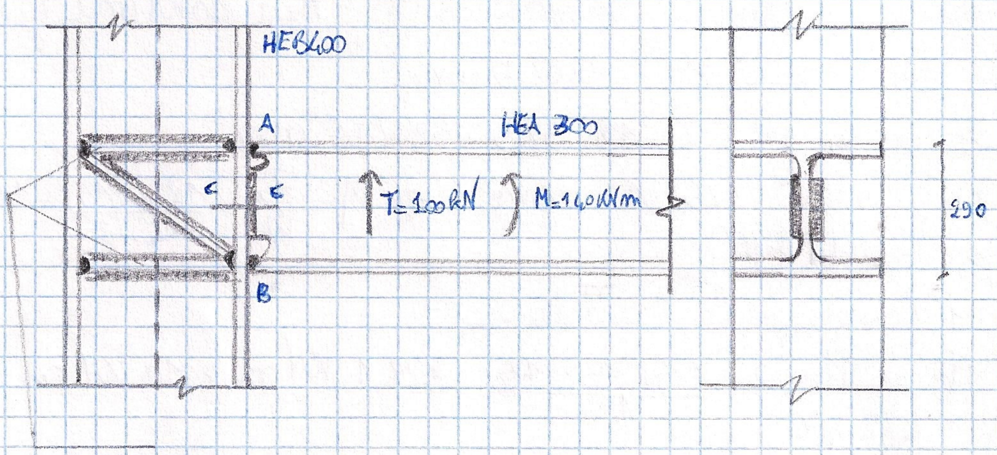
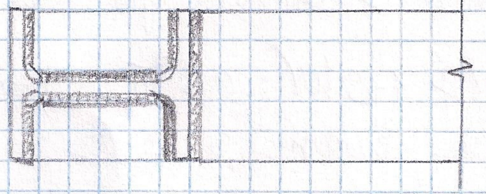
Giunti trave - colonna

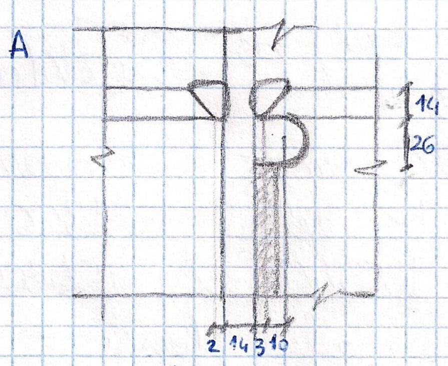
Data la grande importanza che rivestono, dedichiamo a questo tipo di giunti una trattazione separata.
A seconda del grado di ripristino possiamo dividerli in giunti a completo ripristino, a completo ripristino della sola resistenza o a parziale ripristino.
In funzione della rigidezza possiamo distinguere giunti che danno origine a nodi rigidi, semirigidi o a cerniera.

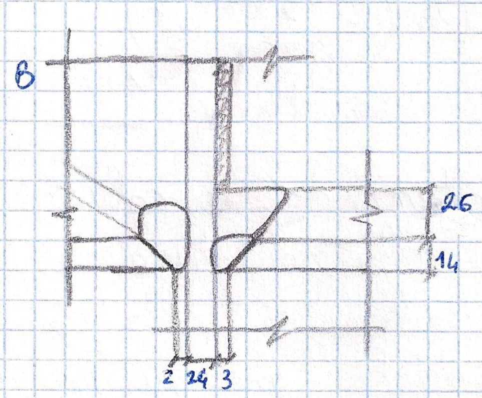
Vediamo un primo esempio con saldature a completa penetrazione:



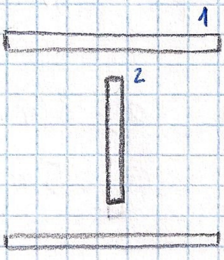
S275







Sezione resistente della trave (vengono escluse le asole di saldatura, campo elastico lineare):



