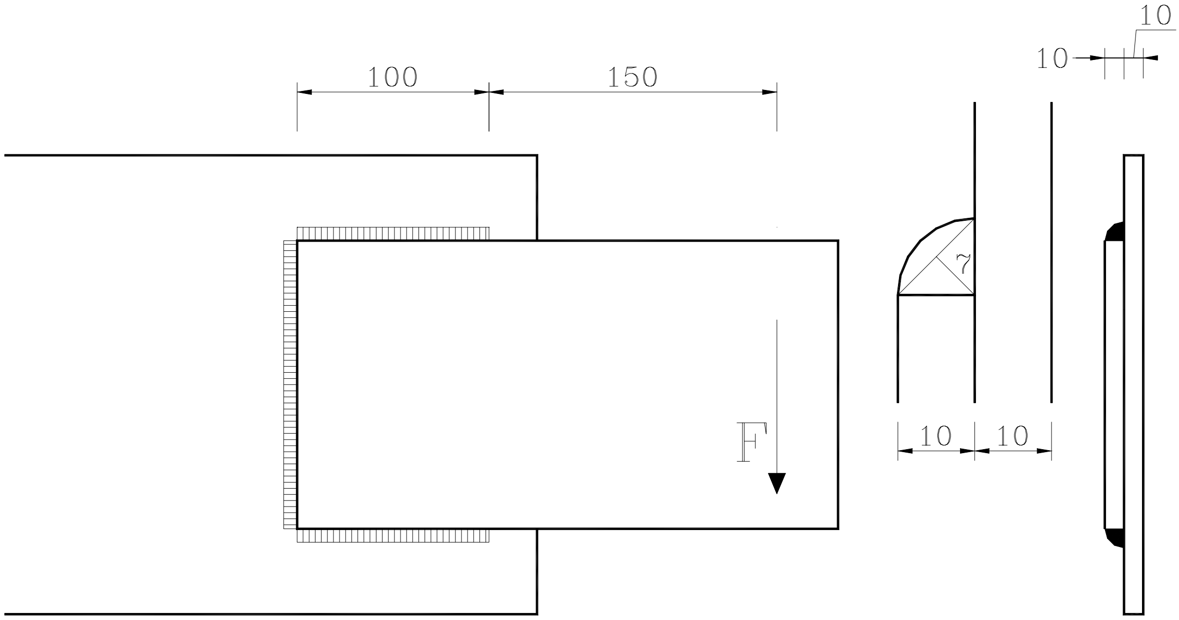
ESEMPIO 1: metodo dello J polare e metodo delle due forze

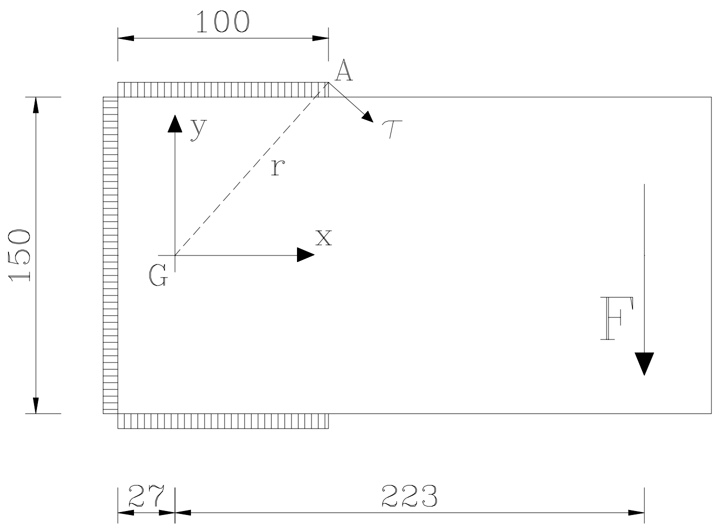
ESEMPIO 1a

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

1. con il metodo dello J polare e la normativa italiana (CNR 10011/85)
2. con il metodo delle due forze e la normativa italiana (CNR 10011/85)
3. con il metodo delle due forze e dello J polare ma secondo EC3



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

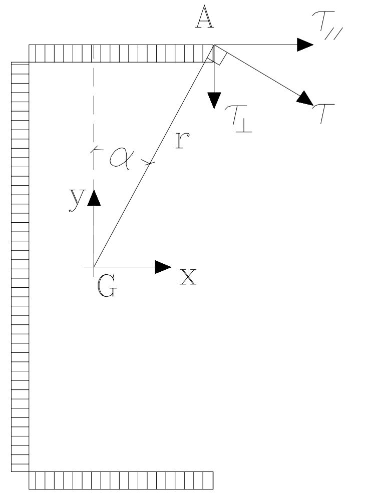
A=2450 mm^2

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

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

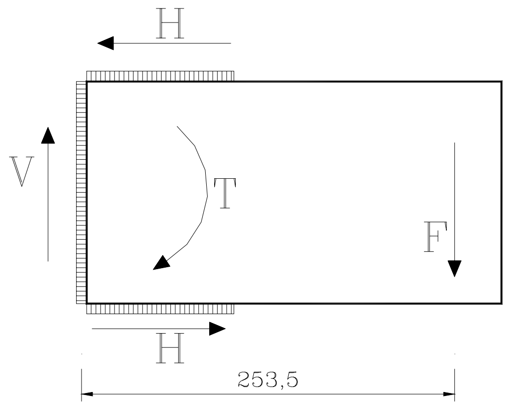
Sovrapponendo gli effetti e verificando secondo il criterio della normativa italiana CNR 10011 (sfera mozza), si ottiene:

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

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

$$\sqrt{1.61^2 + 1.35^2} \cdot 10^{-3} F_{adm} = 136\ \mathrm{N/mm^2} \qquad \Rightarrow \qquad \boxed{F_{adm} = 64.73\ \mathrm{kN}}$$

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:

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

Il metodo delle due forze risulta quindi più conservativo.

3. Calcolo allo stato limite ultimo secondo EC3 [#6.6.5.3]

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

I coefficienti parziali di sicurezza secondo D.M. 9-1-96 (DAN)

- azioni permanenti $\gamma_G = 1.40$
- azioni variabili $\gamma_Q = 1.50$
- saldature d'angolo $\gamma_{Mw} = 1.35$

- azione permanente di progetto $G_d = \gamma_G\ 0.3\ F_{adm} = 0.42\ F_{adm}$
- 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 progetto a taglio della saldatura

$$f_{vw.d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} = \frac{360 / \sqrt{3}}{0.8 \cdot 1.35} = 208\ N / mm^2$$

con:

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

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

β_w=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:

$$\tau_{sd} = \sqrt{\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2} = \sqrt{1.61^2 + 1.35^2} \cdot 10^{-3} 1.455 \cdot \mathrm{F}_{adm} = 3.06 \cdot 10^{-3} \mathrm{F}_{adm}$$

$\tau_{sd} \le f_{vw.d} \Rightarrow$ F_{adm}=67.98 kN (contro 64 kN con la CNR 10011/85)

<u>Metodo dello due forze</u>

$\tau_{sd} = \tau_{//}^{H} = 2.3 \cdot 10^{-3} \cdot 1.455 \cdot \mathrm{F}_{adm} = 3.347 \cdot 10^{-3} \mathrm{F}_{adm} \Rightarrow$ F_{adm}=62.15 kN (contro 59 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 1.455 invece di 1.5. Usando un coefficiente di sicurezza uniforme pari a 1.5 si avrebbe:

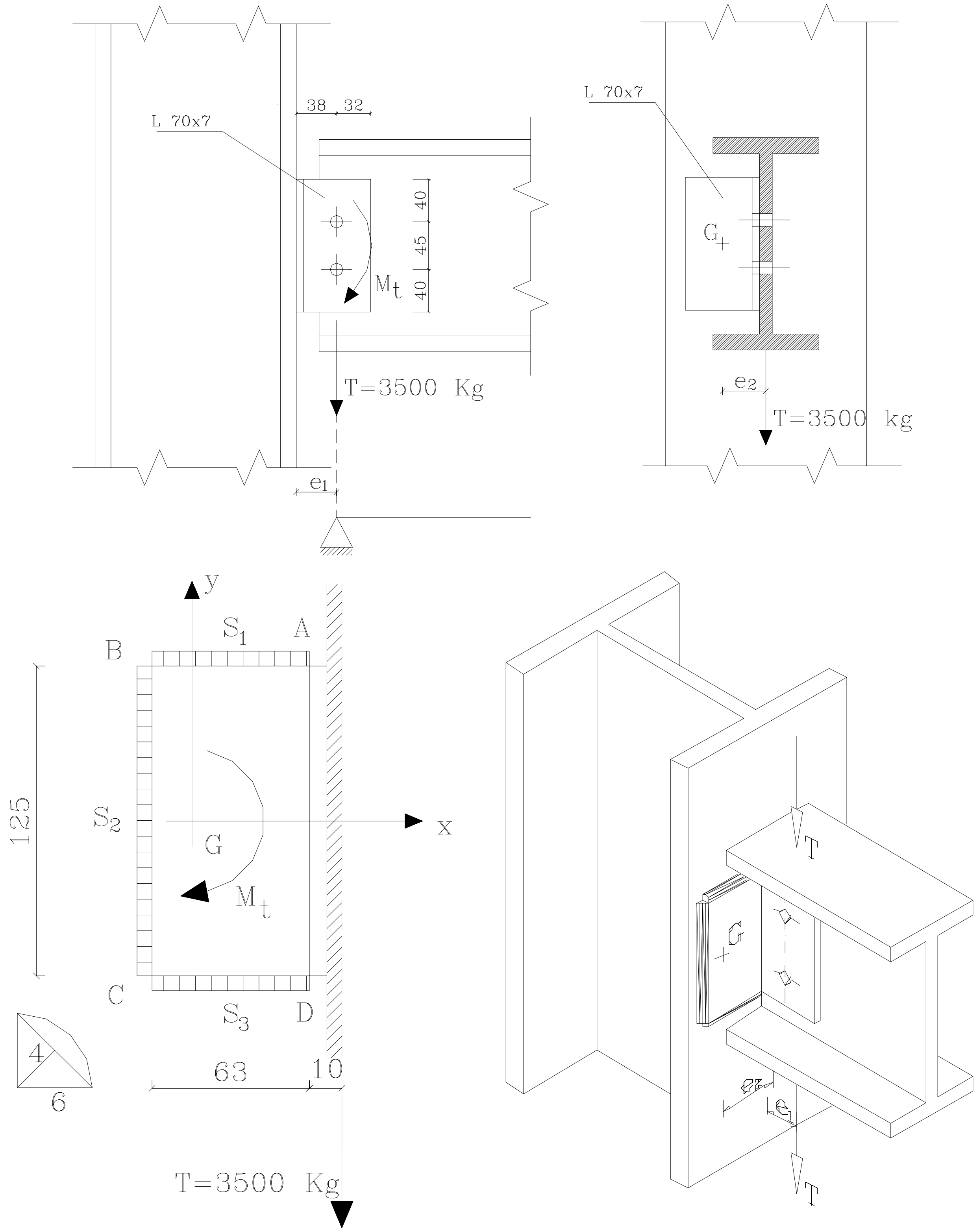
F_{adm}=65.93 kN con il metodo dello J_p

