

CORSO DI TECNICA DELLE COSTRUZIONI
ESERCITAZIONE n° 6 del 20/11/2009

PROGETTO DI UN CAPANNONE INDUSTRIALE

PARTE 1: CONTROLLO DEI RISULTATI DELL'ESERCITAZIONE 5

8) PROGETTO DELLE MENSOLE CHE SOSTENGONO LE VIE DI CORSA DEL CARROPONTE

8.1) ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI

La reazione verticale di progetto in corrispondenza della mensola (con carroponte nella posizione più gravosa) vale 115.6 kN. La reazione longitudinale di progetto parallela all'asse della trave di scorrimento vale 13.5 kN, mentre la reazione longitudinale parallela all'asse della mensola vale 9.8 kN.

Le sollecitazioni sulla sezione di incastro della mensola sono pertanto:

$$M_x = 1.3 \cdot 1.00 \cdot 0.6 \cdot 0.3 + 115.6 \cdot 0.5 + 9.8 \cdot 0.5 = 63 \text{ kNm}$$

$$V_y = 1.3 \cdot 1.00 \cdot 0.6 + 115.6 = 116 \text{ kN}$$

$$M_y = 13.5 \cdot 0.5 = 6.7 \text{ kNm}$$

$$V_x = 13.5 \text{ kN}$$

$$T = 13.5 \cdot 0.5 = 6.7 \text{ kN}$$

$$N = 9.8 \text{ kN}$$

8.3) VERIFICHE DI SICUREZZA

Si ipotizza di utilizzare un profilato HEA 260. Il contributo del momento torcente è trascurabile. Inoltre, sulla base dei risultati precedentemente ottenuti per la trave di scorrimento del carroponte, si conclude che anche l'effetto del taglio sul momento resistente è trascurabile (essendo il taglio sollecitante inferiore al 50% del taglio resistente). Si conduce pertanto una verifica a pressoflessione biassiale:

$$n = \frac{N_{Ed}}{A f_{yk} / \gamma_{M0}} = \frac{9800}{8680 \cdot 235 / 1.05} = 0.005$$

$$a = \frac{(A - 2bt_f)}{A} = \frac{(8680 - 2 \cdot 260 \cdot 12.5)}{8680} = 0.251$$

$$M_{N,x,Rd} = \min \left\{ \frac{W_{pl,x} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} (1-n) / (1-0.5a), \frac{W_{pl,x} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \right\} = \min \{325.3, 285.9\} = 285.9 \text{ kNm}$$

Visto che $n < a$:

$$M_{N,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{430200 \cdot 235}{1.05} = 96.3 \cdot 10^6 \text{ Nmm} = 96.3 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{x,Ed}}{M_{N,x,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} = \frac{63}{285.9} + \frac{6.7}{96.3} = 0.29 \leq 1$$

La verifica è soddisfatta.

9) PROGETTO DELLE UNIONI DELLA TRAVE RETICOLARE

9.1) SOLUZIONE BULLONATA

Si utilizzano bulloni normali di classe 8.8 e dadi di classe 8. Si adottano bulloni M16. La tensione di snervamento dei bulloni è: $f_{yb} = 649 \text{ N/mm}^2$. La tensione di rottura dei bulloni è: $f_{tb} = 800 \text{ N/mm}^2$.

CONTROLLO DELLA POSIZIONE DEI FORI:

la posizione dei fori per le unioni bullonate deve rispettare le limitazioni seguenti:

$$- e_1 > 1.2 \cdot d_0 = 1.2 \cdot 17 = 20.4 \text{ mm} \quad \text{Si adotta } e_1 = 30 \text{ mm}$$

$$- e_2 > 1.2 \cdot d_0 = 1.2 \cdot 17 = 20.4 \text{ mm}$$

Si adotta $e_2=30\text{mm}$ nel caso dei diagonali (60x60x5 mm) e $e_2=35$ mm nel caso dei montanti (70x70x6). Si noti che, in entrambi i casi, il foro non va ad interessare la zona di raccordo circolare tra il lati della L.

$$- p_1 > 2.2 \cdot d_0 = 2.2 \cdot 17 = 37.4 \text{ mm} \quad \text{Si adotta } p_1 = 40 \text{ mm}.$$

VERIFICA A TAGLIO DEI BULLONI (asta 21, combinazione neve):

la resistenza di calcolo a taglio del singolo bullone M16 è:

$$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot \frac{f_{tb} \cdot n_s \cdot A}{\gamma_{M2}} = 0.6 \cdot \frac{800 \cdot 2 \cdot 201}{1.25} = 154368 \text{ N} = 154 \text{ kN}.$$

La forza assiale sul montante è:

$$N_{Ed} = 153.6 \text{ kN}$$

Se si dispongono 3 bulloni, il taglio dovuto all'eccentricità è:

$$S = \frac{N \cdot e}{2 \cdot p_1} = \frac{153.6 \cdot (30 - 16.4)}{80} = 26.1 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{\left(\frac{N}{3}\right)^2 + S^2} = \sqrt{\left(\frac{153.6}{3}\right)^2 + 26.1^2} = 57.5 \text{ kN} < F_{v,Rd} = 154 \text{ kN}$$

La verifica è soddisfatta.