HEA 300

$$J_x = \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 300 \cdot 14^3 + 2 \cdot 300 \cdot 14 \cdot 138^2 + \frac{1}{12} \cdot 8{,}5 \cdot 210^3 = 166666675 \ mm^4$$

$$A_{anima} = 210 \cdot 8{,}5 = 1785 \ mm^2$$

Nel punto 1:

$$\sigma_z = \frac{(-140000000)\cdot(-145)}{166666675} = 121,8\ N/mm^2 < 190\ N/mm^2 = \sigma_{amm}$$

Nel punto 2:

$$\sigma_z = \frac{(-140000000)\cdot(-105)}{166666675} = 88,2\ N/mm^2$$

$$\tau_{yz} = \frac{100000}{1785} = 56,0\ N/mm^2$$

$$\Rightarrow \sigma_{id} = \sqrt{88,2^2 + 3\cdot 56,0^2} = 131,1\ N/mm^2 < 190\ N/mm^2 = \sigma_{amm}$$

Al limite elastico:

$$W_x = \frac{166666675}{145} = 1149425\ mm^3 \Rightarrow M_{xe} = 1149425\cdot 275 = 316\ kNm$$

$$T_{ye} = 1785\cdot\frac{275}{\sqrt{3}} = 283\ kN$$

Per l'analisi a rottura consideriamo $M_{x,Ed} = 210\ kNm$ e $T_{y,Ed} = 150\ kN$:

$$A_1 = A_2 = \frac{2\cdot 300\cdot 14 + 8,5\cdot 210}{2} = 5092,5\ mm^2$$

$$S_1 = S_2 = 300\cdot 14\cdot 138 + 8,5\cdot 105\cdot 52,5 = 626456\ mm^3$$

$$\Rightarrow Z_x = S_1 + S_2 = 1252913\ mm^3 \Rightarrow \eta = \frac{Z_x}{W_x} = \frac{1252913}{1149425} = 1,09$$

Flessione per la HEA 300:

classe 1 (anche per le saldature)

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{1252913\cdot 275}{1,05} = 328,1\ kNm > 210\ kNm = M_{x,Ed}$$

Taglio per la HEA 300:

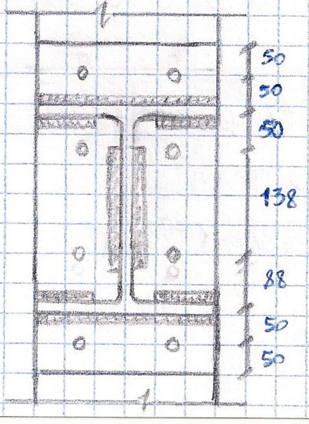
$$T_{y,Rd} = \frac{1785\cdot 275}{\sqrt{3}\cdot 1,05} = 270\ kN > 150\ kN = T_{y,Ed}$$

Tuttavia, essendo $T_{y,Ed} = 150\ kN > 135\ kN = 0,5\ T_{y,Rd}$, non si può omettere la verifica a flessione e taglio:

$$\rho = \left(\frac{2\cdot 150000}{270000} - 1\right)^2 = 0,012$$

$$\Rightarrow M_{y,V,Rd} = \frac{\left(1252912 - \frac{0,012\cdot 1785^2}{4\cdot 8,5}\right)\cdot 275}{1,05} = 327,8\ kNm > 210\ kNm = M_{x,Ed}$$

Mantenendo la colonna dell'esempio precedente, sostituiamo alle saldature di innesto della HEA 300 una flangia bullonata alla colonna HEB 400. La HEA 300 è ancora saldata, ma questa volta alla flangia:



Bulloni: classe 10.9 $d = 24\ mm$

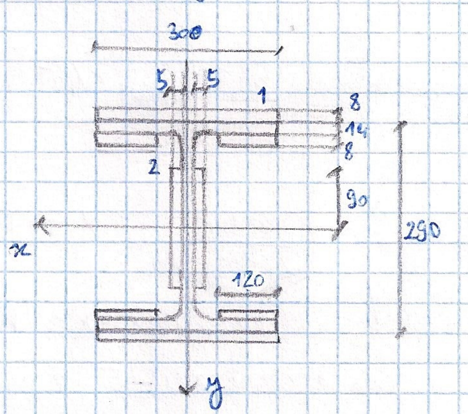
$\phi = 26\ mm$

Sezioni di gola:

piattabande $a_p = 8\ mm$

anima $a_a = 5\ mm$

Per il campo elastico lineare consideriamo $T_y = 100$ kN e $M_x = 20$ kN m:



$$J_x = 2\cdot\frac{1}{12}\,5\cdot180^3 + 2\cdot300\cdot8\cdot149^2 + 2\cdot\frac{1}{12}\cdot300\cdot8^3 +$$
$$+ 4\cdot\frac{1}{12}\cdot120\cdot8^3 + 4\cdot120\cdot8\cdot127^2 = 173406240\ mm$$

$$A_{anima} = 2\cdot180\cdot5 = 1800\ mm^2$$

S275 (Fe430)

Nel punto 1:

$$\sigma_\perp = \frac{(-20000000)\cdot(-153)}{173406240} = 17{,}6\ N/mm^2 \qquad \tau_\parallel = \tau_\perp = 0$$

Nel punto 2:

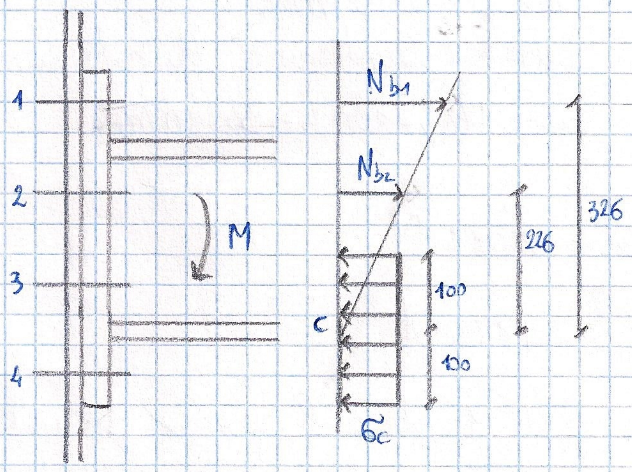
$$\sigma_\perp = \frac{(-20000000)\cdot(-90)}{173406240} = 10{,}4\ N/mm^2 \qquad \tau_\parallel = \frac{100000}{1800} = 55{,}6\ N/mm^2 \qquad \tau_\perp = 0$$

Verifiche:

$$\text{punto 1}\begin{cases}\sigma_{id} = 17{,}6\ N/mm^2 < 133\ N/mm^2 = 0{,}70\,\sigma_{amm}\\ |n_\perp| + |t_\perp| = 0 < 161{,}5\ N/mm^2 = 0{,}85\,\sigma_{amm}\end{cases}$$

$$\text{punto 2}\begin{cases}\sigma_{id} = \sqrt{10{,}4^2 + 55{,}6^2} = 56{,}6\ N/mm^2 < 133\ N/mm^2 = 0{,}70\,\sigma_{amm}\\ |n_\perp| + |t_\perp| = 55{,}6\ N/mm^2 < 161\ N/mm^2 = 0{,}85\,\sigma_{amm}\end{cases}$$

Passiamo ai bulloni della flangia. Mentre lo sforzo di taglio agisce ugualmente su ogni bullone, quello di flessione comporta parzializzazione. Ipotizzando che l'asse di estantaneo passi per il centro della piattabanda inferiore:



Solo i bulloni delle file 1 e 2 sono soggetti a trazione:

$$N_{b1} = \frac{(-20000000)(-326)}{2\cdot(326^2 + 226^2)} = 20718\ N$$

$$N_{b2} = \frac{(-20000000)\cdot(-226)}{2\cdot(326^2 + 226^2)} = 14362\ N$$

$$V_{bi} = \frac{100000}{8} = 12500\ N$$

Verifichiamo dove il gambo dei bulloni su fila 1 è integro

$$\sigma_{amm} = \frac{1}{1{,}5}\cdot\min\{0{,}7\cdot1000;\ 900\} = 467\ N/mm^2$$

$$\tau_{b1} = \frac{12500}{452} = 27{,}7\ N/mm^2 \qquad \sigma_{b1} = \frac{20718}{452} = 45{,}8\ N/mm^2$$

