

[Clic per tutti gli appunti](#) (AUTOMAZIONE – TRATTAMENTI TERMICI ACCIAIO – SCIENZA delle COSTRUZIONI...)



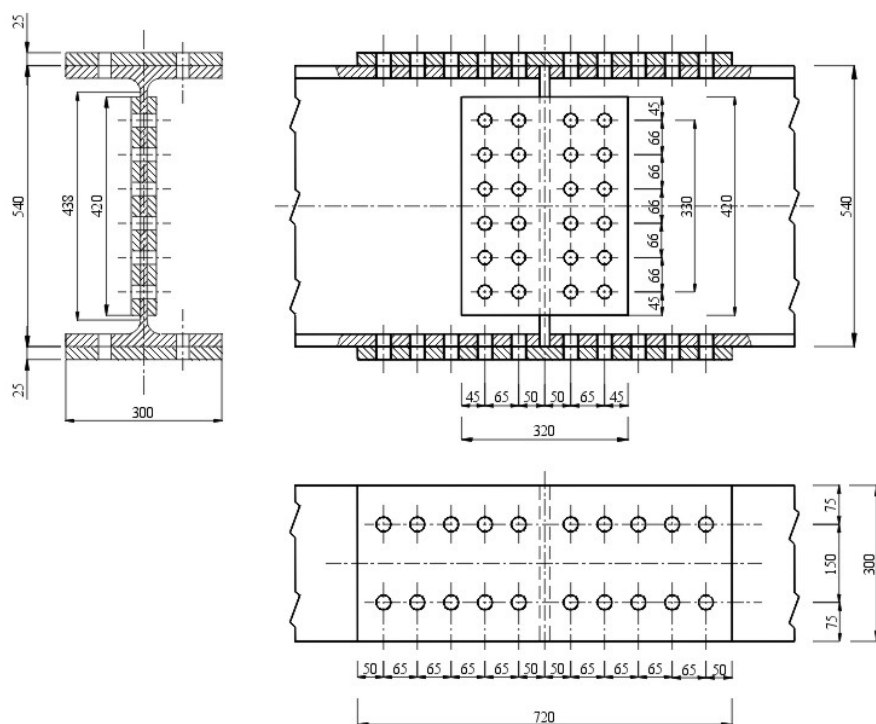
[e-mail per suggerimenti](#)

[Clic qui](#) – PRIMA PAGINA APPUNTI ACCIAIO

Esempio2

Coprigiunti a completo ripristino di resistenza del profilato

Fig.4.33



I due spezzoni di figura, in profilato HEA 550, devono essere uniti con coprigiunti d'ala e d'anima, determinando un'unione capace di offrire una resistenza, al momento flettente ed al taglio, uguale o superiore a quella offerta dal profilato intero: non tagliato.

Caratteristiche del profilato

Profilato HEA 550

Acciaio S 235 $f_{yk} = 23,5 \text{ kN} / \text{cm}^2$

$h = 540 \text{ mm} = 54 \text{ cm}$

$I_y = 111932 \text{ cm}^4$

$b = 300 \text{ mm} = 30 \text{ cm}$

$I_z = 10820 \text{ cm}^4$

$t_f = 24 \text{ mm} = 2,4 \text{ cm}$

$W_{pl,y} = 4622 \text{ cm}^3$

$t_w = 12,5 \text{ mm} = 1,25 \text{ cm}$

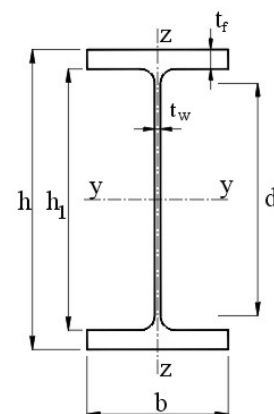
$W_{el,y} = 4150 \text{ cm}^3$

$A = 21200 \text{ mm}^2 = 212 \text{ cm}^2$

$S_y = 2311 \text{ cm}^3$

$d = 438 \text{ mm} = 343,8 \text{ cm}$

$r = 27 \text{ mm} = 2,7 \text{ cm}$



Scelta del coprigiunto d'anima e disposizione della bullonatura

Piatto del coprigiunto

L'altezza dell'anima del profilato HEA 550, al disotto dei raggi di raccordo è (vedi figura) :

$$h_w = d = 438 \text{ mm}$$


Considerando uno spazio libero di circa 10 mm per parte, alle estremità del giunto, l'altezza h_g , di questo, può assumere una dimensione intorno al valore:

$$h_g \cong 438 - 2 \cdot 10 = 418 \text{ mm}$$

assumiamo:

$$h_g 420 \text{ mm}$$

Scelta del piatto per il coprigiunto d'anima

Si sceglie un piatto  420x 18 in acciaio S 275

Scelta dei bulloni

Si scelgono bulloni:

M 24 classe 8.8

Diametro nominale $d = 24 \text{ mm}$

Sezione resistente $A_{res} = 3,53 \text{ cm}^2$

Diametro del foro $d_0 = d + 1,5 = 25,5 \text{ mm}$

dalla Tabella 11.3.XII.b si ha:

Tensione di rottura $f_{tb} = 800 \text{ N/mm}^2$

Tensione di snervamento $f_{yb} = 649 \text{ N/mm}^2$

Posizione e distanza tra i fori

Distanza minima tra i fori (Tabella .4.2.XIII)

$$e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 25,5 = 30,6 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 25,5 = 30,6 \text{ mm}$$

$$p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 25,5 = 56,1 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 25,5 = 61,2 \text{ mm}$$

Si sceglie:

$$e_1 = e_2 = 45 \text{ mm} > 30,6 \text{ mm} \quad (\text{maggiore del valore minimo})$$

Distribuzione e numero di bulloni nel giunto

Per l'unione con coprigiunto d'anima si scelgono, per ogni profilato da unire, due file con 6 bulloni ciascuna.

Considerando 5 spazi tra i fori, la distanza p_1 tra due bulloni interni, in senso verticale nella direzione dello sforzo di taglio, risulta:

$$p_1 = \frac{h_g - 2 \cdot e_1}{5} \quad p_1 = \frac{420 - 2 \cdot 45}{5}$$

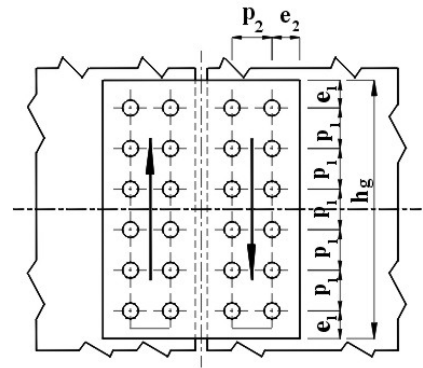
$$p_1 = 66 \text{ mm} > 56,1 \text{ mm}$$

accettabile essendo maggiore del valore minimo.

La distanza p_2 tra due fori interni, in senso orizzontale, si assume con un valore superiore al minimo:

$$p_2 = 65 \text{ mm} > 61,2 \text{ mm}$$

Fig.4.34



Criterio del ripristino integrale delle resistenze del profilato

La resistenza a taglio, qui, si considera affidata, interamente, all'anima del profilato: quindi, in mancanza della continuità di essa, al coprigiunto di unione.

La resistenza al momento flettente, invece, si considera affidata, per una parte alle ali del profilato, distanti $\frac{h - t_f}{2}$ dall'asse neutro; quindi, in mancanza della continuità di esse, al coprigiunto di unione delle ali. La parte rimanente del momento flettente è affidata all'anima del profilato, e, in mancanza della sua continuità al coprigiunto di unione dell'anima.

Resistenza a taglio del profilato HEA 550

Acciaio S 235

$$\text{Tensione di snervamento} \quad f_{yk} = 235 \text{ N/mm}^2 \quad f_{yk} = 23,5 \text{ kN/cm}^2$$

Area resistente al taglio del profilato

$$A_w = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

$$A_w = 212 - 2 \cdot 30 \cdot 2,4 + (1,25 + 2 \cdot 2,7) \cdot 2,4$$

$$A_w = 83,96 \text{ cm}^2$$

Resistente al taglio del profilato

$$V_{c,Rd} = \frac{A_w \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \quad V_{c,Rd} = \frac{83,96 \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,05}$$

$$V_{c,Rd} = 1085 \text{ kN} \quad (e2.1)$$

Tale resistenza al taglio, nella giunzione, è affidata interamente al coprighiunto d'anima: bulloni e piastre

Momento resistente del profilato HEA 550

Classe sollecitazione a flessione

Classe del profilato:

Classe dell'anima

$$\text{Classe 1} \quad \frac{C}{t} \leq 72 \varepsilon$$

$$\text{Classe 2} \quad \frac{C}{t} \leq 83 \varepsilon$$

$$\text{Classe 3} \quad \frac{C}{t} \leq 142 \varepsilon$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

sostituendo si ha:

$$\text{Classe 1} \quad \frac{C}{t} \leq 72 \cdot 1 \quad \frac{C}{t} \leq 72$$

$$\text{Classe 2} \quad \frac{C}{t} \leq 83 \cdot 1 \quad \frac{C}{t} \leq 83$$

$$\text{Classe 3} \quad \frac{C}{t} \leq 142 \cdot 1 \quad \frac{C}{t} \leq 142$$

Per il profilato IPE 200 si ha:

$$C = d = 43,8 \text{ cm}$$

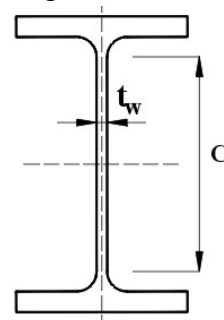
$$C = 33,1 \text{ cm}$$

$$t = t_w = 1,25 \text{ cm}$$

$$\frac{C}{t} = \frac{43,8}{1,25} = 35 < 72$$

La sezione dell'anima del profilato è di classe 1

Fig.4.35



Classe dell'ala

Classe 1	$\frac{C}{t} \leq 9\varepsilon$
Classe 2	$\frac{C}{t} \leq 10\varepsilon$
Classe 3	$\frac{C}{t} \leq 14\varepsilon$

Per $\varepsilon = 1$ si ha:

Classe 1	$\frac{C}{t} \leq 9 \cdot 1$	$\frac{C}{t} \leq 9$
Classe 2	$\frac{C}{t} \leq 10 \cdot 1$	$\frac{C}{t} \leq 10$
Classe 3	$\frac{C}{t} \leq 14 \cdot 1$	$\frac{C}{t} \leq 14$

Per il profilato IPE 400 si ha:

$$C = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r \quad C = \frac{30}{2} - \frac{1}{2} - 2,1$$

$$C = 11,7 \text{ cm}$$

$$t = t_f = 2,4 \text{ cm}$$

$$\frac{C}{t} = \frac{11,7}{2,4} = 4,87 < 9$$

La sezione dell'ala del profilato è di classe 1

Si conclude che la sezione del profilato HEA 550 è di classe 1.

Essendo la sezione del profilato di classe 1, il momento resistente è calcolato con il modulo di resistenza plastico.

$$W_{pl,y} = 2 \cdot S_y = 4622 \text{ cm}^4$$

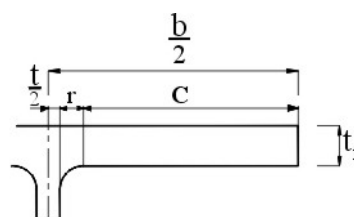
Il momento resistente plastico dell'intera sezione del profilato HEA 550 è:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \quad M_{pl,Rd} = \frac{4622 \cdot 23,5}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = 108617 \text{ kN} \cdot \text{cm} \quad (e2,2)$$

Tale momento resistente, nella sezione di unione dei due spezzoni del profilato, è affidato, per una parte, al copriungto delle ali, per l'altra a quello delle anime.

Fig. 3.39



Ripartizione del momento resistente tra ali e anima di un profilato HE

Momento assorbito dalle ali

Consideriamo le ali di un profilato come unica sezione resistente e calcoliamo il momento resistente di esse.

Distinguiamo i profilati di classe 1,2 e quelli di classe 3

Profilati di classe 1,2

Si può considerare il momento resistente plastico.

Nella completa plasticizzazione, ogni punto della sezione resistente, (nel caso in esame delle ali), è sollecitato dalla tensione di snervamento f_{yk} (Fig.5.36)

Calcoliamo il momento resistente plastico $M_{ali,pl}$ offerto dalle sezioni delle due ali, che, nel caso di interruzione della continuità, dovrà essere garantito dal coprighiunto di unione delle ali.

Consideriamo la sezione rettangolare dell'ala, con il suo asse baricentrico a distanza $\frac{h}{2} - \frac{t_f}{2}$ dall'asse y del profilato.

