

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

### Progetto di aste e collegamenti in acciaio

8 - Classificazione dei collegamenti e collegamenti bullonati

Spoletto  
2-4 febbraio 2012  
Aurelio Ghersi

## Classificazione dei collegamenti

### Classificazione

- In base alla modalità di esecuzione:

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

### Classificazione

- In base all'azione che si trasmette

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

### Classificazione

- In base alla rigidità  
con riferimento alla rotazione relativa tra i pezzi uniti

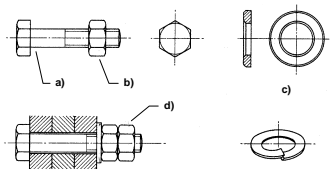
1. Collegamento rigido  
la rotazione relativa è praticamente nulla
2. Collegamento semirigido  
la rotazione relativa è legata al momento flettente;  
equivale ad una molla rotazionale
3. Collegamento a cerniera  
la rotazione relativa è sostanzialmente consentita

## 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 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

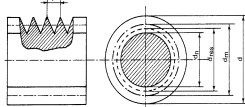
- lunghezza

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 (mm <sup>2</sup> )	113	154	201	254	314	380	452	573	707
A <sub>res</sub> (mm <sup>2</sup> )	84.3	115	157	192	245	303	353	459	581
A <sub>res</sub> / 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 <sub>ub</sub> (MPa)	400	500	600	800	1000
f <sub>yb</sub> (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<sub>0</sub> diametro foro  
d-d<sub>0</sub> gioco foro-bullone

diámetro 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

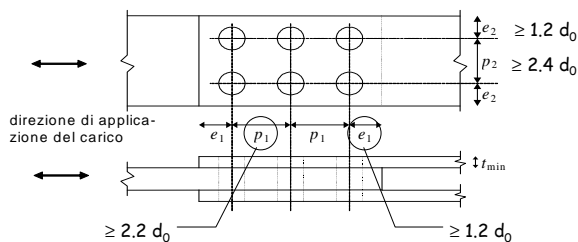
Valori massimi del gioco foro-bullone (mm)

- fori calibrati: d-d<sub>0</sub> ≤ 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

NTC08, punto 4.2.8.1.1, Tab. 4.2.XIII

## 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
$e_1$	$4t + 40 \text{ mm}$	--
$e_2$	$4t + 40 \text{ mm}$	--
$p_1$	$\min(14t; 200\text{mm})$	$\min(14t; 200\text{mm})$
$p_2$	$\min(14t; 200\text{mm})$	$\min(14t; 200\text{mm})$

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 della lamiera

NTC08, punto 4.2.8.1.1, Tab. 4.2.XIII

## I bulloni serraggio

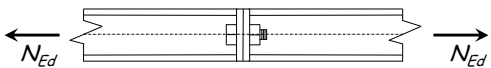
- Serraggio:
  - importante per garantire un buon comportamento e limitare deformabilità
  - fondamentale nelle unioni ad attrito
- Forza di precarico:

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

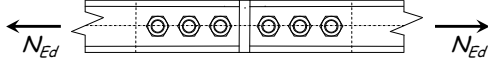
NTC08, punto 4.2.8.1.1

## Collegamenti bullonati modalità di comportamento

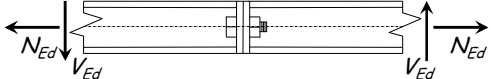
1 - Con bulloni sollecitati a trazione



2 - Con bulloni sollecitati a taglio a taglio In alternativa: ad attrito



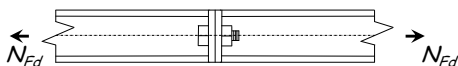
3 - Con bulloni sollecitati a trazione e taglio



## Bulloni soggetti a trazione

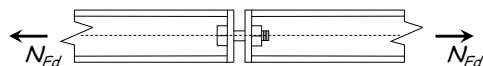
## Collegamenti bullonati bulloni sollecitati a trazione

