



GIUNTO BULLONATO RESISTENTE A TAGLIO

Domenico Leone

fare sismica
 **APPUNTI**

GIUNTO BULLONATO RESISTENTE A TAGLIO

Domenico Leone

Il prof. Domenico Leone vanta un'esperienza più che trentennale nel campo della progettazione e realizzazione di strutture metalliche sia in campo industriale che infrastrutturale e civile ed è titolare del laboratorio di "Costruzione dell'Architettura" presso la facoltà di Architettura di Genova in qualità di professore a contratto.

E' consulente di azienda avendo occupato in precedenza il ruolo di Responsabile del settore di progettazione di opere in carpenteria metallica prima presso la Società Italimpianti S.p.A. e successivamente presso le Società SMSDemag e Paul-Wurth S.p.A.

Ha partecipato alla progettazione di grandi impianti industriali di produzione e trasformazione dell'acciaio e ne ha seguito la realizzazione con le imprese costruttrici e di montaggio acquisendo ampia esperienza in tutti i settori del ciclo di esecuzione delle opere metalliche.

Per il suo impegno in campo internazionale vanta ampia conoscenza delle norme di settore utilizzate in varie nazioni con particolare riguardo agli Eurocodici.

Ha esercitato ed esercita tuttora attività formativa in ambito Aziendale, Universitario, Pubblico, Privato e dell'Ordine Professionale.

È autore del libro "Eurocodice 3" edito da Sistemi Editoriali nonché di numerosi programmi di calcolo automatico dedicati sia alla progettazione di strutture in acciaio di impianti industriali che alla progettazione di componenti strutturali e di dettaglio proprie degli edifici civili e delle infrastrutture (pacchetto SAITU edito da STA DATA S.r.l.) in base agli Eurocodici ed alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

La presente pubblicazione è tutelata dalla legge sul diritto d'autore e non può essere divulgata senza il permesso scritto dell'autore.

S.T.A. DATA srl
Corso Raffaello, 12 - 10126 Torino
tel. 011 6699345 www.stadata.com

Indice

Parte I	GIUNTO BULLONATO RESISTENTE A TAGLIO	6
----------------	---	----------

1 GIUNTO BULLONATO RESISTENTE A TAGLIO

GIUNTO BULLONATO RESISTENTE A TAGLIO

Premessa

In questo articolo viene presentato un tema apparentemente banale ma diventato oggi, con l'applicazione delle norme europee e nazionali, "sufficientemente" complesso da richiedere l'uso di programmi di calcolo automatici per "venirne fuori" in modo rapido e "sicuro" data l'estesa applicazione di queste verifiche alla molteplicità di giunti bullonati presenti in una struttura in acciaio.

Le norme prevedono oggi sia il calcolo elastico con distribuzione lineare delle forze tra i bulloni del giunto, sia il calcolo plastico. In un calcolo elastico il taglio viene distribuito uniformemente tra tutti i bulloni del giunto mentre il momento generato dall'eccentricità produce forze orizzontali sui bulloni estremi ridotte dal fattore "f" che tiene conto della presenza attiva degli altri bulloni disposti su una o più file verticali. La forza risultante deve risultare inferiore alla resistenza a taglio del bullone ed alla resistenza a rifollamento sia dell'anima del profilo collegato sia dell'elemento di collegamento.

Per l'applicazione del metodo plastico è il progettista che "decide il comportamento" del giunto ovvero : quanti sono i bulloni interni cui attribuire la resistenza a taglio verticale e , conseguentemente, quali sono i bulloni esterni chiamati a resistere alle forze orizzontali generate dall'eccentricità del taglio verticale (momento di trasporto). Ciò è possibile **purchè la distribuzione delle forze interne sia in equilibrio con le forze esterne applicate e il giunto sia dotato di adeguata duttilità**. E' ovvio che in questo caso si sceglie la distribuzione che soddisfa le condizioni di resistenza del giunto se altre configurazioni non risultassero idonee.

Un giunto è dichiarato resistente al taglio trasmesso dalla trave se sono soddisfatte sia la verifica di resistenza del singolo bullone ed il rifollamento prodotto sulle componenti del nodo (anima trave e piatto o angolare di collegamento), sia la verifica di resistenza dei bulloni in gruppo ed il rifollamento globale come più avanti illustrato. La resistenza al rifollamento dell'anima della trave e dell'elemento di collegamento, può essere verificata separatamente per le componenti verticale e orizzontale della forza di taglio agente sul singolo bullone.

³⁾ When the load on a bolt is not parallel to the edge, the bearing resistance may be verified separately for the bolt load components parallel and normal to the end.

Beam web in bearing

$$F_{b,Rd,ver} = \frac{k_1 \alpha_b f_{u,b1} d t_{w,b1}}{\gamma_{M2}}$$

where:

$$\alpha_b = \min\left(\frac{p_1}{3d_o} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{u,b1}}; 1,0\right)$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_{2,b}}{d_o} - 1,7; \frac{1,4 p_2}{d_o} - 1,7; 2,5\right)$$

Similarly horizontal bearing resistance of a single bolt

$$F_{b,Rd,hor} = \frac{k_1 \alpha_b f_{u,b1} d t_{w,b1}}{\gamma_{M2}}$$

where:

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_{2,b}}{3d_o}; \frac{p_2}{3d_o} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{u,b1}}; 1,0\right)$$

Fin plate in bearing

$$F_{b,Rd,ver} = \frac{k_1 \alpha_b f_{u,p} d t_p}{\gamma_{M2}}$$

where:

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_o}; \frac{p_1}{3d_o} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{u,p}}; 1,0\right)$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_o} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_o} - 1,7; 2,5\right)$$

Similarly horizontal bearing resistance of a single bolt

$$F_{b,Rd,hor} = \frac{k_1 \alpha_b f_{u,p} d t_p}{\gamma_{M2}}$$

where:

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_2}{3d_o}; \frac{p_2}{3d_o} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{u,p}}; 1,0\right)$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_1}{d_o} - 1,7; 1,4 \frac{p_1}{d_o} - 1,7; 2,5\right)$$

La resistenza a taglio e la resistenza a rifollamento vanno anche verificate per l'intero **gruppo di bulloni** con le seguenti espressioni NON RIPORTATE DALLA NORMA (rif. SN017-NCCI) rispettivamente per la resistenza a taglio e per la resistenza al rifollamento.

$$V_{Rd,2} = \frac{n}{\sqrt{\left(\frac{1 + \alpha n}{F_{b,Rd,ver}}\right)^2 + \left(\frac{\beta n}{F_{b,Rd,hor}}\right)^2}}$$

$$V_{Rd,1} = \frac{n F_{v,Rd}}{\sqrt{(1 + \alpha n)^2 + (\beta n)^2}}$$

Nelle due espressioni i coefficienti α e β sono così definiti :

For a single vertical line of bolts ($n_2 = 1, \therefore n = n_1$)

$$\alpha = 0$$

$$\beta = \frac{6z}{n(n+1)p_1}$$

For two vertical lines of bolts ($n_2 = 2, \therefore n = 2n_1$)

$$\alpha = \frac{z p_2}{2I}$$

$$\beta = \frac{z p_1}{2I} (n_1 - 1)$$

where:

$$I = \frac{n_1}{2} p_2^2 + \frac{1}{6} n_1 (n_1^2 - 1) p_1^2$$

In cui $z = e$ = eccentricità della forza di taglio verticale.

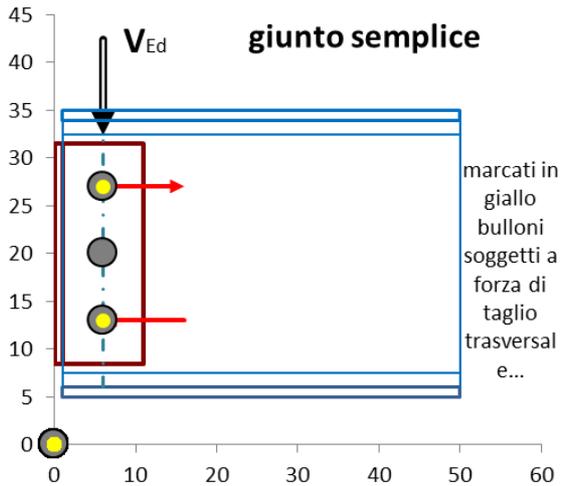
Che si debba verificare anche la resistenza dei bulloni in gruppo è detto nell'item 3.7 della EN 1993-1-8 ma in modo diverso da quello proposto dal NCCI-SN017 come vedremo più avanti nelle considerazioni critiche della norma :

3.7 Group of fasteners

- (1) The design resistance of a group of fasteners may be taken as the sum of the design bearing resistances $F_{b,Rd}$ of the individual fasteners provided that the design shear resistance $F_{v,Rd}$ of each individual fastener is greater than or equal to the design bearing resistance $F_{b,Rd}$. Otherwise the design resistance of a group of fasteners should be taken as the number of fasteners multiplied by the smallest design resistance of any of the individual fasteners.

La procedura di calcolo proposta dalla regola NCCI-SN 017 è di seguito applicata ad un esempio completo che è stato eseguito anche col programma automatico "Giuntobull" (www.stadata.com) per confrontare i singoli passaggi come caso di un processo di validazione.

La forza di taglio sui bulloni di estremità è stata determinata col metodo elastico ed è la componente delle forze orizzontale e verticale dovute rispettivamente al momento di trasporto e al taglio verticale. La resistenza al taglio e al rifollamento di **tutti i bulloni in gruppo** è confrontata col taglio verticale di progetto.

<p>Spessore piatto : $t_p = 10$ mm</p> <p>Bulloni 3 M20 8.8 Sezione filetto : 245 mm^2 Passo bulloni : $p_1 = 70$ mm Braccio di leva : $z = e = 60$ mm Unione di categ. A (shear resistant)</p> <p>Coefficienti di sicurezza : $\gamma_{M0} = 1$ $\gamma_{M2} = 1,25$</p>	
<p>Forza di taglio S.L.U : 100 kN</p>	<p>Forza di taglio S.L.U : 100 kN</p>
<p>Resistenza singolo bullone :</p> $F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$ <p>$\alpha_v = 0,6$ per bulloni di Classe 8.8 $F_{v,Rd} = \mathbf{94,08}$ kN</p>	<p>Resistenza singolo bullone :</p> $F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$ <p>$\alpha_v = 0,6$ per bulloni di Classe 8.8 $F_{v,Rd} = \mathbf{94,1}$ kN</p>
<p>Resistenza bulloni in gruppo :</p> $V_{Rd,1} = \frac{n F_{v,Rd}}{\sqrt{(1 + \alpha n)^2 + (\beta n)^2}}$ <p>Per una fila singola di bulloni : $\alpha = 0$ $\beta = 0,43$ dove : $\beta = \frac{6z}{n(n+1)p_1}$ $V_{Rd,1} = \mathbf{173}$ kN > 100 kN</p>	<p>Resistenza bulloni in gruppo :</p> $V_{Rd,1} = \frac{n F_{v,Rd}}{\sqrt{(1 + \alpha n)^2 + (\beta n)^2}}$ <p>Per una fila singola di bulloni : $\alpha = 0$ $\beta = 0,4286$ dove : $\beta = \frac{6z}{n(n+1)p_1}$ $V_{Rd,1} = \mathbf{173}$ kN > 100kN</p>
<p>Rifollamento piatto di giunto :</p> <p>resistenza verticale singolo bullone :</p> $F_{b,Rd,ver} = \frac{k_1 \alpha_b f_{u,p} d t_p}{\gamma_{M2}}$ $\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{u,p}}; 1,0\right)$ $k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right)$ <p>$\alpha_b = \mathbf{0,68}$ $k_1 = 2,5$</p>	<p>Rifollamento piatto di giunto :</p> <p>resistenza verticale singolo bullone :</p> $F_{b,Rd,ver} = \frac{k_1 \alpha_b f_{u,p} d t_p}{\gamma_{M2}}$ $\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{u,p}}; 1,0\right)$ $k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right)$ <p>$\alpha_b = \mathbf{0,682}$ $k_1 = 2,5$</p>