Fig.4.36

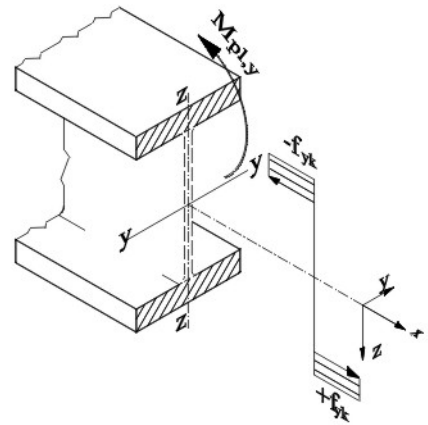


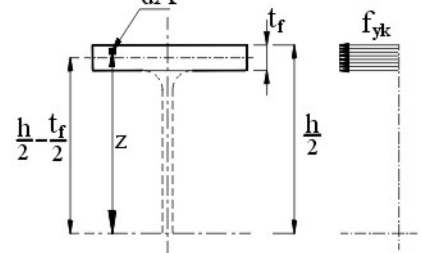
Fig.4.37

In una areola dA si ha una forza resistente:

$$\frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \cdot dA$$

e un momento rispetto all'asse neutro:

$$\frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \cdot dA \cdot z$$



Il momento resistente totale delle sezioni delle due ali rispetto all'asse neutro y è:

$$M_{ali,Rd} = 2 \cdot \int_A \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \cdot z \cdot dA$$

$$M_{ali,Rd} = 2 \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \int_A z \cdot dA$$

ma

$$\int_A z \cdot dA = S_{ala,y} \quad (e2.3)$$

dove $S_{ala,y}$ è il momento statico nella sezione dell'ala rispetto all'asse neutro y

Sostituendo la (e4.3) nella (e4.2) si ha:

$$M_{ali,Rd} = 2 \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \cdot S_{ala,y} \quad (e2.4)$$

Il momento statico $S_{ala,y}$ della sezione rettangolare dell'ala rispetto all'asse neutro y è:

$$S_{ala,y} = b \cdot t_f \cdot \frac{h - t_f}{2}$$

sostituendo nella (e4.4)

$$M_{ali,Rd} = 2 \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \cdot b \cdot t_f \cdot \frac{h - t_f}{2}$$

$$M_{ali,Rd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \cdot b \cdot t_f \cdot (h - t_f) \quad (e2.5)$$

Profilati di classe 3

Per la determinazione del momento resistente delle ali del profilato occorre considerare il comportamento elastico del materiale.

Il momento resistente $M_{c,Rd}$ dell'intera sezione del profilato si ottiene utilizzando il modulo di resistenza elastico $W_{el,y}$

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \quad (e2.6)$$

la tensione σ sulle ali ha andamento lineare, proporzionale alla distanza dall'asse neutro y del profilato:

$$\sigma = \frac{M_{el,Rd}}{J_y} \cdot z$$

In una areola dA si ha una forza resistente:

$$\sigma \cdot dA$$

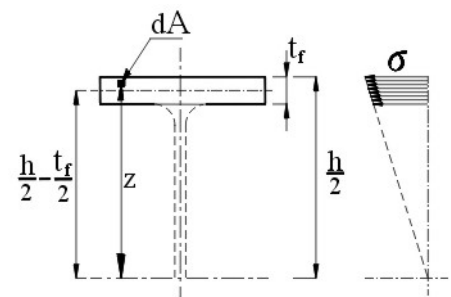
e un momento rispetto all'asse neutro:

$$\sigma \cdot dA \cdot z$$

Il momento resistente totale delle sezioni delle due ali rispetto all'asse neutro y è:

$$M_{ali,Rd} = 2 \cdot \int_A \sigma \cdot dA \cdot z \quad M_{ali,Rd} = 2 \cdot \int_A \frac{M_{el,Rd}}{J_y} \cdot z \cdot dA \cdot z$$

Fig.4.38



$$M_{ali,Rd} = 2 \cdot \frac{M_{el,Rd}}{J_y} \cdot \int_A z^2 \cdot dA$$

ma:

$$\int_A z^2 \cdot dA = J_{ala,y}$$

è il momento d'inerzia della sezione di un'ala rispetto all'asse neutro y .

Il momento resistente elastico delle ali è:

$$M_{ali,Rd} = 2 \cdot \frac{M_{el,Rd}}{J_y} \cdot J_{ala,y}$$

per la (e2.6)

$$M_{ali,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \cdot \frac{2 \cdot J_{ala,y}}{J_y}$$

$2 \cdot J_{ala,y} = J_{ali,y}$ momento d'inerzia delle due ali. Si ha:

$$M_{ali,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \cdot \frac{J_{ali,y}}{J_y} \quad (e2.7)$$

dove:

- $W_{el,y}$ modulo di resistenza elastico dell'intera sezione del profilato;
- J_y momento d'inerzia dell'intera sezione del profilato rispetto all'asse y ;
- $J_{ali,y} = 2 \cdot J_{ala,y}$ momento d'inerzia di un'ala rispetto all'asse y ;
- $J_{ala,y}$ momento d'inerzia di un'ala rispetto all'asse y .

$$J_{ala,y} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot t_f^3 + b \cdot t_f \cdot \frac{h - t_f}{2}$$

Il metodo elastico è applicabile per tutte le classi di sezioni

Momento assorbito dalle ali del profilato HEA 550

Il profilato HEA 550 ha la sezione di classe 1, quindi si può considerare un momento resistente plastico dato dalla espressione (e.2.5)

$$M_{ali,Rd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \cdot b \cdot t_f \cdot (h - t_f)$$

$$M_{ali,Rd} = \frac{23,5}{1,05} \cdot 30 \cdot 2,4 \cdot (54 - 2,4)$$

$$M_{ali,Rd} = 87307 \text{ kN} \cdot \text{cm} \quad (e2.8)$$

Momento affidato all'anima del profilato

Il momento resistente $M_{an,Rd}$, affidato all'anima del profilato, si ottiene: dalla differenza tra il suo momento resistente $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd}$ totale e quello, $M_{ali,Rd}$, offerto dalle sue ali:

$$M_{an,Ed} = M_{c,Rd} - M_{ali,Rd} \quad M_{an,Ed} = 108617 - 87307$$

$$M_{an,Rd} = 21310 \text{ kN} \cdot \text{cm} \quad (e2.9)$$

Scelta e verifica dei bulloni del coprighiunto dell'anima

Il momento resistente $M_{an,Rd}$ dell'anima, nella sezione di discontinuità, è affidato ai bulloni e piastre del coprighiunto d'anima.

Fig.4.39

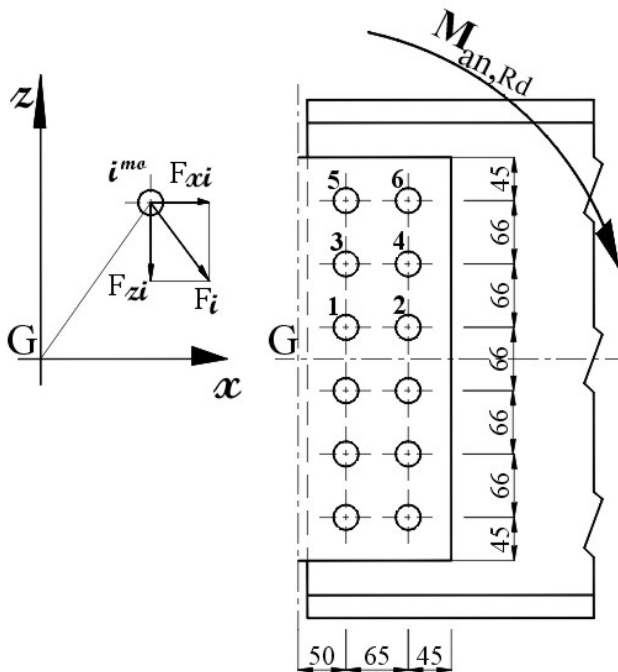
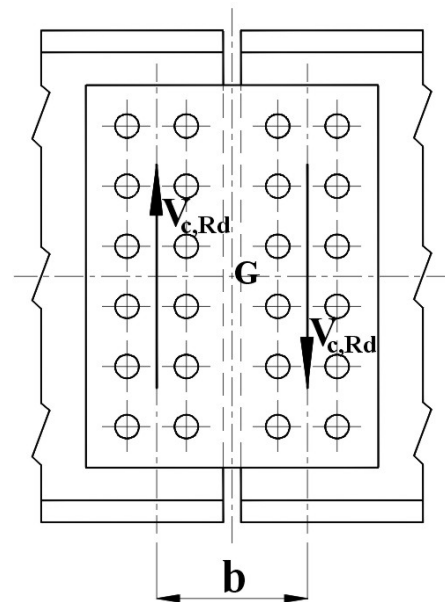


Fig.4.40



Il momento, a cui deve resistere il coprighiunto, si presenta per la bullonatura, come un momento torcente T attorno all'asse baricentrico G , che determina, su ogni bullone i^{mo} , una forza F_i , decomponibile nelle due componenti secondo gli assi F_{xi} , F_{zi} (Fig.4.39).

Per il ripristino della resistenza si fa l'ipotesi, più severa, che il coprighiunto, in corrispondenza della mezzzeria delle due fila di bulloni, debba resistere ad un momento flettente pari a quello sull'anima $M_{an,Rd}$ e ad allo sforzo di taglio $V_{c,Rd}$

In tale ipotesi, nella sollecitazione del semicoprighiunto più sollecitato, occorre considerare il momento supplementare dovuto allo sforzo di taglio $V = V_{c,Rd}$.

$$V_{c,Rd} \cdot \frac{b}{2}$$

con $V_{c,Rd}$ dato dalla (e4.1)

$$V_{c,Rd} = 1085 \text{ kN}$$

Il momento torcente totale sulla bullonatura del mezzo coprighiunto è la somma dei due momenti:

$$T = M_{an,Rd} + \frac{V_{c,Rd} \cdot b}{2}$$

$$T = 21310 + \frac{1085 \cdot 16,5}{2}$$

$$T = 30261$$

Il momento torcente T determina su bullone i^{mo} uno sforzo di taglio F_i , con componenti F_{xi} , F_{zi} secondo gli assi x,z , date dalle espressioni (4.18), precedentemente rilevate:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{T,x,i} = \frac{T}{n_v \cdot \sum_1^n (x_j^2 + z_j^2)} \cdot z_i \\ F_{T,z,i} = \frac{T}{n_v \cdot \sum_1^n (x_j^2 + z_j^2)} \cdot x_i \end{array} \right.$$

con n_v numero di sezioni di taglio del bullone. Nel caso in oggetto è:

$$n_v = 2$$

Sul bullone, più distante dal baricentro G , si ottengono le componenti massime di taglio $F_{x,max}$, $F_{z,max}$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{x,max} = \frac{30260}{2 \cdot \sum_1^{12} (x_j^2 + z_j^2)} \cdot z_{max} \\ F_{z,max} = \frac{30260}{2 \cdot \sum_1^{12} (x_j^2 + z_j^2)} \cdot x_{max} \end{array} \right. \quad (e4.10)$$

Nella tabella seguente sono riportati i valori di x_j, y_j, x_j^2, y_j^2 e la determinazione del momento d'inerzia unitario per i 6 bulloni di mezzo coprighiunto, posti al di sopra dell'asse x , dato dalla sommatoria $\sum_1^6 (x_j^2 + z_j^2)$

Bullone	x_j	z_j	x_j^2	z_j^2	$x_j^2 + z_j^2$
1	5	3,3	2,5	10,9	35,9
2	11,5	3,3	132,3	10,9	143,2
3	5	9,9	25	98	123
4	11,5	9,9	132,3	98	230,3
5	5	16,5	25	272,3	297,3
6	11,5	16,5	132,3	272,3	404,6

$$\sum_1^6 (x_j^2 + z_j^2) = 1234 \text{ cm}^4 / \text{cm}^2$$

Il momento d'inerzia unitario di tutti i 12 bulloni del mezzo coprighiunto è:

$$\sum_1^{12} (x_j^2 + z_j^2) = 2 \cdot \sum_1^6 (x_j^2 + z_j^2) \quad \sum_1^{12} (x_j^2 + z_j^2) = 2 \cdot 1234$$

$$\sum_1^{12} (x_j^2 + z_j^2) = 2468 \text{ cm}^4 / \text{cm}^2$$

risulta:

$$z_{max} = 16,5 \text{ cm}$$

$$x_{max} = 11,5 \text{ cm}$$

$$T = 30260 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Componenti, secondo gli assi, delle forze max. agenti sui bulloni

Componente sull'asse x :

$$F_{x,max} = \frac{30261}{2 \cdot \sum_1^{12} (x_j^2 + z_j^2)} \cdot z_{max} \quad F_{x,max} = \frac{30260}{2 \cdot 2468} \cdot 16,5$$

$$F_{x,max} = 101 \text{ kN}$$

Componente sull'asse z :

$$F_{z,max} = \frac{30261}{2 \cdot \sum_1^n (x_j^2 + z_j^2)} \cdot x_{max} \quad F_{z,max} = \frac{30260}{2 \cdot 2468} \cdot 11,5$$

$$F_{z,max} = 70,5 \text{ kN}$$

Le forze $F_{x,max}$, $F_{z,max}$ sono gli sforzi resistenti al taglio dei bulloni del coprigiunto d'anima, necessari per ripristinare, nella discontinuità, il momento resistente del profilato, per la porzione di competenza della sua anima.

Detti bulloni dovranno, soprattutto, ripristinare la resistenza al taglio, che è affidata, esclusivamente, all'anima del profilato.

Lo sforzo di taglio $F_{v,z}$ su un bullone, per ripristinare la resistenza al taglio $V_{c,Rd}$ dell'anima del profilato (e4,1) è:

$$F_{v,z} = \frac{V_{c,Rd}}{n \cdot n_v}$$

con:

$n = 12$ numero di bulloni del mezzo coprigiunto

$n_v = 2$ numero di sezioni di tagli del bullone

$$F_{v,z} = \frac{1085}{12 \cdot 2}$$

$$F_{v,z} = 45 \text{ kN}$$

La forza $F_{v,z}$ va sommata alla componente $F_{z,max}$, dovuta al momento torcente T , dipendente dal momento flettente resistente del profilato.

