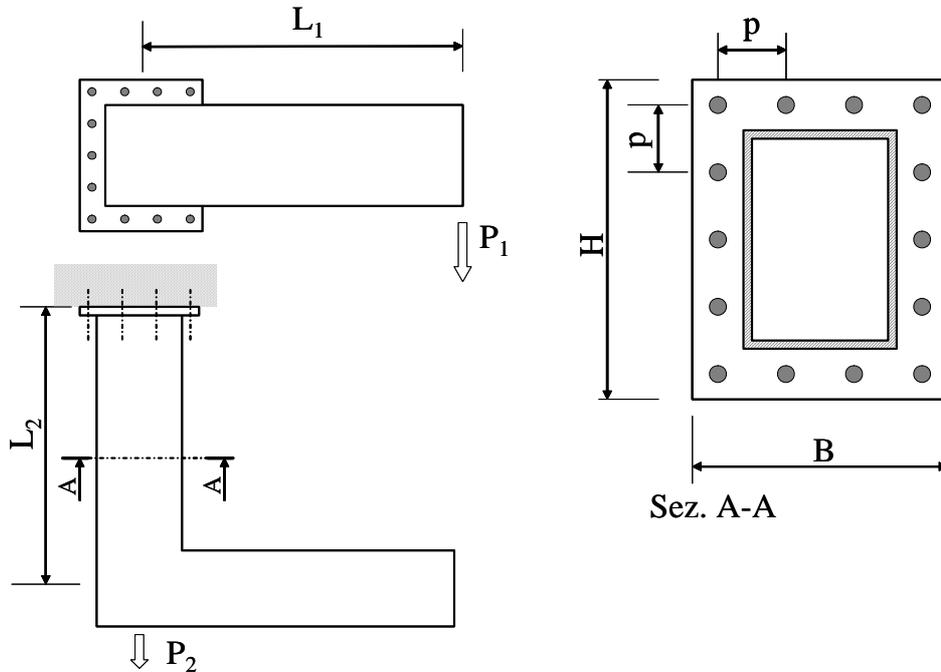


VERIFICA DI GIUNTO BULLONATO A FLANGIA

Condurre la verifica del giunto bullonato a flangia due che collega la struttura mostrata in figura al sostegno.



CARATTERISTICHE BULLONI

Nel seguito sono riportate le caratteristiche dei bulloni e dei relativi materiali, come da normativa UNI. La sezione resistente si riferisce alla sezione depurata delle filettature.

Bulloni :=	Diametro	SezioneRes
	12	84
	14	115
	16	157
	18	192
	20	245
	22	303
	24	353
	27	459
	30	561

Materiale :=	Materiale	σ_{badm}	τ_{badm}	f_{kN}
	4.6	160	113	240
	5.6	200	141	300
	6.6	240	170	360
	8.8	373	264	560
	10.9	467	330	700

Per l'esercizio si seleziona un bullone diametro 20 mm Classe 8.8, per cui si ottengono le seguenti caratteristiche:

$\phi_b := 20 \cdot \text{mm}$ Diametro nominale bulloni

$A_b := \frac{\pi \cdot \phi_b^2}{4}$ $A_b = 314.159 \text{ mm}^2$ Area nominale sezione bullone

$A_{\text{res}} := 245 \cdot \text{mm}^2$ Sezione resistente

$\sigma_{\text{badm}} := 373 \cdot \text{MPa}$ $\tau_{\text{badm}} := 264 \cdot \text{MPa}$ Tensioni ammissibili per verifica a taglio

$f_{\text{kN}} := 560 \cdot \text{MPa}$ Tensione di snervamento del materiale

$\psi_a := 1.25$ Coefficiente di sicurezza per la verifica a scorrimento

$f := 0.3$ Coefficiente di attrito per la verifica a scorrimento

ALTRI DATI

$L_1 := 1500 \cdot \text{mm}$ $L_2 := 2000 \cdot \text{mm}$ $p := 100 \cdot \text{mm}$