### Meccanismi di rottura



## Collegamenti bullonati bulloni sollecitati a trazione

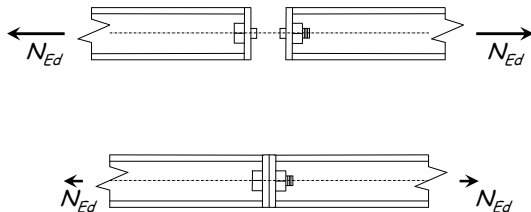
### Meccanismi di rottura



### Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

#### Meccanismi di rottura

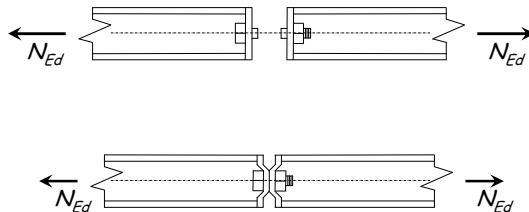
##### 1 - Rottura dei bulloni a trazione



### Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

#### Meccanismi di rottura

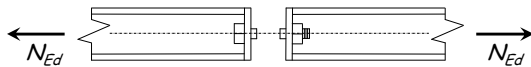
##### 1 - Rottura dei bulloni a trazione



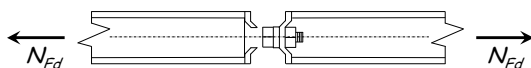
### Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

#### Meccanismi di rottura

##### 1 - Rottura dei bulloni a trazione

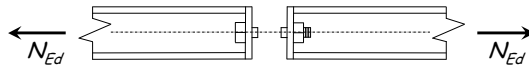


##### 2 - Punzonamento della piastra



### Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

##### 1 - Rottura dei bulloni a trazione



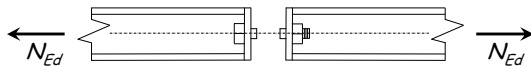
La tensione nel bullone per effetto della forza  $F_t$  è uniforme

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

$A_{res}$  Area resistente del bullone

### Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

##### 1 - Rottura dei bulloni a trazione



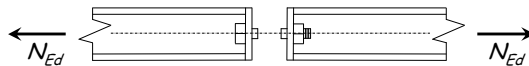
Il bullone si rompe quando la tensione sul bullone è pari a  $f_{ub}$

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

$A_{res}$  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  $f_{ub}$

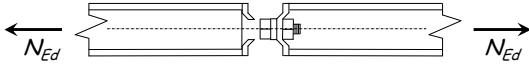
$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 A_{res} f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

$A_{res}$  Area resistente del bullone

NTC08, punto 4.2.8.1.1

### Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

#### 2 - Punzonamento della piastra

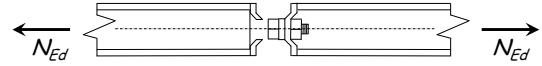


La superficie di rottura è cilindrica con altezza  $t_p$  e diametro  $d_m$

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

### Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

#### 2 - Punzonamento della piastra



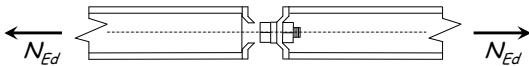
Secondo il criterio di Von Mises la piastra si rompe quando la tensione ideale sulla giacitura di rottura è pari ad  $f_u$ :

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

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  $f_u / \sqrt{3}$

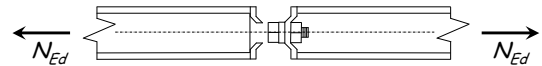
$$B_{p,max} = \pi d_m t_p (f_u / \sqrt{3})$$

$d_m$  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  $f_u / \sqrt{3}$

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

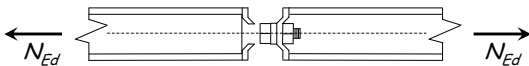
$d_m$  Diametro della giacitura di rottura

$t_p$  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

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

NTC08, punto 4.2.8.1.1

### 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

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

$d_m$  Diametro della giacitura di rottura

$t_p$  Spessore della piastra

NTC08, punto 4.2.8.1.1

### Esempio

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

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

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

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

### Esempio

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

#### 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

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

#### 3 - Verifica

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

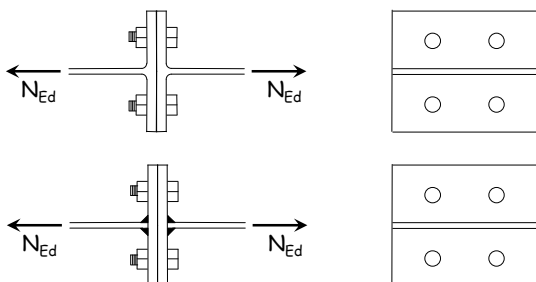
$$F_{t,Rd} = 56.5 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = 67.9 \text{ kN} \quad \text{Il collegamento è verificato}$$