La componente di calcolo secondo l'asse z è:

$$F_{z,Ed} = F_{z,max} + F_{v,z} \quad F_{z,Ed} = 70,5 + 45$$

$$F_{z,Ed} = 116,5 \text{ kN}$$

Le componenti di calcolo secondo gli assi x,z sono, quindi:

$$\begin{cases} F_{x,Ed} = 101 \text{ kN} \\ F_{z,Ed} = 115,5 \text{ kN} \end{cases}$$

lo sforzo di taglio risultante di progetto è:

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,ed}^2} \quad F_{v,Ed} = \sqrt{101^2 + 115,5^2}$$

$$F_{v,Ed} = 153 \text{ kN}$$

Verifica a taglio

Con bulloni M24 8.8, $A_{res} = 3,53 \text{ cm}^2$, interamente filettati, la resistenza al taglio è:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{tb} \cdot A_{res}}{\gamma_{M2}} \qquad F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot 80 \cdot 3,53}{1,25}$$

$$F_{v,Rd} = 136 \text{ kN}$$

Verifica

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{153}{136} > 1$$

Non verificato

Si scelgono bulloni M27 8.8, $A_{res} = 4,59 \text{ cm}^2$ interamente filettati

Il diametro dei fori è:

$$d_0 = d + 1,5 \qquad d_0 = 27 + 1,5$$

$$d_0 = 28,5 \text{ mm}$$

Occorre osservare che la distanza p_1 è ancora superiore al valore minimo consentito:

$$p_1 = 66 \text{ mm} > 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 28,5 = 62,7 \text{ mm}$$

mentre smargina di poco p_2

$$p_1 = 65 \text{ mm} < 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 28,5 = 68,4 \text{ mm}$$

si può fissare:

$$p_2 = 70 \text{ mm}$$

Per le verifiche non occorre effettuare la nuova distribuzione delle forze, in quanto queste risulterebbero inferiori a quelle determinate: nella espressione (e4.9) aumenta leggermente il momento torcente T al numeratore per il leggero distanziamento degli sforzi di taglio V , ma aumenta maggiormente il denominatore, ove compaiono le distanze al quadrato.

Le verifiche sono quindi eseguite con i valori degli sforzi determinati, con conseguenze cautelative e non peggiorative.

Verifica dei bulloni M27 8,8

Si ha:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{tb} \cdot A_{res}}{\gamma_{M2}} \qquad F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot 80 \cdot 4,59}{1,25}$$

$$F_{v,Rd} = 176 \text{ kN}$$

Verifica

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{153}{136} > 1$$

verificato

Nota

Va notato che, avere scelto e verificato i bulloni del coprighiunto, assegnando alla sua sezione, in prossimità del serraggio, una resistenza a flessione pari a quella dell'anima del profilato, è un'ipotesi più restrittiva della condizione di funzionamento richiesta per l'unione dei due spezzoni.

È anche sufficiente imporre, che la sezione della mezzeria del coprighiunto abbia una resistenza a flessione pari a quella $M_{an,Rd}$ dell'anima del profilato e che, sulla mezzeria delle due file di bulloni sul semighiunto insista lo sforzo di taglio pari alla resistenza a taglio $V_{c,Rd}$ del profilato.

È sufficiente eseguire il calcolo di verifica, imponendo sollecitazioni sui bulloni dovuti a:

$$\text{Momento torcente} \quad T = M_{an,Rd}$$

$$\text{Sforzo di taglio} \quad F_{v,z} = \frac{V_{c,Rd}}{n \cdot n_v}$$

Verifica del coprighiunto dell'anima

La forza di progetto $F_{v,Ed}$ agisce su ciascuna delle due sezioni resistenti del bullone; quindi la forza totale F_b sul bullone più sollecitato che è:

$$F_b = 2 \cdot F_{v,Ed} \quad F_b = 2 \cdot 153$$

$$F_b = 360 \text{ kN} \quad (e2.18)$$

Verifica a rifollamento del coprighiunto

Su ciascuna piastra dei due coprighiunti d'anima, lo sforzo di progetto $F_{cg,Ed}$ sul foro più sollecitato, più distante dal baricentro G della bullonatura è:

$$F_{cg,Ed} = \frac{F_b}{2} = \frac{360}{2}$$

$$F_{cg,Ed} = 153 \text{ kN} \quad (e2.19)$$

Resistenza di calcolo a rifollamento

$$F_{b,Rd} = \frac{\alpha \cdot k \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

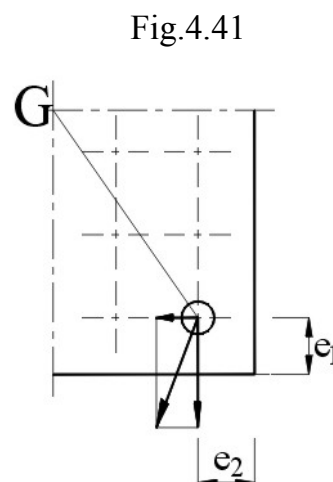
dove:

d diametro nominale del bullone
 t spessore piastra del coprighiunto

Si considera l'asse z come direzione prevalente dello sforzo

Coefficiente α

Scelto in base alla direzione dello sforzo prevalente. Si assume il minimo tra i seguenti valori:



a)

$\frac{e_1}{3 \cdot d_0}$ con $d_0 = 28,5$ mm diametro del foro; $e_1 = 45$ mm distanza del foro di bordo dall'estremità della piastra, nella direzione dello sforzo prevalente

$$\frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{45}{3 \cdot 28,5}$$

$$\frac{e_1}{3 \cdot d_0} = 0,526$$

b)

$\frac{f_{tb}}{f_{tk}}$ con f_{tb} tensione a rottura del bullone, f_{tk} è la resistenza a rottura del materiale della piastra: per l'acciaio S 275 $f_{tk} = 43$ kN / cm²

$$\frac{f_{tb}}{f_{tk}} = \frac{80}{43}$$

$$\frac{f_{tb}}{f_{tk}} = 1,86$$

c)

1

Il valore minimo tra i valori considerati in a), b), c) è:

$$\alpha = 0,526$$

Coefficiente k

Scelto in base alla direzione ortogonale allo sforzo prevalente. Si assume il minimo tra i seguenti valori:

a)

$$\frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7$$

con e_2 è la distanza del foro di bordo dall'estremità della piastra, nella direzione perpendicolare a quella dello sforzo (perpendicolare ad e_1)

$$e_2 = 45 \text{ mm}$$

$$\frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7 = \frac{2,8 \cdot 45}{28,5} - 1,7$$

$$\frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7 = 2,7$$

b)

2,5

Il valore minimo tra i valori considerati in a), b) è:

$$k = 2,5$$

Resistenza di calcolo a rifollamento

$$F_{b,Rd} = \frac{\alpha \cdot k \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{0,526 \cdot 2,5 \cdot 43 \cdot 2,7 \cdot 1,8}{1,25}$$

$$F_{b,Rd} = 219,8 \text{ kN} \quad (e2.20)$$

Verifica

$$\frac{F_{cg,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{153}{219,8} < 1$$

Verificato

Verifica della capacità del coprigiunto a sostenere il momento resistente al posto di quello affidato all'anima del profilato

La verifica è qui, per esercizio, eseguita con il metodo elastico (E) che può applicarsi a tutte le classi di sezione (con sezioni efficaci per le classi 4)

Si è rilevato, precedentemente, che l'espressione del momento resistente elastico dell'intero profilato (e2.6) è:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

la porzione di esso affidato alle ali (e4.7) è:

$$M_{ali,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \cdot \frac{J_{ali,y}}{J_y}$$

il momento resistente affidato all'anima $M_{an,Rd}$ è la differenza:

$$M_{an,Rd} = M_{el,Rd} - M_{ali,Rd}$$

$$M_{an,Rd} = M_{el,Rd} - M_{el,Rd} \frac{J_{ali,y}}{J_y}$$

$$M_{an,Rd} = M_{el,Rd} \cdot \left(1 - \frac{J_{ali,y}}{J_y} \right)$$

$$M_{an,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \cdot \left(1 - \frac{J_{ali,y}}{J_y} \right)$$

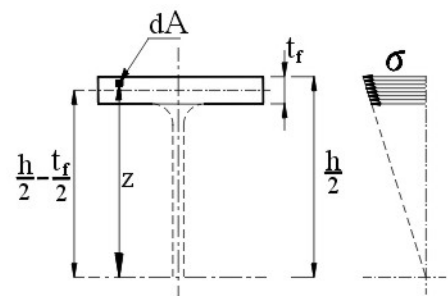
con:

$$W_{el,y} = 4150 \text{ cm}^3 \quad \text{modulo di resistenza elastico del profilato}$$

$$J_y = 111932 \text{ cm}^4 \quad \text{momento d'inerzia rispetto all'asse del profilato}$$

$$J_{ali,y} \quad \text{momento d'inerzia delle ali rispetto all'asse y}$$

Fig.4.42



$$J_{ali,y} = 2 \cdot \frac{I}{12} \cdot b \cdot t_f^3 + 2 \cdot b \cdot t_f \cdot \left(\frac{h - t_f}{2} \right)^2$$

$$J_{ali,y} = 2 \cdot \frac{I}{12} \cdot 30 \cdot 2,4^3 + 2 \cdot 30 \cdot 2,4 \cdot \left(\frac{54 - 2,4}{2} \right)^2$$

$$J_{ali,y} = 95921 \text{ cm}^4$$

$$M_{an,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \cdot \left(1 - \frac{J_{ali,y}}{J_y} \right) \quad M_{an,Rd} = \frac{4150 \cdot 23,5}{1,05} \cdot \left(1 - \frac{95921}{111932} \right)$$

$$M_{an,Rd} = 13286 \text{ kN} \cdot \text{cm} \quad (e2.21)$$

Verifica

Si verifica che il momento resistente della sezione delle due piastre del coprighiunto, in corrispondenza dell'asse di una fila di fori, sia superiore o uguale al momento resistente delle anime del profilato.

Momento d'inerzia delle sezioni delle due piastre del coprighiunto, in corrispondenza della fila di fori

$$J_{cg,y} = 2 \cdot \left[\frac{I}{12} \cdot 1,8 \cdot 42^3 - 6 \cdot \frac{I}{12} \cdot 1,8 \cdot 2,85^3 - 1,8 \cdot 2,85 \cdot (16,5^2 + 9,9^2 + 3,3^2) \right]$$

$$J_{cg,y} = 18274 \text{ cm}^4$$

Modulo di resistenza elastico delle due piastre del coprighiunto

$$W_{cg,y} = \frac{J_{cg,y}}{z_{max}} \quad W_{cg,y} = \frac{18274}{21}$$

$$W_{cg,y} = 870 \text{ cm}^3$$

Momento resistente dei due coprighiunti

$$M_{cg,Rd} = \frac{W_{cg,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \quad M_{cg,Rd} = \frac{870 \cdot 27,5}{1,05}$$

$$M_{cg,Rd} = 22785 \text{ kN} \cdot \text{cm} \quad (e2.21)$$

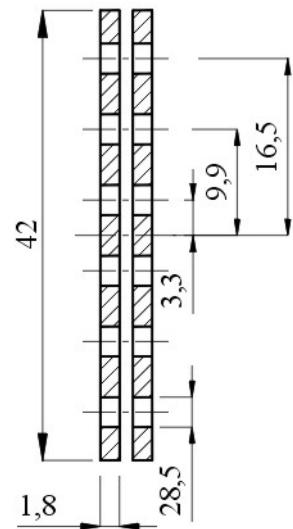


Fig.4.42

Confrontando il momento resistente dei coprighiunti “ $M_{cg,Rd} = 22785 \text{ kN} \cdot \text{cm}$ ” con quello dell'anima “ $M_{an,Rd} = 13286 \text{ kN} \cdot \text{cm}$ ”, risulta:

$$M_{cg,Rd} > M_{an,Rd}$$

Resistenza dei coprighiunti d'anima verificata

Relazione sintetica di verifica

Per quanto esposto occorre verificare che risulti:

$$W_{cg,y} \cdot f_{ch,yk} \geq W_{pr,y} \cdot f_{pr,yk} \cdot \left(1 - \frac{J_{ali,y}}{J_{pr,y}} \right)$$

$W_{cg,y}$ Modulo di resistenza della sezione del giunto in prossimità de una fila di fori

$W_{pr,y}$ Modulo di resistenza della sezione del profilato in prossimità de una fila di fori

$f_{cg,yk}$ tensione di snervamento dell'acciaio del coprigiunto

$f_{pr,yk}$ tensione di snervamento dell'acciaio del profilato

$J_{ali,y}$ momento d'inerzia delle sezioni delle ali del profilato rispetto all'asse y

$J_{pr,y}$ momento d'inerzia del profilato rispetto all'asse y

Verifica dell'unione con i coprigiunti d'ala

Precedentemente si è rilevato che la porzione del momento resistente affidato alle ali è risultato:

$$M_{ali,Rd} = 87307 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Tale momento si traduce in due forze risultanti N_a sulle ali, una di compressione e l'altra di trazione, che si scaricano sui bulloni dei coprigiunti e comunicate a questi.

$$M_{ali,Rd} = N_a \cdot (h - t_f) \quad \text{da cui}$$

$$N_a = \frac{M_{ali}}{h - t_f} \quad N_a = \frac{87307}{54 - 2,4}$$

$$N_a = 1690 \text{ kN}$$

Si hanno così due sforzi N_a , in senso opposto, sui 10 bulloni per ogni parte delle due metà dei coprigiunti: dirette verso l'esterno sull'ala sottoposta a trazione, verso l'interno su quella sottoposta a compressione.

