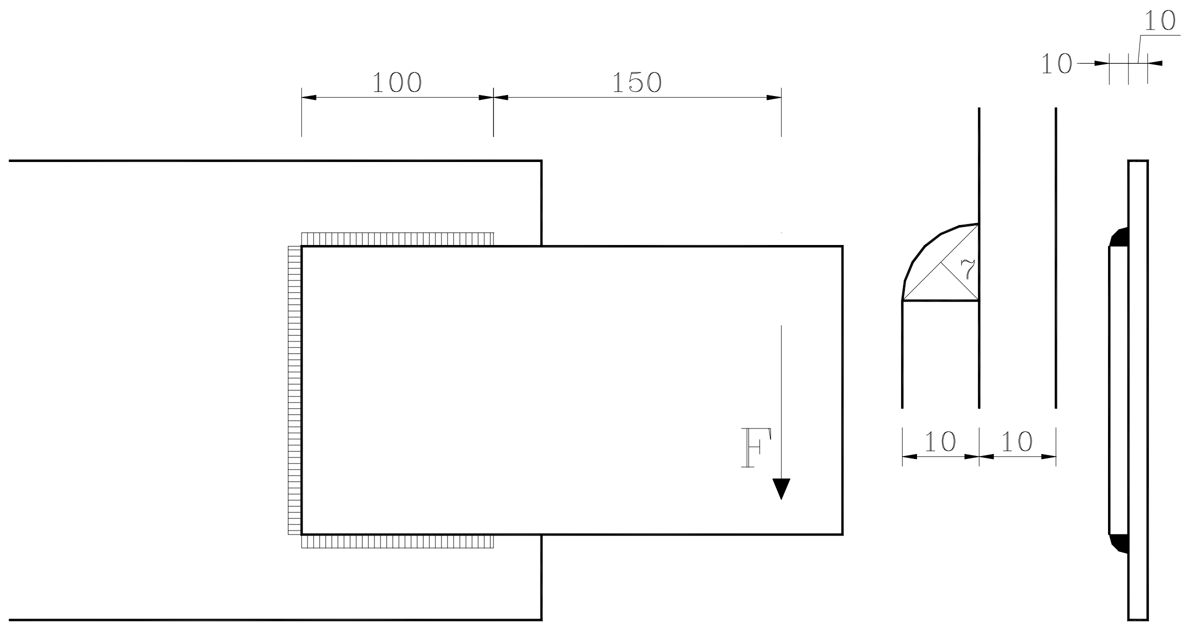
ESEMPIO 1: metodo dello J polare e metodo delle due forze

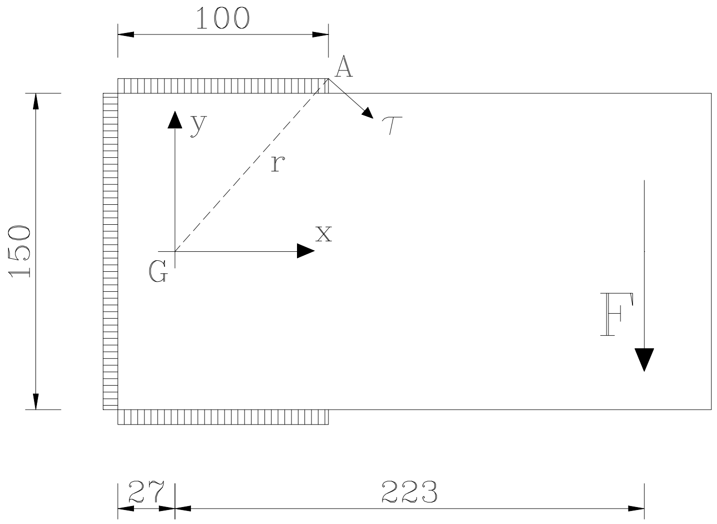
ESEMPIO 1a

Calcolare il valore ammissibile in esercizio della forza F per la giunzione in figura, rispettivamente:

1. con il metodo dello J polare e la CNR 10011/85 (tensioni ammissibili)
2. con il metodo delle due forze e la CNR 10011/85 (tensioni ammissibili)
3. con il metodo delle due forze e dello J polare ma secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) – D.M. 14.1.2008 (stati limite).