Occorre però verificare anche la resistenza del piatto

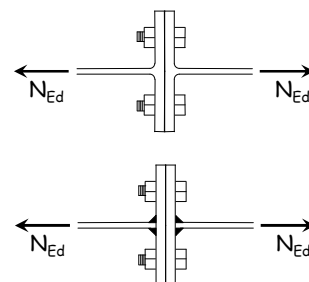
### Collegamento a T equivalente (T stub)

### 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

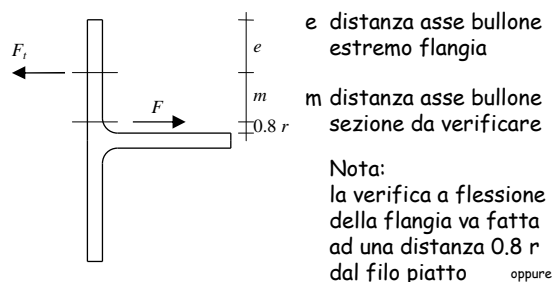


#### Verifiche

- 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

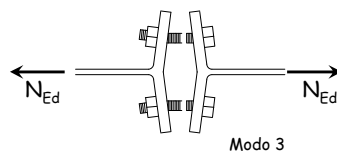


$L_{eff}$  larghezza efficace della flangia  
(ortogonale al piano della figura)

oppure  
 $0.8 a \sqrt{2}$

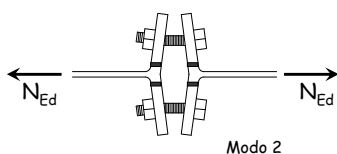
## Meccanismi di collasso del bullone/flangia

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



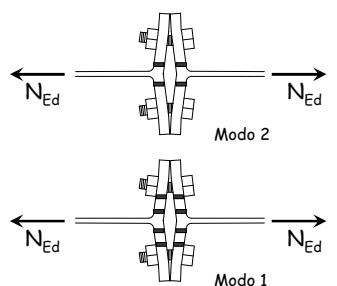
## Meccanismi di collasso della flangia

- Rottura del piatto per flessione  
(senza effetto leva)



## Meccanismi di collasso della flangia

- Rottura del piatto per flessione  
(con effetto leva)

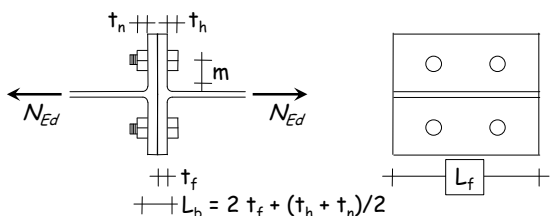


L'effetto leva

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

Irrigidire l'elemento se si vuole evitare questo effetto

## Effetto leva



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

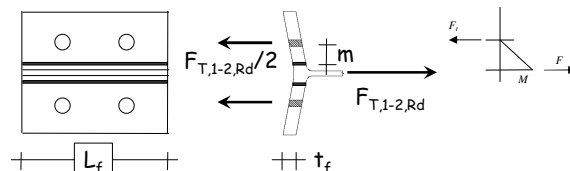
$$L_b \geq \frac{8.8 m^3 A_{res}}{L_f t_f^3}$$

$L_b$  lunghezza parte del bullone sottoposta a trazione

EN 1993, parte 1-8, punto 6.2.4.1

## Meccanismi di collasso in assenza di effetto leva

### Meccanismo 2: plasticizzazione della flangia



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

EN 1993, parte 1-8, punto 6.2.4.1

Vedi file Bulloni, 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						

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

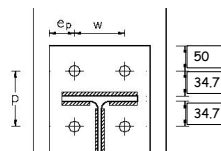
Vedi file Bulloni, foglio Flangia

## 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  $p = 80$  mm  
la distanza da filo ala è  $(80-10.7)/2 = 34.65$  mm
- Calcolo m:  $m = 34.65 - 0.8 a \sqrt{2} = 27.9$  mm



