

Esercitazione 05:

Collegamenti bullonati e saldature

Indice

1	Collegamenti bullonati con schema complesso	1
2	Collegamenti saldati	4

1 Collegamenti bullonati con schema complesso

In precedenza è stato affrontato il problema di determinare le forze che agiscono in corrispondenza dei bulloni, per flange con schemi simmetrici, Fig.1(a). In questo caso le direzioni principali sono ovviamente gli assi di simmetria dello schema dei bulloni. Anche nel caso di un solo asse di simmetria, tale asse è principale (quindi il suo perpendicolare è a sua volta principale).

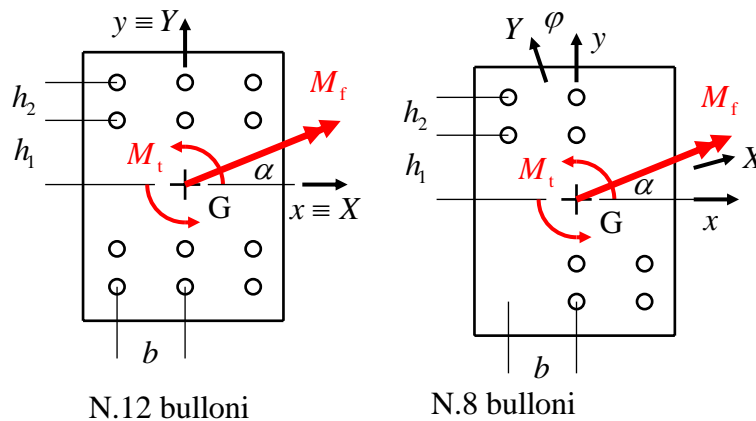


Figura 1: (a) Flangia bullonata con schema a doppia simmetria. (b) Flangia bullonata con schema non simmetrico.

Nel caso di schema non simmetrico, le direzioni principali non sono immediatamente evidenti, Fig.1(b). Presi due assi baricentrici generici x, y , gli assi principali X, Y sono ruotati di un angolo

φ , in genere, non nullo. Inizialmente si possono calcolare i momenti secondi rispetto agli assi x, y :

$$I_x = \sum_i y_i^2$$

$$I_y = \sum_i x_i^2$$

$$I_{xy} = \sum_i x_i y_i$$

in cui x_i, y_i sono le coordinate delle posizioni dei bulloni (ad esempio, nello schema di Fig.1(b): $i = 1 \dots 8$).

Successivamente si determina l'angolo di rotazione invertendo la relazione:

$$\tan(2\varphi) = \frac{I_{xy}}{I_x - I_y}$$

e si possono trovare i momenti secondi principali:

$$I_X = \frac{I_x + I_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{I_x - I_y}{2}\right)^2 + I_{xy}}$$

$$I_Y = \frac{I_x + I_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{I_x - I_y}{2}\right)^2 + I_{xy}}$$

Ovviamente, qualora fosse $I_{xy} = 0$, le direzioni x, y sarebbero già le principali, per definizione. Tale situazione può accadere anche se lo schema non è simmetrico, dato che x, y sono semplicemente direzioni qualsiasi.

Le direzioni principali e i momenti secondi principali sono necessari per la determinazione delle azioni normali generate da una sollecitazione di flessione (M_f in Fig.1). Nel caso in cui il vettore M_f sia allineato con una delle direzioni principali, si ha flessione *retta*. Invece, nel caso in cui non sia allineato con nessuna direzione principale si ha flessione *deviata*. In quest'ultimo caso è necessario scomporre M_f nelle componenti secondo X e Y , eseguire i due calcoli di flessione rette ed applicare il principio di sovrapposizione degli effetti.

Determinare le azioni che agiscono sui bulloni (sia tangenziali che normali), per effetto dei momenti M_f e M_t , dello schema di Fig.1(a). In particolare determinare la massima azione normale e la massima azione tangenziale.

I dati del problema sono:

$$\begin{aligned} M_t &= 1\,200 \text{ N m} \\ M_f &= 3\,500 \text{ N m} \\ \alpha &= 20^\circ \\ h_1 &= 75 \text{ mm} \\ h_2 &= 20 \text{ mm} \\ b &= 50 \text{ mm} \end{aligned} \tag{1}$$



Soluzione:

Un bullone dello schema di Fig.1(a) subisce sia la massima azione normale N_{\max} sia la massima azione tangenziale T_{\max} :

$$N_{\max} = 6501 \text{ N}$$

$$T_{\max} = 1179 \text{ N}$$

Dimensionare il bullone più sollecitato, scegliendo fra le dimensioni (diametro esterno e passo) riportate in Tab.1, classe SAE 5.8, $S_p = 380 \text{ MPa}$, e coefficiente di attrito statico $f_s = 0.2$.

Φ [mm]	p [mm]	Φ [mm]	p [mm]
5	0.8	12	1.75
6	1.0	14	2.0
7	1.0	16	2.0
8	1.25	18	2.5
10	1.5	20	2.5

Tabella 1: Diametro esterno e passo di alcuni bulloni unificati.



