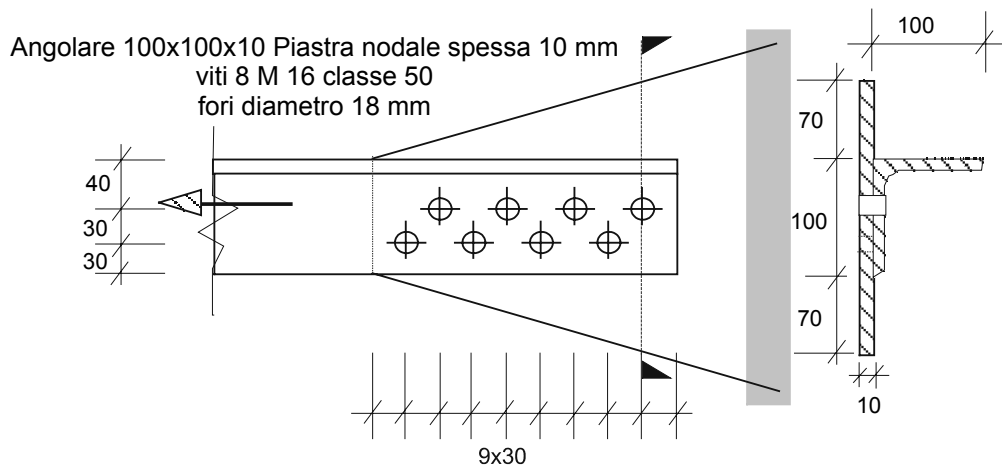




Commessa N.	Foglio	1 di 6	Rev	B
Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project				
Argomento Esempio di progetto 6 – Giunto bullonato				
Cliente RFCS	Redatto da	IR	Data	Ottobre 2002
	Verificato da	FH/NB	Data	Ottobre 2002
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006

ESEMPIO DI PROGETTO 6 – GIUNTO BULLONATO

Un angolare da 100×100×10 soggetto a trazione deve essere collegato ad una piastra nodale di testa da 10 mm di spessore. Si usa acciaio inossidabile 1.4401 sia per l'angolare che per la piastra. Otto bulloni austenitici da 16 mm di diametro classe 50 sono montati in linea sfalsata per collegare un lato dell'angolare alla piastra. Il giunto proposto è riportato nella seguente figura. Si richiede di determinare la resistenza di progetto del giunto.



Il giunto siffatto appartiene alla Categoria A “Giunzioni a resistenza”. Il valore del taglio ultimo di progetto non deve superare né la resistenza a taglio né la resistenza del gambo di progetto del bullone.

EN 1993-1-8,
par. 3.4.1

Caratteristiche materiali

Angolare e piastra del tipo 1.4401:

Limite di snervamento convenzionale = 220 N/mm², resistenza a rottura = 530 N/mm²

Tabella 3.1

Prendere f_y come limite di snervamento = 220 N/mm² e f_u = 530 N/mm²

Par. 3.2.4

Il materiale del bullone è di classe 50.

Prendere f_{yb} come limite di snervamento = 210 N/mm² e f_{ub} = 500 N/mm².

Tabella 3.3

Coefficienti parziali di sicurezza

Coefficiente parziale di sicurezza per la resistenza della sezione lorda: $\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1,1$

Tabella 2.1

Coefficiente parziale di sicurezza per la resistenza della sezione netta: $\gamma_{M2} = 1,25$

Coefficiente parziale di sicurezza per la resistenza a taglio del bullone: $\gamma_{Mb} = 1,25$.

Posizione e dimensione dei fori

Per bulloni M16, diametro fori $d_0 = 18$ mm.