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

Vedi file Bulloni, foglio Flangia

## Esempio

### Collegamento flangiato trave colonna

Verifico la flangia a flessione

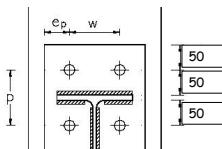
- In assenza di effetto leva

verifica flangia (se t è assegnato)								
spessore flangia		tp	15	mm				
		Mpl,Rd	2946429	N/mm				
			2.946	kN/m				

$$M_{p,Rd} = \frac{b_p t_p^2 f_y}{4 \gamma_{M2}}$$

senza effetto leva		FT2,Rd	211.5	kN	non verificato			
--------------------	--	--------	-------	----	----------------	--	--	--

$$F_{T,Rd} = \frac{2 M_{p,Rd}}{m}$$



$$F_{T,Rd} = 211.5 \text{ kN} < F_{Rd}$$

Vedi file Bulloni, 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			
		Q	58.9	kN				

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

$$F_{T,Rd} = 423.0 \text{ kN} > F_{Rd}$$

Ma il bullone non ce la fa

Vedi file Bulloni, 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			
		Q	37.9	kN				

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

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

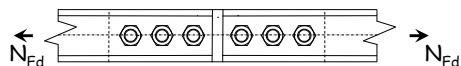
E il bullone sta bene

Vedi file Bulloni, foglio Flangia

## Bulloni soggetti a taglio

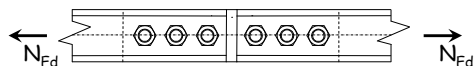
### Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

Meccanismi di rottura



### Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

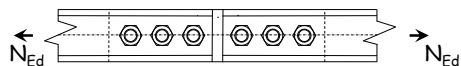
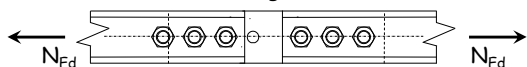
Meccanismi di rottura



### Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

Meccanismi di rottura

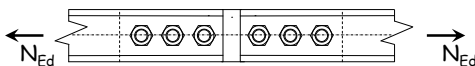
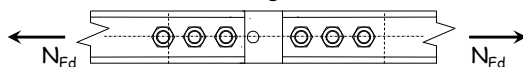
1 - Rottura dei bulloni a taglio



### Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

Meccanismi di rottura

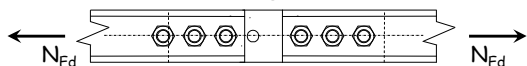
1 - Rottura dei bulloni a taglio



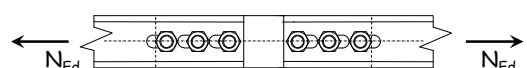
### Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

Meccanismi di rottura

1 - Rottura dei bulloni a taglio

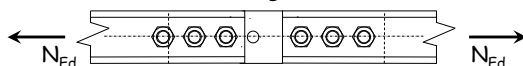


2 - Rifollamento delle lamiere



### Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

1 - Rottura dei bulloni a taglio



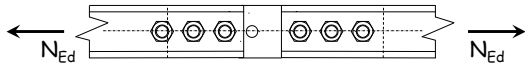
Il bullone si rompe quando la tensione tangenziale sul bullone è pari a  $f_{ub} / \sqrt{3}$

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

A Area nominale del bullone

### Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni solleccitati a taglio

#### 1 - Rottura dei bulloni a taglio



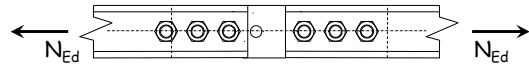
Il bullone si rompe quando la tensione tangenziale sul bullone è pari a  $f_{ub} / \sqrt{3}$

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

A Area nominale del bullone

### Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni solleccitati a taglio

#### 1 - Rottura dei bulloni a taglio



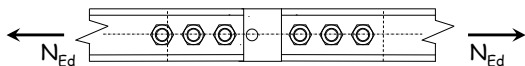
Se il piano di taglio non attraversa la parte filettata del bullone:

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

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:

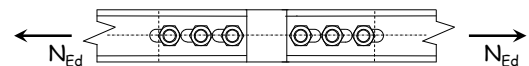
$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 A_{res} f_{ub}}{\gamma_{M2}} \quad (\text{per bulloni di classe 4.6, 5.6 ed 8.8})$$

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

A<sub>res</sub> 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  $k \alpha f_u$