$\Rightarrow \sigma_{bid} = \sqrt{2 \cdot 27,7^2 + 45,8^2} = 60,3\ N/mm^2 < 467\ N/mm^2 = \sigma_{amm}$

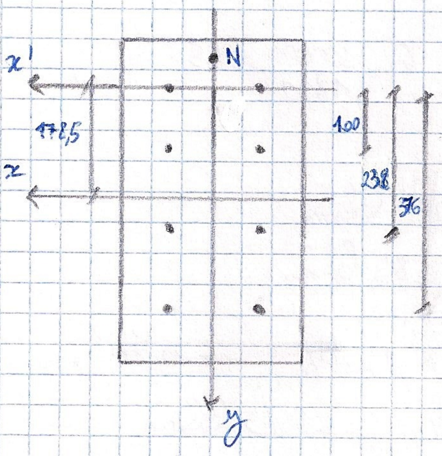
Dove il gambo è filettato:

$\tau_{b1} = 0 \qquad \sigma_{b1} = \dfrac{20718}{353} = 58,7\ N/mm^2 \Rightarrow \sigma_{bid} = 58,7\ N/mm^2 < 467\ N/mm^2 = \sigma_{amm}$

Sforzo di compressione:

$C = 2 \cdot (20718 + 14362) = 70160\ N \Rightarrow \sigma_c = \dfrac{70160}{2 \cdot 100 \cdot 300} = 1,2\ N/mm^2$

Aggiungiamo agli sforzi $T_y = 100000\ N$ e $M_x = 20000000\ Nmm$ lo sforzo assiale $N = 100000\ N$ con eccentricità $e = M_x/N = 200\ mm$. Esso è applicato nel baricentro della trave. Dobbiamo determinare il baricentro della bullonatura e il nocciolo centrale d'inerzia ($y'_{GT} = 188\ mm$ dall'asse x'):



$A_B = 8 \cdot 353 = 2824\ mm^2$

$S_{x'} = 2 \cdot 353 \cdot (100 + 238 + 376) = 504084\ mm^3$

$\Rightarrow y'_{GB} = \dfrac{504084}{2824} = 178,5\ mm$

$J_{Bx} = 2 \cdot 353 \cdot (178,5^2 + 78,5^2 + 59,5^2 + 197,5^2) =$
$= 56883126\ mm^4$

$\Rightarrow \rho_{Bx} = \sqrt{\dfrac{56883126}{2824}} = \sqrt{20143} = 142\ mm$

$\Rightarrow \beta' = -\dfrac{20143}{197,5} = -102\ mm \qquad \beta'' = \dfrac{-20143}{-178,5} = 113\ mm$

Essendo $e = 200\ mm > |-102\ mm|$ la sezione è parzializzata.

Abbiamo:

- eccentricità rispetto al baricentro della bullonatura:

$e' = 200 - 9,5 = 190,5\ mm$

- eccentricità rispetto all'asse istantaneo di rotazione:

$y_c = 326\ mm \Rightarrow e'' = 326 - 178,5 + 190,5 = 338\ mm$

Forze di trazione:

$N_{b1} = \dfrac{100000 \cdot (-338) \cdot (-326)}{2\,(326^2 + 226^2)} = 35013\ N$

$N_{b2} = \dfrac{100000\,(-338) \cdot (-326)}{2 \cdot (326^2 + 226^2)} = 24273\ N$

Verifica per i bulloni sulla fila 1 dove il gambo è integro:

$\tau_{b1} = \dfrac{12500}{452} = 27,7\ N/mm^2 \qquad \sigma_{b1} = \dfrac{35013}{452} = 77,5\ N/mm^2$

