

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

Progetto di aste e collegamenti in acciaio

7 - Classificazione dei collegamenti e collegamenti bullonati

Spoletto
21-23 ottobre 2010
Edoardo M. Marino

Classificazione dei collegamenti

Tipi di collegamenti

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

1. Collegamento bullonati

2. Collegamenti saldati

Resistenze da usare

- Sempre i valori ultimi (non quelli di snervamento)

Bulloni: f_{ub}

Saldature:

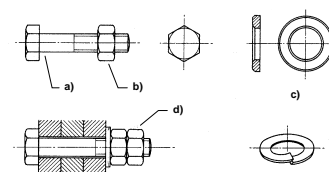
si dovrebbe usare f_{uw} (resistenza della saldatura);
per comodità la si riporta a f_u del materiale base

Collegamenti bullonati

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 svisi neanche in presenza di vibrazioni



I bulloni caratteristiche geometriche

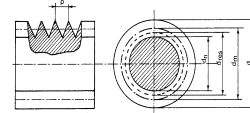
- diametro (nominale)
individuato dalla lettera M più il diametro in mm

diametro (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 (mm ²)	113	154	201	254	314	380	452	573	707
A _{res} (mm ²)	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)
- Classi previste dalle NTC08:

bulloni ad alta resistenza

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

I bulloni diametri dei fori

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

d diametro bullone
d₀ diametro foro
d-d₀ gioco foro-bullone

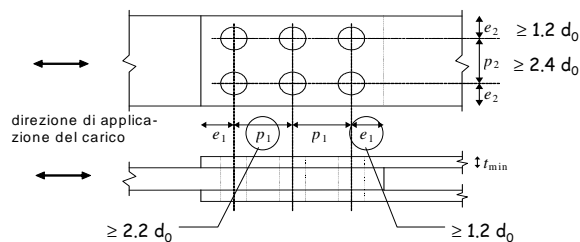
diametro bullone d	12	14	16	18	20	22	24	27	30
NTC08	1	1	1	1	1	1.5	1.5	1.5	1.5
Eurocodice 3	1	1	2	2	2	2	2	3	3

Valori massimi del gioco foro-bullone (mm)

- fori calibrati: d-d₀ ≤ 0.3 mm
usati per limitare al massimo le deformazioni indotte dallo scorrimento del bullone nel foro

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 mm	--
e ₂	4 t + 40 mm	--
p ₁	min(14t; 200mm)	min(14t; 200mm)
p ₂	min(14t; 200mm)	min(14t; 200mm)

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

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

I limiti nascono da problemi di durabilità e resistenza della lamiera

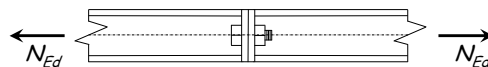
I bulloni serraggio

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

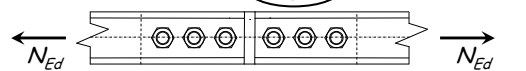
$$F_{p,Cd} = 0.7 \frac{f_{ub} A_{res}}{\gamma_{M7}} \quad \gamma_{M7} = 1.10$$

Collegamenti bullonati modalità di comportamento

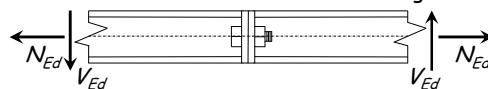
1 - Con bulloni sollecitati a trazione



2 - Con bulloni sollecitati a taglio

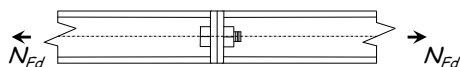


3 - Con bulloni sollecitati a trazione e taglio



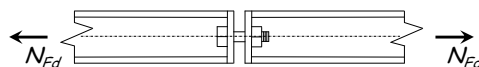
Collegamenti bullonati bulloni sollecitati a trazione

Meccanismi di rottura



Collegamenti bullonati bulloni sollecitati a trazione

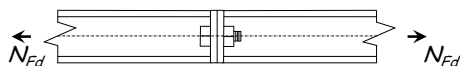
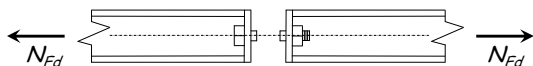
Meccanismi di rottura



Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

Meccanismi di rottura

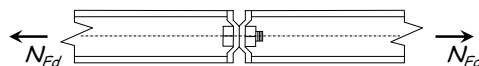
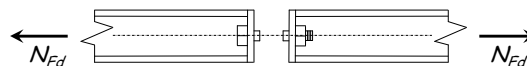
1 - Rottura dei bulloni a trazione



Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

Meccanismi di rottura

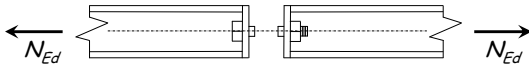
1 - Rottura dei bulloni a trazione



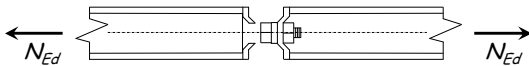
Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

Meccanismi di rottura

1 - Rottura dei bulloni a trazione

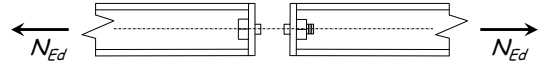


2 - Punzonamento della piastra



Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

1 - Rottura dei bulloni a trazione



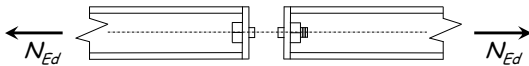
La tensione nel bullone per effetto della forza F_t è uniforme

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

A_{res} Area resistente del bullone

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

1 - Rottura dei bulloni a trazione



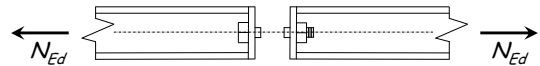
Il bullone si rompe quando la tensione sul bullone è pari a f_{ub}

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

A_{res} Area resistente del bullone

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

1 - Rottura dei bulloni a trazione



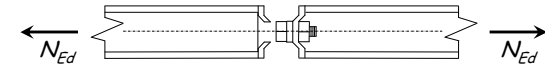
Il bullone si rompe quando la tensione sul bullone è pari a f_{ub}

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

A_{res} Area resistente del bullone

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

2 - Punzonamento della piastra

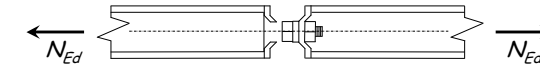


La superficie di rottura è cilindrica con altezza t_p e diametro d_m

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

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

2 - Punzonamento della piastra



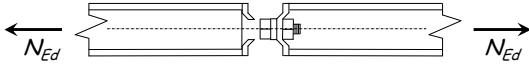
Secondo il criterio di Von Mises la piastra si rompe quando la tensione ideale sulla giacitura di rottura è pari ad f_u :

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

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 $f_u / \sqrt{3}$

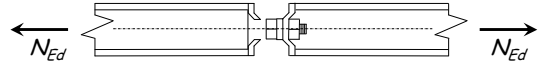
$$B_{p,max} = \pi d_m t_p (f_u / \sqrt{3})$$

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 $f_u / \sqrt{3}$

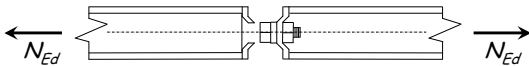
$$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}}$$

d_m Diametro della giacitura di rottura

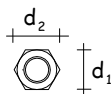
t_p Spessore della piastra

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

2 - Punzonamento della piastra



Diametro della giacitura di rottura



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

Verifica di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

1 - Rottura dei bulloni a trazione

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

A_{res} Area resistente del bullone

2 - Punzonamento della piastra

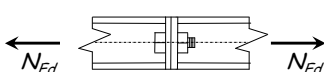
$$F_{t,Sb} \leq B_{p,Rd} = \frac{0.6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}}$$

d_m Diametro della giacitura di rottura

t_p Spessore della piastra

Esempio

Dati:



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

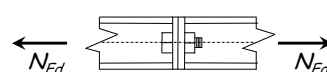
1 - Determinazione di $F_{t,Rd}$

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

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

Esempio

Dati:

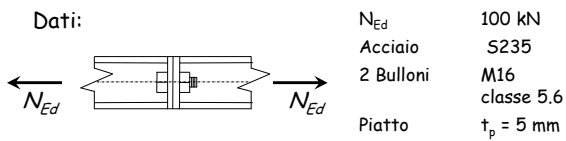


N_{Ed} 100 kN
Acciaio S235
2 Bulloni M16 classe 5.6
Piatto $t_p = 5$ mm

2 - Determinazione di $B_{p,Rd}$

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.6 \times \pi \times 25 \times 5 \times 360}{1.25 \times 10^3} = 67.9 \text{ kN}$$

Esempio



3 - Verifica

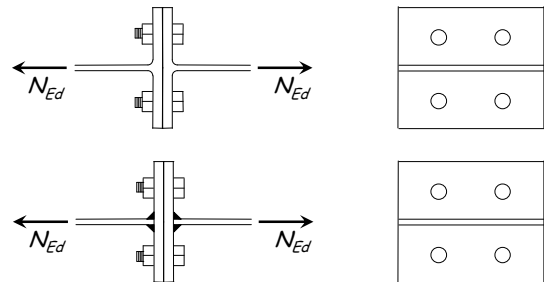
$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{n_b} = \frac{100}{2} = 50.0 \text{ kN} < F_{t,Rd} < B_{p,Rd}$$