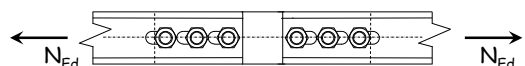
$$F_{b,max} = k \alpha d t_p f_u$$

d Diametro del bullone

t<sub>p</sub> Spessore della lamiera

### Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni solleccitati a taglio

#### 2 - Rifollamento delle lamiera



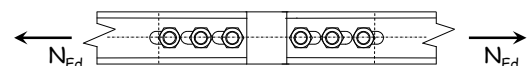
Si ottiene quando la tensione esercitata dal bullone sulla lamiera raggiunge il valore convenzionale  $k \alpha f_u$

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

Bulloni: 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 solleccitati a taglio

#### 2 - Rifollamento delle lamiera



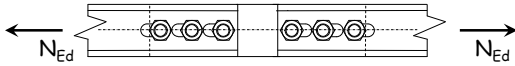
Si ottiene quando la tensione esercitata dal bullone sulla lamiera raggiunge il valore convenzionale  $k \alpha f_u$

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

Bulloni: 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 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:  $e_2 \geq 1.5 d_0$   $k = \min\left(\frac{2.8 e_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right) = 2.5$

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)

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

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

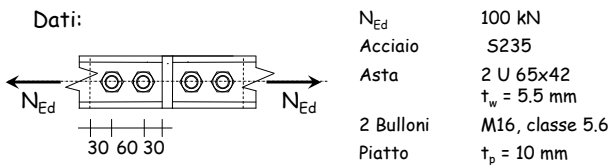
### 2 - Rifollamento della lamiera

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

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

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



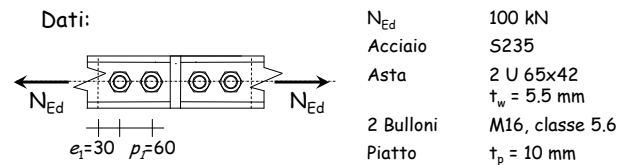
#### 1 - Determinazione di $F_{v,Rd}$

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

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

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

### Esempio



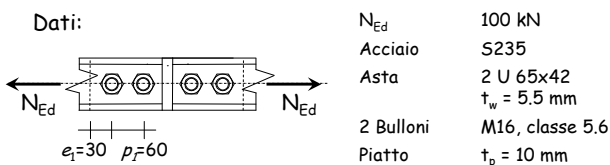
#### 2 - Determinazione di $F_{b,Rd}$ (del piatto)

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

$$k = 2.5$$

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

### Esempio

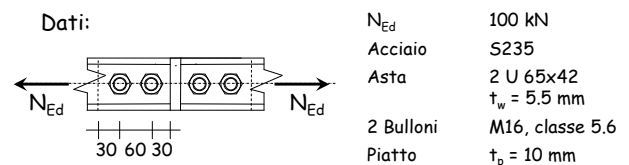


#### 2 - Determinazione di $F_{b,Rd}$ (del piatto)

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

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

### Esempio



#### 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

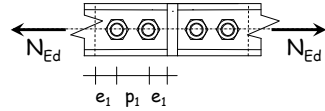
## Collegamenti bullonati a taglio suggerimento progettuale

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

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



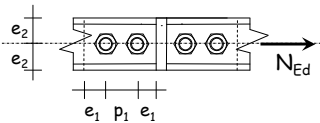
1 - Determinazione del numero di bulloni

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

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

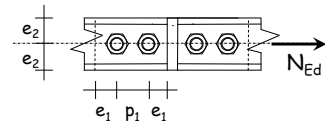


2 - Determinazione delle distanze (calcolo k)

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

## 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



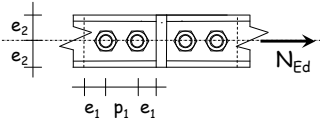
2 - Determinazione delle distanze (calcolo  $\alpha$  necessario)

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

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

## 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



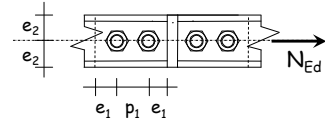
2 - Determinazione della distanza  $e_1$  per  $\alpha = 0.723$

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

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

## 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  $\alpha = 0.723$

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

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

### Verifica di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio e trazione

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

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

$F_{v,Ed}, F_{t,Ed}$  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

$\mu$  coefficiente di attrito

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

$n$  numero di superfici di contatto

NTC08, punto 4.2.8.1.1