Soluzione:

La combinazione $\Phi = 10 \text{ mm}$, $p = 1.5 \text{ mm}$, garantisce la condizione di aderenza, con un margine di sicurezza superiore a 2: $(F_i - N_{\max})f_s = 2581 \text{ N} \gg T_{\max} = 1179 \text{ N}$.

Si supponga che le due coppie di bulloni laterali vengano eliminate, ottenendo la configurazione di Fig.1(b).

Determinare azione normale massima e tangenziale massima, e verificare se il dimensionamento fatto in precedenza garantisce anche in questa configurazione l'aderenza fra le piastre.

Suggerimento:

Notare che la posizione del baricentro non cambia, individuare le nuove direzioni principali, infine, scomporre la sollecitazione di flessione nelle due componenti di flessione retta e applicare il principio di sovrapposizione degli effetti. Notare inoltre che la direzione di M_f è circa la stessa del nuovo asse principale. Sfruttare tale semplificazione.



Soluzione:

Le azioni che agiscono sul bullone più sollecitato sono:

$$N_{\max} = 5772 \text{ N}$$

$$T_{\max} = 1851 \text{ N}$$

Utilizzando le stesse dimensioni del bullone trovate per il caso precedente, la verifica di aderenza viene soddisfatta anche se con margine ridotto.

Osservazione:

Nonostante siano stati eliminati due bulloni il margine di sicurezza è lo stesso verificato. Tale situazione può sembrare paradossale. Da notare che i bulloni eliminati hanno allineato l'asse di sollecitazione (ossia l'asse perpendicolare all'asse neutro) con la diagonale contenente gli altri bulloni rimasti. Invece, eliminare i bulloni dell'altra diagonale avrebbe prodotto un effetto molto negativo.

2 Collegamenti saldati

Analogamente ai collegamenti bullonati una soluzione dello stato di tensione, nella sezione di saldatura, si può ottenere assumendo il cordone molto più cedevole rispetto ai due elementi saldati fra loro, ed imponendo l'equilibrio, Fig.2.

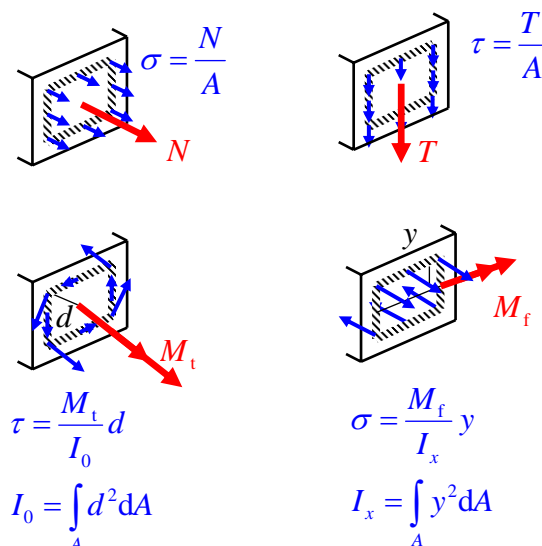


Figura 2: Stato di tensione nella sezione di saldatura, generato dalle varie caratteristiche di sollecitazione.

Anche per il calcolo delle tensioni nella sezione di saldatura si presentano le eventuali difficoltà di flessione deviata e sezione non simmetrica.

L'area A è quella del cordone proiettata sul piano della saldatura, e $I_0, I_x (I_y)$ sono i momenti secondi di area rispettivamente polare ed assiale. Nel caso di giunto saldato a cordone d'angolo, si individua come sezione resistente il ribaltamento dello spessore di gola sul piano della sezione della saldatura, Fig3.

Analogamente ai collegamenti bullonati, le differenti componenti della tensione nel cordone hanno ruoli diversi. Per il caso di cordone d'angolo, considerando la direzione del cordone, si individuano le componenti di tensione: σ_{\perp} (tensione normale perpendicolare), τ_{\perp} (tensione tangenziale perpendicolare), τ_{\parallel} (tensione tangenziale parallela).

È importante sottolineare che la componente τ_{\perp} non esiste secondo la teoria dello stato di sollecitazione della trave, dato che implica uno stato di tensione su un bordo libero. Nella trattazione della sollecitazione della saldatura a cordone d'angolo invece tale tensione è ammessa in quanto è una media di uno stato di tensione fortemente variabile. Nel caso di cordone a piena penetrazione fra due lembi, lo stato di sollecitazione è lo stesso di quello nella sezione di una trave, ed

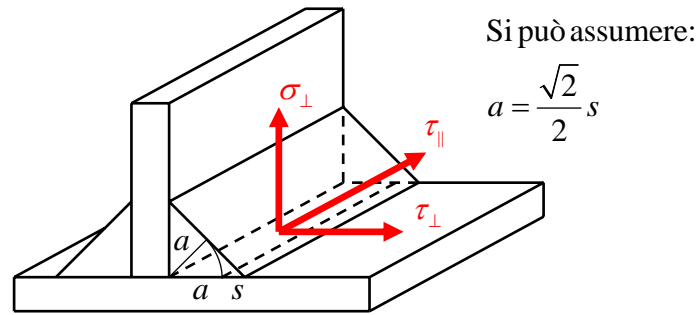


Figura 3: Giunto a cordone d'angolo, componenti di tensione.

infatti la componente τ_{\perp} non è presente.