Verifica a taglio dei bulloni

La forza N_a si distribuisce sui $n_b = 10$ bulloni di metà coprigiunto, sollecitandoli a taglio

Sforzo di taglio di calcolo su un bullone:

$$F_{b,Ed} = \frac{N_a}{n_b} \quad F_{b,Ed} = \frac{1690}{10}$$

Fig.4.43

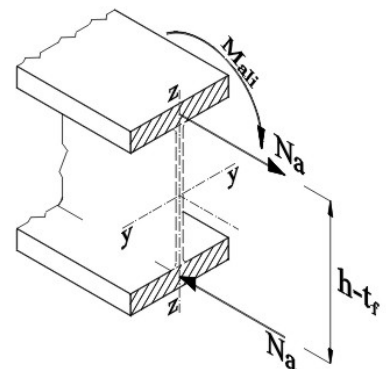
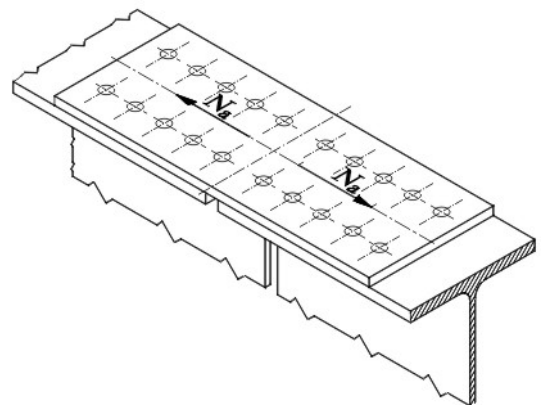


Fig.4.44



$$F_{b,Ed} = 169 \text{ kN}$$

Resistenza a taglio di calcolo dei bulloni

Scelti bulloni interamente filettati M 27 8.8,

$$A_{res} = 4,59 \text{ cm}^2$$

$$f_{tb} = 80 \text{ kN / cm}^2$$

la resistenza di calcolo a taglio è:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{tb} \cdot A_{res}}{\gamma_{M2}} \qquad F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot 80 \cdot 4,59}{1,25}$$

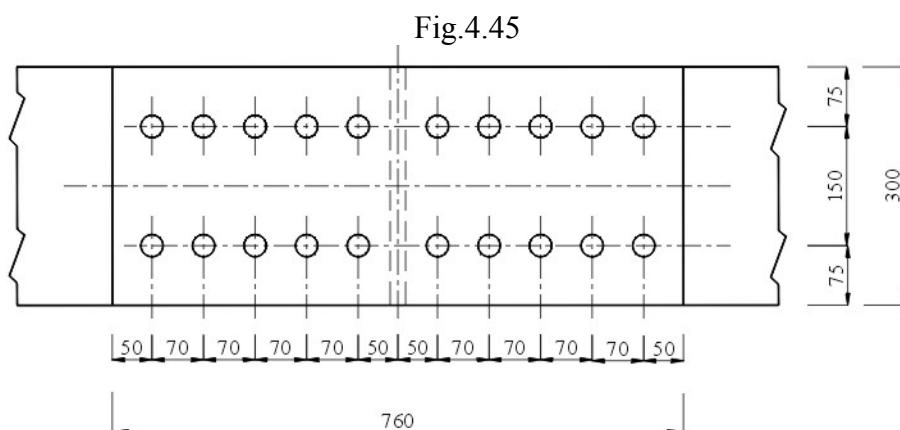
$$F_{v,Rd} = 176 \text{ kN}$$

Verifica

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{169}{176} < 1 \qquad \text{Verificato}$$

Verifica a rifollamento

Nella figura Fig.5.45 è riportato lo schema della piastra con la distanza "p" modificata da 65mm a 70mm



Resistenza di calcolo a rifollamento

$$F_{b,Rd} = \frac{\alpha \cdot k \cdot f_{tk} \cdot t \cdot d}{\gamma_{M2}}$$

$$f_{tk} = 43 \text{ kN / cm}^2$$

resistenza a rottura della piastra in acciaio S 275

$$f_{tb} = 80 \text{ kN / cm}^2$$

resistenza a rottura del bullone classe 8.8

$$t = 2 \text{ cm}$$

spessore piastra

$$d = 2,7 \text{ cm}$$

diametro nominale bullone M27

α

il più piccolo tra i valori:

$$- \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{50}{3 \cdot 28,5} = 0,584$$

$$- \frac{f_{tb}}{f_{tk}} = \frac{80}{43} = 1,86$$

$$- 1$$

Minimo valore di α :

$$\alpha = 0,584$$

k

Il più piccolo tra i valori

$$- \frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7 = \frac{2,8 \cdot 75}{28,5} - 1,7 = 5,6$$

$$- 2,5$$

Minimo valore di k

$$k = 2,5$$

Sostituendo si ha:

$$F_{b,Rd} = \frac{\alpha \cdot k \cdot f_{tk} \cdot t \cdot d}{\gamma_{M2}} \qquad F_{b,Rd} = \frac{0,584 \cdot 2,5 \cdot 43 \cdot 2 \cdot 2,7}{1,25}$$

$$F_{b,Rd} = 271 \text{ kN}$$

Verifica

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{169}{271} < 1$$

Verificato a rifollamento

Verifica piastre del coprigiunto d'ali

Si considera la piastra di unione delle due ali sollecitate a trazione.

Sforzo di progetto a trazione:

$$N_{Ed} = N_a = 1690 \text{ kN}$$

Per la verifica occorre garantire che sia rispettata la limitazione

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

dove $N_{t,Rd}$ è la resistenza di calcolo a trazione, corrispondente al minore dei valori, ottenuti dal risultato delle seguenti espressioni:

a) Resistenza plastica della sezione lorda $N_{pl,Rd}$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

con:

A sezione lorda della piastra (senza fori)

f_{yk} tensione caratteristica di snervamento acciaio

$\gamma_{M0} = 1,05$ coefficiente di sicurezza

b) *Resistenza a rottura della sezione netta* $N_{u,Rd}$

$$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_{tk}}{\gamma_{M2}}$$

con:

A_{net} *sezione netta della piastra in corrispondenza dei fori*

f_{tk} *tensione a rottura dell'acciaio*

$\gamma_{M2} = 1,25$ *coefficiente di sicurezza per sezioni indebolite da fori*

Supponendo la presenza di azioni sismiche deve essere rispettata la limitazione:

$$N_{pl,Rd} \leq N_{u,Rd}$$

Resistenza plastica della sezione lorda

Si sceglie una piastra con:

$t = 2 \text{ cm}$ *spessore della piastra*

$b = 30 \text{ cm}$ *larghezza della piastra, pari alla larghezza del profilato*

$f_{yk} = 27,5 \text{ kN/cm}^2$ *tensione caratteristica di snervamento acciaio S 275*

Sezione lorda:

$$A = t \cdot b \quad A = 2 \cdot 30$$

$$A = 60 \text{ cm}^2$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{60 \cdot 27,5}{1,05}$$

$$N_{pl,Rd} = 1571 \text{ kN}$$

Risulta:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{1690}{1571} > 1$$

Condizione di resistenza non verificata

Si scegli una piastra con spessore:

$$t = 25 \text{ mm} = 2,5 \text{ cm}$$

Sezione lorda:

$$A = t \cdot b \quad A = 2,5 \cdot 30$$

$$A = 75 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{75 \cdot 27,5}{1,05}$$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = 1964 \text{ kN}$$

Risulta:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{1690}{1964} < 1 \quad \text{accettabile}$$

Resistenza a rottura della sezione netta

$t = 2,5 \text{ cm}$ spessore della piastra

$b = 30 \text{ cm}$ larghezza della piastra, pari alla larghezza del profilato

$f_{tk} = 43 \text{ kN/cm}^2$ tensione a rottura dell'acciaio S 275

$d_0 = 2,85 \text{ mm}$ diametro dei fori

Sezione netta:

$$A_{net} = t \cdot b - 2 \cdot d_0 \cdot t \quad A_{net} = 2,5 \cdot 30 - 2 \cdot 2,85 \cdot 2,5$$

$$A = 60,75 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_{tk}}{\gamma_{M2}} \quad N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot 60,75 \cdot 43}{1,25}$$

$$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = 1880 \text{ kN}$$

Valore minimo di $N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = 1880 \text{ kN}$

Verifica

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{1690}{1880} < 1$$

Nell'ipotesi di presenza di azioni sismiche non è rispettata la limitazione

$$N_{pl,Rd} \leq N_{u,Rd} \quad \Rightarrow \quad 1964 > 1880$$

Occorre in tal caso scegliere per i coprigiunto una piastra di maggiore spessore.

Si sceglie una piastra 300×30

$$t = 3 \text{ cm}$$

Resistenza plastica sezione lorda

Sezione lorda:

$$A = t \cdot b \quad A = 3 \cdot 30$$

$$A = 90 \text{ cm}^2$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \quad N_{pl,Rd} = \frac{90 \cdot 27,5}{1,05}$$

$$N_{pl,Rd} = 2357 \text{ kN}$$

Resistenza a rottura sezione netta

Sezione netta:

$$A_{net} = t \cdot b - 2 \cdot d_0 \cdot t \qquad A_{net} = 3 \cdot 30 - 2 \cdot 2,85 \cdot 3$$

$$A = 72,9 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_{tk}}{\gamma_{M2}} \qquad N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot 72,9 \cdot 43}{1,25}$$

$$N_{u,Rd} = 2256 \text{ kN}$$

Nell'ipotesi di presenza di azioni sismiche è rispettata la limitazione

$$N_{pl,Rd} > N_{u,Rd} \quad \Rightarrow \quad 2357 > 2256$$

Verificata la resistenza a trazione: nella unione, i coprighiunti ripristinano la resistenza a trazione delle ali, necessaria per sopportare il momento resistente affidato ad esse

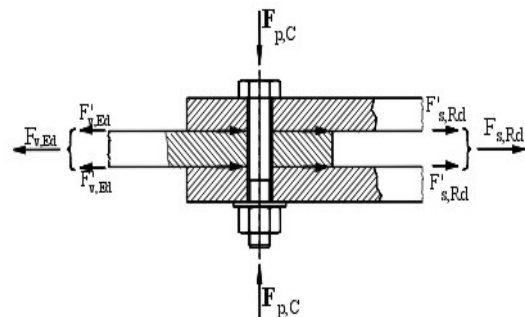
4. Unioni a taglio per attrito con bulloni ad alta resistenza

I bulloni sono serrati da un'opportuna coppia di serraggio M , determinante uno sforzo normale $F_{p,C}$ sulle superfici di contatto delle lastre in unione, capace di sviluppare una resistenza di attrito $F_{s,Rd}$, tale, da contrastare lo scorrimento relativo ed equilibrare lo sforzo di taglio di progetto $F_{v,Ed}$.

Fig.4.46

Così, nello schema di figura Fig.5.46, la forza di progetto $F_{v,Ed} = 2 \cdot F'_{v,Ed}$ tende a far scorrere, relativamente, le due superfici a contatto delle piastre in unione.

Si serra il bullone con una opportuna coppia di serraggio, determinando uno sforzo di precarico $F_{p,C}$ normale alle superfici di contatto che produce, su ciascuna di esse, una resistenza di attrito $F'_{s,Rd}$



Il serraggio del bullone, attraverso la coppia di serraggio M , deve essere tale da provocare una resistenza di attrito totale $F_{s,Rd} = 2 \cdot F'_{s,Rd}$, che risulti maggiore o uguale alla forza di progetto $F_{v,Rd}$

Su ciascuna superficie a contatto deve essere:

$$F'_{v,Ed} \leq F'_{s,Rd}$$

$$\frac{F'_{v,Ed}}{F'_{s,Rd}} \leq 1$$

Forza di precarico dei bulloni

Secondo la normativa NTC DM 2008 il precarico raccomandato per lo stato SLU è:

$$F_{p,C} = \frac{0,7 \cdot f_{tb} \cdot A_{res}}{\gamma_{M7}}$$

con:

A_{res} area resistente della filettatura

f_{tb} resistenza a rottura del materiale del bullone

$\gamma_{M7} = 1,10$ coefficiente di sicurezza per bulloni ad alta resistenza prevaricati

Resistenza allo scorrimento

La forza $F_{p,C}$, comprimendo le superfici, determina, nel contatto tra di esse, una resistenza totale di attrito $F_{s,Rd}$ che si oppone allo scorrimento relativo

Per i bulloni di classe 8.8 - 10.9 la resistenza allo scorrimento è:

$$F_{s,Rd} = \frac{n \cdot \mu \cdot F_{p,C}}{\gamma_{M3}}$$

con:

n numero di superfici di attrito

μ coefficiente di attrito. Si ha:

$\mu = 0,45$ nelle giunzioni con superfici sabbiate al metallo bianco e protetto fino al serraggio del bullone

$\mu = 0,30$ in tutti gli altri casi

$F_{p,C}$ Forza di precarico sul bullone

$$F_{p,C} = \frac{0,7 \cdot f_{tb} \cdot A_{res}}{\gamma_{M7}} \quad \text{in generale}$$

$$F_{p,C} = 0,7 \cdot f_{tb} \cdot A_{res} \quad \text{se il serraggio è controllato}$$

$\gamma_{M3} = 1,25$ coefficiente di sicurezza per la resistenza allo scorrimento SLU (1,10 per SLE)