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

$$B_{p,Rd} = 67.9 \text{ kN}$$

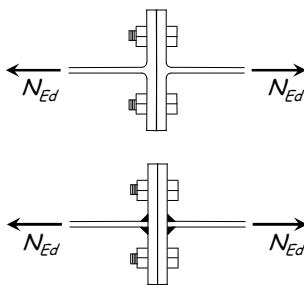
Il collegamento è verificato

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



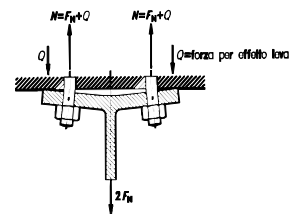
Verifiche

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

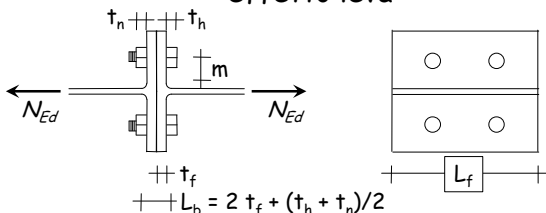
I risultati sono utili per la verifica di collegamenti più complessi (es. collegamenti trave-colonna)

Collegamento di elementi a T equivalente

- Occorre fare attenzione all'effetto leva
 - incrementare la forza sollecitante dei bulloni
 - modifica la modalità di collasso della flangia
 - irrigidire l'elemento per evitare questa deformazione



Meccanismi di collasso in assenza di effetto leva



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

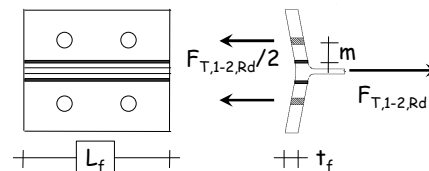
$$L_b \geq \frac{8.8 m^3 A_s}{L_f t_f^3}$$

L_b lunghezza parte del bullone sottoposta a trazione

EN 1993, parte 1-8, punto 6.24.1

Meccanismi di collasso in assenza di effetto leva

Meccanismo 1-2: plasticizzazione della flangia

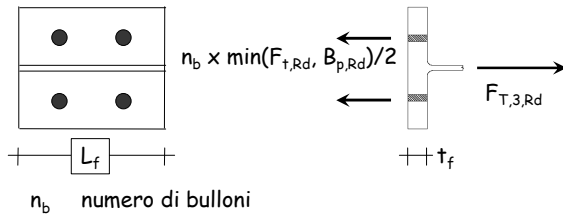


$$M_{pl,Rd} = W_{pl} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{b_f t_f^2}{4} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow F_{T,1-2,Rd} = \frac{2 M_{pl,Rd}}{m}$$

EN 1993, parte 1-8, punto 6.24.1

Meccanismi di collasso in assenza di effetto leva

Meccanismo 3: collasso bulloni



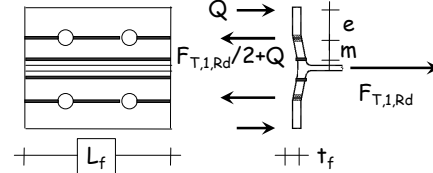
n_b numero di bulloni

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

EN 1993, parte 1-8, punto 6.24.1

Meccanismi di collasso in presenza di effetto leva

Meccanismo 1: plasticizzazione della flangia



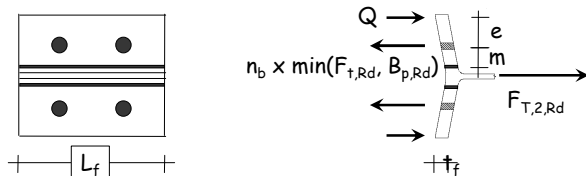
$$Q = M_{pl,Rd} / e$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 M_{pl,Rd}}{m} \quad \text{con } M_{pl,Rd} = \frac{b_f t_f^2 f_y}{4 \gamma_{M0}}$$

EN 1993, parte 1-8, punto 6.24.1

Meccanismi di collasso in presenza di effetto leva

Meccanismo 2: plasticizzazione della flangia



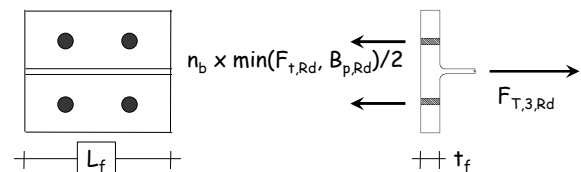
$$Q = [n_b \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) - F_{T,2,Rd}] / 2$$