$$F_{b,Rd,ver} = 97,92 \text{ kN}$$

La differenza è dovuta ai valori decimali di α_b

Resistenza orizzontale singolo bullone :

$$F_{b,Rd,hor} = \frac{k_1 \alpha_b f_{u,p} d t_p}{\gamma_{M2}}$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_2}{3d_o}; \frac{f_{ub}}{f_{u,p}}; 1,0\right)$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_1}{d_o} - 1,7; 1,4 \frac{p_1}{d_o} - 1,7; 2,5\right)$$

$$\alpha_b = 0,76$$

$$k_1 = 2,5$$

$$F_{b,Rd,hor} = 109,44 \text{ kN}$$

Resistenza al rifollamento globale :

$$V_{Rd,2} = \frac{n}{\sqrt{\left(\frac{1 + \alpha n}{F_{b,Rd,ver}}\right)^2 + \left(\frac{\beta n}{F_{b,Rd,hor}}\right)^2}}$$

$$V_{Rd,2} = 192 \text{ kN} > 100 \text{ kN}$$

Rifollamento anima trave :

resistenza verticale singolo bullone :

$$F_{b,Rd,ver} = \frac{k_1 \alpha_b f_{u,b1} d t_{w,b1}}{\gamma_{M2}}$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{p_1}{3d_o} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{u,b1}}; 1,0\right)$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_{2,b}}{d_o} - 1,7; 2,5\right)$$

$$\alpha_b = 0,81$$

$$k_1 = 2,5$$

$$F_{b,Rd,ver} = 82,81 \text{ kN}$$

Resistenza orizzontale singolo bullone :

$$F_{b,Rd,hor} = \frac{k_1 \alpha_b f_{u,b1} d t_{w,b1}}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd,ver} = 98,18 \text{ kN}$$

Resistenza orizzontale singolo bullone :

$$F_{b,Rd,hor} = \frac{k_1 \alpha_b f_{u,p} d t_p}{\gamma_{M2}}$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_2}{3d_o}; \frac{f_{ub}}{f_{u,p}}; 1,0\right)$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_1}{d_o} - 1,7; 1,4 \frac{p_1}{d_o} - 1,7; 2,5\right)$$

$$\alpha_b = 0,758$$

$$k_1 = 2,5$$

$$F_{b,Rd,hor} = 109,09 \text{ kN}$$

Resistenza al rifollamento globale :

$$V_{Rd,2} = \frac{n}{\sqrt{\left(\frac{1 + \alpha n}{F_{b,Rd,ver}}\right)^2 + \left(\frac{\beta n}{F_{b,Rd,hor}}\right)^2}}$$

$$V_{Rd,2} = 193 \text{ kN} > 100 \text{ kN}$$

Rifollamento anima trave :

resistenza verticale singolo bullone :

$$F_{b,Rd,ver} = \frac{k_1 \alpha_b f_{u,b1} d t_{w,b1}}{\gamma_{M2}}$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{p_1}{3d_o} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{u,b1}}; 1,0\right)$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_{2,b}}{d_o} - 1,7; 2,5\right)$$

$$\alpha_b = 0,811$$

$$k_1 = 2,5$$

$$F_{b,Rd,ver} = 82,88 \text{ kN}$$

Resistenza orizzontale singolo bullone :

$$F_{b,Rd,hor} = \frac{k_1 \alpha_b f_{u,b1} d t_{w,b1}}{\gamma_{M2}}$$

$\alpha_b = \min\left(\frac{e_{2,b}}{3d_o}; \frac{f_{ub}}{f_{u,b1}}; 1,0\right)$ $k_1 = \min\left(1,4 \frac{P_1}{d_o} - 1,7; 2,5\right)$ <p>$\alpha_b = 0,76$ $k_1 = 2,5$</p> <p>$F_{b,Rd,hor} = 77,7 \text{ kN}$</p> <p>Resistenza al rifollamento globale :</p> $V_{Rd,8} = \frac{n}{\sqrt{\left(\frac{1 + \alpha n}{F_{b,Rd,ver}}\right)^2 + \left(\frac{\beta n}{F_{b,Rd,hor}}\right)^2}}$ <p>$V_{Rd,2} = 146 \text{ kN} > 100 \text{ kN}$</p>	$\alpha_b = \min\left(\frac{e_{2,b}}{3d_o}; \frac{f_{ub}}{f_{u,b1}}; 1,0\right)$ $k_1 = \min\left(1,4 \frac{P_1}{d_o} - 1,7; 2,5\right)$ <p>$\alpha_b = 0,758$ $k_1 = 2,5$</p> <p>$F_{b,Rd,hor} = 77,45 \text{ kN}$</p> <p>Resistenza al rifollamento globale :</p> $V_{Rd,8} = \frac{n}{\sqrt{\left(\frac{1 + \alpha n}{F_{b,Rd,ver}}\right)^2 + \left(\frac{\beta n}{F_{b,Rd,hor}}\right)^2}}$ <p>$V_{Rd,2} = 146 \text{ kN} > 100 \text{ kN}$</p>
<p>Resistenza a rottura per taglio anima :</p> <p>il calcolo non è eseguito ma viene fornito solo il risultato :</p> <p>$V_{eff,Rd} = 199 \text{ kN} > 100 \text{ kN}$</p>	<p>Resistenza a rottura per taglio anima :</p> $0,5 f_u A_{nt} / \gamma_{M2} + (1 / \sqrt{3}) f_y A_{nv} / \gamma_{M0}$ <p>$A_{nt} = 2,77 \text{ cm}^2$ $A_{nv} = 11,72 \text{ cm}^2$</p> <p>$V_{eff,Rd} = 199 \text{ kN} > 100 \text{ kN}$</p>

