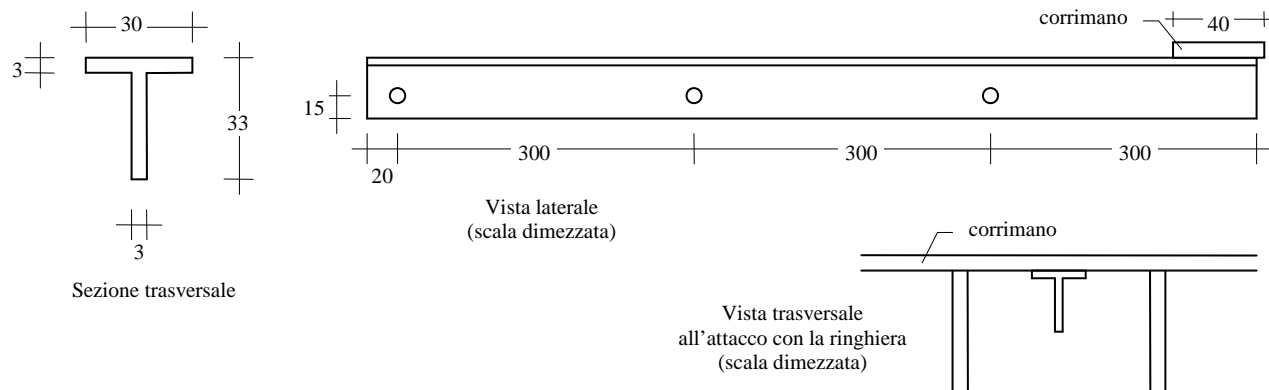


Cognome

Nome

Matricola

Nel balcone della mia casa di Messina ho recentemente fatto installare delle aste metalliche per sostenere i fili del bucato. Ciascuna asta ha sezione a T ed è collegata al corrimano della ringhiera mediante saldature a cordone d'angolo. La figura mostra la sezione trasversale dell'asta e, in scala dimezzata, la vista longitudinale e la vista trasversale del collegamento con la ringhiera. Per far passare i fili sono praticati nell'asta tre fori, dal diametro $d_0 = 8$ mm. Si può assumere che il filo che passa attraverso ciascun foro trasmetta all'asta una forza verticale F , uguale per tutti e tre i fori.



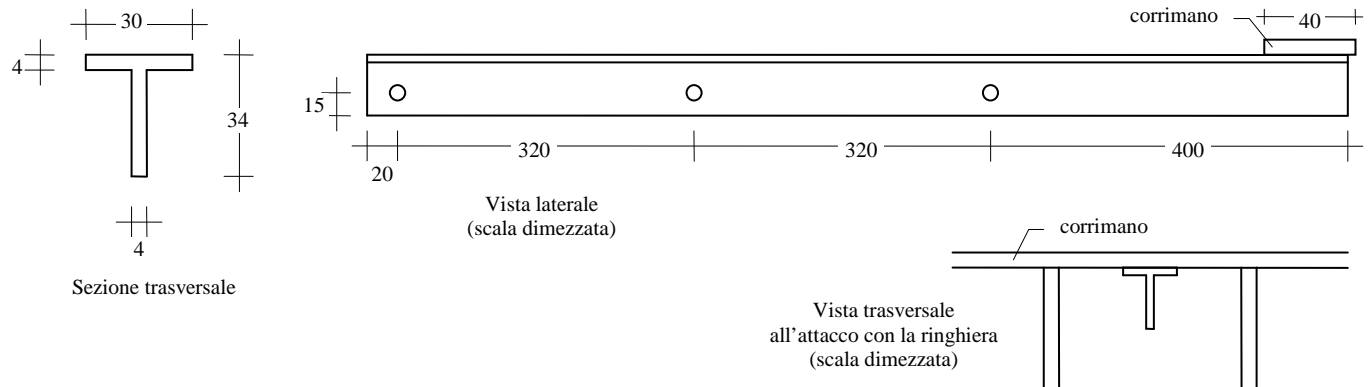
- Definite le caratteristiche dell'acciaio (S235), determina la resistenza della sezione trasversale dell'asta e quindi il massimo valore della forza F che l'asta può portare.
- Progetta il collegamento saldato tra asta e corrimano, indicando chiaramente dove disponi i cordoni di saldatura. Realizzalo se possibile a completo ripristino di resistenza o, se le dimensioni non lo consentono, valuta in funzione delle dimensioni che hai assegnato ai cordoni di saldatura qual è il massimo valore della forza F che le saldature possono portare.