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

EN 1993, parte 1-8, punto 6.24.1

Meccanismi di collasso in presenzadi effetto leva

Meccanismo 3: collasso bulloni



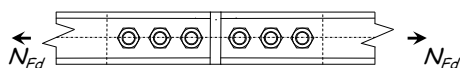
n_b numero di bulloni

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

EN 1993, parte 1-8, punto 6.24.1

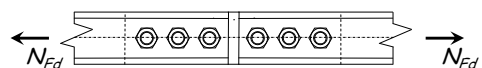
Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

Meccanismi di rottura



Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

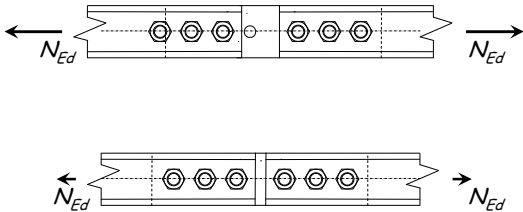
Meccanismi di rottura



Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

Meccanismi di rottura

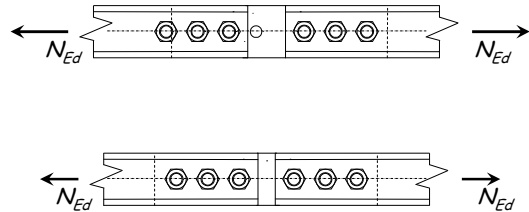
1 - Rottura dei bulloni a taglio



Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

Meccanismi di rottura

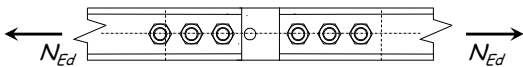
1 - Rottura dei bulloni a taglio



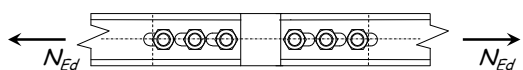
Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

Meccanismi di rottura

1 - Rottura dei bulloni a taglio

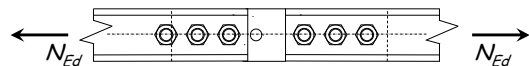


2 - Rifollamento delle lamiere



Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

1 - Rottura dei bulloni a taglio



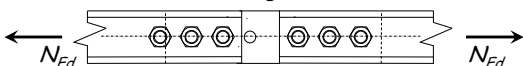
Il bullone si rompe quando la tensione tangenziale sul bullone è pari a $f_{ub} / \sqrt{3}$

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

A Area nominale del bullone

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

1 - Rottura dei bulloni a taglio



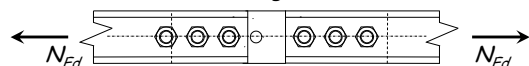
Il bullone si rompe quando la tensione tangenziale sul bullone è pari a $f_{ub} / \sqrt{3}$

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

A Area nominale del bullone

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

1 - Rottura dei bulloni a taglio



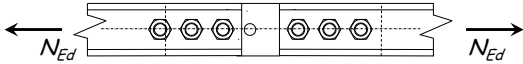
Se il piano di taglio non attraversa la parte filettata del bullone:

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

A Area nominale del bullone

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni solleccitati a taglio

1 - Rottura dei bulloni a taglio



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

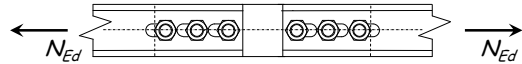
$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 A_{res} f_{ub}}{\gamma_{M2}} \quad (\text{per bulloni di classe 4.6, 5.6 ed 8.8})$$

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

A_{res} Area resistente del bullone

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni solleccitati a taglio

2 - Rifollamento delle lamiera



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

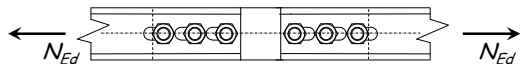
$$F_{b,max} = k \alpha d t_p f_u$$

d Diametro del bullone

t_p Spessore della lamiera

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni solleccitati a taglio

2 - Rifollamento delle lamiera



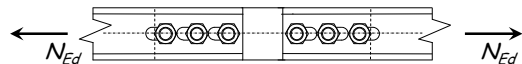
Si ottiene quando la tensione esercitata dal bullone sulla lamiera raggiunge il valore convenzionale $k \alpha f_u$

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

Bulloni:	$k = \min\left(\frac{2.8 e_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right)$	$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3 d_0}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right)$
di bordo		
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 solleccitati a taglio