Si riporta di seguito il foglio di calcolo automatico "Giuntobull"

GIUNTO SEMPLICE BULLONATO CON PIATTI O SQUADRETTE				DISTRIBUZIONE ELASTICA DELLE FORZE	
ELEMENTI DEL GIUNTO :				in accordo con EN 1993-1-8 ; NTC 2008 ; NCCI-SN017	
TRAVE : tipo : (1,2,3,4,5)		1	S 235 EN 10027-1	$f_y = 23,50$ kN/cm ²	$f_u = 36,00$ kN/cm ²
giunto tipo	estremità piana [1]		estremità mortesata [2]		doppia mortesatura [3]
	$a_1 = \text{cm}$ $a_3 = \text{cm}$	8 8,00	$a_1 = \text{cm}$ $a_3 = \text{cm}$		$a_1 = \text{cm}$ $a_3 = \text{cm}$
PIATTI O L : (1,2,3,4,5)		1	S 235 EN 10027-1	$f_y = 23,50$ kN/cm ²	$f_u = 36,00$ kN/cm ²
BULLONI : (A,B,C)		A	RESISTENZA A TAGLIO	DIAM. BULL. - FORI (mm)	20 22
in fila semplice	allineati in fila doppia	sfasati in fila doppia	CLASSE BULLONI	CL.	8.8
			AREA SEZIONE (cm ²)	gambo	3,14
n° bull.	3	0	RESIST. A ROTTURA	f_{ub} (kN/cm ²)	80,00
			FORZA DI PRECARICO	$F_{p,Cd}$ (kN)	137,22
SOLLECITAZIONI DI PROGETTO :		$V_{Ed,ult.} = 100$ kN	$V_{Ed,serv.} = 100$ kN	$M_{Ed,ult.} = 600$ kNcm	$M_{Ed,serv.} = 600$ kNcm
CARATTERISTICHE DEL GIUNTO :		analisi elastica			
		Numero file verticali bulloni	$n_2 \leq 2$	1	
		Numero bulloni su 1° fila verticale	$n_1 \geq 2$	3	
		Bulloni allineati per fila ?	(S,N)	S	
		Altezza totale giunto	$h = \text{cm}$	23	
		Distanza 1 fila bull. - asse appoggio	cm	6	
		Passo verticale bulloni ($p_1 > 2,2 \cdot d_o$)	$p_1 = \text{cm}$	7	
		Passo orizzont. Bulloni ($p_2 > 2,4 \cdot d_o$)	$p_2 = \text{cm}$		
		Distanza da bordo vert. ($e_2 > 1,2 \cdot d_o$)	$e_2 = \text{cm}$	5	
		Distanza da bordo orizz. ($e_1 > 1,2 \cdot d_o$)	$e_1 = \text{cm}$	4,50	
		Distanza bordo-piano di taglio	$a_2 = \text{cm}$	5,00	
		Distanza bulloni estremi	$d = \text{cm}$	14,00	
		Eccentricità reazione	$e = \text{cm}$	6,00	
		Spessore piatti di giunto	$s = \text{cm}$	1	
		Spessore anima trave collegata	$t_w = \text{cm}$	0,71	
		Coeff. di distribuz. lineare delle forze	$f =$	1,000	
		$H = \text{cm}$	30		
		$t_f = \text{cm}$	1,07		
		$r = \text{cm}$	1,5		
FORZA RISULTANTE MASSIMA SUI BULLONI ESTREMI :		$F_{v,Ed,m} = \text{kN}$		54,29	
3.6.1	RESISTENZA A TAGLIO DEI BULLONI :	Numero di sezioni resistenti - $N^\circ(1,2) =$		1	
	$\gamma_{M2} = 1,25$	$n = 3$	$\beta = 0,42857$	$\alpha = 0,00000$	
	gruppo bulloni $V_{Rd,1} = \text{kN}$	173	singolo bullone $F_{v,Rd} = \text{kN}$	94,10	
3.6.1	RIFOLLAMENTO ANIMA TRAVE :	orizzontale $k_1 = 2,500$	verticale $k_1 = 2,500$	orizzontale $\alpha_b = 0,758$	verticale $\alpha_b = 0,811$
	gruppo bulloni $V_{Rd,2} = \text{kN}$	146	singolo bullone $F_{b,Rd} = \text{kN}$	77,45	82,88
3.6.1	RIFOLLAMENTO PIATTI GIUNTO :	orizzontale $k_1 = 2,500$	verticale $k_1 = 2,500$	orizzontale $\alpha_b = 0,758$	verticale $\alpha_b = 0,682$
	gruppo bulloni $V_{Rd,2} = \text{kN}$	193	singolo bullone $F_{b,Rd} = \text{kN}$	109,09	98,18
3.10.2	RESISTENZA A ROTTURA PER TAGLIO DELL'ANIMA :	$A_{nt} = \text{cm}^2$ 2,77			
	$V_{Ed,ult.} \leq V_{eff,Rd}$	$L_1 = \text{cm}$ 8,00			
	(item 3.10.2 EN 1993-1-8)	$L_v = \text{cm}$ 16,50			
		$A_{nv} = \text{cm}^2$ 11,72			
	$V_{eff,Rd} = 0,5 f_u A_{nt} / \gamma_{M2} + (1 / \sqrt{3}) f_y A_{nv} / \gamma_{M0}$	$\gamma_{M0} = 1$	$V_{eff,Rd} = \text{kN}$ 199		
VERIFICA AD ATTRITO NON RICHIESTA		$\mu = \text{coeff.attr.}$			
3.9.1	UNIONE DI CAT. 'A' :	$F_{v,Ed} = \text{kN} < F_{s,Rd}$			
		$\gamma_{M3} =$	$F_{s,Rd} = \text{kN}$		

Considerazioni e analisi critica della norma :

Da un punto di vista applicativo il riferimento della norma EN 1993-1-8 al calcolo di giunti bullonati con squadrette o piatti è "condensato" nella tabella 3.4 che, per quanto riguarda la verifica a rifollamento è assolutamente NON chiara.

