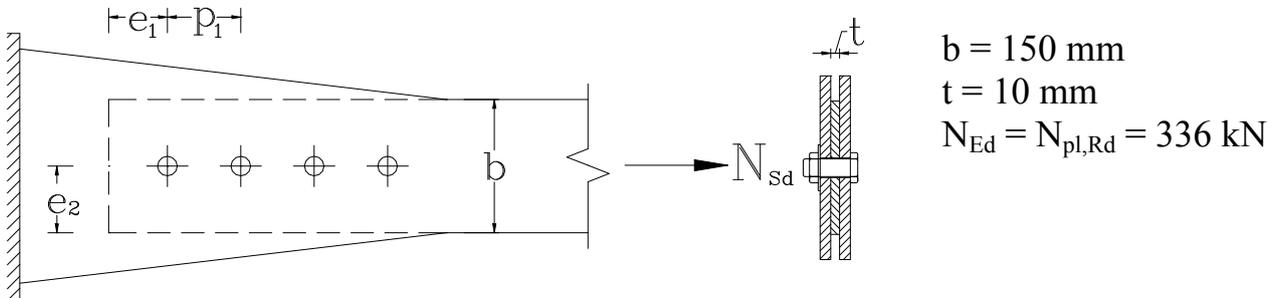


ESEMPIO 2: CONTROLLO DELLA DUTTILITA'

(Aggiornato al D.M. 14-1-2008)

Progettare un giunto bullonato a completo ripristino per un'asta tesa in acciaio Fe360 con sezione 150x10mm



1. Giunzione a taglio

Affinché il giunto sia a completo ripristino è necessario che la resistenza ultima di progetto della sezione netta in corrispondenza dei fori sia maggiore della resistenza plastica di progetto della sezione lorda [NTC – D.M. 14-1-2008 §4.2.4.1.2 eq. (4.2.8)]:

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 \cdot A_{net} \cdot f_{tk}}{\gamma_{M2}} \geq N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

con $f_{tk} = 360 \text{ N/mm}^2$

$f_{yk} = 235 \text{ N/mm}^2$

$\gamma_{M0} = 1.05$

coeff. di sicurezza delle sezioni di classe 1,2 e 3

$\gamma_{M2} = 1.25$

coeff. di sicurezza delle sezioni nette in corrispondenza dei fori per le bullonature

Per cui risulta che:

$$\frac{A_{net}}{A} \geq \frac{f_{yk}}{f_{tk}} \frac{\gamma_{M2}}{0.9 \cdot \gamma_{M0}} = 0.863$$

Indicando con d_0 il diametro del foro e con b la larghezza della sezione, deve essere:

$$\frac{b - d_0}{b} \geq 0.863 \quad \Rightarrow \quad d_0 \leq 0.137 \cdot b = 20.5 \text{ mm}$$

Considerando un gioco foro-bullone di 1mm [NTC §4.2.8.1.1], il diametro del bullone deve essere $d \leq 19.5\text{mm}$.

Si sceglie un bullone M18 di classe 8.8. Per evitare il pericolo di rottura fragile per taglio del bullone, è opportuno che la resistenza a taglio del bullone $F_{v,Rd}$ sia maggiore della resistenza a rifollamento $F_{b,Rd}$. Pertanto, se i piani di taglio non attraversano la filettatura dei bulloni, si ha:

$$F_{v,Rd} = 2 \frac{0.6 \cdot f_{tb} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 1957\text{kN} \quad (\text{due piani di taglio})$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Assumendo $k\alpha = 2.5$ deve essere:

$$\frac{A}{d \cdot t} \geq \frac{2.5}{2 \cdot 0.6} \cdot \frac{f_{tk}}{f_{tb}}$$

ed essendo $A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ risulta:

$$\frac{\pi d^2}{4dt} \geq \frac{2.5}{2 \cdot 0.6} \frac{360}{800} = 0.938 \quad \rightarrow \quad d \geq \frac{4t}{\pi} 0.938 = 11.9 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

Il numero dei bulloni va calcolato in modo che la resistenza della giunzione sia maggiore della resistenza plastica $N_{pl,Rd}$.

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yk} / \gamma_{M0} = 150 \cdot 10 \cdot 235 / 1,05 \cdot 10^{-3} = 336\text{KN}$$

La resistenza di ciascun bullone è governata dalla resistenza a rifollamento che risulta

$$F_{b,Rd} = \frac{k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2.5 \cdot 1 \cdot 360 \cdot 18 \cdot 10}{1.25} = 129\text{KN}$$

Si definisce la posizione dei bulloni affinché i coefficienti k e α della resistenza di progetto a rifollamento assumano i valori massimi $k=2.5$ e $\alpha=1$.