$H := 500 \cdot \text{mm}$ $B := 400 \cdot \text{mm}$

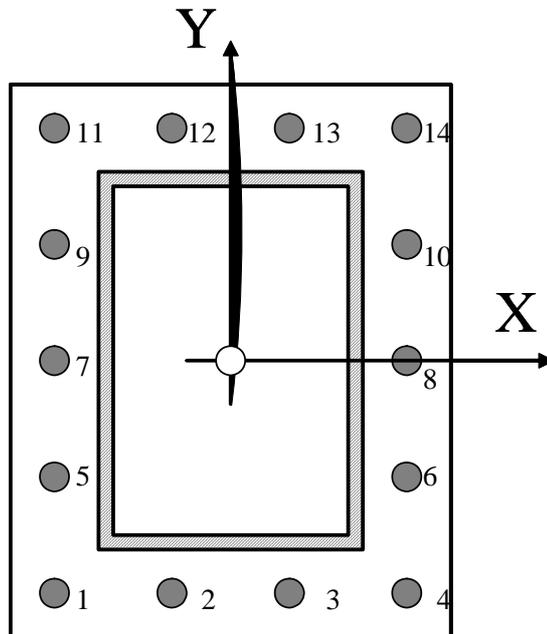
$P_1 := 20 \cdot \text{kN}$ $P_2 := 30 \cdot \text{kN}$

$n_b := 14$ Numero totale bulloni nel giunto

FORZE E MOMENTI TRASMESSI DAL GIUNTO

Forze e momenti agenti

Fissato un S.R. (analogo a quelli normalmente utilizzati per le travi) avente origine nel baricentro del giunto, le forze ed i momenti trasmessi da quest'ultimo sono dati da:



$$F_z := P_2$$

$$F_x := 0$$

$$F_y := -P_1$$

$$M_x := P_1 \cdot L_2$$

$$M_x = 4 \times 10^4 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$M_y := 0$$

$$M_z := -P_1 \cdot L_1$$

$$M_z = -3 \times 10^4 \text{ N}\cdot\text{m}$$

CALCOLO DEI CARICHI AGENTI SUI SINGOLI BULLONI

Per comodità, dato che si fa uso di un foglio elettronico, si calcoleranno le forze agenti su tutti i bulloni, organizzandole in apposite matrici colonna.

A tale scopo, si è attribuito un numero identificativo ad ogni bullone (vedi figura), utilizzato anche per indicare il corrispondente elemento della matrice colonna.

Si farà del pari uso di vettori per le coordinate X ed Y dei singoli bulloni e per i relativi carichi.

Di seguito si riportano tali vettori contenenti le coordinate:

$$X_b := \begin{pmatrix} -150 \\ -50 \\ 50 \\ 150 \\ -150 \\ 150 \\ -150 \\ 150 \\ -150 \\ 150 \\ -150 \\ -50 \\ 50 \\ 150 \end{pmatrix} \cdot \text{mm} \quad Y_b := \begin{pmatrix} -200 \\ -200 \\ -200 \\ -200 \\ -100 \\ -100 \\ 0 \\ 0 \\ 100 \\ 100 \\ 200 \\ 200 \\ 200 \\ 200 \end{pmatrix} \cdot \text{mm}$$

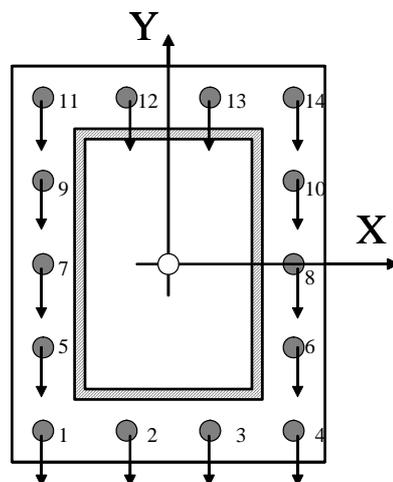
$$i := 1 .. n_b$$

Forza F_y

Questa componente di forza produce su ciascun bullone un'azione di taglio diretta parallelamente all'asse Y; nell' ipotesi di flange molto più rigide dei bulloni, tale azione può essere valutata come segue:

$$T_{y_i} := \frac{F_y}{n_b}$$

$$T_{y_1} = -1.429 \times 10^3 \text{ N}$$



Momento M_z

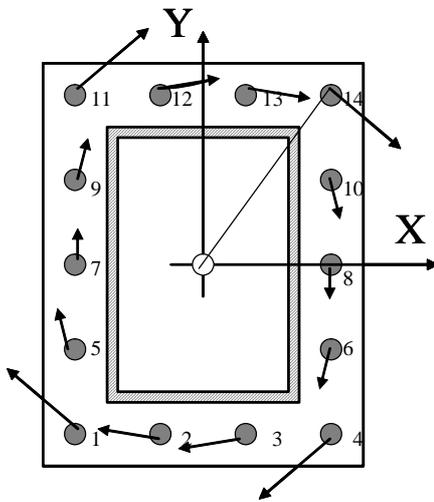
Questo momento produce su ogni bullone un'azione di taglio diretta ortogonalmente alla congiungente con il baricentro della bullonatura.