La parte di tabella cui mi riferisco è di seguito riportata e commentata :

Bearing resistance ^{1), 2), 3)}	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$ <p>where α_b is the smallest of α_d; $\frac{f_{ub}}{f_u}$ or 1,0; in the direction of load transfer:</p> <p>- for end bolts: $\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0}$; for inner bolts: $\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}$</p> <p>perpendicular to the direction of load transfer:</p> <p>- for edge bolts: k_1 is the smallest of $2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7$ or 2,5</p> <p>- for inner bolts: k_1 is the smallest of $1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7$ or 2,5</p>
--	--

Per il calcolo della resistenza al rifollamento il valore di α_b è **il minore tra** :

α_d ; f_{ub} / f_u o 1,0 e si precisa che, **nella direzione del carico applicato** :

per bulloni di estremità : $\alpha_d = e_1 / 3 \cdot d_0$

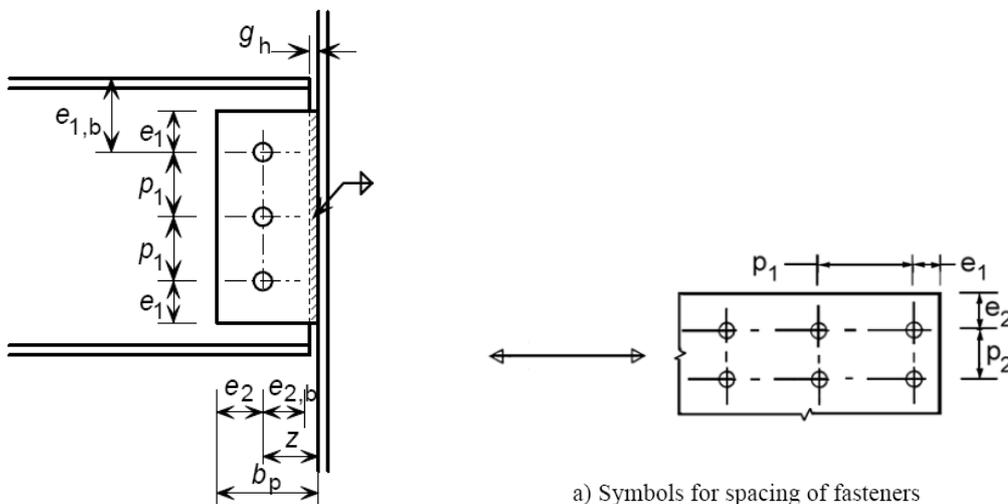
per bulloni interni : $\alpha_d = p_1 / 3 \cdot d_0 - 1/4$

mentre **in direzione perpendicolare al carico** viene così definito il fattore k_1 :

per bulloni di bordo k_1 è il minore tra : $2,8 \cdot e_2 / d_0 - 1,7$ e 2,5

per bulloni interni k_1 è il minore tra : $1,4 \cdot p_2 / d_0 - 1,7$ e 2,5

con i seguenti riferimenti :



In questi termini il prodotto $k_1 \cdot \alpha_b$ pare soddisfare le condizioni geometriche sia in direzione del carico applicato sia in direzione perpendicolare allo stesso intendendo per **carico la FORZA DI TAGLIO CHE AGISCE SUL GIUNTO**.

Questa interpretazione sembrerebbe in accordo con l'item 7.3 della EN 1993-1-8 che definisce la resistenza di progetto di un gruppo di bulloni come **somma delle resistenze al rifollamento dei singoli bulloni** purchè la resistenza a taglio di **ciascun bullone** sia maggiore della resistenza al rifollamento

$$F_{b,Rd,tot} = \sum F_{b,Rd,i} \text{ se } F_{v,Rd,i} > F_{b,Rd,i}$$

In caso contrario la resistenza di progetto del gruppo di bulloni dovrebbe essere presa pari al **prodotto del numero dei bulloni del giunto per la minor resistenza al rifollamento del singolo bullone** calcolata con le espressioni della tab. 3.4.

La regola NCCI-SN017 cui fa riferimento questo esempio di calcolo e a cui mi sono ispirato per l'elaborazione del programma "Giuntobull", offre una interpretazione diversa considerando l'azione di taglio combinata con il momento $M = V_{Ed} \cdot e$ in modo da generare forze verticali e forze orizzontali che agiscono globalmente sul giunto. La forza che agisce su ciascun bullone è quindi la combinazione dell'effetto orizzontale con quello verticale e, conseguentemente la resistenza globale del giunto a taglio e rifollamento è data dalla combinazione della resistenza verticale con la resistenza orizzontale in base alle seguenti espressioni **NON riportate nella norma europea**.

$$V_{Rd,2} = \frac{n}{\sqrt{\left(\frac{1 + \alpha n}{F_{b,Rd,ver}}\right)^2 + \left(\frac{\beta n}{F_{b,Rd,hor}}\right)^2}}$$

$$V_{Rd,1} = \frac{n F_{v,Rd}}{\sqrt{(1 + \alpha n)^2 + (\beta n)^2}}$$

Se questo criterio fosse una estrapolazione del testo della EN 1993-1-8 (ce ne vuole di fantasia !!), ciò che la norma europea non dice è come definire nel calcolo della resistenza in direzione perpendicolare all'azione di taglio i coefficienti α_b e k_1 ; l'unico "avviso ai naviganti" è in una nota della tabella 3.4 :

- 3) When the load on a bolt is not parallel to the edge, the bearing resistance may be verified separately for the bolt load components parallel and normal to the end.