1. Metodo dello J_P e CNR 10011/85



Caratteristiche statiche della saldatura

J_x=10.6 10^6 mm^4

J_y=2.88 10^6 mm^4

J_P=J_x+J_y=13.5 10^6 mm^4

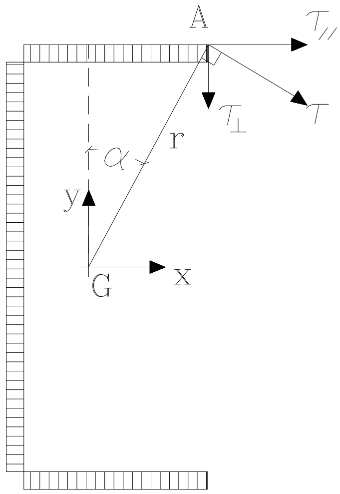
A=2450 mm^2

Acciaio Fe360 (S235)

Trasportando F_{adm} nel baricentro G della saldatura, si deve aggiungere il momento torcente

$$T = F_{adm} \cdot 223$$

Per effetto del momento torcente T la tensione in un punto generico del cordone di saldatura è direttamente proporzionale alla distanza r dal baricentro G ed è diretta normalmente al raggio r.



Nel punto più sollecitato (punto A) si ha:

- per effetto del momento torcente

$$\tau_{//} = \frac{T}{J_P} r \cdot \cos\alpha = \frac{T}{J_P} y_A = \left(\frac{F_{adm} \cdot 223}{13.5 \cdot 10^6}\right) \cdot 82 = 1.35 \cdot 10^{-3} F_{adm}$$

$$\tau_{\perp}^{'} = \frac{T}{J_P} r \cdot \mathrm{sen}\alpha = \frac{T}{J_P} x_A = -\left(\frac{F_{adm} \cdot 223}{13.5 \cdot 10^6}\right) \cdot 73 = -1.20 \cdot 10^{-3} F_{adm}$$

- per effetto del taglio

$$\tau_{\perp}^{''} = \frac{F_{adm}}{A} = -\frac{F_{adm}}{2450} = -0.41 \cdot 10^{-3} F_{adm}$$

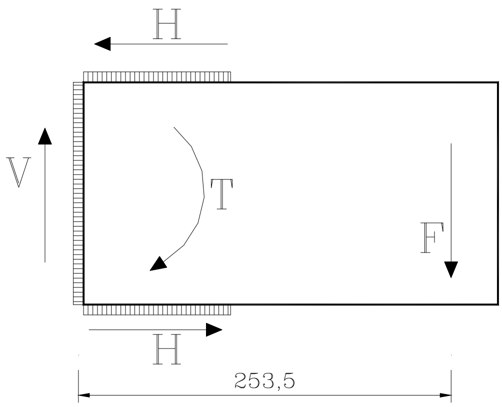
Sovrapponendo gli effetti e verificando secondo il criterio della normativa italiana CNR 10011 (sfera mozza), si ottiene:

$$\tau_{\perp} = \tau_{\perp}^{'} + \tau_{\perp}^{''} = -1.61 \cdot 10^{-3} F_{adm}$$

$$\sqrt{\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2} \leq 0.85\sigma_{adm} = 136 \text{ N/mm}^2$$

$$\sqrt{1.61^2 + 1.35^2} \cdot 10^{-3} F_{adm} = 136\ N/mm^2 \qquad \Rightarrow \qquad \boxed{F_{adm} = 64.7\ kN}$$

2. Metodo delle due forze e CNR 10011/85



La forza F_{adm} deve essere trasportata nel baricentro della saldatura verticale.

Momento torcente: $T = F_{adm}\ 253.5$

Alla saldatura verticale viene affidata la forza di taglio F_{adm} e alle saldature orizzontali il momento torcente T.