Nell'ipotesi di flange molto più rigide dei bulloni, tale azione può essere valutata come segue:

$$T_{Mz_i} := \frac{M_z \cdot \sqrt{(X_{b_i})^2 + (Y_{b_i})^2}}{\sum_{j=1}^{14} [(X_{b_j})^2 + (Y_{b_j})^2]}$$

$$T_{Mz_i} =$$

-1.261 · 10 ⁴	N
-1.039 · 10 ⁴	
-1.039 · 10 ⁴	
-1.261 · 10 ⁴	
-9.09 · 10 ³	
-9.09 · 10 ³	
-7.563 · 10 ³	
-7.563 · 10 ³	
-9.09 · 10 ³	
-9.09 · 10 ³	
-1.261 · 10 ⁴	
-1.039 · 10 ⁴	
-1.039 · 10 ⁴	
-1.261 · 10 ⁴	



Forza F_z

Questa componente di forza produce su ciascun bullone un'azione normale (di distacco), che può essere valutata come segue:

$$N_{z_i} := \frac{F_z}{n_b}$$

$$N_{z_1} = 2.143 \times 10^3 \text{ N}$$

Momento M_x

Questo momento produce su ogni bullone un'azione normale (di distacco) diretta lungo l'asse Z. Nell'ipotesi che, per la sezione resistente formata dai bulloni, possa essere accettata l'ipotesi delle sezioni piane, tale azione può essere valutata come segue:

$$N_{x_i} := \frac{M_x \cdot Y_{b_i}}{14 \sum_{j=1}^{14} (Y_{b_j})^2}$$

$$N_{x_i} =$$

-2.222 · 10 ⁴	N
-2.222 · 10 ⁴	
-2.222 · 10 ⁴	
-2.222 · 10 ⁴	
-1.111 · 10 ⁴	
-1.111 · 10 ⁴	
0	
0	
1.111 · 10 ⁴	
1.111 · 10 ⁴	
2.222 · 10 ⁴	

VERIFICA

Calcolo preserraggio

Lo sforzo di serraggio iniziale prescritto per i bulloni è dato da:

$$N_0 := A_{res} \cdot f_{kN} \cdot 0.8$$

$$N_0 = 1.098 \times 10^5 \text{ N}$$

Azioni di taglio agenti

Le azioni di taglio agenti sul singolo bullone vengono cautelativamente calcolate sommando algebricamente in valore assoluto i contributi dovuti alla forza FY ed al momento MZ

$$T_i := |T_{y_i}| + |T_{Mz_i}|$$

$$T_i =$$

1.403 · 10 ⁴	N
1.182 · 10 ⁴	
1.182 · 10 ⁴	
1.403 · 10 ⁴	
1.052 · 10 ⁴	
1.052 · 10 ⁴	
8.992 · 10 ³	
8.992 · 10 ³	
1.052 · 10 ⁴	
1.052 · 10 ⁴	
1.403 · 10 ⁴	
1.182 · 10 ⁴	
1.182 · 10 ⁴	
1.403 · 10 ⁴	

Azioni normali agenti

Le azioni normali sul singolo bullone vengono calcolate sommando i contributi della forza F_z e del momento M_x :

$$N_i := N_{z_i} + N_{x_i}$$

$$N_i =$$

-2.008 · 10 ⁴	N
-2.008 · 10 ⁴	
-2.008 · 10 ⁴	
-2.008 · 10 ⁴	
-8.968 · 10 ³	
-8.968 · 10 ³	
2.143 · 10 ³	
2.143 · 10 ³	
1.325 · 10 ⁴	
1.325 · 10 ⁴	
2.437 · 10 ⁴	

Verifica ad attrito

Si calcola lo sforzo di taglio trasmissibile per attrito per tutti i bulloni della giunzione, verificando che risulti maggiore del valore effettivamente agente:

$$n_s := 1 \quad \text{N° di superfici a contatto}$$

$$T_{\text{amm}_i} := \frac{n_s \cdot f \cdot (N_0 - N_i)}{\psi_a}$$

La verifica viene poi condotta per il bullone 14 che, insieme al bullone 11, si trova chiaramente nelle condizioni più sfavorevoli, avendo i valori massimi sia del carico di taglio che di quello di distacco.

$$T_{14} = 1.403 \times 10^4 \text{ N} < T_{\text{amm}_{14}} = 2.049 \times 10^4 \text{ N}$$

Si verifica inoltre che la forza normale agente sul bullone rientri nel limite prescritto:

$$N_{14} = 2.437 \times 10^4 \text{ N} < 0.8 \cdot N_0 = 8.781 \times 10^4 \text{ N}$$

Il bullone più sfavorito risulta quindi correttamente verificato.