Coppia di serraggio

Per ottenere il precarico prescritto occorre avvitare il bullone con una chiave dinamometria, che garantisca l'opportuna coppia di serraggio. Nella circolare del 2009 per la coppia di serraggio è proposta l'espressione:

$$M = k \cdot d \cdot F_{p,C} = k \cdot d \cdot 0,7 \cdot f_{tb} \cdot A_{res}$$

dove è:

d diametro nominale del bullone

$F_{p,C}$ precarico calcolato senza considerare il coefficiente di sicurezza γ_{M3}

k fattore indicato sulla targhetta delle confezioni dei bulloni, che varia tra 0,1- 0,22

nella pagina seguente sono riportate le coppie di serraggio per i bulloni di classe 8.8 e 10.9

Tabella C4.2.XX Coppie di serraggio per bulloni 8.8

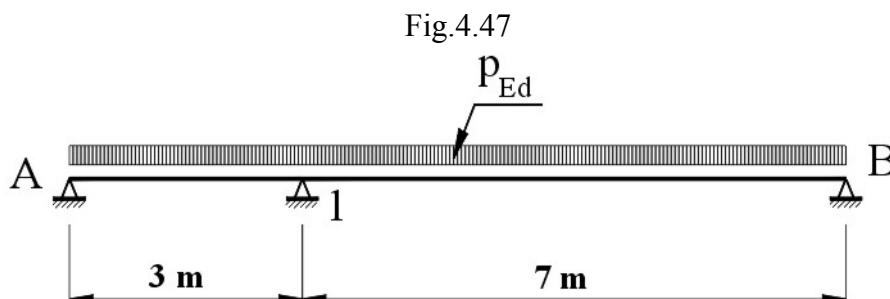
Viti 8.8 Momento di serraggio M [N · m]								$F_{p,C}$ [kN]	A_{res} [mm ²]
VITE	K=0.10	K=0.12	K=0.14	K=0.16	K=0.18	K=0.20	K=0.22		
M12	56,6	68,0	79,3	90,6	102	113	125	47,2	84,3
M14	90,2	108	126	144	162	180	198	64,4	115
M16	141	169	197	225	253	281	309	87,9	157
M18	194	232	271	310	348	387	426	108	192
M20	274	329	384	439	494	549	604	137	245
M22	373	448	523	597	672	747	821	170	303
M24	474	569	664	759	854	949	1044	198	353
M27	694	833	972	1110	1249	1388	1527	257	459
M30	942	1131	1319	1508	1696	1885	2073	314	561
M36	1647	1976	2306	2635	2965	3294	3624	457	817

Tabella C4.2.XXI Coppie di serraggio per bulloni 10.9

Viti 10.9 Momento di serraggio M [N·m]								$F_{p,C}$ [kN]	A_{res} [mm ²]
VITE	K=0.10	K=0.12	K=0.14	K=0.16	K=0.18	K=0.20	K=0.22		
M12	70,8	85,0	99,1	113	128	142	156	59,0	84,3
M14	113	135	258	180	203	225	248	80,5	115
M16	176	211	246	281	317	352	387	110	157
M18	242	290	339	387	435	484	532	134	192
M20	343	412	480	549	617	686	755	172	245
M22	467	560	653	747	840	933	1027	212	303
M24	593	712	830	949	1067	1186	1305	247	353
M27	868	1041	1215	1388	1562	1735	1909	321	459
M30	1178	1414	1649	1885	2121	2356	2592	393	561
M36	2059	2471	2882	3294	3706	4118	4529	572	817

Esempio 3**Esempio di bullonatura con sfruttamento dell'attrito**

Come esempio si considera la giunzione bullonata tra due spezzoni di una trave continua, indicata nello schema di figura, posta in prossimità dell'appoggio interno.



Dimensionata la trave e proporzionata la giunzione, si esegue la verifica agli SLU STR di questa, considerando che la struttura sia sottoposta ad un carico distribuito di progetto p_{Ed} :

$$p_{Ed} = \gamma_{G1} \cdot g_k + \gamma_{Q1} \cdot q_k$$

con:

$g_k = 18 \text{ kN/m}$	<i>peso unitario proprio permanente;</i>
$q_k = 25 \text{ kN/m}$	<i>peso unitario accidentale;</i>
$\gamma_{G1} = 1,3$	<i>coefficiente parziale del carico permanente;</i>
$\gamma_{Q1} = 1,5$	<i>coefficiente parziale del carico accidentale.</i>

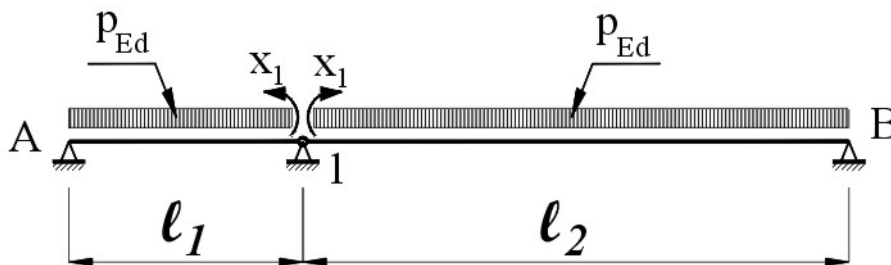
Il carico unitario permanente è:

$$p_{Ed} = \gamma_{G1} \cdot g_k + \gamma_{Q1} \cdot q_k \quad p_{Ed} = 1,3 \cdot 18 + 1,5 \cdot 25$$

$$p_{Ed} = 61 \text{ kN/m}$$

Soluzione del sistema ipersatico

Fig.4.48



Sistema isostatico associato

Si spezza la continuità della trave, ponendo una cerniera in prossimità dell'appoggio "1" e aggiungendo i momenti x_1 che ne garantiscano la continuità interrotta.

Equazione di congruenza

È l'equazione di continuità, che si esprime imponendo che: la rotazione φ_d a destra della sezione in "1" deve essere uguale a quella φ_s alla sinistra di essa.

$$\varphi_d = \varphi_s \quad (e3.1)$$

oppure:

$$\varphi_d - \varphi_s = 0 \quad (e3.2).$$

imponente che la rotazione relativa nella sezione "1" è nulla.

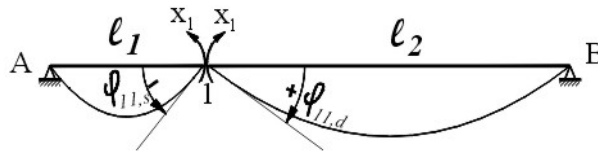
Considerando le deformazioni relative provocate dal momento x_1 e dal carico distribuito di progetto p_{Ed} , la relazione (e3.2) può esprimersi con la somma dei contributi alle deformazioni relative provocate dalle due sollecitazioni componenti:

$$\delta_{11} \cdot x_1 + \delta_{10} = 0 \quad (e3.3)$$

dove:

δ_{11} è la rotazione relativa unitaria nella sezione "1" per effetto del momento unitario $x_1 = 1$

Fig.4.49



$$\text{rotazione a destra} \quad \varphi_{11,d} = + \frac{1}{3} \cdot \frac{l_1}{E \cdot J}$$

$$\text{rotazione a sinistra} \quad \varphi_{11,s} = - \frac{1}{3} \cdot \frac{l_2}{E \cdot J}$$

rotazione relativa unitaria

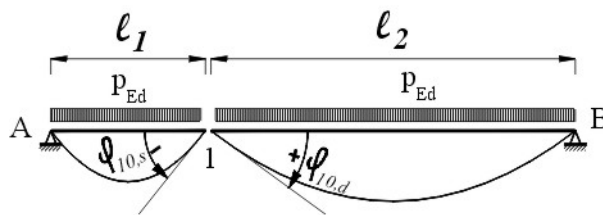
$$\delta_{11} = \varphi_{11,d} - \varphi_{11,s}$$

$$\delta_{11} = \frac{1}{3} \cdot \frac{l_1}{E \cdot J} - \left(- \frac{1}{3} \cdot \frac{l_2}{E \cdot J} \right)$$

$$\delta_{11} = \frac{1}{3} \cdot \frac{l_1 + l_2}{E \cdot J} \quad (e3.4)$$

δ_{10} è la rotazione relativa nella sezione "1" per effetto del carico distribuito di progetto P_{Ed}

Fig.4.50



$$\text{rotazione a destra} \quad \varphi_{10,d} = + \frac{1}{24} \cdot \frac{P_{Ed} \cdot l_1^3}{E \cdot J}$$

$$\text{rotazione a sinistra} \quad \varphi_{10,s} = - \frac{1}{24} \cdot \frac{P_{Ed} \cdot l_2^3}{E \cdot J}$$

rotazione relativa

$$\delta_{10} = \varphi_{10,d} - \varphi_{10,s}$$

$$\delta_{10} = \frac{1}{24} \cdot \frac{P_{Ed} \cdot l_1^3}{E \cdot J} - \left(- \frac{1}{24} \cdot \frac{P_{Ed} \cdot l_2^3}{E \cdot J} \right)$$

$$\delta_{10} = \frac{1}{34} \cdot \frac{l_1^3 + l_2^3}{E \cdot J} \cdot P_{Ed} \quad (e3.5)$$

Sostituendo la (e3.4) e la (e3.5) nella (e3.3), si ha:

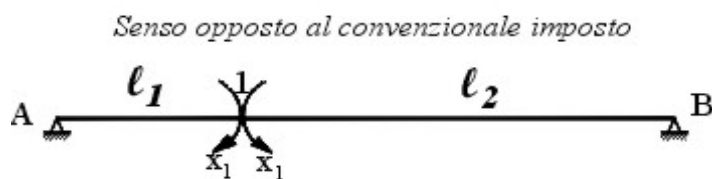
$$\frac{1}{3} \cdot \frac{l_1 + l_2}{E \cdot J} \cdot x_1 + \frac{1}{34} \cdot \frac{l_1^3 + l_2^3}{E \cdot J} \cdot P_{Ed} = 0$$

da cui:

$$x_1 = - \frac{1}{8} \cdot \frac{l_1^3 + l_2^3}{l_1 + l_2} \cdot P_{Ed} \quad x_1 = - \frac{1}{8} \cdot \frac{3^3 + 7^3}{7 + 3} \cdot 6l$$

$$x_1 = - 382 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (e3.6)$$

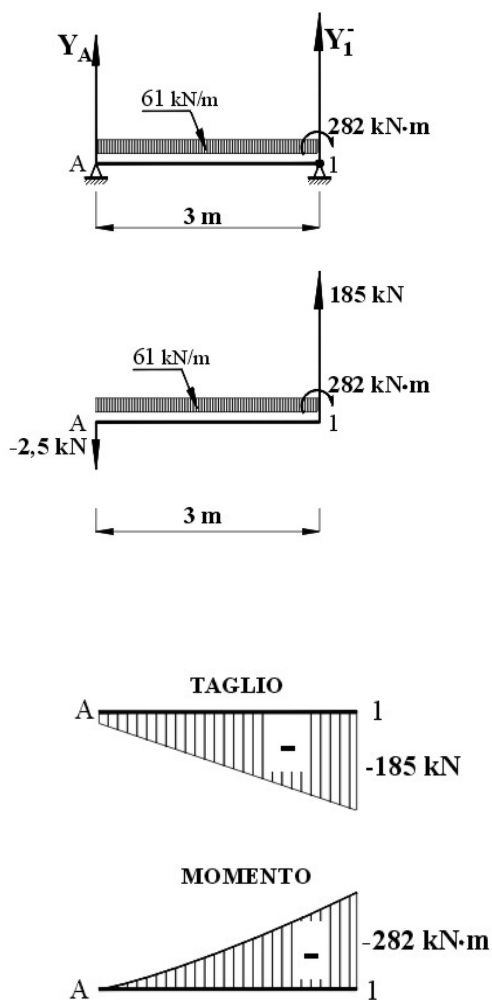
Il momento è negativo. Significa che ha senso opposto a quello convenzionalmente imposto, come rappresentato nel seguente schema