Quindi:

$V = F_{adm}$ $\qquad$ $H = T/157 = 1.61\ F_{adm}$

Nella saldatura verticale abbiamo:

$$\tau_{//}^{V} = \frac{F_{adm}}{150 \cdot 7} = 0.952 \cdot 10^{-3} F_{adm} \qquad \tau_{//}^{H} = \frac{H}{100 \cdot 7} = 2.30 \cdot 10^{-3} F_{adm}$$

Le due τ non vanno composte. La verifica è quindi governata dalla $\tau_{//}^{H}$. Si ha:

$$\left|\tau_{//}\right| \le 0.85 \cdot \sigma_{adm} = 136\ N/mm^2 \qquad \Rightarrow \qquad \boxed{F_{adm} = 59.1\ kN}$$

Il metodo delle due forze risulta quindi più conservativo.

3. Calcolo allo stato limite ultimo secondo NTC 2008

Supponiamo che la forza F sia da imputare per il 30% al carico permanente e per il 70% al carico variabile.

I coefficienti parziali di sicurezza valgono:

- azioni permanenti $\gamma_G = 1.30$
- azioni variabili $\gamma_Q = 1.50$
- saldature d'angolo $\gamma_{M2} = 1.25$

- azione permanente di progetto $G_d = \gamma_G\ 0.3\ F_{adm} = 0.39\ F_{adm}$
- azione variabile di progetto $Q_d = \gamma_Q\ 0.7\ F_{adm} = 1.05\ F_{adm}$

Le verifiche vanno quindi eseguite per la combinazione di progetto:

$$F_d = G_d + Q_d = 1.44\ F_{adm}$$

Resistenza di calcolo della saldatura secondo la (4.2.77)

$$F_{w.Rd} = \frac{a\, f_{tk} / \sqrt{3}}{\beta \cdot \gamma_{M2}} = \frac{7 \cdot 360 / \sqrt{3}}{0.8 \cdot 1.25} = 1456\ \mathrm{N/mm}$$

con:

f_u=360 N/mm^2 resistenza a rottura del materiale base

γ_{M2}=1.25 coeff. parziale di sicurezza dei collegamenti saldati

β=0.8 coefficiente di correlazione funzione del tipo di materiale

Le sollecitazioni di progetto possono essere calcolate con uno dei due metodi precedenti.

<u>Metodo dello J_P</u>

Nel punto A componendo la $\tau_{//}$ e la $\tau_{\perp}$ si ha:

$$\tau_{Ed} = \sqrt{\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2} = \sqrt{1.61^2 + 1.35^2} \cdot 10^{-3} \cdot 1.44 \cdot F_{adm} = 3.03 \cdot 10^{-3} F_{adm}$$

$a\,\tau_{Ed} \leq F_{w.Rd} \Rightarrow$ F_{adm}=68.6 kN (contro 64.7 kN con la CNR 10011/85)

<u>Metodo dello due forze</u>

$\tau_{Ed} = \tau_{//}^{H} = 2.3 \cdot 10^{-3} \cdot 1.44 \cdot F_{adm} = 3.312 \cdot 10^{-3} F_{adm} \Rightarrow$ F_{adm}=62.8 kN (contro 59.1 kN)

Le leggere differenze rispetto ai valori ottenuti secondo CNR sono dovute principalmente al fatto che si applicano dei coefficienti diversi per i carichi permanenti e variabili che portano ad avere un coefficiente di sicurezza globale pari a 1.44 invece di 1.5. Usando un coefficiente di sicurezza uniforme pari a 1.5 si avrebbe:

F_{adm}=65.9 kN con il metodo dello J_p

F_{adm}=60.3 kN con il metodo delle due forze

In buon accordo con i risultati ottenuti applicando la CNR.