Cognome

Nome

Matricola

Nel balcone della mia casa di Messina ho recentemente fatto installare delle aste metalliche per sostenere i fili del bucato. Ciascuna asta ha sezione a T ed è collegata al corrimano della ringhiera mediante saldature a cordone d'angolo. La figura mostra la sezione trasversale dell'asta e, in scala dimezzata, la vista longitudinale e la vista trasversale del collegamento con la ringhiera. Per far passare i fili sono praticati nell'asta tre fori, dal diametro $d_0 = 8$ mm. Si può assumere che il filo che passa attraverso ciascun foro trasmetta all'asta una forza verticale F , uguale per tutti e tre i fori.



- Definite le caratteristiche dell'acciaio (S235), determina la resistenza della sezione trasversale dell'asta e quindi il massimo valore della forza F che l'asta può portare.
- Progetta il collegamento saldato tra asta e corrimano, indicando chiaramente dove disporre i cordoni di saldatura. Realizzalo se possibile a completo ripristino di resistenza o, se le dimensioni non lo consentono, valuta in funzione delle dimensioni che hai assegnato ai cordoni di saldatura qual è il massimo valore della forza F che le saldature possono portare.

L'asta può essere schematizzata come una mensola, incastrata al corrimano, caricata con forze verticali ed è quindi soggetta a flessione e taglio. La sezione dell'asta ha forma a T, non standard, e quindi occorre applicare le indicazioni generali per determinarne la resistenza a flessione e a taglio. Bisognerà prestare attenzione anche alla sezione forata.

Resistenza a flessione della sezione intera

La sezione, che immaginavo essere di classe 1 (ma in realtà in questo caso per momento flettente negativo è di classe 2), è costituita da due parti rettangolari identiche, con dimensioni che indicherò con b e t ($b=30$ mm e $t=3$ mm nel primo caso). Il baricentro dei due rettangoli dista rispettivamente $t/2$ e $t + b/2$ dal bordo superiore. Il baricentro complessivo dista quindi $0.25 b + 0.75 t = 9.75$ mm dal bordo superiore.

L'asse neutro allo stato limite ultimo divide la sezione in due parti di area uguale. In questo caso, quindi, dista t dal bordo superiore ovvero $0.25 b - 0.25 t = 6.75$ mm dal baricentro.

Il baricentro della metà superiore della sezione dista $0.25 b + 0.25 t = 8.25$ mm dal baricentro dell'intera sezione. Il modulo di resistenza plastico W_{pl} è il doppio del momento statico di metà sezione rispetto all'asse neutro e vale quindi

$$W_{pl} = 2 \times b t \times 0.25 (b + t) = 0.5 b t (b + t) = 1485 \text{ mm}^3$$

Il momento resistente è quindi

$$M_{Rd} = W_{pl} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1485 \times \frac{235}{1.05} \times 10^{-6} = 0.332 \text{ kNm}$$

Resistenza a taglio della sezione intera

La resistenza dipende dall'area a taglio A_v , ovvero l'area dell'anima. In analogia a quanto si fa per i profili standard, avevo pensato di assumere come valore di A_v quello dell'anima prolungata per un tratto $t/2$ all'interno dell'ala (questa è l'indicazione dell'Eurocodice 3). Avrei così

$$A_v = (b + 0.5 t) t = 94.5 \text{ mm}^2$$

Ma poi ho trovato nella normativa italiana una indicazione più prudente

$$A_v = 0.9 (A - b t) = 81 \text{ mm}^2$$

Con questo valore il taglio resistente è

$$V_{Rd} = A_v \frac{f_y / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} = 81 \times \frac{235 / \sqrt{3}}{1.05} \times 10^{-3} = 10.47 \text{ kN}$$

