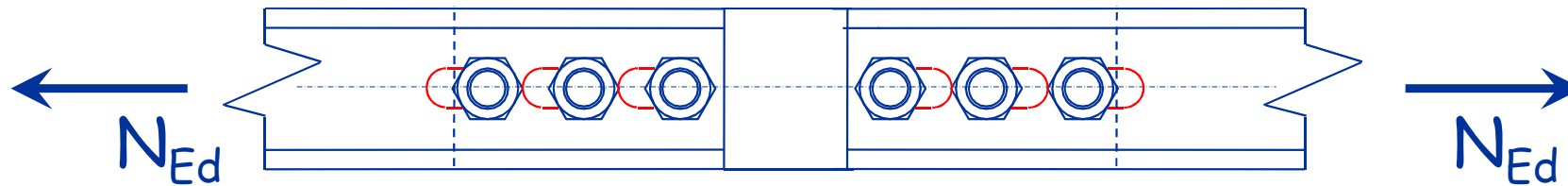
Si ottiene quando la tensione esercitata dal bullone sulla lamiera raggiunge il valore convenzionale $k \propto f_u$

$$F_{b,Rd} = \frac{k \propto d t_p f_u}{\gamma_{M2}}$$

Bulloni: di bordo	$k = \min\left(\frac{2.8 e_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right)$	$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3 d_0}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right)$
interni	$k = \min\left(\frac{1.4 p_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right)$	$\alpha = \min\left(\frac{p_1}{3 d_0} - 0.25, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right)$

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

2 - Rifollamento delle lamiere



Si ottiene quando la tensione esercitata dal bullone sulla lamiera raggiunge il valore convenzionale $k \alpha f_u$

$$F_{b,Rd} = \frac{k \alpha d t_p f_u}{\gamma_{M2}}$$

Si noti che:

$$k = 2.5 \quad \text{se} \quad e_2 \geq 1.5 d_0 \quad p_2 \geq 3 d_0$$

$$\alpha = 1 \quad \text{se} \quad e_1 \geq 1.5 d_0 \quad p_1 \geq 3.75 d_0 \quad \text{purché } f_{ub} \geq f_u$$

Verifica di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

1 - Rottura dei bulloni a taglio (rottura sulla sezione nominale)

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd} = \frac{0.6 A f_{ub}}{\gamma_{M2}} \quad (\text{rottura nella parte filettata})$$

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd} = \frac{0.6 A_{res} f_{ub}}{\gamma_{M2}} \quad \text{o} \quad F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd} = \frac{0.5 A_{res} f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

2 - Rifollamento della lamiera

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd} = \frac{k \alpha d t_p f_u}{\gamma_{M2}}$$

Bulloni:
di bordo

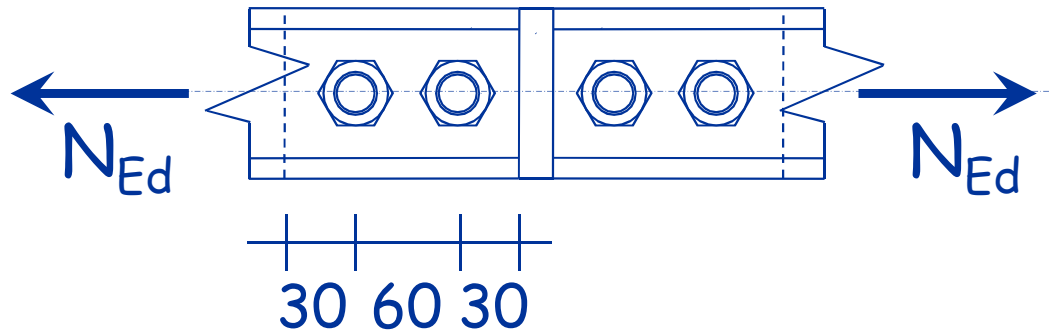
$$k = \min\left(\frac{2.8 e_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right) \quad \alpha = \min\left(\frac{e_1}{3 d_0}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right)$$

interni

$$k = \min\left(\frac{1.4 p_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right) \quad \alpha = \min\left(\frac{p_1}{3 d_0} - 0.25, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right)$$

Esempio

Dati:



N_{Ed}	100 kN
Acciaio	S235
Asta	2 U 65x42 $t_w = 5.5$ mm
2 Bulloni	M16, classe 5.6
Piatto	$t_p = 10$ mm

1 - Determinazione di $F_{v,Rd}$ (per singola sezione di bullone)