ESEMPIO 1b

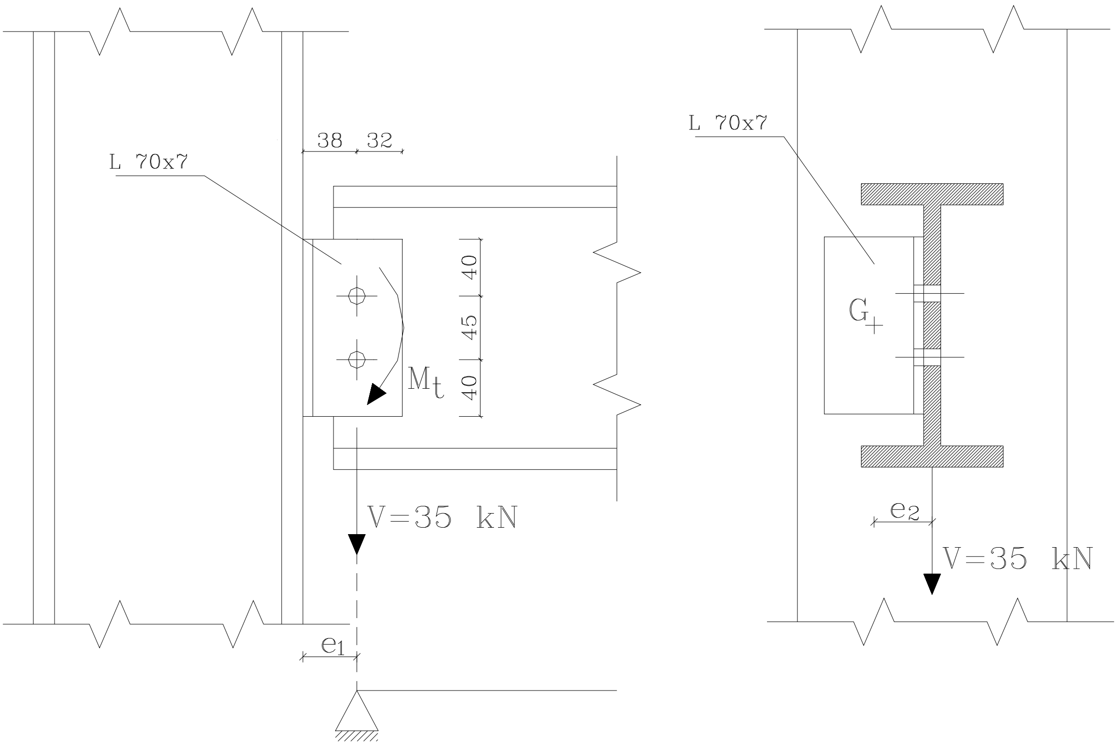


Fig. 1

Si vuole verificare la saldatura tra la squadretta e l’ala della colonna del giunto in figura. Si ipotizza che la cerniera sia posta in corrispondenza della bullonatura. La saldatura è soggetta a taglio, momento flettente e momento torcente per l’eccentricità e_1 (lungo l’asse della trave) ed e_2 (nel piano dell’ala della colonna) della reazione rispetto al baricentro G della saldatura (v. Fig. 2).

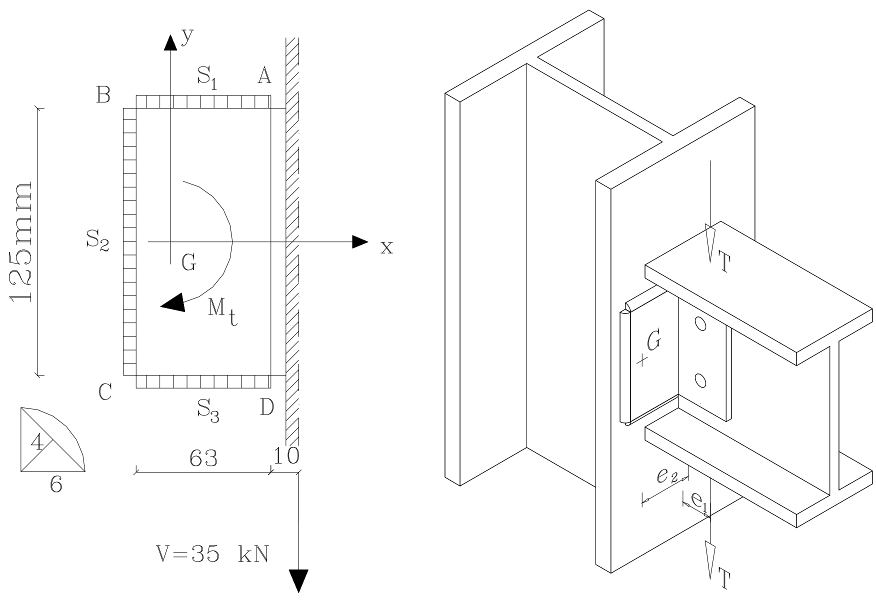


Fig. 2

Materiale: S235 (Fe360) σ_{adm}=160 N/mm^2

Posizione del baricentro G delle saldature

$$x_G = \frac{2 \cdot 63^2 / 2 \cdot 4}{(2 \cdot 63 + 125) \cdot 4} \approx 16\text{mm}$$