Sollecitazioni

Campata A-1

Fug.4.52



Reazioni

Equilibrio momenti rispetto nodo 1

$$Y_A \cdot 3 + 282 - 61 \cdot \frac{3^2}{2} = 0$$

$$Y_A = -2,5 \text{ kN}$$

Y_A è in senso opposto a quello fissato per il calcolo

Equilibrio forze

$$-2,5 - 61 \cdot 3 + Y_1^- = 0$$

$$Y_1^- = 185,5 \text{ kN}$$

Sollecitazioni campata A1

Sforzo di taglio

$$V_A = -2,5 \text{ kN}$$

$$V_1^- = -185,5 \text{ kN}$$

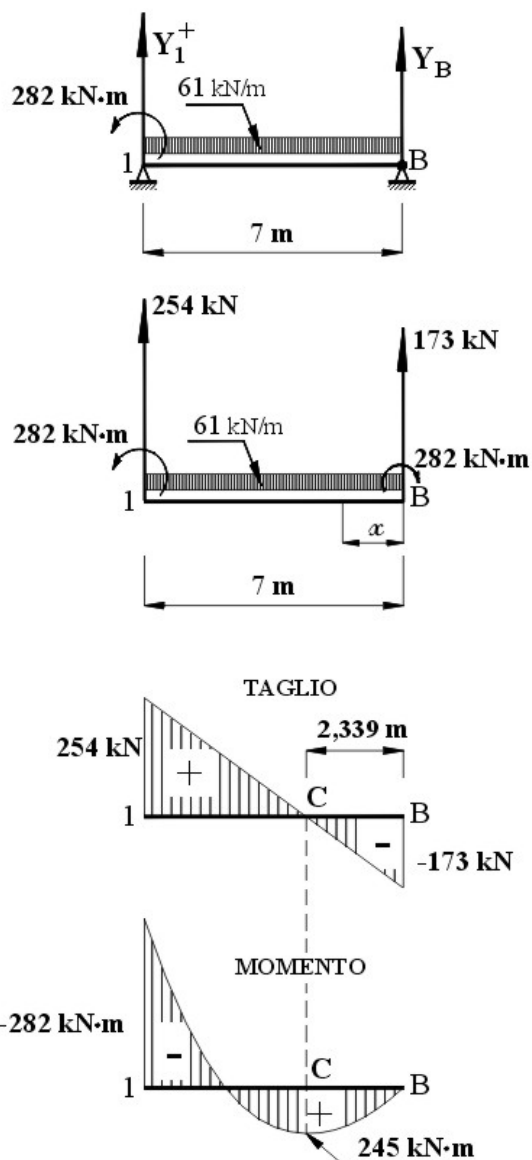
Momento flettente

$$M_A = 0$$

$$M_1^- = -282 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Campata 1-B

Fig.4.53



Reazioni

$$Y_1^+ \cdot 7 - 282 - 61 \cdot \frac{7^2}{2} = 0$$

$$Y_1^+ = 273,78 \text{ kN} \cong 254 \text{ kN}$$

$$Y_B - 253,78 + 61 \cdot 7 = 0$$

$$Y_B = 173,2 \text{ kN}$$

Sollecitazioni campata 1B

Sforzo di taglio

$$V_1^+ = 254 \quad V_B = -133$$

Sezione C con taglio nullo:

$$V_x = -173 + 61 \cdot x$$

$$V_x = 0 \quad -173 + 61 \cdot x = 0$$

$$x = 2,839 \text{ m}$$

Momento flettente

$$M_1^+ = -282 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_B = 0$$

Momento massimo relativo in C

$$M_C = 173,2 \cdot 2,839 - 61 \cdot \frac{2,839^2}{2}$$

$$M_C = 245 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Predimensionamento della trave

Si considera la sollecitazione di flessione, tenendo conto dell'instabilità flessio-torsionale che può prodursi nella campata di 7m.

Il momento resistente è espresso dalla relazione:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

con $W_{pl,y} = 2 \cdot S_y$

si pone come momento di progetto il momento flettente massimo che sollecita la trave

$$M_{Ed} = 282 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed} = 28200 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Per la verifica deve essere:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1$$

il valore limite ammesso per il momento resistente si ha quando:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = 1$$

da cui:

$$M_{Ed} = M_{b,Rd}$$

si sceglie un acciaio S 275 con $f_{yk} = 27,5 \text{ kN} / \text{cm}^2$

si pone per il predimensionamento (salvo verifica):

$$\chi_{LT} = 0,75$$

$$M_{Ed} = 0,75 \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

da cui:

$$W_{pl,y} = \frac{\gamma_{M0} \cdot M_{Ed}}{0,75 \cdot f_{yk}}$$

$$W_{pl,y} = \frac{1,05 \cdot 28200}{0,75 \cdot 27,5}$$

$$W_{pl,y} = 1436 \text{ cm}^3$$

$$S_y = 718 \text{ cm}^3$$

Si sceglie un profilato HEA 320 con:

$$W_{pl,y} = 1628 \text{ cm}^3$$

$$S_y = 814 \text{ cm}^3$$

Occorre ora eseguire le opportune verifiche, che qui si suppone siano state eseguite e abbiano fornito risultati positivi: l'esercizio proposto polarizza l'attenzione sul procedimento di calcolo, riguardante la giunzione bullonata, con unione a taglio per attrito.

Si suppone che la trave secondaria **HEA 320** appoggi su una principale composta da un profilato **IPE 400** (Fig.4.54)

Note sui particolari del collegamento

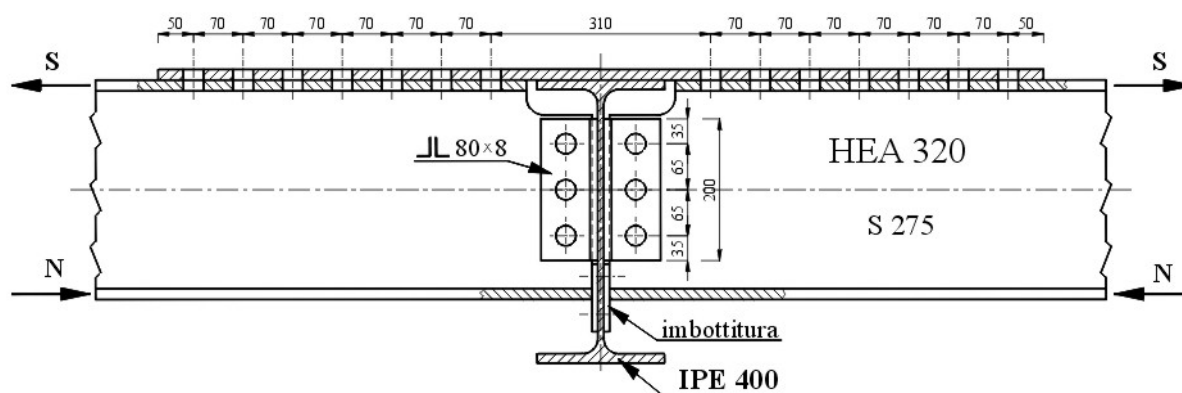
Si fa l'ipotesi che la trave continua in studio si appoggi ad una trave principale IPE 400.

Affinché siano soddisfatte le ipotesi di appoggio e di continuità della trave secondaria in oggetto, occorre che si verifichino le seguenti condizioni:

- a) lo spezzone della trave, a destra dell'appoggio, trasferisca il momento flettente a quello di sinistra, senza interessare la trave principale di appoggio;

- b) gli sforzi di taglio della trave secondaria in oggetto, a destra e a sinistra dell'appoggio, diversi tra loro, si scaricano sull'anima della trave principale.

Fig.4.54



Si fa l'ipotesi semplificativa che il momento flettente sia trasmesso, tra i due spezzoni, solamente attraverso le loro ali, mentre gli sforzi di taglio si trasmettano attraverso le loro anime e si scarichino sull'anima della trave principale e quindi sull'appoggio.

Così, affinché, senza interessare la trave principale, il momento flettente si trasmetta tra i due spezzoni della trave secondaria, si collegano le ali superiori di questi con un coprighiunto bullonato, senza alcuna unione con l'ala superiore della trave principale.

Le ali inferiori dei due spezzoni si appoggiano semplicemente sulle imbottiture frapposte tra esse e l'anima delle trave principale.

Date le ipotesi fatte, il momento flettente si traduce in uno sforzo di trazione S , trasmesso alle ali superiori dei due spezzoni attraverso il coprighiunto, e uno di compressione N sulle ali inferiori, che si scarica sull'imbottiture poste sull'anima della trave principale.

Lo sforzo di taglio di ciascuno spezzone è scaricato sull'anima della trave principale attraverso squadrette bullonate.

Come rappresentato in figura Fig.4.54, si esegue uno spallamento, su ciascun'ala superiore dei due spezzoni, in prossimità della trave principale. Tra i due sballamenti è situata l'ala superiore della trave principale, esente da collegamenti con le ali superiori della trave secondaria. Con tale accorgimento, le ali superiori dei due spezzoni non sono fissate all'ala della trave principale, impedendo la trasmissione ad essa del momento flettente da parte di quelle.

Caratteristiche del profilato HEA 320

$$h = 310 \text{ mm} = 31 \text{ cm}$$

$$b = 300 \text{ mm} = 30 \text{ cm}$$

$$t_f = 15,5 \text{ mm} = 1,55 \text{ cm}$$

$$t_w = 9 \text{ mm} = 0,9 \text{ cm}$$

$$A = 12400 \text{ mm}^2 = 124 \text{ cm}^2$$

$$d = 225 \text{ mm} = 22,5 \text{ cm}$$

$$I_y = 22928 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 10820 \text{ cm}^4$$

$$W_{pl,y} = 1628 \text{ cm}^3$$

$$W_{el,y} = 1479 \text{ cm}^3$$

$$S_y = 814 \text{ cm}^3$$

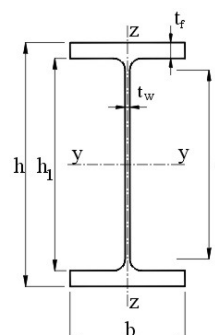


Fig.5.19

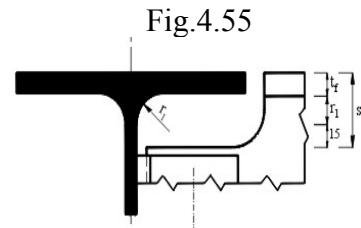
Profondità dello spallamento s dell'ala

Lo spallamento deve prolungarsi al disotto del raggio di curvatura del profilato della trave principale. Si pone:

$$s = t_f + r_1 + 15 \quad s = 15,5 + 21 + 15 \quad s = 51,5 \text{ mm}$$

arrotondiamo a:

$$s = 50 \text{ mm}$$



Lunghezza delle squadrette

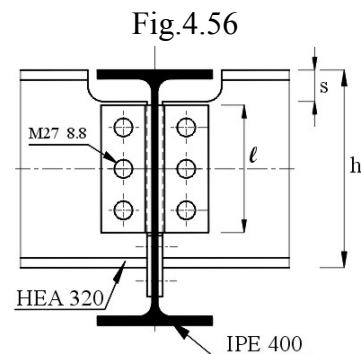
Le squadrette sono posizionate al disotto dello sballamento s , con l'asse di simmetria in corrispondenza con quello della trave secondaria.

La lunghezza massima disponibile è:

$$\begin{aligned} \ell_{max} &= h - 2 \cdot s \\ \ell_{max} &= 310 - 2 \cdot 50 \quad \ell_{max} = 210 \text{ mm} \end{aligned}$$

si pone:

$$\ell = 200 \text{ mm}$$



Tipo di squadrette

Si scelgono due squadrette \perp 80×8 collegate all'anima della trave con tre bulloni.

Tipo di bulloni-	M 27
Classe-	8.8 alta resistenza
Fattore k di confezione-	$k = 0,16$

Limitazioni sulle posizioni dei fori

Distanze minime

$$e_1 \geq 1,2 \cdot d_0$$

$$e_2 \geq 1,2 \cdot d_0$$

$$p_1 \geq 2,2 \cdot d_0$$

$$d_0 = d + 1,5 \quad d_0 = 27 + 1,5$$

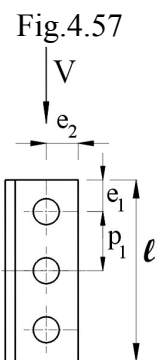
$$d_0 = 28,5 \text{ mm}$$

si hanno i valori minimi:

$$e_{1_{min}} = 1,2 \cdot 28,5 = 34,2 \text{ mm}$$

$$e_{2_{min}} = 1,2 \cdot 28,5 = 34,2 \text{ mm}$$

$$p_{1_{min}} = 2,2 \cdot 28,2 = 62,7 \text{ mm}$$



Per l'angolare 80×8 è consigliata la distanza $f = 45 \text{ mm}$. Ne viene che la distanza dal bordo e_2 risulta:

$$e_2 = 80 - 45$$

$$e_2 = 35 \text{ mm} > e_{2_{\min}}$$

si pone anche

$$e_1 = 35 \text{ mm}$$

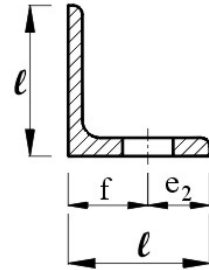
Distanza tra i fori

$$p_1 = \frac{\ell - 2 \cdot e_1}{2}$$

$$p_1 = 65 \text{ mm} > p_{1_{\min}}$$

$$p_1 = \frac{200 - 2 \cdot 35}{2}$$

Fig.4.58



Verifica della bullonatura delle squadrette

Si considera la squadretta nella campata 1-B, più sollecitata con sforzo di taglio $\frac{V_1^+}{2}$, con:

$$V_1^+ = 254 \text{ kN}$$

Fig.4.59

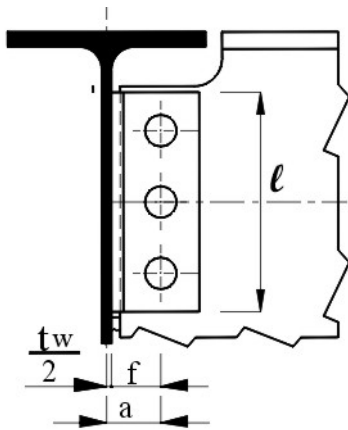
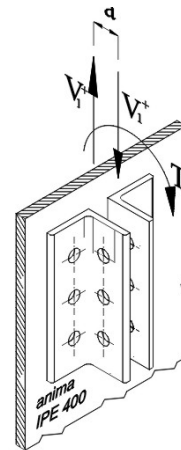