$\Rightarrow \sigma_{b,id} = \sqrt{77,5^2 + 2 \cdot 27,7^2} = 86,8\ N/mm^2 < 467\ N/mm^2 = \sigma_{amm}$

Dove il gambo è filettato:

$\tau_{b1} = 0 \qquad \sigma_{b1} = \dfrac{35013}{353} = 99,2\ N/mm^2 < 467\ N/mm^2 = \sigma_{amm}$

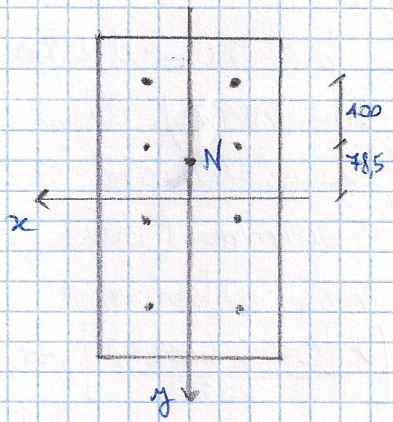
Sforzo di compressione:

$$C = 2\cdot(35013 + 24273) - 100000 = 18572 \text{ N}$$

$$\Rightarrow \sigma_c = \frac{18572}{2\cdot 100\cdot 300} = 0{,}31 \text{ N/mm}^2$$

Invece, supponendo $N = 250000$ N $\Rightarrow e = M_x/N = 80$ mm, quindi lo sforzo è applicato internamente al nocciolo centrale d'inerzia e la sezione non è parzializzata:

$$e' = 80 - 9{,}5 = 70{,}5 \text{ mm}$$



Sui vari bulloni:

$$N_{b1} = \frac{250000}{8}\left[1 + \frac{(-70{,}5)\cdot(-178{,}5)}{20143}\right] = 50773 \text{ N}$$

$$N_{b2} = \frac{250000}{8}\left[1 + \frac{(-70{,}5)\cdot(-78{,}5)}{20143}\right] = 39836 \text{ N}$$

$$N_{b3} = \frac{250000}{8}\left[1 + \frac{(-70{,}5)\cdot 59{,}5}{20143}\right] = 24742 \text{ N}$$

$$N_{b4} = \frac{250000}{8}\left[1 + \frac{(-70{,}5)\cdot 197{,}5}{20143}\right] = 9649 \text{ N}$$

Verifica per la fila 1 dove la sezione è integra:

$$\tau_{b1} = \frac{12500}{452} = 27{,}7 \text{ N/mm}^2 \qquad \sigma_{b1} = \frac{50773}{452} = 112{,}3 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \sigma_{b,id} = \sqrt{112{,}3^2 + 2\cdot 27{,}7^2} = 119{,}0 \text{ N/mm}^2 < 467 \text{ N/mm}^2 = \sigma_{amm}$$

Dove la sezione è filettata:

$$\tau_{b1} = 0 \qquad \sigma_{b1} = \frac{50773}{353} = 143{,}8 \text{ N/mm}^2 < 467 \text{ N/mm}^2 = \sigma_{amm}$$

Per l'analisi a rottura consideriamo $M_{x,Sd} = 30$ kNm e $T_{y,Sd} = 150$ kN. Torniamo alla sezione resistente dei cordoni di saldatura con $J_x = 173406240$ mm^4, $A_{anima} = 1800$ mm^2:

- nel punto 1:

$$\sigma_\perp = \frac{(-30000000)\,(-153)}{173406240} = 26{,}5 \text{ N/mm}^2 \qquad \tau_\parallel = \tau_\perp = 0$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \sqrt{\sigma_\perp^2 + \tau_\parallel^2 + \tau_\perp^2} = \sigma_\perp = 26{,}5 \text{ N/mm}^2 < 192{,}5 \text{ N/mm}^2 = \beta_1 f_{yk} \\ |\sigma_\perp| + |\tau_\perp| = 26{,}5 \text{ N/mm}^2 < 233{,}75 \text{ N/mm}^2 = \beta_2 f_{yk} \end{cases}$$