Par.6.2.3



Commessa N.		Foglio	2 di 6	Rev	B
Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project					
Argomento Esempio di progetto 6 – Giunto bullonato					
Cliente RFCS	Redatto da	IR	Data	Ottobre 2002	
	Verificato da	FH/NB	Data	Ottobre 2002	
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006	

Distanze finali $e_1 = 30 \text{ mm}$ e distanze fra i bordi $e_2 = 25 \text{ mm}$
 e_1 e $e_2 < 4t + 40 = 80 \text{ mm}$ e $> 1,2d_0 = 1,2 \times 18 = 21,6 \text{ mm}$

Per bulloni in file sfalsate:

- spaziatura $p_1 = 60 \text{ mm} > 2,2d_0 = 39,6 \text{ mm}$
- distanza fra due bulloni in una fila
 $\sqrt{30^2 + 35^2} = 46,1 \text{ mm} > 2,4d_0 = 43,2 \text{ mm}$
- spaziatura fra file sfalsate $p_2 = 35 \text{ mm} > 1,2d_0 = 21,6 \text{ mm}$

Nota: Per quanto riguarda il carico di compressione, bisogna controllare che e_2 e p_1 soddisfino i requisiti d'instabilità locale rispettivamente per un elemento esterno e uno interno. Sono necessari controlli sia sull'angolare che sulla piastra del nodo.

Resistenza di progetto a trazione della sezione lorda dell'angolare

Par.6.2.3

Sezione lorda dell'angolare $A_g = 1915 \text{ mm}^2$

Resistenza plastica di progetto:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1915 \times 220}{1,1 \times 10^3} = 383 \text{ kN}$$

Eq. 6.4

Resistenza di progetto a trazione della sezione netta dell'angolare

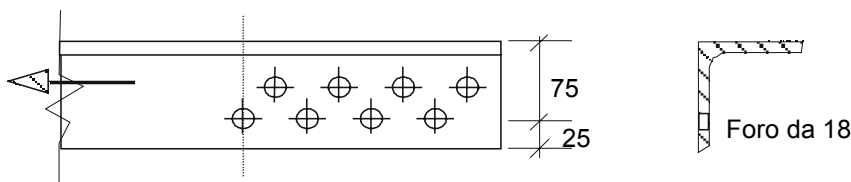
Par. 4.6.4

Per fori sfalsati la sezione netta è la minore tra:

- L'area lorda sottratta dei fori non sfalsati
- $A_g - t \left(nd_0 - \sum \frac{s^2}{4p} \right)$

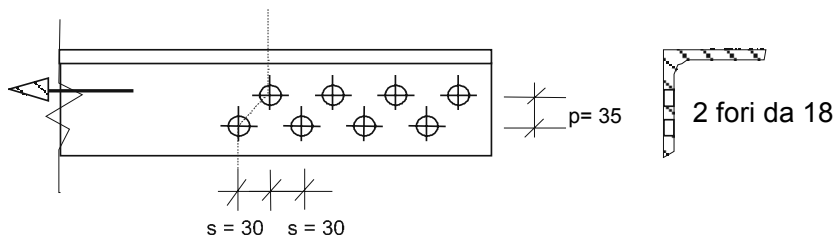
Area lorda sottratta dei fori non sfalsati:

$$A_g - td_0 = 1915 - 10 \times 18 = 1735 \text{ mm}^2$$



Area netta passante per due fori sfalsati, $n = 2$, $s = 30 \text{ mm}$ e $p = 35 \text{ mm}$:

Par. 4.6.4



$$\begin{aligned} A_{net} &= A_g - t \left(nd_0 - \sum \frac{s^2}{4p} \right) = 1915 - 10 \left((2 \times 18) - \frac{30^2}{4 \times 35} \right) \\ &= 1915 - 10(36 - 6.4) = 1619 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



Dunque $A_{net} = 1619 \text{ mm}^2$

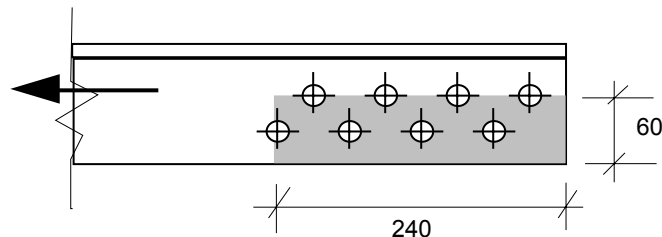
Conseguentemente si può utilizzare il fattore di riduzione per un angolare connesso tramite un lato e con una singola fila di bulloni. Considerano più di 3 bulloni per fila, per interpolazione si ottiene: $\beta_3 = 0,57$.