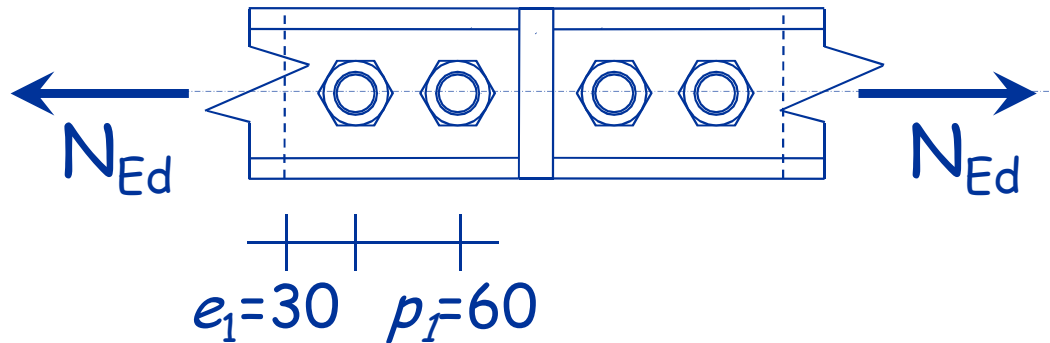
$$A = 201 \text{ mm}^2$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 A f_{ub}}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.6 \times 201 \times 500}{1.25 \times 10^3} = 48.2 \text{ kN}$$

N.B. In questo caso, ogni bullone porta 2 $F_{v,Rd}$

Esempio

Dati:



N_{Ed}	100 kN
Acciaio	S235
Asta	2 U 65x42
	$t_w = 5.5$ mm
2 Bulloni	M16, classe 5.6
Piatto	$t_p = 10$ mm

2 - Determinazione di $F_{b,Rd}$ (del piatto)

$$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3 d_0}, \frac{p_1}{3 d_0} - 0.25, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) = \min(0.588, 0.926, 1.39, 1)$$

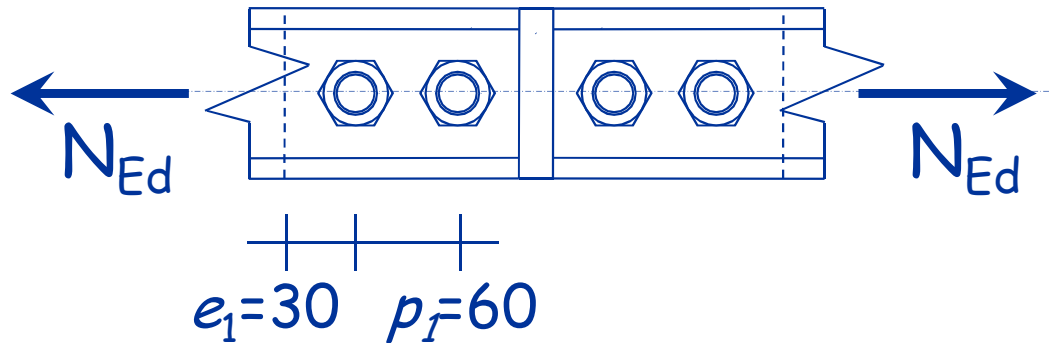
$$k = 2.5$$

$$d = 16 \text{ mm} \Rightarrow d_0 = 17 \text{ mm}$$

quasi sempre > 1

Esempio

Dati:



N_{Ed}

100 kN

Acciaio

S235

Asta

2 U 65x42

$t_w = 5.5$ mm

2 Bulloni

M16, classe 5.6

Piatto

$t_p = 10$ mm

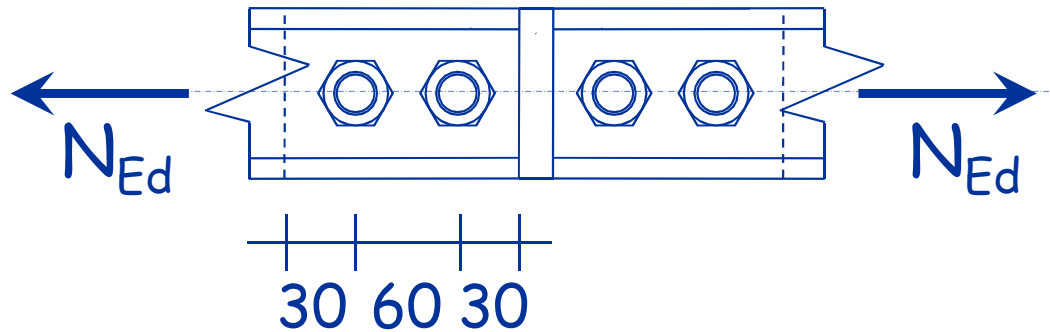
2 - Determinazione di $F_{b,Rd}$ (del piatto)

$$k = 2.5 \quad \alpha = 0.588$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 \times 0.588 \times 16 \times 10 \times 360}{1.25 \times 10^3} = 67.7 \text{ kN}$$