Verifica a taglio

Si procede a valutare la sollecitazione rispetto alla rottura a taglio per tutti i bulloni, verificando che essa risulti inferiore al limite prescritto, che è pari ad 1.

A tale scopo, si calcolano in primo luogo le tensioni medie normali e tangenziali agenti:

$$\sigma_{b_i} := \frac{N_i}{A_b} \quad \tau_{b_i} := \frac{T_i}{A_b}$$

Si calcola quindi la sollecitazione agente su tutti i bulloni

$$\phi_{t_i} := \left(\frac{\sigma_{b_i}}{\sigma_{badm}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{b_i}}{\tau_{badm}} \right)^2$$

Si conduce la verifica per il bullone 14 che, come nella verifica precedente, risulta il più sollecitato.

$$\phi_{t_{14}} = 0.072 < 1$$

Il bullone più sfavorito risulta quindi verificato anche a taglio.

Confronto tra carichi agenti e limiti operativi

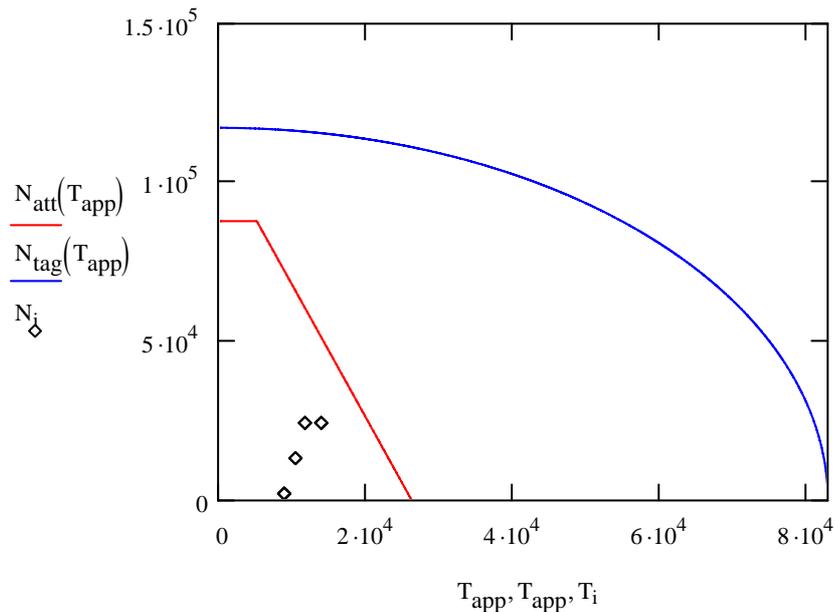
Si opera un confronto tra carichi agenti e limiti operativi, finalizzato a mostrare i margini di sicurezza rispetto ai due tipi di verifica.

Nella verifica ad attrito, fissato il valore del taglio applicato al bullone (nel seguito T_{app}), il limite operativo sulla forza normale (nel seguito N_{att}) è dato da:

$$N_{att}(T_{app}) := \begin{cases} N_0 - \frac{T_{app} \cdot \psi_a}{f \cdot n_s} & \text{if } N_0 - \frac{T_{app} \cdot \psi_a}{f \cdot n_s} < 0.8 \cdot N_0 \\ 0.8 \cdot N_0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Il valore del limite operativo sulla forza normale agente sul bullone nel caso di verifica a taglio (N_{tag} nel seguito) è invece dato da:

$$N_{tag}(T_{app}) := A_b \cdot \sigma_{badm} \sqrt{1 - \left(\frac{T_{app}}{A_b \cdot \tau_{badm}} \right)^2}$$



Si può notare come la verifica ad attrito risulti maggiormente restrittiva.

QUESITI AGGIUNTIVI

- Determinare il diametro minimo richiesto per la verifica a taglio e per la verifica ad attrito.

R: 12 mm per la verifica a taglio, 18 mm per la verifica ad attrito

- Determinare il diametro minimo richiesto per la verifica a taglio impegnando bulloni realizzati con materiale 4.6

R: 16 mm