Resistenza di progetto a rottura della sezione netta dell'angolare:

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,57 \times 1619 \times 530}{1,25 \times 10^3} = 391,3 \text{ kN}$$

Resistenza di progetto dell'angolare in condizioni di strappo in blocco

Le espressioni relative allo strappo in blocco sono prese dalla EN 1993-1-8 invece che dalla EN 1993-1-1 poiché la EN 1993-1-8 riguarda espressamente gli angolari.



Resistenza di progetto allo strappo in blocco, considerando le file sfalsate:

$$\begin{aligned} V_{eff,2,Rd} &= \frac{0,5 f_u A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y A_{nv}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \\ &= \frac{0,5 \times 530 \times (60 - 18) \times 10}{1,25 \times 10^3} + \frac{220 \times (240 - 4 \times 18) \times 10}{\sqrt{3} \times 1,1 \times 10^3} = 89 + 194 = 283 \text{ kN} \end{aligned}$$

Resistenza di progetto allo strappo in blocco, considerando le file non sfalsate:

$$\begin{aligned} V_{eff,2,Rd} &= \frac{0,5 f_u A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y A_{nv}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \\ &= \frac{0,5 \times 530 \times (60 - 18 - 9) \times 10}{1,25 \times 10^3} + \frac{220 \times (240 - 3 \times 18 - 9) \times 10}{\sqrt{3} \times 1,1 \times 10^3} \\ &= 70 + 204 = 274 \text{ kN} \end{aligned}$$

Resistenza di progetto della sezione lorda della piastra del nodo

Area lorda della sezione verso l'estremità dell'angolare:

$$A_g = 10 \times (100 + 70 + 70) = 2400 \text{ mm}^2$$

Resistenza plastica di progetto:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2400 \times 220}{1,1 \times 10^3} = 480 \text{ kN}$$

Tabella 6.1

Par. 6.2.3
Eq. 6.8

EN 1993-1-8,
par. 3.10.2(3)
eq. 3.10

EN 1993-1-8,
par. 3.10.2(2)
eq. 3.9

Par.4.7.2

Eq. 4.22

 Centre Technique Industriel de la Construction Métallique 102, Route de Limours F-78471 St Rémy Lès Chevreuse Cedex France Tel : +33 (0)1 30 85 25 00 Fax : +33 (0)1 30 52 75 38 FOGLIO DI CALCOLO	Commessa N.	Foglio	4 di 6	Rev B
	Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project			
	Argomento Esempio di progetto 6 – Giunto bullonato			
	Cliente	Redatto da	IR	Data
RFCS	Verificato da	FH/NB	Data	Ottobre 2002
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006

Resistenza di progetto della sezione netta della piastra del nodo

Area netta della sezione trasversale verso l'estremità dell'angolare (dove il carico applicato è maggiore) attraverso un foro non simmetrico su un elemento di larghezza:

$$b = 100 + 70 + 70 = 240 \text{ mm}$$

$$A_{\text{net}} = A_g - d_0 t = 2400 - 18 \times 10 = 2220 \text{ mm}^2$$

Area netta della sezione trasversale verso l'estremità dell'angolare attraverso due fori sfalsati, con $s = 30 \text{ mm}$ and $p = 35 \text{ mm}$:

$$\begin{aligned} A_{\text{net}} &= A_g - 2d_0 t + \frac{s^2 t}{4p} = 2400 - 2 \times 18 \times 10 + \frac{30^2 \times 10}{4 \times 35} \\ &= 2400 - 360 + 64 = 2104 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dunque $A_{\text{net}} = 2104 \text{ mm}^2$