Fig.4.60



Lo sforzo $Y_1^+ = V_1^+$ sull'appoggio 1 dello spezzone 1-B, si scarica sui bulloni delle due squadrette di unione con l'anima della trave secondaria, e presenta una eccentricità "a" rispetto alla reazione di equilibrio, applicata sull'asse della trave principale (vedi figura)

$$a = \frac{t_w}{2} + f \qquad a = \frac{9}{2} + 45$$

$$a = 49,3 \text{ mm} = 4,95 \text{ cm}$$

Sforzo di scorrimento per effetto dello sforzo di taglio

Lo sforzo di taglio V_1^+ determina, tra l'anima della trave secondaria e le superfici a contatto delle squadrette, in corrispondenza di ogni sezione resistente del bullone, uno sforzo di scorrimento $F_{v,z}$ dato da:

$$F_{v,z} = \frac{V_1^+}{n_b \cdot n_v}$$

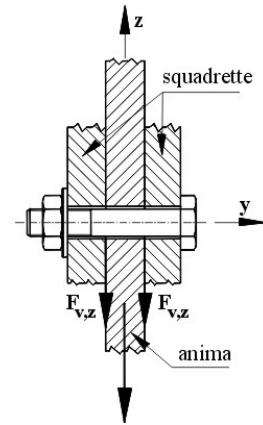
dove:

$$\begin{aligned} n_b &= 3 && \text{numero dei bulloni dell'unione} \\ n_v &= 2 && \text{numero delle sezioni resistenti di ciascun bullone} \end{aligned}$$

$$F_{v,z} = \frac{V_1^+}{n_b \cdot n_v} \qquad F_{v,z} = \frac{254}{3 \cdot 2}$$

$$F_{v,z} = 42,3 \text{ kN}$$

Fig.4.61



Momento torcente T per effetto dell'eccentricità a

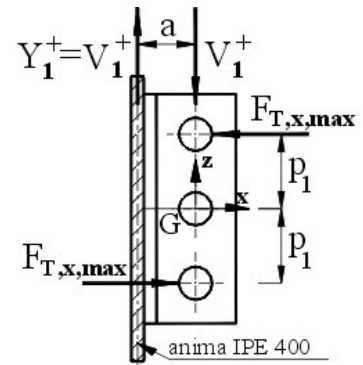
L'eccentricità " a " della reazione $Y_1^+ = V_1^*$ posta sull'asse dell'anima della trave principale, rispetto al baricentro " G " della bullonatura delle squadrette, determina su quella un momento torcente T

$$T = V_1^+ \cdot a \qquad T = 254 \cdot 4,93$$

$$T = 1252 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Il momento torcente T sulla bullonatura provoca, come precedentemente specificato, componenti di sforzi sui bulloni secondo gli assi x, z , con valori massimi, su quelli più sollecitati, dati dalle espressioni:

Fig.4.62



$$\left\{ \begin{aligned} F_{T,x,max} &= \frac{T}{n_v \cdot \sum_1^n (x_j^2 + z_j^2)} \cdot z_{max} \\ F_{T,z,max} &= \frac{T}{n_v \cdot \sum_1^n (x_j^2 + z_j^2)} \cdot x_{max} \end{aligned} \right.$$

Nel caso semplice in studio risulta:

$$x_j = 0 \quad x_{max} = 0$$

si ha:

$$\begin{cases} F_{T,x,max} = \frac{T \cdot z_{max}}{n_v \cdot \sum_1^n z_j^2} \\ F_{T,z,max} = 0 \end{cases}$$

con:

$$\begin{aligned} n_v &= 2 && \text{numero sezioni resistenti} \\ z_{max} &= p_1 \end{aligned}$$

Dallo schema di figura Fig.4.62 si ha:

$$\begin{aligned} F_{T,x,max} &= \frac{T \cdot p_1}{2 \cdot (p_1^2 + p_1^2)} && F_{T,x,max} = \frac{T \cdot p_1}{2 \cdot 2 p_1^2} \\ F_{T,x,max} &= \frac{T}{2 \cdot 2 p_1} && (e3.6) \end{aligned}$$

Notare che, nel caso semplice in oggetto la componente $F_{T,z,max}$ si poteva ottenere subito eseguendo l'equilibrio dei momenti:

$$V_1^+ \cdot a = 2 \cdot (2 \cdot p_1) \cdot F_{T,z,max} \quad \text{con} \quad V_1^+ \cdot a = T$$

da cui si ricava la (e3.6).

Sostituendo i valori:

$$\begin{aligned} F_{T,x,max} &= \frac{T}{2 \cdot 2 p_1} && F_{T,x,max} = \frac{1253}{2 \cdot 2 \cdot 6,5} \\ F_{T,x,max} &= 48,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

Sforzo di scorrimento di progetto $F_{v,Ed}$

Lo sforzo di scorrimento di progetto $F_{v,Ed}$, sulla superficie di taglio del bullone più sollecitato, è la risultante delle componenti degli sforzi, dovuti: allo sforzo di taglio $F_{v,z}$ e quello $F_{T,x,max}$, derivato dal momento torcente T .

Si ha:

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_{v,z}^2 + F_{T,x,max}^2}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{42,3^2 + 48,2^2}$$

$$F_{v,Ed} = 64,1 \text{ kN}$$

Forza di precarico $F_{p,C}$

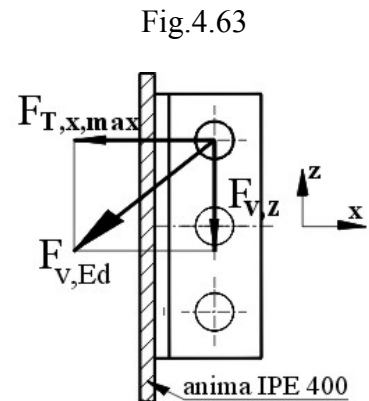
$$F_{p,C} = \frac{0,7 \cdot f_{t,b} \cdot A_{res}}{\gamma_{M7}}$$

$$f_{t,b} = 80 \text{ kN/cm}^2$$

tensione di rottura bullone classe 8.8

$$A_{res} = 4,59 \text{ cm}^2$$

sezione resistente della vite M 27 del bullone



$\gamma_{M7} = 1,10$ *coefficiente di precarico di bulloni ad alta resistenza*

$$F_{p,C} = \frac{0,7 \cdot f_{t,b} \cdot A_{res}}{\gamma_{M7}} \quad F_{p,C} = \frac{0,7 \cdot 80 \cdot 4,59}{1,10}$$

$$F_{p,C} = 234 \text{ kN}$$

Coppia di serraggio M

$$M = k \cdot d \cdot 0,7 \cdot f_{tb} \cdot A_{res}$$

$k = 0,16$ *fattore indicato sulla targhetta della confezione*

$d = 2,7 \text{ cm}$ *diametro nominale della vite*

$f_{tb} = 80 \text{ kN/cm}^2$ *tensione di rottura del bullone classe 8.8*

$A_{res} = 4,59 \text{ cm}^2$ *sezione resistente della vite del bullone*

$$M = k \cdot d \cdot 0,7 \cdot f_{tb} \cdot A_{res} \quad M = 0,16 \cdot 2,7 \cdot 0,7 \cdot 80 \cdot 4,59$$

$$M = 111 \text{ kN} \cdot \text{cm} = 111 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$M = 1110 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Resistenza di calcolo allo scorrimento $F_{s,Rd}$

$$F_{s,Rd} = \frac{n \cdot \mu \cdot F_{p,C}}{\gamma_{M3}}$$

dove:

$n = 1$ *si considera una sola superficie di scorrimento avendo calcolato la forza di scorrimento di progetto $F_{v,Ed}$ su una sola superficie di taglio del bullone*

$\mu = 0,3$ *coefficiente di attrito su una superficie non lavorata*

$\gamma_{M3} = 1,25$ *coefficiente di sicurezza per la resistenza allo scorrimento per SLU*

$F_{p,C}$ *forza di precarico*

$$F_{s,Rd} = \frac{1 \cdot \mu \cdot F_{p,C}}{\gamma_{M3}} \quad F_{s,Rd} = \frac{1 \cdot 0,3 \cdot 234}{1,25}$$

$$F_{s,Rd} = 56 \text{ kN}$$

Verifica

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{s,Rd}} = \frac{64,1}{56} > 1$$

Non verificato

Si scelgono bulloni $M 27$ classe 10.9

Tensione di rottura:

$$f_{ib} = 1000 \text{ N/mm}^2 = 100 \text{ kN/cm}^2$$

Si esegue una nuova verifica

Forza di precarico $F_{p,C}$

$$F_{p,C} = \frac{0,7 \cdot f_{t,b} \cdot A_{res}}{\gamma_{M7}} \quad F_{p,C} = \frac{0,7 \cdot 100 \cdot 4,59}{1,10}$$

$$F_{p,C} = 292 \text{ kN}$$

Coppia di serraggio M

$$M = k \cdot d \cdot 0,7 \cdot f_{ib} \cdot A_{res} \quad M = 016 \cdot 2,7 \cdot 0,7 \cdot 100 \cdot 4,59$$

$$M = 198 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$M = 1980 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Resistenza di calcolo allo scorrimento $F_{s,Rd}$ su una sola superficie

$$F_{s,Rd} = \frac{I \cdot \mu \cdot F_{p,C}}{\gamma_{M3}} \quad F_{s,Rd} = \frac{1 \cdot 0,3 \cdot 292}{1,25}$$

$$F_{s,Rd} = 70 \text{ kN}$$

Verifica

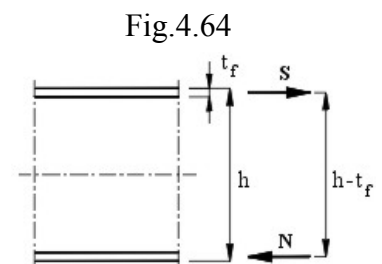
$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{s,Rd}} = \frac{64,1}{70} < 1$$

Verificato

Verifica della bullonatura del coprigiunto d'ala

Come già si è precedentemente specificato, con una ipotesi peggiorativa del reale, si può considerare che: nell'appoggio "1", al momento flettente sulla trave secondaria reagiscono le sole ali, con una forza di trazione S sull'ala superiore e una di compressione N su quella inferiore.

La forza di trazione si comunica tra i due spezzoni delle ali superiori attraverso l'attrito tra esse e il coprigiunto, ottenuto con il serraggio dei bulloni.



Forza di scorrimento totale sulla superficie di collegamento ali - coprigiunto

Lo sforzo di trazione S si traduce in uno sforzo di taglio nella superficie di contatto tra ala e giunto, e si comunica a questo da quella attraverso l'attrito per il serraggio dei bulloni, solleciti quindi a trazione e non a taglio.

Lo sforzo totale di scorrimento è:

$$F_v = S = \frac{M}{h - t_f}$$

$M = 28200 \text{ kN} \cdot \text{cm}$ momento flettente sull'appoggio "1"

$h = 31 \text{ cm}$ altezza trave

$t_f = 1,55 \text{ cm}$ spessore ala

$$F_v = \frac{M}{h - t_f} \qquad F_v = \frac{28200}{31 - 1,55}$$

$$F_v = 958 \text{ kN}$$

Forza di scorrimento (taglio) sulla sezione resistente di un bullone

In corrispondenza di una sezione resistente di un bullone del giunto si ha una forza di scorrimento a taglio:

$$F_{v,Ed} = \frac{F_v}{n_b \cdot n_v} \quad (e3.7)$$

dove:

$F_v = 958 \text{ kN}$ Forza di scorrimento totale sulle superfici a contatto ala - coprigiunto

$n_v = 1$ numero superfici di taglio

n_b numero di bulloni del giunto d'ala su uno spezzone di trave

La resistenza di attrito allo scorrimento $F_{s,Rd}$ tra le superfici ala - coprigiunto, in corrispondenza di una sezione del bullone, dovrà risultare superiore alla forza di scorrimento $F_{v,Ed}$.

Forza di precarico $F_{p,C}$

$$F_{p,C} = \frac{0,7 \cdot f_{t,b} \cdot A_{res}}{\gamma_{M7}}$$

$f_{t,b} = 100 \text{ kN} / \text{cm}^2$ tensione di rottura bullone classe 10.9

$A_{res} = 4,59 \text{ cm}^2$ sezione resistente della vite M 27 del bullone

$\gamma_{M7} = 1,10$ coefficiente di precarico di bulloni ad alta resistenza

$$F_{p,C} = \frac{0,7 \cdot 100 \cdot 4,59}{1,10}$$

$$F_{p,C} = 292 \text{ kN}$$

Coppia di serraggio M

$$M = k \cdot d \cdot 0,7 \cdot f_{t,b} \cdot A_{res} \qquad M = 0,16 \cdot 2,7 \cdot 0,7 \cdot 100 \cdot 4,59$$

$$M = 198 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$M = 1980 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Resistenza di calcolo allo scorrimento $F_{s,Rd}$ su una sola superficie

$$F_{s,Rd} = \frac{I \cdot \mu \cdot F_{p,C}}{\gamma_{M3}} \quad F_{s,Rd} = \frac{1 \cdot 0,3 \cdot 292}{1,25}$$

$$F_{s,Rd} = 70 \text{ kN}$$

Numero di bulloni n_b del giunto

Per la verifica deve risultare:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{s,Rd}} \leq 1$$

al limite si ha:

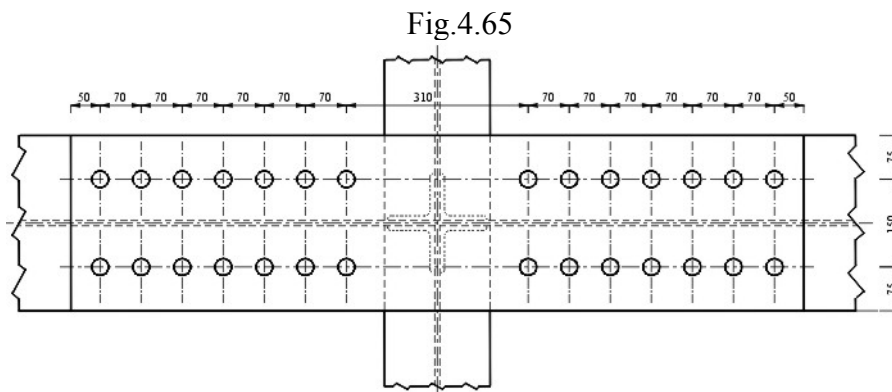
$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{s,Rd}} = 1 \quad \text{da cui} \quad F_{v,Ed} = F_{s,Rd}$$

sostituendo la (e3.7) con numero di superfici di taglio $n_v = 1$

$$\frac{F_v}{n_b} = F_{s,Rd} \quad \text{da cui} \quad n_b = \frac{F_v}{F_{s,Rd}}$$

$$n_b = \frac{958}{70} = 13,7$$

$$n_b = 14$$

**Verifica dei bulloni del giunto**

La forza di scorrimento di calcolo su una sezione del bullone con $n_v = 1$ e $n = 14$

$$F_{v,Ed} = \frac{F_v}{n_b \cdot n_v} \quad F_{v,Ed} = \frac{958}{14 \cdot 1}$$

$$F_{v,Ed} = 68,4 \text{ kN}$$

Verifica

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{s,Rd}} = \frac{68,4}{70} < 1$$

Verificato

Verifica spessore del coprigiunto d'ala

Il giunto d'ala superiore, posto in prossimità dell'appoggio "1" è sollecitato a trazione dallo sforzo S prodotto dal momento flettente.