Resistenza a flessione della sezione forata

Per valutare la resistenza si dovrebbe determinare il modulo di resistenza plastico della sezione forata. Una indicazione semplificata, riportata dalla normativa con riferimento alle sezioni a doppio T, consiste nell'utilizzare le formule relative alle sezioni tese per giudicare se il comportamento è duttile (plasticizzazione della sezione intera prima della rottura della sezione forata) o no. Ciò si ha se

$$\frac{A_{net}}{A} \geq \frac{f_y / \gamma_{M0}}{0.9 f_u / \gamma_{M2}} = 0.863 \quad \text{con riferimento all'area dell'ala tesa (o compressa)}$$

Se proviamo ad applicare questa espressione facendo riferimento alla parte della sezione che è compressa per la flessione, in cui è il foro, si ha

$$\frac{A_{net}}{A} = \frac{(b - d_0) t}{b t} = 0.733 < 0.863$$

quindi la sezione potrebbe effettivamente avere una rottura fragile. Potrei valutare in maniera precisa il W_{pl} e la resistenza a flessione della sezione, ma una stima approssimata (e cautelativa) posso farla calcolando

$$\frac{0.9 A_{net} f_u / \gamma_{M2}}{A f_y / \gamma_{M0}} = 0.849 \quad (\text{che è anche il rapporto tra } 0.733 \text{ e } 0.863)$$

ed assumendo che il momento ultimo sia ridotto in tale proporzione e sia quindi

$$M_{u,Rd} = 0.849 M_{Rd} = 0.282 \text{ kNm}$$

Nota: un calcolo preciso darebbe

$$W_{pl} = 1120.2 \text{ mm}^3$$

$$M_{u,Rd} = 0.9 W_{pl} \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0.290 \text{ kNm}$$

Ho usato una espressione non riportata dalla normativa, ma che mi sembra logica per analogia con trazione.

Resistenza a taglio della sezione standard

In questo caso è molto semplice calcolare la resistenza ultima della sezione forata. Si ha infatti

$$A_{v,net} = A_v - d_0 t = 57 \text{ mm}^2$$

Il taglio resistente è quindi (sempre con formula che propongo per analogia con la trazione)

$$V_{u,Rd} = 0.9 A_{v,net} \frac{f_u / \sqrt{3}}{\gamma_{M2}} = 57 \times \frac{360 / \sqrt{3}}{1.25} \times 10^{-3} = 8.53 \text{ kN}$$

Caratteristiche di sollecitazione nell'asta

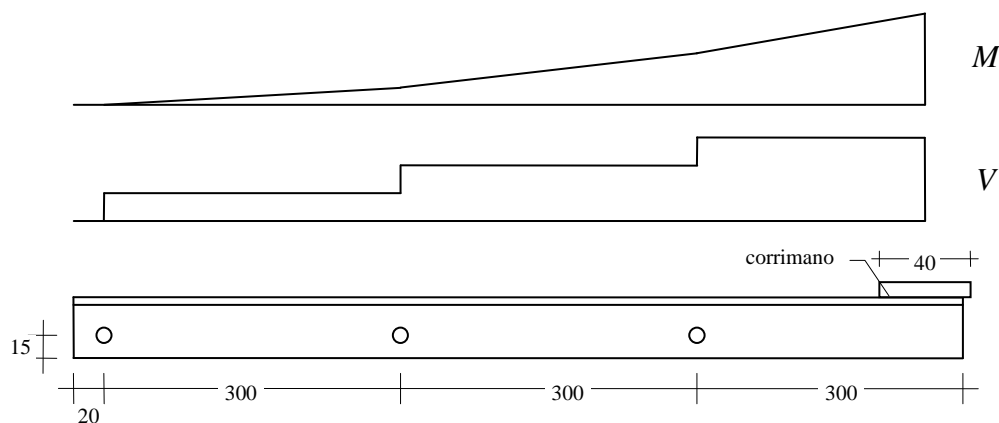
L'asta è, come detto, una mensola caricata da tre forze F . Indico con L_1 la distanza tra i tre fori e quindi tra le tre forze e con L_2 la distanza tra il foro di destra e l'asse del corrimano (che assumo come incastro). Nel primo caso è $L_1 = 300 \text{ mm}$, $L_2 = 280 \text{ mm}$.