VERIFICA A TAGLIO DEI BULLONI (asta 15, combinazione vento):

La forza assiale sul montante è:

$$N = 75 \text{ kN}$$

Se si dispongono 2 bulloni (M16) il taglio dovuto all'eccentricità è:

$$S = \frac{N \cdot e}{p_1} = \frac{75 \cdot (35 - 19.3)}{40} = 29 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{\left(\frac{N}{2}\right)^2 + S^2} = \sqrt{\left(\frac{75}{2}\right)^2 + 29^2} = 47.4 \text{ kN} < F_{v,Rd} = 154 \text{ kN}$$

La verifica è soddisfatta.

VERIFICA A RIFOLLAMENTO (asta 21):

Si adottano fazzoletti di spessore 10 mm. Il coefficiente α è pari a:

$$\alpha = \min \left\{ \frac{30}{3 \cdot 17}; \frac{800}{360}; 1 \right\} = 0.59 \quad \text{per bulloni di bordo in direzione del carico}$$

$$\alpha = \min \left\{ \frac{40}{3 \cdot 17} - 0.25; \frac{800}{360}; 1 \right\} = 0.53 \quad \text{per bulloni interni in direzione del carico}$$

$$k = \min \left\{ \frac{2.8 \cdot 30}{17} - 1.7; 2.5 \right\} = 2.5$$

La resistenza di calcolo a rifollamento del piatto per bulloni di bordo è:

$$F_{b,Rd} = \frac{k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2.5 \cdot 0.59 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 10}{1.25} = 68 \text{ kN}$$

La resistenza di calcolo a rifollamento del piatto per bulloni interni è:

$$F_{b,Rd} = \frac{k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2.5 \cdot 0.53 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 10}{1.25} = 61 \text{ kN}$$

La è in entrambi i casi soddisfatta.

VERIFICA A RIFOLLAMENTO (asta 15):

I coefficienti e tutte le grandezze sono uguali a quelli calcolati per l'asta 21 e quindi anche la resistenza è la stessa. La verifica è pertanto soddisfatta anche in questo caso essendo $f_{v,Ed} = 47.4 \text{ kN}$.

La verifica circa la possibilità di utilizzare bulloni M14 invece degli M16 è lasciata come utile esercizio allo studente.

PARTE 2: PROGETTO DELLE UNIONI DELLA TRAVE RETICOLARE (SOLUZIONE SALDATA)

9.2) SOLUZIONE SALDATA

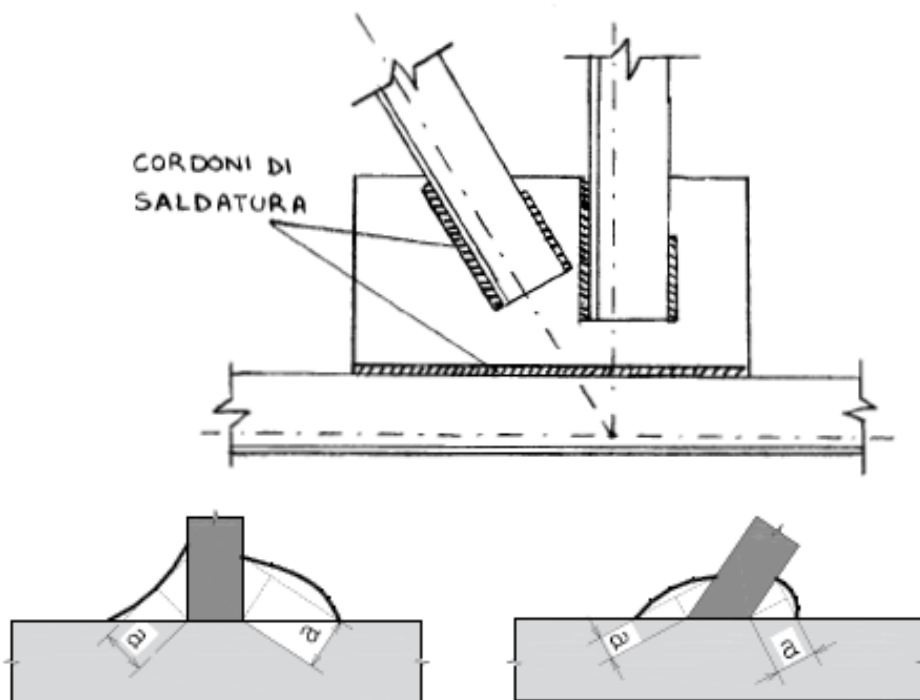


Figura 4.2.4 - Definizione dell'area di gola per le saldature a cordone d'angolo.