Esempio

Dati:



N_{Ed}

100 kN

Acciaio

S235

Asta

2 U 65x42

$t_w = 5.5$ mm

2 Bulloni

M16, classe 5.6

Piatto

$t_p = 10$ mm

3 - Verifica

$$F_{v,Ed} = \frac{N_{Ed}}{n_b} = \frac{100}{2} = 50.0 \text{ kN} < F_{b,Rd} < 2 F_{v,Rd}$$

$$2 F_{v,Rd} = 2 \times 48.2 = 96.4 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 67.7 \text{ kN}$$

Il collegamento è verificato

Applicazioni

Foglio di calcolo Bulloni e T-stub

È disponibile il file Excel Bulloni e T-stub

- Il foglio Taglio consente la verifica a taglio e rifollamento

Bulloni sollecitati a taglio									
Resistenza a taglio							f_v,Rd	48.24	kN
bullone	M16		d	16	mm		si usa		
			A	201	mm ²		A	201	mm ²
tutto filettato?	no		Ares	157	mm ²		coeff	0.6	
classe	5.6		γM2	1.25					
d0	17	mm	fub	500	MPa				
Resistenza a rifollamento							f_b,Rd	67.76	kN
spessore tp	10	mm							
acciaio	S235		f _y	235	MPa				
			f _u	360	MPa				
e1	30	mm	k	2.500					
p1	60	mm	α	0.588					
e2	32.5	mm							
p2	60	mm							

Collegamenti bullonati a taglio

suggerimento progettuale

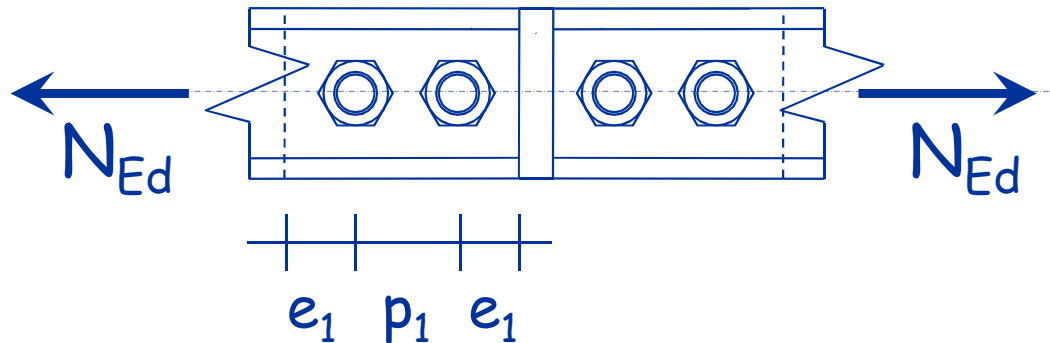
Dimensionamento:

- Progettare i bulloni in base alla resistenza a taglio
 - individuare il diametro massimo che si può usare (in base alle dimensioni dell'elemento da forare, ad esempio $d < 1/3 h$ profilato)
 - stabilire classe e diametro dei bulloni
 - determinare numero dei bulloni
- Usare la verifica a rifollamento per definire la distanza minima tra i bulloni
 - Controllare che siano soddisfatte le prescrizioni sulle distanze massime

Esempio 1

collegamento di asta tesa

Dati:



N_{Ed}	250 kN
Acciaio	S235
Asta	2 U 65x42 $t_w = 5.5$ mm
Bulloni	M16, classe 5.6
Piatto	$t_p = 10$ mm