Nella figura qui sotto è riportato il diagramma del momento flettente e del taglio. All'incastro si ha

$$M_{Ed} = 3 F (L_1 + L_2) = 1.74 F \quad V_{Ed} = 3 F$$

mentre in asse al foro di destra è

$$M_{Ed} = 3 F L_1 = 0.90 F \quad V_{Ed} = 3 F$$



Massima forza che può essere sopportata

IL valore massimo di F si ottiene uguagliando la sollecitazione (che è funzione di F) alla resistenza.

Con riferimento alla sezione di incastro:

$$F = \min \left(\frac{M_{Rd}}{1.74}; \frac{V_{Rd}}{3} \right) = \min \left(\frac{0.332}{1.74} = 0.191; \frac{10.47}{3} = 3.49 \right) = 0.191 \text{ kN}$$

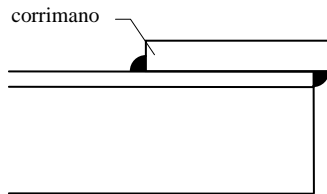
Con riferimento alla sezione forata:

$$F = \min \left(\frac{M_{u,Rd}}{0.90}; \frac{V_{u,Rd}}{3} \right) = \min \left(\frac{0.282}{0.90} = 0.314; \frac{8.53}{3} = 2.84 \right) = 0.314 \text{ kN}$$

In definitiva, la massima forza che può essere portata è 0.191 kN ed è condizionante la verifica di resistenza a flessione della sezione di incastro.

Saldatura

Dovendo portare un momento flettente conviene realizzare i cordoni di saldatura in modo da avere il massimo braccio. Quindi si possono realizzare due cordoni d'angolo perpendicolari all'asse dell'asta, come indicato in figura. Ho preferito posizionare l'asta leggermente rientrata rispetto al corrimano anziché leggermente sporgente, perché mi dava fastidio vedere l'asta sporgere dal corrimano all'interno del balcone.



Nota: qualcuno ha disposto due cordoni paralleli all'asse dell'asta e, sbagliando completamente, ha detto che uno è teso e l'altro compresso. Questi cordoni potevano anche essere usati, ma ciascuno avrebbe una parte tesa ed una compressa e quindi un braccio complessivamente minore. Altri hanno diviso il momento flettente in una forza di trazione, che hanno affidato a questi cordoni, ed una di compressione, che però non è portata da nessuno.

Se voglio realizzare il cordone a completo ripristino di resistenza devo progettare proprio per la resistenza dell'asta. Userò quindi un momento flettente $M_{Ed} = 0.332 \text{ kNm}$. Per quanto riguarda il taglio, non ha senso pensare al taglio resistente, perché quando l'asta raggiunge il momento flettente ultimo può portare tre forze pari a 0.191 kN ciascuna, ovvero un taglio $V_{Ed} = 0.573 \text{ kN}$,

Ciascun cordone di saldatura porta una forza dovuta al taglio (pari a $V_{Ed} / 2 = 0.287 \text{ kN}$) ed una dovuta al momento flettente ($M_{Ed} / 40 \text{ mm} = 8.309 \text{ kN}$). Le forze hanno da un lato verso discorde e dall'altro verso concorde, quindi la massima forza complessiva vale 8.595 kN .

Il cordone di saldatura può essere progettato e verificato col dominio sferico, quindi con riferimento alla tensione massima f_{vwd}

$$f_{vwd} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{360 / \sqrt{3}}{0.8 \times 1.25} = 207.8 \text{ MPa}$$

Il cordone può avere una lunghezza massima di 30 mm . Per prudenza trascuro i tratti di estremità e assumo $l = 24 \text{ mm}$. Essendo la resistenza pari ad $a l f_{vwd}$, posso ricavare il valore minimo necessario di a

$$a = \frac{F}{l f_{vwd}} = \frac{8.595 \times 10^3}{24 \times 207.8} = 1.72 \text{ mm}$$

Farò comunque un cordone di saldatura con $a = 3 \text{ mm}$.

Considerazioni finali

Mi aspettavo una resistenza maggiore. Certo non credo che i panni stesi possano mai pesare tanto (espresso in kg, ciascun filo potrebbe portare al massimo 19 kg). Ma voglio ricontrollare le vere dimensioni dal mio balcone. Aggiungo per concludere la foto "dal vero" dell'oggetto che avete calcolato.