Resistenza ultima di progetto della sezione netta della piastra del nodo vicino all'estremità dell'angolare:

$$N_{u,Rd} = \frac{k_r A_{\text{net}} f_u}{\gamma_{M2}}$$

Eq. 4.23

Fattore di riduzione k_r :

$$k_r = [1 + 3r(d_0 / u - 0,3)] \text{ ma } < 1,0$$

Eq. 4.24

$$u = 2e_2 \leq p_2 \text{ quindi, } u = 35 \text{ mm}$$

$$k_r = \left[1 + 2 \times \frac{2}{8} \times \left(\frac{18}{35} - 0,3 \right) \right] = 1,16 > 1,0$$

Si prenda $k_r = 1,0$

$$N_{u,Rd} = \frac{1,0 \times 2104 \times 530}{1,25 \times 10^3} = 892,1 \text{ kN}$$

Si consiglia di controllare la resistenza delle sezioni nette in sezioni intermedie lungo la piastra.

Sezione trasversale del 1° foro di bullone vicino al bordo della piastra

Par. 4.6.4

(dove $b = 100 + 30/240 \times 140 = 117,5 \text{ mm}$)

$$A_{\text{net}} = A_g - d_0 t = 117,5 \times 10 - 18 \times 10 = 995 = 995 \text{ mm}^2$$

La sezione deve essere in grado di trasmettere il carico proveniente da un bullone.

Resistenza ultima di progetto della sezione:

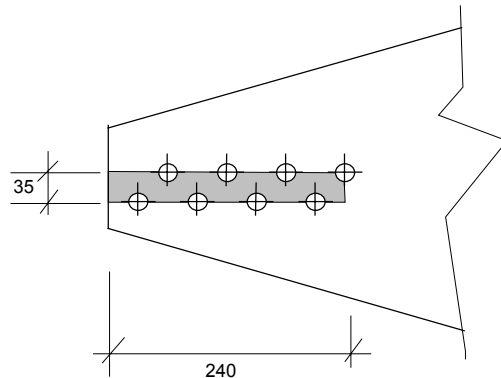
$$N_{u,Rd} = \frac{k_r A_{\text{net}} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{1,0 \times 995 \times 530}{1,25 \times 10^3} = 421,88 \text{ kN}$$

Eq. 4.23

E' ovvio come non sia necessario controllare altre sezioni sulla piastra del nodo, perché il carico applicato non può superare la resistenza di progetto dell'angolare stesso che, com'è stato dimostrato, è più piccola del valore precedente.



Resistenza di progetto della piastra in condizione di strappo in blocco



Resistenza di progetto allo strappo, considerando le file di bulloni sfalsate:

$$V_{\text{eff},1,\text{Rd}} = \frac{f_u A_{\text{nt}}}{\gamma_{\text{M2}}} + \frac{f_y A_{\text{nv}}}{\sqrt{3} \gamma_{\text{M0}}}$$

$$= \frac{530 \times (35 - 9) \times 10}{1,25 \times 10^3} + \frac{220 \times (240 - 4 \times 18 + 240 - 3 \times 18 - 9) \times 10}{\sqrt{3} \times 1,1 \times 10^3}$$

$$= 110,2 + 398,4 = 508,6 \text{ kN}$$

EN 1993-1-8,
par. 3.10.2(2)
eq. 3.9

Resistenza di progetto allo strappo, considerando le file di bulloni non sfalsate:

$$V_{\text{eff},1,\text{Rd}} = \frac{f_u A_{\text{nt}}}{\gamma_{\text{M2}}} + \frac{f_y A_{\text{nv}}}{\sqrt{3} \gamma_{\text{M0}}}$$

$$= \frac{530 \times (35 - 2 \times 9) \times 10}{1,25 \times 10^3} + \frac{220 \times (2 \times 240 - 6 \times 18 - 2 \times 9) \times 10}{\sqrt{3} \times 1,1 \times 10^3}$$

$$= 72,1 + 408,8 = 480,9 \text{ kN}$$

EN 1993-1-8,
par. 3.10.2(2)
eq. 3.9

Resistenza di progetto di bulloni soggetti a sforzi di taglio

I bulloni sono sottoposti a taglio in un singolo piano. Considerare tale sollecitazione sul piano della filettatura.