- nel punto 2:

$$\sigma_\perp = \frac{(-30000000)\cdot(-90)}{173406240} = 15{,}6 \text{ N/mm}^2 \qquad \tau_\parallel = \frac{150000}{1800} = 83{,}3 \text{ N/mm}^2 \qquad \tau_\perp = 0$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \sqrt{\sigma_\perp^2 + \tau_\parallel^2 + \tau_\perp^2} = 84{,}7 \text{ N/mm}^2 < 192{,}5 \text{ N/mm}^2 = \beta_1 f_{yk} \\ |\sigma_\perp| + |\tau_\perp| = 98{,}9 \text{ N/mm}^2 < 233{,}75 \text{ N/mm}^2 = \beta_2 f_{yk} \end{cases}$$

Passiamo al taglio sui bulloni:

$$V_{bi} = \frac{150000}{8} = 18750 \text{ N}$$

Vediamo l'effetto del momento:

$$N_{b1} = \frac{(-30000000)\cdot(-326)}{2\cdot(326^2+226^2)} = 31077\ N \qquad N_{b2} = \frac{(-30000000)\cdot(-226)}{2\,(326^2+226^2)} = 21544\ N$$

Resistenze di progetto a taglio e a trazione:

$$F_{V,Rd} = \frac{0{,}6\cdot 1000\cdot 452}{1{,}25} = 216960\ N \qquad F_{t,Rd} = \frac{0{,}9\cdot 353\cdot 1000}{1{,}25} = 254160\ N$$

Verifiche:

$$\frac{18750}{216960} + \frac{31077}{1{,}4\cdot 254160} = 0{,}174 < 1 \qquad \frac{31077}{254160} = 0{,}122 < 1$$

Ora sostituiamo ai bulloni semplici dei bulloni ad attrito di classe 10.9 e di diametro $d = 24$ mm (come prima). Applichiamo $M_{xd} = 30$ kNm, $T_{yd} = 150$ kN e $N_d = 375$ kN, quest'ultimo con eccentricità rispetto al baricentro della trave $e = 80$ mm (nella parte superiore della bullonatura, $e' = 80 - 9{,}5 = 70{,}5$ mm. Abbiamo:

$$V_{b1} = \frac{150000\ N}{8} = 18750\ N \qquad N_{b1} = \frac{375000}{8}\left[1 + \frac{(-70{,}5)\cdot(-178{,}5)}{20143}\right] = 75773\ N$$

$$N_{b2} = \frac{375000}{8}\left[1 + \frac{(-70{,}5)\cdot(-78{,}5)}{20143}\right] = 59754\ N \qquad N_{b3} = \frac{375000}{8}\left[1 + \frac{(-70{,}5)\cdot 59{,}5}{20143}\right] = 37113\ N$$

$$N_{b4} = \frac{375000}{8}\left[1 + \frac{(-70{,}5)\cdot 197{,}5}{20143}\right] = 14473\ N$$

Sforzo normale di precarico (serraggio controllato, $\gamma_{M7} = 1{,}0$):

$$N_s = 0{,}7\cdot 353\cdot 1000 = 247100\ N$$

Resistenza allo scorrimento:

$$F_{s,Rd} = \frac{1\cdot 0{,}30\cdot 247100}{1{,}25} = 59304\ N$$

Sforzo trasmissibile da parte dell'intera bullonatura:

$$V^*_{Ru} = 59304\cdot 2\cdot\left[\left(1 - \frac{0{,}8\cdot 75773}{247100}\right) + \left(1 - \frac{0{,}8\cdot 59754}{247100}\right) + \left(1 - \frac{0{,}8\cdot 37113}{247100}\right) + \left(1 - \frac{0{,}8\cdot 14473}{247100}\right)\right] =$$

$$= 402581\ N > 150000\ N = T_{yd}$$

Anche in quest'ultima serie di esercizi sui giunti trave-colonna abbiamo trovato tutte verifiche soddisfatte.