per analogia con quanto detto per l'azione verticale del carico si possono ricavare le seguenti espressioni :

α_b è il minore tra :

$\alpha_d ; f_{ub} / f_u$ o 1,0 ; dove :

per bulloni di estremità : $\alpha_d = e_2 / 3 \cdot d_0$

per bulloni interni : $\alpha_d = p_2 / 3 \cdot d_0 - 1/4$

mentre k_1 è dato da :

per bulloni di bordo il minore valore tra : $2,8 \cdot e_1 / d_0 - 1,7$ e $2,5$

per bulloni interni il minore valore tra : $1,4 \cdot p_1 / d_0 - 1,7$ e $2,5$

conclusioni :

In base alla prima interpretazione della norma EN 1993-1-8 ed in accordo con l'item 7.3 la verifica di resistenza globale del giunto sarebbe eseguita nel seguente modo :
per il piatto di giunto :

$$\begin{aligned} \text{bullone esterno :} \quad \alpha_b &= \min (e_1/3 \cdot d_0 ; f_{ub}/f_u ; 1) = 0,682 \\ k_1 &= \min (2,8 \cdot e_2/d_0 - 1,7 ; 2,5) = 2,5 \end{aligned}$$

$$F_{b,Rd,e} = \alpha_b \cdot k_1 \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = \mathbf{98,18 \text{ kN}}$$

$$\begin{aligned} \text{bullone interno :} \quad \alpha_b &= \min (p_1/3 \cdot d_0 - 1/4 ; f_{ub}/f_u ; 1) = 0,811 \\ k_1 &= \min (2,8 \cdot e_2/d_0 - 1,7 ; 2,5) = 2,5 \end{aligned}$$

$$F_{b,Rd,i} = \alpha_b \cdot k_1 \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = \mathbf{116,7 \text{ kN}}$$

La resistenza a taglio del singolo bullone è : (vedere calcolo precedente)

$$F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2} = \mathbf{94,1 \text{ kN}}$$
 che è minore della resistenza minima a rifollamento

Quindi la resistenza globale del piatto di giunto è data dal prodotto del numero dei bulloni per la resistenza al rifollamento minima :

$$F_{b,Rd,tot} = \mathbf{3 \times 98,18 = 294,57 \text{ kN}} \gg 100 \text{ kN}$$

Analogo procedimento è eseguito per l'anima **non mortesa** (*) della trave ottenendo i seguenti risultati :

$$\begin{aligned} \text{bullone esterno :} \quad \alpha_b &= \min (p_1/3 \cdot d_0 - 1/4 (*) ; f_{ub}/f_u ; 1) = 0,811 \\ k_1 &= \min (2,8 \cdot e_2/d_0 - 1,7 ; 2,5) = 2,5 \end{aligned}$$

$$F_{b,Rd,e} = \alpha_b \cdot k_1 \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = \mathbf{82,88 \text{ kN}}$$

$$\begin{aligned} \text{bullone interno :} \quad \alpha_b &= \min (p_1/3 \cdot d_0 - 1/4 ; f_{ub}/f_u ; 1) = 0,811 \\ k_1 &= \min (2,8 \cdot e_2/d_0 - 1,7 ; 2,5) = 2,5 \end{aligned}$$

$$F_{b,Rd,i} = \alpha_b \cdot k_1 \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = \mathbf{82,88 \text{ kN}}$$

La resistenza a taglio del singolo bullone è maggiore della resistenza a rifollamento pertanto la resistenza globale a rifollamento dell'anima della trave è :

$$F_{b,Rd,tot} = \sum F_{b,Rd,i} = \mathbf{3 \times 82,88 = 248,64 \text{ kN}} \gg 100 \text{ kN}$$

La grande differenza tra i valori della resistenza globale (gruppo di bulloni) ottenuta dai due criteri di calcolo evidenzia che la norma EN 1993-1-8 presenta incongruenze con la NCCI-SN 017 prima fra tutte la mancanza di chiarezza e di informazioni sul metodo di calcolo che induce il progettista a

seguire l'interpretazione letterale della norma europea in assenza di altri riferimenti ufficiali (NCCI) **rischiando un dimensionamento a SFAVORE di sicurezza.**

Calcolo plastico :

Un altro criterio di calcolo proposto dalla norma EN 1993-1-8 è il calcolo plastico.

3.12 Distribution of forces between fasteners at the ultimate limit state

- (1) When a moment is applied to a joint, the distribution of internal forces may be either linear (i.e. proportional to the distance from the centre of rotation) or plastic, (i.e. any distribution that is in equilibrium is acceptable provided that the resistances of the components are not exceeded and the ductility of the components is sufficient).

Se tale metodo fosse applicato al giunto in esempio la verifica non sarebbe soddisfatta poiché, attribuendo ai bulloni estremi la resistenza alle forze orizzontali generate dal momento di trasporto, la resistenza al taglio sarebbe attribuita ad un solo bullone che offre una resistenza insufficiente anche al rifollamento:

CARATTERISTICHE DEL GIUNTO :		analisi plastica	
Numero file verticali bulloni		$n_2 \leq 2$	1
Numero bulloni su 1° fila verticale		$n_1 > 2$	3
Bulloni allineati per fila ?		(S,N)	S
Altezza totale giunto		$h = \text{cm}$	23
Distanza 1 fila bull.- asse appoggio		cm	6
Passo verticale bulloni ($p_1 > 2,2 \cdot d_o$)		$p_1 = \text{cm}$	7
Passo orizzont. Bulloni ($p_2 > 2,4 \cdot d_o$)		$p_2 = \text{cm}$	0
Distanza da bordo vert. ($e_2 > 1,2 \cdot d_o$)		$e_2 = \text{cm}$	5
Distanza da bordo orizz. ($e_1 > 1,2 \cdot d_o$)		$e_1 = \text{cm}$	4,50
Distanza bordo-piano di taglio		$a_2 = \text{cm}$	5,00
Braccio di leva		$d' = \text{cm}$	14,00
Eccentricità reazione		$e = \text{cm}$	6,00
Spessore piatti di giunto		$s = \text{cm}$	1
Spessore anima trave collegata		$t_w = \text{cm}$	0,71
Numero bulloni resistenti a taglio		$N_v =$	1
FORZA DI TAGLIO MASSIMA SUI BULLONI PER ANALISI PLASTICA :		$F_{v,Ed,m} = \text{kN}$	100,00
3.6.1 RESISTENZA A TAGLIO DEI BULLONI :		Numero di sezioni resistenti - $N^\circ(1,2) = 1$	
$\gamma_{M2} = 1,25$		$n = 3$	$\beta = 0,42857$
gruppo bulloni $V_{Rd,1} = \text{kN}$		173	singolo bullone $F_{v,Rd} = \text{kN}$ 94,10
3.6.1 RIFOLLAMENTO ANIMA TRAVE :		$\alpha_b = 0,758$	
gruppo bulloni $V_{Rd,2} = \text{kN}$		146	singolo bullone $F_{b,Rd} = \text{kN}$ 77,45
3.6.1 RIFOLLAMENTO PIATTI GIUNTO :		$\alpha_b = 0,682$	
gruppo bulloni $V_{Rd,2} = \text{kN}$		193	singolo bullone $F_{b,Rd} = \text{kN}$ 109,09

In questo caso bisognerebbe aggiungere un bullone modificando il passo e aumentando l'altezza del piatto.

Attribuendo la resistenza a taglio ai due bulloni centrali si otterrebbe il seguente risultato riportato nel foglio di calcolo automatico :