La procedura di calcolo descritta nella norma italiana CNR 10011-97, permette di valutare la resistenza del giunto saldato a cordone d'angolo sulla base dei valori di σ_{\perp} , τ_{\perp} , τ_{\parallel} , della qualità della saldatura e della tensione ammissibile del materiale.

In Fig.4 è mostrata una mensola sollecitata da un'azione normale posta all'estremità.

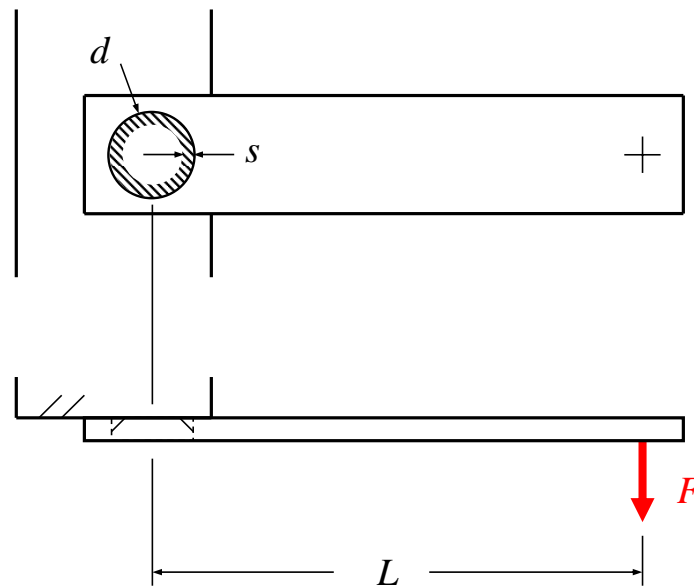


Figura 4: Mensola saldata sollecitata da una forza normale all'estremità.

La sezione di saldatura è ricavata all'interno di un foro, ed è sollecitata a trazione e a flessione. Notare che in corrispondenza della sezione di saldatura è presente solo la componente σ_{\perp} .

Determinare lo stato di sollecitazione nel cordone della saldatura, in particolare determinare la massima tensione normale σ_{\perp} .

I dati del problema sono:

$$F = 270 \text{ N}$$

$$L = 1300 \text{ mm}$$

$$d = 50 \text{ mm}$$

$$s = 2 \text{ mm}$$

(2)



Soluzione:

Nella sezione della saldatura la massima tensione normale σ_{\perp} è:

$$\sigma_{\perp}(\text{max}) = 139 \text{ MPa}$$

In Fig.5 è mostrata una mensola sollecitata da un'azione tangenziale posta all'estremità.

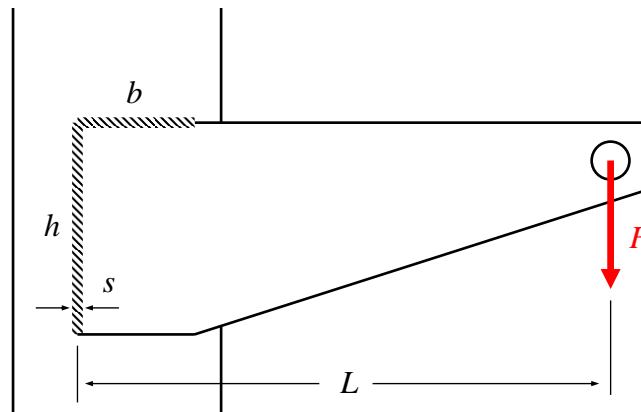


Figura 5: Mensola saldata sollecitata da una forza tangenziale all'estremità.

La sezione di saldatura è su due cordoni ed è sollecitata a torsione e a taglio. Nel cordone agiscono soltanto tensioni tangenziali normale e parallela $\tau_{\perp}, \tau_{\parallel}$.

Determinare lo stato di sollecitazione nella sezione della saldatura di Fig.5, in particolare individuare il punto in cui $\sqrt{\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2}$ è maggiore, e i valori di $\tau_{\perp}, \tau_{\parallel}$ in tale punto.

I dati del problema sono:

$$F = 1.8 \text{ kN}$$

$$L = 1300 \text{ mm}$$

$$b = 120 \text{ mm}$$

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$s = 2 \text{ mm}$$

(3)

Soluzione:

Nel punto più sollecitato della saldatura le componenti di tensione tangenziale sono:

$$\tau_{\perp} = 146 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 20 \text{ MPa}$$



Infine, si può eseguire la verifica statica del punto più sollecitato del collegamento. Secondo la normativa CNR è necessario verificare che:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} \leq 0.70 \sigma_{\text{adm}}$$

nel caso si utilizzi Fe 510, per il quale $\sigma_{\text{adm}} = 240$ MPa.

Considerando lo stato di sollecitazione dell'esempio precedente:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} = 147 \text{ MPa} < 0.70 \sigma_{\text{adm}} = 168 \text{ MPa}$$

la verifica risulta quindi soddisfatta.