La resistenza di progetto, per unità di lunghezza, dei cordoni d'angolo si determina con riferimento all'altezza di gola "a", cioè all'altezza "a" del triangolo iscritto nella sezione trasversale del cordone stesso. La lunghezza di calcolo L è quella intera del cordone, purché questo non abbia estremità palesemente mancanti o difettose. Nel seguito si indicano con σ_{\perp} la tensione normale e con τ_{\perp} la tensione tangenziale perpendicolari all'asse del cordone d'angolo, agenti nella sezione di gola nella sua posizione effettiva, e con τ_{\parallel} la tensione

tangenziale parallele all'asse del cordone d'angolo. Considerando la sezione di gola nella sua effettiva posizione, si può assumere la seguente condizione di resistenza:

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq f_{tk} / (\beta \cdot \gamma_{M2}),$$

dove f_{tk} è la resistenza a rottura del più debole degli elementi collegati, $\beta = 0,80$ per acciaio S235, $0,85$ per acciaio S275, $0,90$ per acciaio S355, $1,00$ per acciaio S420 e S460.

In alternativa, detta a l'altezza di gola, si può adottare cautelativamente il criterio semplificato:

$$\frac{F_{w,Ed}}{F_{w,Rd}} \leq 1$$

dove $F_{w,Ed}$ è la forza di calcolo che sollecita il cordone d'angolo per unità di lunghezza e $F_{w,Rd}$ è la resistenza di calcolo del cordone d'angolo per unità di lunghezza

$$F_{w,Rd} = \frac{a \cdot f_{tk}}{\sqrt{3} \cdot \beta \cdot \gamma_{M2}}$$

Considerando la sezione di gola in posizione ribaltata, si indicano con n_{\perp} e con t_{\perp} la tensione normale e la tensione tangenziale perpendicolari all'asse del cordone e con t_{\parallel} la tensione tangenziale parallela all'asse del cordone. La verifica dei cordoni d'angolo si effettua controllando che siano soddisfatte simultaneamente le due condizioni:

$$\sqrt{n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{\parallel}^2} \leq \beta_1 \cdot f_{yk}$$

$$|n_{\perp}| + |t_{\perp}| \leq \beta_2 \cdot f_{yk}$$

dove f_{yk} è la tensione di snervamento caratteristica ed i coefficienti β_1 e β_2 sono dati, in funzione del grado di acciaio, nella Tabella seguente:

	S235	S275 - S355	S420 - S460
β_1	0,85	0,70	0,62
β_2	1,0	0,85	0,75

Nel caso specifico delle aste della trave reticolare, il dimensionamento della saldatura si effettua con riferimento alla figura seguente. Si utilizza il metodo semplificato. Nel caso di saldatura di un profilato

sovrapposto ad un piatto deve essere: $a \leq \frac{t}{\sqrt{2}}$, in cui t è lo spessore del profilato ad L. Sulla base della

precedente disuguaglianza si può quindi ipotizzare l'altezza della sezione di gola a .

Per progettare le lunghezze dei due cordoni di saldatura, ci si basa sulle seguenti equazioni:

$$1) \tau_{\parallel} = \frac{P}{a(\ell_1 + \ell_2)} \leq \beta_1 \cdot f_{yk} \Rightarrow \ell_{tot} = (\ell_1 + \ell_2) \geq \frac{P}{a \cdot \beta_1 \cdot f_{yk}}$$

$$2) \ell_1 \cdot d_1 = \ell_2 \cdot d_2 \Rightarrow \ell_1 \cdot d_1 = (\ell_{tot} - \ell_1) \cdot d_2 \Rightarrow \ell_1$$

La prima è l'equazione di equilibrio alla traslazione e la seconda è l'equazione di equilibrio alla rotazione intorno all'asse baricentrico. Quest'ultima garantisce la coincidenza tra il baricentro del profilato e il baricentro della saldatura, affinché non si producano momenti parassiti.