GIUNTO SEMPLICE BULLONATO CON PIATTI O SQUADRETTE		DISTRIBUZIONE PLASTICA DELLE FORZE																																																													
ELEMENTI DEL GIUNTO :		In accordo con EN 1993-1-8 ; NTC 2008 ; NCCI-SN017																																																													
TRAVE : tipo : (1,2,3,4,5)	1	S 235 EN 10027-1	$f_y = 23,50$ kN/cm ² $f_u = 36,00$ kN/cm ²																																																												
giunto tipo	estremità piana [1]	estremità mortesata [2]	doppia mortesatura [3]																																																												
1	$a_1 = \text{cm}$ $a_3 = 6,00$	$a_1 = \text{cm}$ $a_3 = \text{cm}$	$a_1 = \text{cm}$ $a_3 = \text{cm}$																																																												
PIATTI O L : (1,2,3,4,5)	1	S 235 EN 10027-1	$f_y = 23,50$ kN/cm ² $f_u = 36,00$ kN/cm ²																																																												
BULLONI : (A,B,C)	A	RESISTENZA A TAGLIO	DIAM. BULL. - FORI (mm) 20 22																																																												
in fila semplice	allineati in fila doppia	sfalsati in fila doppia	CLASSE BULLONI CL. 8.8																																																												
n° bull. 4	n° bull. 0	n° bull. 0	AREA SEZIONE (cm ²) gambo 3,14 filetto 2,45																																																												
			RESIST. A ROTTURA f_{ub} (kN/cm ²) 80,00																																																												
			FORZA DI PRECARICO $F_{p,Cd}$ (kN) 137,22																																																												
SOLLECITAZIONI DI PROGETTO :		$V_{Ed,ult.} = 100$ kN	$V_{Ed,serv.} = 100$ kN																																																												
		$M_{Ed,ult.} = 600$ kNcm	$M_{Ed,serv.} = 600$ kNcm																																																												
CARATTERISTICHE DEL GIUNTO :		analisi plastica																																																													
		<table border="1"> <tr><td>Numero file verticali bulloni</td><td>$n_2 \leq 2$</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>Numero bulloni su 1° fila verticale</td><td>$n_1 \geq 2$</td><td>4</td><td>4</td></tr> <tr><td>Bulloni allineati per fila ?</td><td>(S,N)</td><td>S</td><td>S</td></tr> <tr><td>Altezza totale giunto</td><td>$h = \text{cm}$</td><td>24</td><td>24</td></tr> <tr><td>Distanza 1 fila bull. - asse appoggio</td><td>cm</td><td>6</td><td>6</td></tr> <tr><td>Passo verticale bulloni ($p_1 > 2,2 \cdot d_o$)</td><td>$p_1 = \text{cm}$</td><td>6</td><td>6</td></tr> <tr><td>Passo orizzont. Bulloni ($p_2 > 2,4 \cdot d_o$)</td><td>$p_2 = \text{cm}$</td><td></td><td>0</td></tr> <tr><td>Distanza da bordo vert. ($e_2 > 1,2 \cdot d_o$)</td><td>$e_2 = \text{cm}$</td><td>5</td><td>5</td></tr> <tr><td>Distanza da bordo orizz. ($e_1 > 1,2 \cdot d_o$)</td><td>$e_1 = \text{cm}$</td><td>3,00</td><td>3,00</td></tr> <tr><td>Distanza bordo-piano di taglio</td><td>$a_2 = \text{cm}$</td><td>5,00</td><td>5,00</td></tr> <tr><td>Braccio di leva</td><td>$d' = \text{cm}$</td><td>18,00</td><td>18,00</td></tr> <tr><td>Eccentricità reazione</td><td>$e = \text{cm}$</td><td>6,00</td><td>6,00</td></tr> <tr><td>Spessore piatti di giunto</td><td>$s = \text{cm}$</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>Spessore anima trave collegata</td><td>$t_w = \text{cm}$</td><td>0,71</td><td>0,71</td></tr> <tr><td>Numero bulloni resistenti a taglio</td><td>$N_v =$</td><td></td><td>2</td></tr> </table>		Numero file verticali bulloni	$n_2 \leq 2$	1	1	Numero bulloni su 1° fila verticale	$n_1 \geq 2$	4	4	Bulloni allineati per fila ?	(S,N)	S	S	Altezza totale giunto	$h = \text{cm}$	24	24	Distanza 1 fila bull. - asse appoggio	cm	6	6	Passo verticale bulloni ($p_1 > 2,2 \cdot d_o$)	$p_1 = \text{cm}$	6	6	Passo orizzont. Bulloni ($p_2 > 2,4 \cdot d_o$)	$p_2 = \text{cm}$		0	Distanza da bordo vert. ($e_2 > 1,2 \cdot d_o$)	$e_2 = \text{cm}$	5	5	Distanza da bordo orizz. ($e_1 > 1,2 \cdot d_o$)	$e_1 = \text{cm}$	3,00	3,00	Distanza bordo-piano di taglio	$a_2 = \text{cm}$	5,00	5,00	Braccio di leva	$d' = \text{cm}$	18,00	18,00	Eccentricità reazione	$e = \text{cm}$	6,00	6,00	Spessore piatti di giunto	$s = \text{cm}$	1	1	Spessore anima trave collegata	$t_w = \text{cm}$	0,71	0,71	Numero bulloni resistenti a taglio	$N_v =$		2
Numero file verticali bulloni	$n_2 \leq 2$	1	1																																																												
Numero bulloni su 1° fila verticale	$n_1 \geq 2$	4	4																																																												
Bulloni allineati per fila ?	(S,N)	S	S																																																												
Altezza totale giunto	$h = \text{cm}$	24	24																																																												
Distanza 1 fila bull. - asse appoggio	cm	6	6																																																												
Passo verticale bulloni ($p_1 > 2,2 \cdot d_o$)	$p_1 = \text{cm}$	6	6																																																												
Passo orizzont. Bulloni ($p_2 > 2,4 \cdot d_o$)	$p_2 = \text{cm}$		0																																																												
Distanza da bordo vert. ($e_2 > 1,2 \cdot d_o$)	$e_2 = \text{cm}$	5	5																																																												
Distanza da bordo orizz. ($e_1 > 1,2 \cdot d_o$)	$e_1 = \text{cm}$	3,00	3,00																																																												
Distanza bordo-piano di taglio	$a_2 = \text{cm}$	5,00	5,00																																																												
Braccio di leva	$d' = \text{cm}$	18,00	18,00																																																												
Eccentricità reazione	$e = \text{cm}$	6,00	6,00																																																												
Spessore piatti di giunto	$s = \text{cm}$	1	1																																																												
Spessore anima trave collegata	$t_w = \text{cm}$	0,71	0,71																																																												
Numero bulloni resistenti a taglio	$N_v =$		2																																																												
FORZA DI TAGLIO MASSIMA SUI BULLONI PER ANALISI PLASTICA :		$F_{v,Ed,m} = \text{KN}$	50,00																																																												
3.6.1 RESISTENZA A TAGLIO DEI BULLONI :	Numero di sezioni resistenti - $N^{\circ}(1,2) = 1$																																																														
$\gamma_{M2} = 1,25$	$n = 4$	$\beta = 0,30000$	$\alpha = 0,00000$																																																												
gruppo bulloni $V_{Rd,1} = \text{KN}$	241	singolo bullone $F_{v,Rd} = \text{KN}$	94,10																																																												
3.6.1 RIFOLLAMENTO ANIMA TRAVE :	orizzontale $k_1 = 2,118$	verticale $k_1 = 2,500$	orizzontale $\alpha_b = 0,758$																																																												
gruppo bulloni $V_{Rd,2} = \text{KN}$	170	singolo bullone $F_{b,Rd} = \text{KN}$	65,63																																																												
3.6.1 RIFOLLAMENTO PIATTI GIUNTO :	orizzontale $k_1 = 2,118$	verticale $k_1 = 2,500$	orizzontale $\alpha_b = 0,758$																																																												
gruppo bulloni $V_{Rd,2} = \text{KN}$	200	singolo bullone $F_{b,Rd} = \text{KN}$	92,43																																																												
3.10.2 RESISTENZA A ROTTURA PER TAGLIO DELL'ANIMA :	$V_{Ed,ult.} \leq V_{eff,Rd}$ (item 3.10.2 EN 1993-1-8)		$A_{nt} = \text{cm}^2$ 2,77																																																												
		$L_1 = \text{cm}$ 6,00	$L_v = \text{cm}$ 16,30																																																												
	$V_{eff,Rd} = 0,5 f_u A_{nt} / \gamma_{M2} + (1 / \sqrt{3}) f_y A_{nv} / \gamma_{M0}$	$\gamma_{M0} = 1$	$A_{nv} = \text{cm}^2$ 11,57																																																												
			$V_{eff,Rd} = \text{KN}$ 197																																																												
VERIFICA AD ATTRITO NON RICHIESTA		$\mu = \text{coeff. attr.}$																																																													
3.9.1 UNIONE DI CAT. 'A' :	$F_{v,Ed} = \text{KN} < F_{s,Rd}$	$\gamma_{M3} =$	$F_{s,Rd} = \text{KN}$																																																												

Il metodo plastico può essere utilizzato se è garantita sufficiente **duttilità del giunto**. Tale condizione è ottenuta se la resistenza massima al rifollamento (sia del piatto di giunto che dell'anima della trave) è **inferiore** alla resistenza a taglio dei bulloni.

Nel caso in esame risulta :

- Bulloni in gruppo

$$F_{b,Rd,anima} = 170 \text{ kN} < 241 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd,piatto} = 200 \text{ kN} < 241 \text{ kN}$$

- Bullone singolo

$$F_{b,Rd,anima} = 67,39 \text{ kN} < 94,1 \text{ kN} \text{ (azione verticale)}$$

$$F_{b,Rd,piatto} = 92,43 \text{ kN} < 94,1 \text{ kN} \text{ (azione orizzontale)}$$