1 - Determinazione del numero di bulloni

$$n_b = \frac{N_{Ed}}{2 F_{v,Rd}} = \frac{250}{2 \times 48.2} = \cancel{2.59}$$

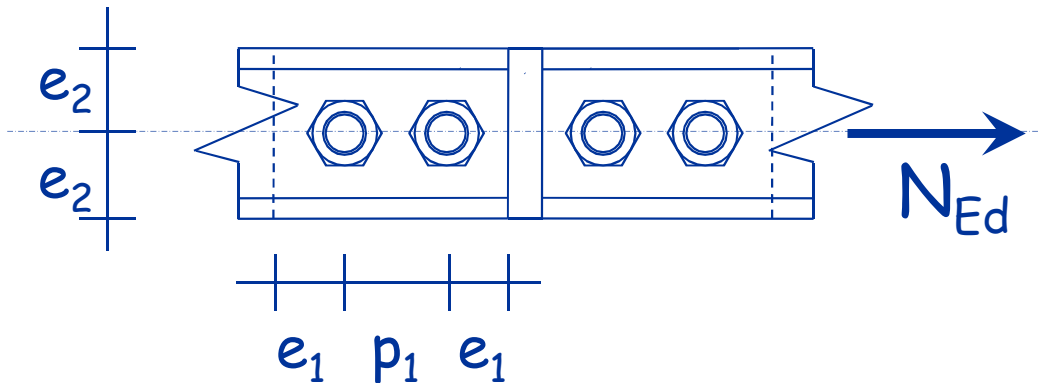
Uso 3 bulloni

N.B. In questo caso, ogni bullone porta $2 F_{v,Rd}$

Esempio 1

collegamento di asta tesa

Dati:



N_{Ed}

250 kN

Acciaio

S235

Asta

2 U 65x42

$t_w = 5.5$ mm

Bulloni

M16, classe 5.6

Piatto

$t_p = 10$ mm

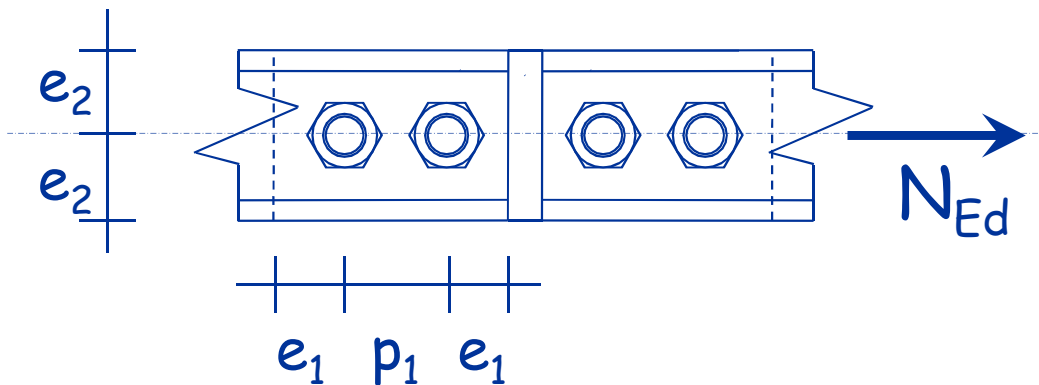
2 - Determinazione delle distanze (calcolo k)

$$\frac{e_2}{d_0} = \frac{65/2}{17} = 1.91 \geq 1.5 \quad \Rightarrow \quad k = 2.5$$

Esempio 1

collegamento di asta tesa

Dati:



N_{Ed}	250 kN
Acciaio	S235
Asta	2 U 65x42
	$t_w = 5.5 \text{ mm}$
Bulloni	M16, classe 5.6
Piatto	$t_p = 10 \text{ mm}$

2 - Determinazione delle distanze (calcolo α)

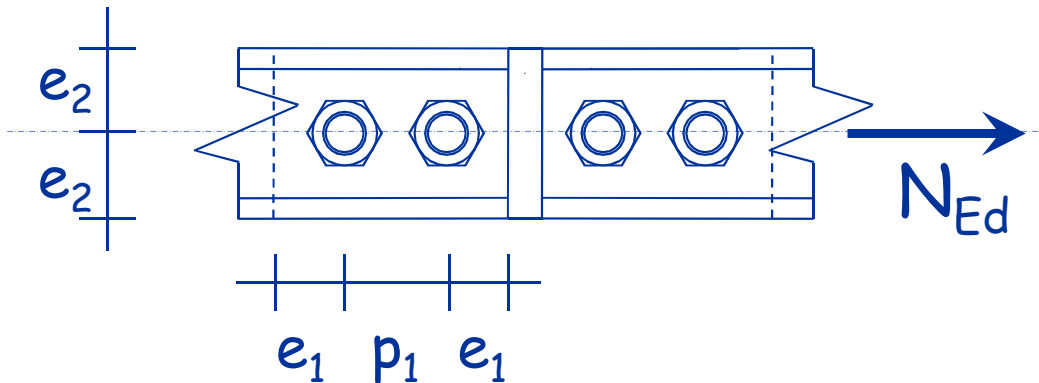
$$F_{b,Rd} = \frac{N_{Ed}}{n_b} = \frac{250}{3} = 83.3 \text{ kN}$$

$$\alpha = \frac{\gamma_{M2} (N_{Ed} / 3)}{k d t_p f_u} = \frac{1.25 \times 83.3 \times 10^3}{2.5 \times 16 \times 10 \times 360} = 0.723$$

Esempio 1

collegamento di asta tesa

Dati:



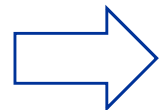
N_{Ed}	250 kN
Acciaio	S235
Asta	2 U 65x42
	$t_w = 5.5 \text{ mm}$
Bulloni	M16, classe 5.6
Piatto	$t_p = 10 \text{ mm}$

2 - Determinazione della distanza e_1 per $\alpha = 0.723$

$$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3 d_0}, \frac{p_1}{3 d_0} - 0.25, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right)$$

$$e_1 = 35 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{e_1}{3 d_0}$$



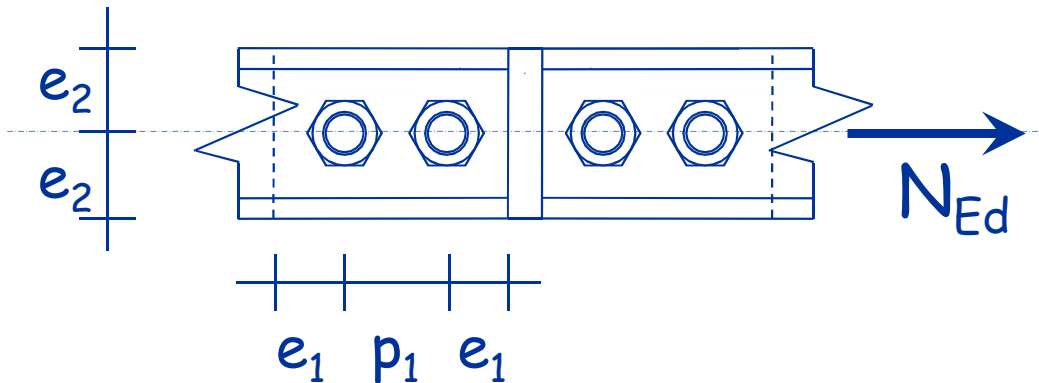
$$e_1 = 3 \alpha d_0 = 3 \times 0.723 \times 16 = 34.7 \text{ mm}$$



Esempio 1

collegamento di asta tesa

Dati:



N_{Ed}	250 kN
Acciaio	S235
Asta	2 U 65x42
	$t_w = 5.5$ mm
Bulloni	M16, classe 5.6
Piatto	$t_p = 10$ mm

2 - Determinazione della distanza p_1 per $\alpha = 0.723$

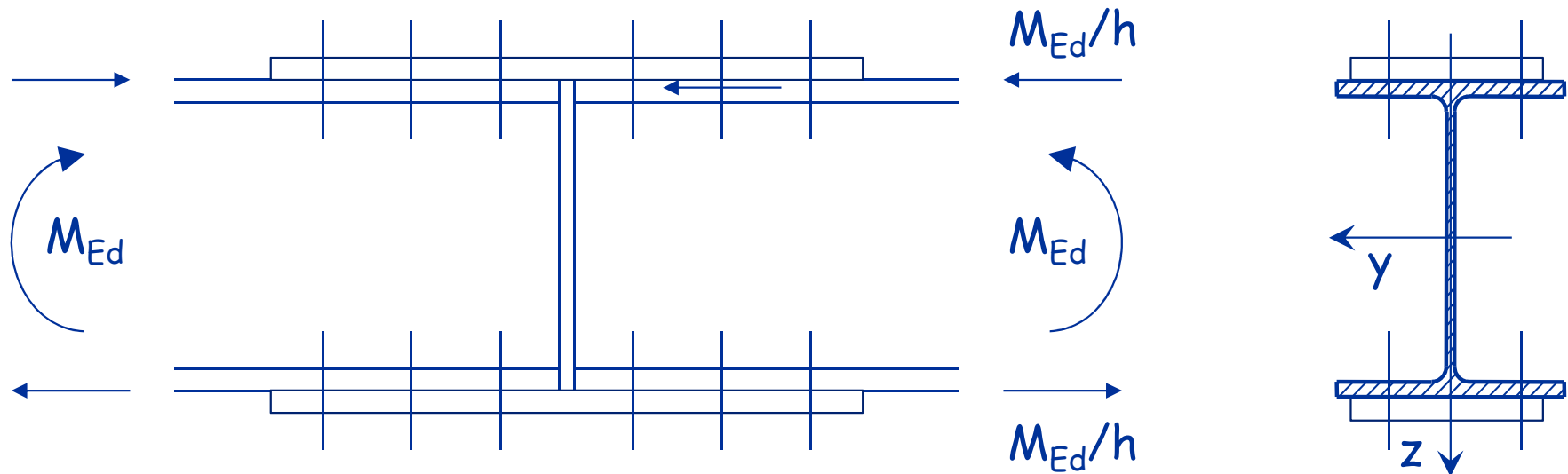
$$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3 d_0}, \frac{p_1}{3 d_0} - 0.25, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right)$$

$$p_1 = 50 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{p_1}{3 d_0} - 0.25 \Rightarrow p_1 = 3 (\alpha + 0.25) d_0 = \cancel{46.7} \text{ mm}$$