Azioni sollecitanti di esercizio (trasportando il taglio nel baricentro G delle saldature):

V=35 kN

M_t=T e_2= T (63+10-16)=1.995 kNm momento torcente

M_f=T e_1=T 38=1.33 kNm momento flettente

Calcolo delle tensioni: I^a soluzione

Il taglio viene distribuito uniformemente, l'effetto del momento torcente viene studiato con il metodo dello J polare, mentre per quanto riguarda l'effetto del momento flettente l'insieme dei tre cordoni viene pensato come una sezione a C.

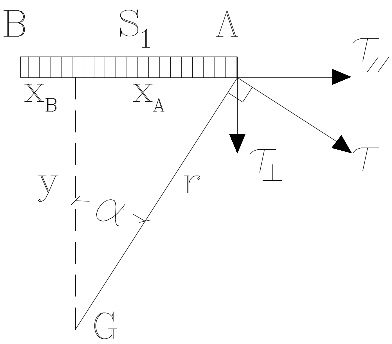
Taglio:

$$\tau = \frac{35000}{(2 \cdot 63 + 125) \cdot 4} = 34.8 \ N/mm^2$$

cordoni S_1, S_3 $\tau_\perp = -34.8\,\text{N/mm}^2$

cordone S_2 $\tau_{//} = -34.8\,\text{N/mm}^2$

Momento torcente: si utilizza il metodo dello J polare



$$\tau = \frac{M_t r}{J_P}$$ con $J_P=J_x+J_y=3.064\ 10^6\ mm^4$

$$J_x = 2 \cdot 6.3 \cdot 0.4 \cdot \frac{12.5^2}{2} + \frac{0.4 \cdot 12.5^3}{12} = 2.619 \cdot 10^6 \text{mm}^4$$

$$J_y = 2\left[4\frac{63^3}{12} + 4(\frac{63}{2} - 16)^2 63 + 4 \cdot 125 \cdot 17.7^2\right] =$$

$$= 4.45 \cdot 10^6\, mm^4$$

- saldatura S_1:

$$\tau_{//}^{A} = \tau_{//}^{B} = \tau \cdot \cos\alpha = M_t \frac{r \cdot \cos\alpha}{J_P} = M_t \frac{y_A}{J_P} = 40.7\,\mathrm{N/mm^2}$$

$$\tau_{\perp}^{A} = \tau \cdot \sin\alpha = M_t \frac{r \cdot \sin\alpha}{J_P} = M_t \frac{x_A}{J_P} = -30.6\ \mathrm{N/mm^2}$$

$$\tau_{\perp}^{B} = M_t \frac{x_B}{J_P} = 10.4\ \mathrm{N/mm^2}$$

- saldatura S_3:

$$\tau_{//}^{C} = \tau_{//}^{D} = -40.7\ \mathrm{N/mm^2} \qquad \tau_{\perp}^{C} = -10.4\ \mathrm{N/mm^2}$$

$$\tau_{\perp}^{D} = 30.6\ \mathrm{N/mm^2}$$

- saldatura S_2:

$$\tau_{//}^{C} = \tau_{//}^{B} = 11.7\ \mathrm{N/mm^2} \qquad \tau_{\perp}^{B} = 40.7\ \mathrm{N/mm^2}$$

$$\tau_{\perp}^{C} = -40.7\ \mathrm{N/mm^2}$$

Momento flettente:

$$\sigma_{\perp}^{A} = \sigma_{\perp}^{B} = M_f \frac{y_A}{J_x} = 1.33 \frac{62.5}{2.619 \cdot 10^6} = 31.74\,\mathrm{N/mm^2}$$

$$\sigma_{\perp}^{C} = \sigma_{\perp}^{D} = M_f \frac{y_C}{J_x} = 1.33 \frac{-62.5}{2.619 \cdot 10^6} = -31.74\,\mathrm{N/mm}$$

Verifiche

- Secondo CNR 10011/85 [#5.1.2]:

Il punto più sollecitato è A.