F_{adm}=60.28 kN con il metodo delle due forze

In pieno accordo con i risultati ottenuti applicando la normativa italiana.

ESEMPIO 1b

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'eccentrità 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. figura seguente).



Materiale: 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):

T=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

<u>Calcolo delle tensioni: I soluzione</u>

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 interamente reagente.

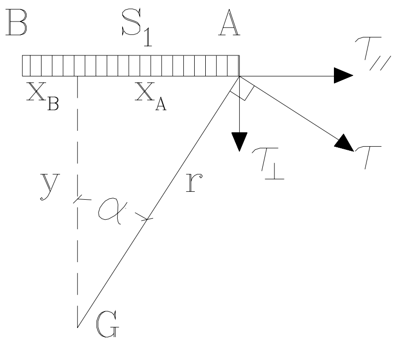
Taglio:

$$\tau = \frac{35}{(2\cdot 63+125)\cdot 4} = 34.8\ \text{N}/\text{mm}^2$$

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

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

Momento torcente: si utilizza il metodo dello J polare



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

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

$$J_y = 2\left[4\frac{63^3}{12} + 4(\frac{63}{2}-16)^2 63 + 4\cdot 125\cdot 17.7^2\right] = 4.45\cdot 10^6\,\text{mm}^4$$

- saldatura S_1:

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

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

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

- saldatura S_3:

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

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

- saldatura S_2:

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

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

Momento flettente:

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

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

Verifiche

- Secondo CNR 10011/85 [#5.1.2]:

Il punto più sollecitato è A.

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

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

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

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

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

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

- Secondo EC3 [# 6.6.5.3]:

Se si seguono le indicazioni dell'EC3, sarà sufficiente confrontare la tensione sollecitante risultante $\sigma_{id,sd}$ con il valore della resistenza di progetto a taglio della saldatura.

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

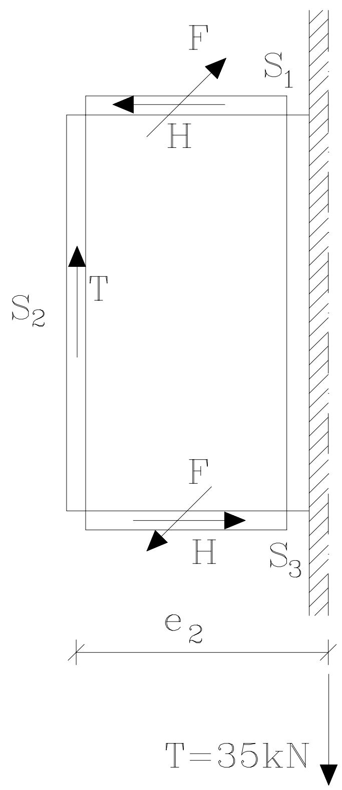
$$\sigma_{id,sd}=1.5\ \sigma_{id}=125\ \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{id,sd} < f_{vw.d} = \frac{f_u/\sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} = \frac{360/\sqrt{3}}{0.8 \cdot 1.25} = 208\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

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

Calcolo delle tensioni: II 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 vendono affidato ai soli 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:

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

mentre nei cordoni orizzontali si ha:

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

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

La tensione risultante è pari a:

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

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 soluzione.