Esempio 2

collegamento trave-trave

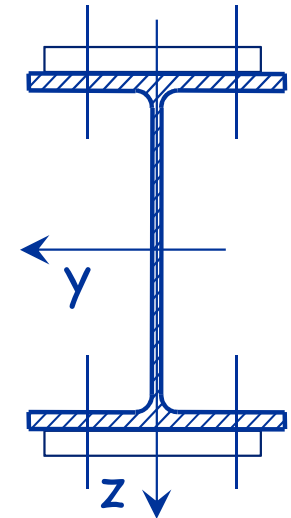
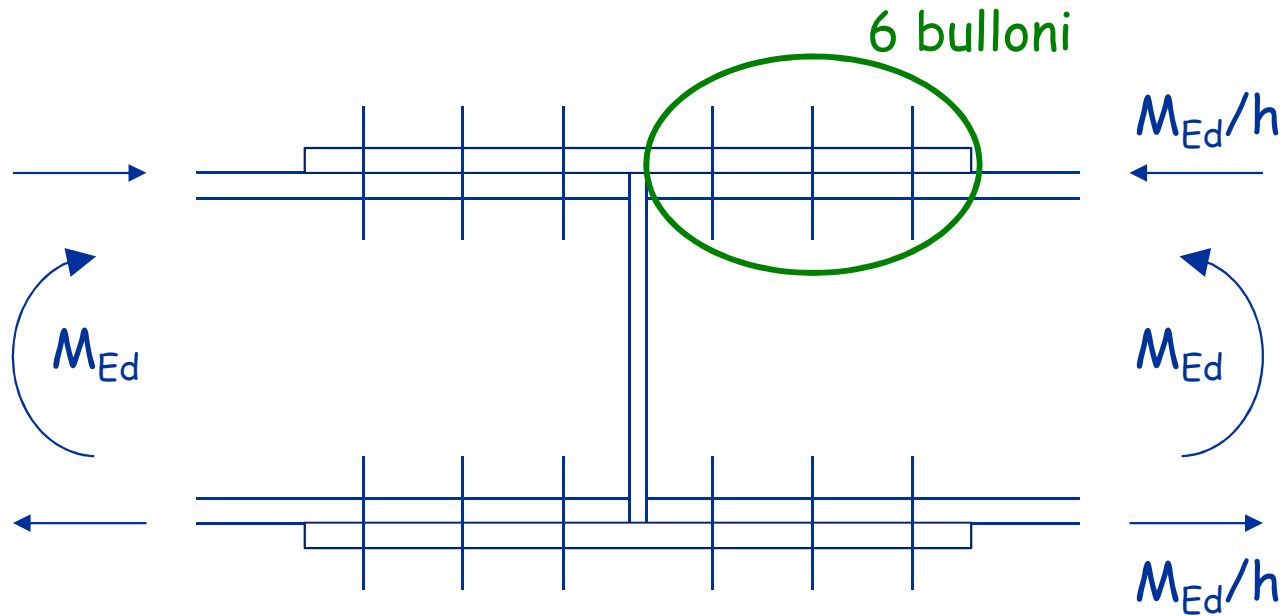


Il momento flettente equivale ad una coppia di forze

Per trasmettere la forza occorre disporre un piatto e bulloni, che lavorano a taglio

Esempio 2

collegamento trave-trave



Dati:

Acciaio S235

Trave IPE 240

$b = 120 \text{ mm}$

$h = 240 \text{ mm}$

$t_f = 9.8 \text{ mm}$

$M_{Ed} = 60 \text{ kNm}$

$$M_{Ed}/h = 250 \text{ kN}$$

Se uso bulloni M16

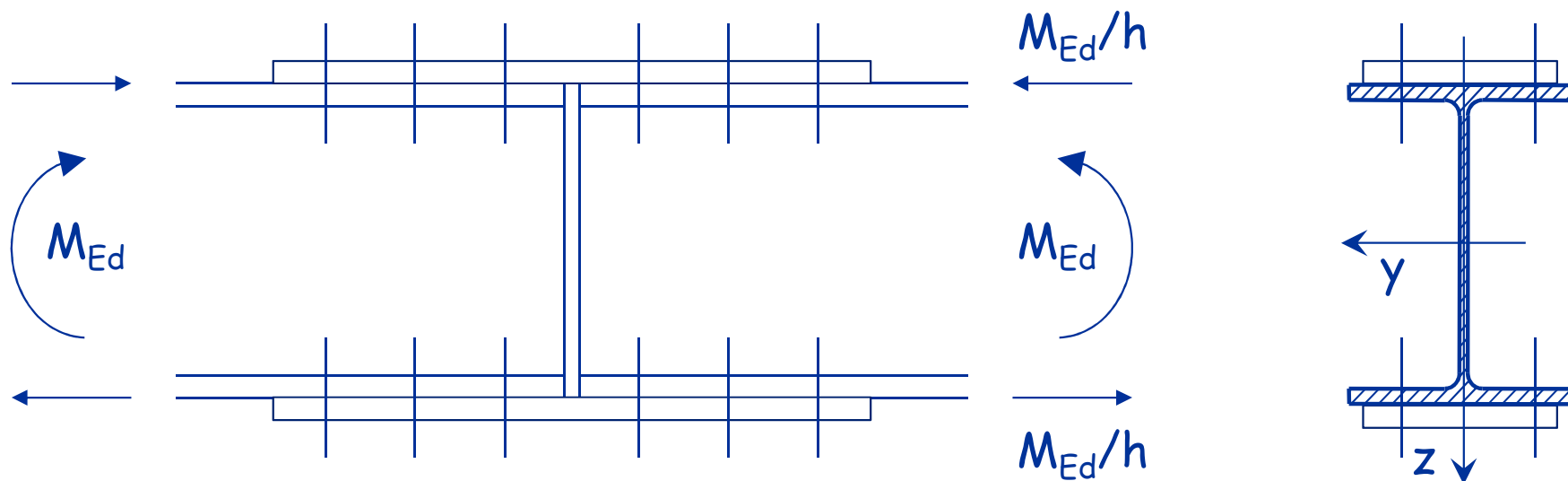
classe 5.6

$$F_{v,Rd} = 48.2 \text{ kN}$$

occorrono ~~5.2~~ \rightarrow 6 bulloni

Esempio 2

collegamento trave-trave

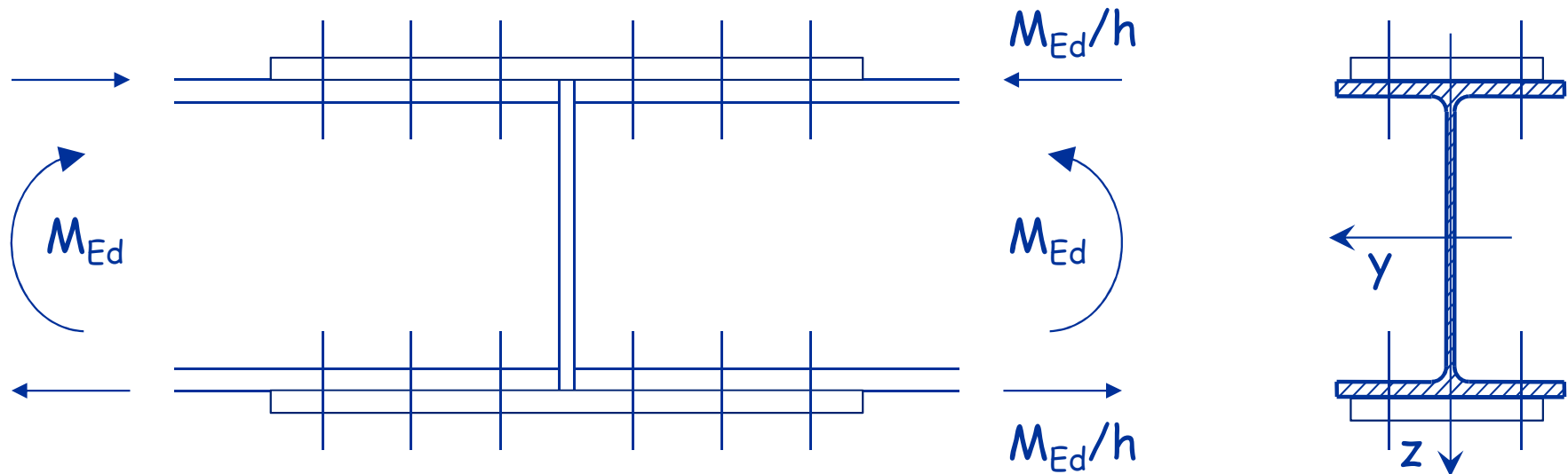


Determinazione delle distanze (calcolo k)

$$\frac{p_2}{d_0} > 3 \quad \frac{e_2}{d_0} > 1.5 \quad \Rightarrow \quad k = 2.5$$