Quindi, $\alpha = 0,5$

Area sezionale del bullone M16: $A_s = 157 \text{ mm}^2$

Resistenza di progetto del bullone M 16 classe 50, avente una sezione $A_s = 157 \text{ mm}^2$:

$$F_{\text{v,Rd}} = \frac{\alpha f_{\text{ub}} A_s}{\gamma_{\text{M2}}} = \frac{0,5 \times 500 \times 157}{1,25 \times 10^3} = 31,4 \text{ kN}$$

Par. 6.2.4

Eq. 6.9

Resistenza di progetto del gruppo di bulloni allo sforzo di taglio: $n_b F_{\text{v,Rd}} = 8 \times 31,4 = 251,2 \text{ kN}$



Commessa N.		Foglio	6 di 6	Rev	B
Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project					
Argomento Esempio di progetto 6 – Giunto bullonato					
Cliente RFCS	Redatto da	IR	Data	Ottobre 2002	
	Verificato da	FH/NB	Data	Ottobre 2002	
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006	

Resistenza portante di progetto della giunzione bullonata

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_{u,red} dt}{\gamma_{M2}}$$

È la capacità portante di progetto del bullone di estremità M16 a contatto con uno strato di spessore 10 mm; dove le distanze dai bordi sono $e_1 = 30$ mm e $e_2 = 25$ mm ($> 1,2d_0 = 21,6$ mm) e gli interassi dei bulloni sono $p_1 = 60$ mm e $p_2 = 35$ mm

Per evitare eccessive deformazioni dei fori anche allo stato limite di servizio si utilizza un valore ridotto $f_{u,red}$ della resistenza portante dello strato connesso.

$$f_{u,red} = 0,5f_y + 0,6f_u \text{ ma } \leq f_u$$

$$0,5 \times 220 + 0,6 \times 530 = 428 \text{ N/mm}^2 < f_u$$

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0} = \frac{30}{3 \times 18} = 0,556$$

è il fattore di riduzione per il bullone di estremità più vicino al bordo, dove $e_1 = 30$ mm, $p_1 = 60$ mm:

$$\begin{aligned} \alpha_b &= \min(\alpha_d; f_{ub} / f_{u,red}; 1,0) \\ &= \min(0,556; 500/428 = 1,17; 1,0) = 0,556 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_1 &= \min\left(2,8\left(\frac{e_2}{d_0}\right) - 1,7; 2,5\right) \\ &= \min\left(2,8\left(\frac{25}{18}\right) - 1,7 = 2,2; 2,5\right) = 2,2 \end{aligned}$$

La resistenza portante del bullone è meno critica di quella dello strato connesso, in quanto $f_{ub}/f_{ur} = 500/428 = 1,17 > 1,0$

La resistenza portante del bullone di bordo è:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_{u,red} dt}{\gamma_{M2}} = \frac{2,2 \times 0,556 \times 428 \times 16 \times 10}{1,25 \times 10^3} = 67,0 \text{ kN}$$

La resistenza portante globale del giunto è: $n_b F_{b,Rd} = 8 \times 67,0 = 536$ kN

Nota: Il modo di cedimento critico per tutti i bulloni del giunto è lo sforzo di taglio.

Resistenza di progetto del giunto allo Stato Limite Ultimo

La resistenza di progetto più piccola riscontrata era quella allo strappo in blocco del lato connesso dell'angolare:

Resistenza di progetto allo strappo in blocco del lato connesso dell'angolare è:

$$N_{Rd} = V_{eff,2,Rd} = 274 \text{ kN}$$

Par. 6.2.3

Eq. 6.2

Eq. 6.1

Eq. 6.2

Foglio 3