- per i bulloni di bordo nella direzione del carico applicato:

$$\alpha = \min \left\{ \frac{e_1}{3d_0}; \frac{f_{tb}}{f_{tk}} = \frac{800}{360}; 1 \right\} \quad \Rightarrow \quad e_1 > 3d_0 = 57 \text{ mm}$$

- per i bulloni interni nella direzione del carico applicato:

$$\alpha = \min \left\{ \frac{p_1}{3d_0} - 0.25; \frac{f_{tb}}{f_{tk}} = \frac{800}{360}; 1 \right\} \Rightarrow p_1 > 3.75d_0 = 71 \text{ mm}$$

- per i bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico applicato:

$$k = \min \left\{ \frac{2.8e_2}{d_0} - 1.7; 2.5 \right\} \Rightarrow e_2 > 1.5d_0 = 28.5 \text{ mm}$$

Sono quindi sufficienti 3M18 di classe 8.8.

Si riporta nella figura il calcolo della resistenza del bullone eseguito con il programma profili (<http://dicata.ing.unibs.it/gelfi/>).

Resistenza di progetto dei bulloni - EC3 #6.5.5.

Classe bullone: 8.8 diametro d: 18 f_{yb} : 640 f_{ub} : 800 N/mm²

Sezione filettata
 Sezione lorda

Area: 192.0 mm²

Resistenza a taglio (per piano di taglio): $F_{v,Rd}$: 73.73 kN

Resistenza a trazione: $F_{t,Rd}$: 110.6 kN

Taglio e Trazione - EC3 #6.5.5.(5)

$F_{v,Sd}$: 0 $F_{t,Sd}$: 0 kN

$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1.4 F_{t,Rd}} = 0 + 0 = 0$ OK

Rifollamento

Acciaio: S235 (Fe360) f_u : 360 N/mm²

spessore t: 10 mm

diametro foro d_o : 19 mm

distanze bordo e_1 : 57 e_2 : 28.5

passo p_1 : 71.3 p_2 : 60

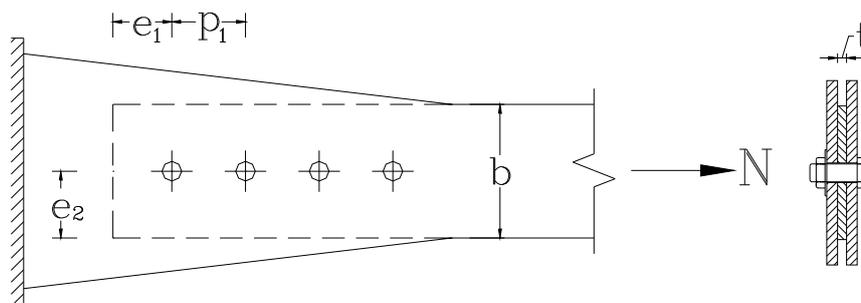
α : 1

Resistenza a rifollamento $F_{b,Rd}$: 129.6 kN Osservazioni

Diagramma: Direzione carico (←) applicata a un gruppo di bulloni. Parametri geometrici: p_1 (passo orizzontale), e_1 (distanza bordo superiore), e_2 (distanza bordo inferiore), p_2 (passo verticale), d_o (diametro foro).

2. Giunzione ad attrito

Si progetta un collegamento per il quale non si vuole avere scorrimento allo stato limite di servizio. Per le giunzioni ad attrito si usano solo bulloni di classe 8.8 e 10.9 ad alto limite di snervamento, per limitare le perdite di carico per rilassamento del bullone.



Dati di progetto:

- giunto a completo ripristino
- superfici non sabbiate ($\mu=0.3$; NTC §4.2.8.1.1)
- bulloni M18 classe 10.9
- sollecitazione allo S.L.U. $N_{pl.Rd} = 491 \text{ KN}$
- sollecitazione allo S.L.E. $N_{Ed} = N_{pl.Rd} / 1.5 = 327 \text{ KN}$

Forza di “precarico” [NTC eq. (4.2.56)]

$$F_{p,Cd} = 0.7 \frac{f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M7}} = 122.2 \text{ KN}$$

con $f_{tb} = 1000 \text{ N/mm}^2$

$$A_{res} = 192 \text{ mm}^2$$

area resistente M18

$$\gamma_{M7}=1.1$$

coeff. di sicurezza precarico.

Allo stato limite di servizio la resistenza di progetto allo scorrimento di un bullone [NTC eq. (4.2.66)] risulta:

$$F_{s,Rd} = \frac{n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,Cd} = 66.7 \text{ KN}$$

con $n=2$

numero delle superfici di attrito

$$\mu=0.3$$

coeff. d'attrito (superfici non sabbiate)

$$\gamma_{M3}=1.1$$

coeff. di sicurezza per SLE.

Sono necessari 5 bulloni M18:

$$5 \cdot F_{s.Rd} = 334 \text{ KN} > N_{Ed} = 327 \text{ KN}$$

Le verifiche allo stato limite ultimo (resistenza a taglio e a rifollamento), già soddisfatte con 4 bulloni classe 8.8, lo sono a maggior ragione con 5 bulloni classe 10.9.