$$\tau_{//} = \tau_{//}^{M_T} = 40.7\,\mathrm{N/mm^2}$$

$$\tau_{\perp} = \tau_{\perp}^{M_t} + \tau_{\perp}^{T} = -30.6 - 34.8 = -65.4\,\mathrm{N/mmm^2}$$

$$\sigma_{\perp}^{M_f} = 31.7\,\mathrm{N/mmm^2}$$

(1) $\sigma_{id} = \sqrt{\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2 + \sigma_{\perp}^2} = 83.3 \le 0.85\sigma_{adm} = 0.85 \cdot 160 = 136\,\mathrm{N/mm^2}$

(2) $|\tau_{\perp}| + |\sigma_{\perp}| = 971 \le \sigma_{adm} = 160\,\mathrm{N/mm^2}$

La verifica è soddisfatta con un margine di sicurezza del 38.7%.

- Secondo NTC 2008:

E' sufficiente confrontare la tensione sollecitante risultante $\sigma_{id,Ed}$ con il valore della resistenza di calcolo della saldatura.

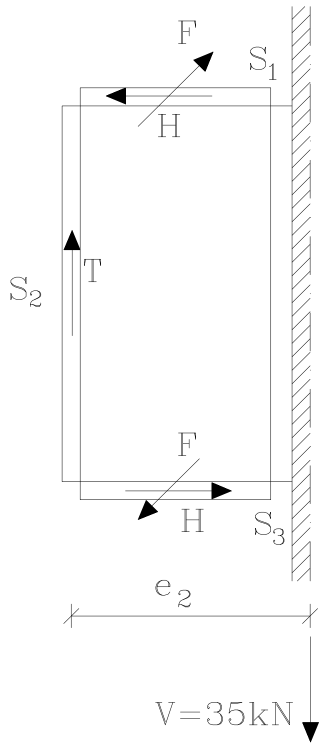
Adottando per lo stato limite ultimo un coefficiente moltiplicativo dei carichi pari a 1.5, si ottiene:

$\sigma_{id,Ed}=1.5\ \sigma_{id}=125\ N/mm^2$

$$a \cdot \sigma_{id,Ed} = 4 \cdot 125 = 875 < F_{w.Rd} = \frac{a\, f_{tk}/\sqrt{3}}{\beta \cdot \gamma_{M2}} = \frac{4 \cdot 360/\sqrt{3}}{0.8 \cdot 1.25} = 1456\ N/mm$$

La verifica è soddisfatta con un margine di sicurezza del 39.9%, in pieno accordo con la verifica eseguita secondo la CNR 10011/85.

Calcolo delle tensioni: II[a] soluzione



Una soluzione più semplice per il calcolo delle tensioni prevede di affidare il taglio al cordone verticale S_2, mentre il momento torcente e il momento flettente vengono affidati ai cordoni orizzontali S_1 e S_3.

Trasportando il taglio nel baricentro del cordone verticale S_2 si ottiene:

$M_t=T\ e_2=T\ 75=2.625\ kNm$ momento torcente

$M_f=T\ e_1=T\ 38=1.33\ kNm$ momento flettente

$H=M_t/z=20.35\ kN$

$F=M_f/z=10.31\ kN$

essendo z=129mm il braccio della coppia interna

Nel cordone verticale si ha la seguente tensione:

$$\tau_{//}^{S_2} = \frac{T}{A_{S_2}} = \frac{35\,000}{125 \cdot 4} = 70 \ N/mm^2$$

mentre nei cordoni orizzontali si ha:

$$\tau_{//}^{S_1} = \tau_{//}^{S_3} = \frac{H}{A_{S_1}} = 80.75 \ N/mm^2$$

$$\sigma_{\perp}^{S_1} = \sigma_{\perp}^{S_3} = \frac{F}{A_{S_1}} = 40.91 \ N/mm^2$$

La tensione risultante è pari a:

$$(1) \quad \sigma_{id} = \sqrt{\tau_{//}^2 + \sigma_{\perp}^2} = 90.52 \leq 0.85\,\sigma_{adm} = 0.85 \cdot 160 = 136\, N/mm^2$$

La verifica, eseguita seguendo il criterio della sfera mozza (CNR 10011/85), è soddisfatta con un margine del 33.5% contro un margine del 38.7% della I^a soluzione.