2 - Rifollamento delle lamiera



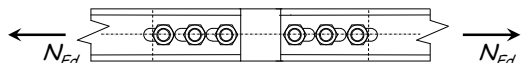
Si ottiene quando la tensione esercitata dal bullone sulla lamiera raggiunge il valore convenzionale $k \alpha f_u$

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

Bulloni:	$k = \min\left(\frac{2.8 e_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right)$	$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3 d_0}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right)$
di bordo		
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 solleccitati a taglio

2 - Rifollamento delle lamiera



Osservazione su k :

$$F_{b,Rd} = \frac{k \alpha d t_p f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2.5 \alpha d t_p f_u}{\gamma_{M2}}$$

Secondo le vecchie norme:

Bulloni:	$e_2 \geq 1.5 d_0$	$k = \min\left(\frac{2.8 e_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right) = 2.5$
di bordo		
interni	$p_2 \geq 3 d_0$	$k = \min\left(\frac{1.4 p_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right) = 2.5$

Verifica di collegamenti bullonati con bulloni solleccitati a taglio

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

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

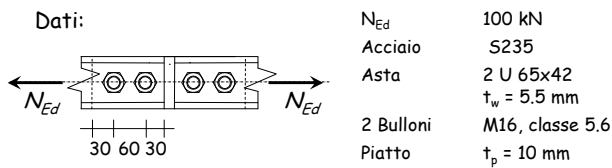
$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd} = \frac{0.6 A_{res} f_{ub}}{\gamma_{M2}} \quad \text{o} \quad F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd} = \frac{0.5 A_{res} f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

2 - Rifollamento della lamiera

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

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

Esempio



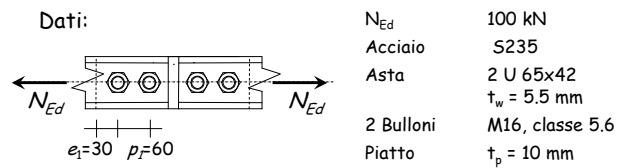
1 - Determinazione di $F_{v,Rd}$

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

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

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

Esempio



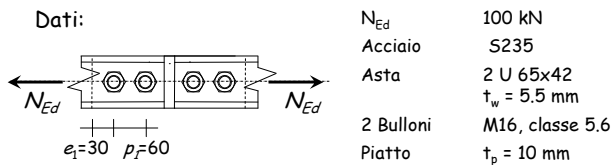
2 - Determinazione di $F_{b,Rd}$ (del piatto)

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

$$k = 2.5$$

$$d = 16 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad d_0 = 17 \text{ mm} \quad \text{Quasi sempre } > 1$$

Esempio

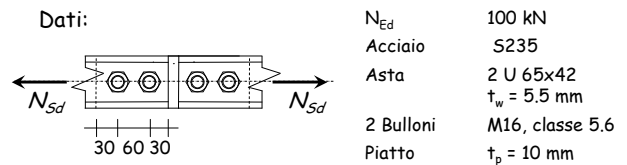


2 - Determinazione di $F_{b,Rd}$ (del piatto)

$$k = 2.5 \quad \alpha = 0.555$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 \times 0.555 \times 16 \times 10 \times 360}{1.25 \times 10^3} = 67.7 \text{ kN}$$

Esempio



3 - Verifica

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

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

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

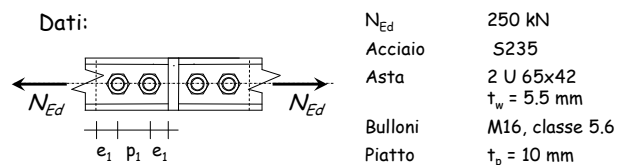
Il collegamento è verificato

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 - Determinazione del numero di bulloni

$$n_b = \frac{N_{Ed}}{2 F_{v,Rd}} = \frac{250}{2 \times 48.2} = 2.59 \quad \text{Usa 3 bulloni}$$

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

Esempio

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)

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

Esempio

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 α necessario)

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

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

Esempio

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 e_1 per $\alpha = 0.723$

$$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3 d_0}, \frac{p_1}{3 d_0} - 0.25, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) \quad e_1 = 35 \text{ mm}$$

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

Esempio

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 $\alpha = 0.723$

$$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3 d_0}, \frac{p_1}{3 d_0} - 0.25, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) \quad p_1 = 50 \text{ mm}$$

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

Verifica di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio e trazione

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

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

$F_{v,Ed}, F_{t,Ed}$ 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 sabbiate e protette
- $\mu = 0.30$ negli altri casi

n numero di superfici di contatto