Esempio 2

collegamento trave-trave



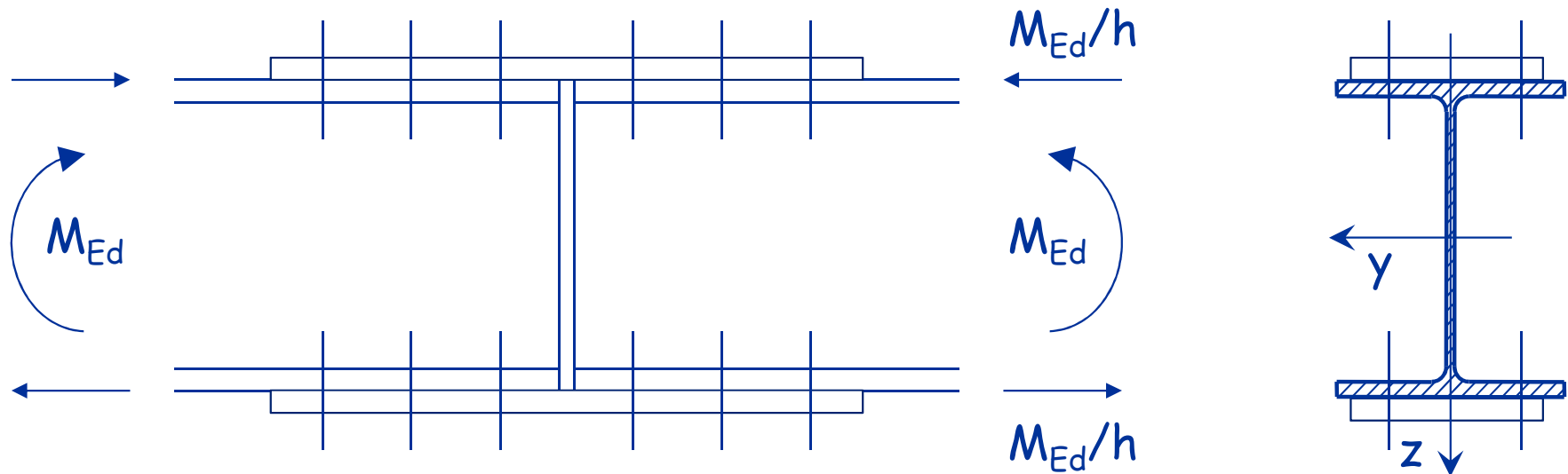
Determinazione delle distanze (calcolo α)

$$F_{b,Rd} = \frac{N_{Ed}}{n_b} = \frac{250}{6} = 41.7 \text{ kN}$$

$$\alpha = \frac{\gamma_{M2} (N_{Ed} / 6)}{k d t_p f_u} = \frac{1.25 \times 41.6 \times 10^3}{2.5 \times 16 \times 9.8 \times 360} = 0.368$$

Esempio 2

collegamento trave-trave



Determinazione delle distanze minime (per $\alpha=0.368$)

$$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3 d_0}, \frac{p_1}{3 d_0} - 0.25, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) \quad \alpha = \frac{e_1}{3 d_0} \Rightarrow e_1 = 3 \alpha d_0 = 17.7 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{p_1}{3 d_0} - 0.25 \Rightarrow p_1 = 3 (\alpha + 0.25) d_0 = 29.7 \text{ mm}$$

Verifica di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio e trazione

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 F_{t,Rd}} \leq 1$$

$$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$$

$F_{v,Ed}, F_{t,Ed}$ Sollecitazioni di taglio e trazione

$F_{v,Rd}$ Resistenza a taglio del bullone

$F_{t,Rd}$ Resistenza a trazione del bullone

Collegamenti bullonati ad attrito

- Tutti i bulloni prima di lavorare a taglio devono superare la resistenza ad attrito
In genere ciò avviene per carichi bassi ed è quindi trascurato
- Lo scorrimento dovuto al gioco foro-bullone provoca deformazioni nella struttura
In genere queste sono accettabili, ma devono essere comunque verificate
- Se si vogliono evitare queste deformazioni si può progettare il collegamento in modo che non superi la resistenza di attrito
 - solo per SLE
 - anche per SLU

Collegamenti bullonati ad attrito

- Si usano in genere bulloni ad alta resistenza
- Resistenza ad attrito:

$$F_{s,Rd} = \frac{n \mu F_{p,C}}{\gamma_{M3}}$$

$F_{p,C}$ forza di precarico

μ coefficiente di attrito

- $\mu = 0.45$ giunzioni sabbiolate e protette
- $\mu = 0.30$ negli altri casi

n numero di superfici di contatto