Azione assiale di calcolo

È dato dallo sforzo S , comunicato dai due spezzoni di ali superiori

$$F_{Ed} = S = 958 \text{ kN}$$

Area lorda A del coprigiunto

Si sceglie un piatto $\boxtimes 300 \times 15$ - acciaio S 275 - $f_{yk} = 27,5 \text{ kN/cm}^2$

$$A = 30 \cdot 1,5$$

$$A = 45 \text{ cm}^2$$

Resistenza plastica della sezione lorda A

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \qquad N_{pl,Rd} = \frac{45 \cdot 27,5}{1,05}$$

$$N_{pl,Rd} = 1151 \text{ kN}$$

Resistenza a rottura della sezione netta A_{net}

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_{tk}}{\gamma_{M2}}$$

dove:

A_{net} sezione netta del coprigiunto depurata dai fori

$f_{tk} = 43 \text{ kN/cm}^2$ tensione a rottura dell'acciaio S 275

$\gamma_{M2} = 1,25$ coefficiente di sicurezza per sezioni indebolite da fori

Area netta A_{net}

$$A_{net} = A - 2 \cdot d_0 \cdot t \qquad A_{net} = 45 - 2 \cdot 2,85 \cdot 1,5$$

$$A_{net} = 36,45$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_{tk}}{\gamma_{M2}} \qquad N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot 36,45 \cdot 43}{1,25}$$

$$N_{u,Rd} = 1128 \text{ kN}$$

Verifiche della resistenza plastica della sezione lorda A e a rottura della sezione netta A_{net}

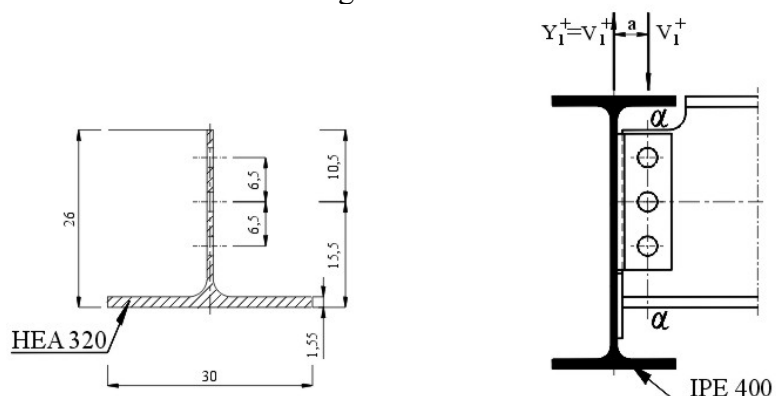
Risulta:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{958}{1158} < 1 \qquad \frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{958}{1128} < 1$$

Verificato

Verifica sezione α - α della trave secondaria

Fig.4.66



La sezione $\alpha - \alpha$ del profilato HEA320, in corrispondenza della bullonatura, ridotta dallo spallamento, è sollecitata dallo sforzo di taglio V_1^+ e dal momento flettente M_f dovuto all'eccentricità "a" della reazione $Y_1^+ = V_1^+$ rispetto all'asse baricentrico della bullonatura.

$$V_1^+ = 254 \text{ kN}$$

$$a = 4,3 \text{ cm}$$

$$M_f = V_1^+ \cdot a$$

$$M_f = 254 \cdot 4,3$$

$$M_f = 1252 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Momento di progetto

Il momento M_f è utilizzato come momento di calcolo per la verifica a flessione taglio

$$M_{Ed} = 1252 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Nella sollecitazione combinata di flessione e taglio, questo può essere trascurato se lo sforzo di taglio di progetto V_{Ed} risulta minore o uguale alla metà della resistenza di calcolo a taglio $V_{c,Rd}$. La sezione in tal caso è verificata solamente a flessione.

$$\text{Per } V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad \text{la sezione è verificata solamente a flessione}$$

Se, invece, lo sforzo di taglio di progetto V_{Ed} risulta maggiore della metà della resistenza di calcolo a taglio $V_{c,Rd}$, allora la sezione, sollecitata a flessione e taglio, può essere verificata alla sola flessione, con una tensione di snervamento f'_{yk} ridotta

$$\text{Per } V_{Ed} > \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad \text{la sezione è verificata a flessione con una tensione di snervamento ridotta}$$

La tensione di snervamento ridotta è espressa dalla relazione:

$$f'_{yk} = (1 - \rho) \cdot f_{yk}$$

con

$$\rho = \left[\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right]^2$$

Forza di taglio di progetto

$$V_{Ed} = Y_1^+ = V_1^+$$

$$V_{Ed} = 254 \text{ kN}$$

Resistenza di calcolo a taglio

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \quad (e3.8)$$

Con A_v l'area netta di resistenza a taglio. Questa è simile a quella di un profilato a T, caricato nel piano dell'anima contenente fori.

Facendo riferimento alla normativa EC3, punto 5.4.6 (la normativa NTC del 2008 non riporta nulla in merito), **non è necessario considerare i fori per dispositivi di giunzione nelle anime a condizione che risulti:**

$$A_{v,net} \geq \frac{f_y}{f_u} \cdot A_v \quad (e3.9)$$

dove:

A_v è l'area lorda, resistente a taglio del profilato senza considerare i fori sull'anima

$A_{v,net}$ è l'area resistente a taglio del profilato depurato dei fori sull'anima

$f_y = 275 \text{ N/mm}^2$ è la tensione caratteristica di snervamento, indicata con f_{yk} nella normativa NTC

$f_u = 430 \text{ N/mm}^2$ è la tensione caratteristica di rottura, indicata con f_{tk} nella normativa NTC

Effettuazione del controllo

Area lorda A_v resistente a taglio, senza fori, considerando il profilo a T della sezione, è:

$$A_v = 0,9 \cdot (A - b \cdot t_f)$$

con

A area lorda della sezione

$b = 30 \text{ cm}$ larghezza ala

$t_f = 1,55 \text{ cm}$ spessore ala

Area lorda intera sezione A

È data da metà area della sezione del profilato HEA 320 più il tratto di anima, di 10,5 cm, al disopra dell'asse, (Fig.4.66)

$$A = \frac{124}{2} + 10,5 \cdot 0,9$$

$$A = 71,45 \text{ cm}^2$$

si ha quindi l'area resistente a taglio A_v senza fori

$$A_v = 0,9 \cdot (A - b \cdot t_f) \quad A_v = 0,9 \cdot (71,45 - 30 \cdot 1,55)$$

$$A_v = 22,4 \text{ cm}^2$$

Area netta $A_{v,net}$ resistente a taglio, depurata dei fori

$$A_{v,net} = A_v - 3 \cdot d_0 \cdot t_w \quad A_{v,net} = 22,4 - 3 \cdot 2,85 \cdot 0,9$$

$$A_{v,net} = 14,72 \text{ cm}^2 \quad (e3.40)$$

Controllo della non necessità di considerare i fori nell'area resistente al taglio, secondo la limitazione (e3.9),

$$\frac{f_y}{f_u} \cdot A_v = \frac{275}{430} \cdot 22,4$$

$$\frac{f_y}{f_u} \cdot A_v = 14,33 \text{ cm}^2 \quad (e3.41)$$

confrontando la (e3.40) con la (e3.41), risulta:

$$A_{v,net} \geq \frac{f_y}{f_u} \cdot A_v$$

Nell'area resistente al taglio non occorre considerare i fori

Verifica a flessione taglio

Resistenza di calcolo al taglio

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \quad V_{c,Rd} = \frac{22,4 \cdot 27,5}{\sqrt{3} \cdot 1,05}$$

$$V_{c,Rd} = 338 \text{ kN}$$

Confrontando la forza di taglio V_{Ed} con la metà della resistenza di calcolo a taglio

$\frac{1}{2} \cdot V_{c,Rd}$ risulta:

$$V_{Ed} = 254 \text{ kN} \quad (e3.42)$$

$$\frac{1}{2} \cdot V_{c,Rd} = \frac{1}{2} \cdot 338$$

$$\frac{1}{2} \cdot V_{c,Rd} = 169 \text{ kN} \quad (e3.43)$$

confrontando la (e3.42) con la (e3.43), risulta:

$$V_{Ed} > \frac{1}{2} \cdot V_{c,Rd}$$

Si deve tenere conto della sollecitazione a taglio nella verifica a flessione taglio

Si effettua una verifica a flessione con tensione ridotta f'_{yk}

$$f'_{yk} = (1 - \rho) \cdot f_{yk}$$

$$\rho = \left[\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right]^2 \quad \rho = \left[\frac{2 \cdot 254}{338} - 1 \right]^2$$

$$\rho = 0,25$$

Tensione ridotta di snervamento

$$f'_{yk} = (1 - \rho) \cdot f_{yk} \quad f'_{yk} = (1 - 0,25) \cdot 27,5$$

$$f'_{yk} = 20,63 \text{ kN/cm}^2$$

Verifica

Si esegue la verifica nel campo elastico, valido per sezione di qualsiasi classe.

Il momento resistente è:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{y,el} \cdot f'_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$W_{y,el}$ modulo di resistenza elastico

f'_{yk} tensione di snervamento ridotta

Modulo di resistenza elastico $W_{y,el}$

È il rapporto tra il momento d'inerzia rispetto all'asse neutro e la distanza z_{max} della fibra più distante dall'asse neutro della sezione.

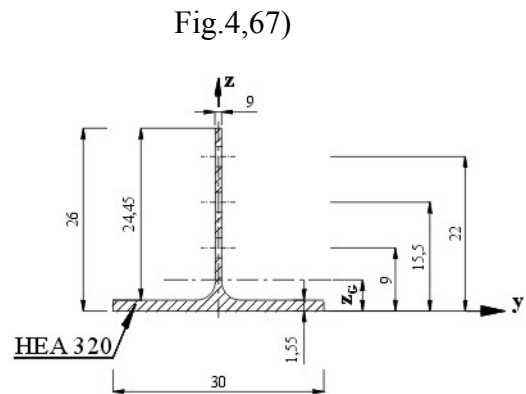
Coordinata z_G dell'asse neutro y_G

Area netta A_n della sezione

$$A_n = 1,55 \cdot 30 + 24,45 \cdot 0,9 - 3 \cdot 0,9 \cdot 2,85$$

$$A_n = 60,81 \text{ cm}^2$$

$$z_G = \frac{\sum A_j \cdot z_j}{A_n}$$



$$z_G = \frac{30 \cdot 1,55 \cdot \frac{1,55}{2} + 24,45 \cdot 0,9 \cdot \left(1,55 + \frac{24,45}{2} \right) - 0,9 \cdot 2,85 \cdot 9 - 0,9 \cdot 2,85 \cdot 15,5 - 0,9 \cdot 2,85 \cdot 22}{60,81}$$

$$z_G = 3,62 \text{ cm}$$

Momento d'inerzia rispetto all'asse neutro y_G

$$J_{yG} = \frac{1}{12} \cdot 30 \cdot 1,55^3 + 1,55 \cdot 30 \cdot \left(3,62 - \frac{1,55}{2} \right)^2 + \frac{1}{12} \cdot 0,9 \cdot 24,45^3 + 0,9 \cdot 24,45 \cdot \left(\frac{24,45}{2} + 1,55 - 3,62 \right)^2 - 3 \cdot \frac{1}{12} \cdot 0,9 \cdot 2,85^3 - 0,9 \cdot 2,85 \cdot (9 - 3,62)^2 - 0,9 \cdot 2,85 \cdot (15,5 - 3,62)^2 - 0,9 \cdot 2,85 \cdot (22 - 3,62)^2$$

$$J_{yG} = 2443 \text{ cm}^4$$

Distanza z_{max} della fibra più distante dall'asse neutro rispetto ad esso

$$z_{max} = 26 - 3,62$$

$$z_{max} = 22,38 \text{ cm}$$

Modulo di resistenza elastico a flessione $W_{y,el}$

$$W_{y,el} = \frac{J_{yG}}{z_{max}}$$

$$W_{y,el} = \frac{2443}{22,38}$$

$$W_{y,el} = 109 \text{ cm}^3$$

Momento resistente

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{y,el} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{109 \cdot 20,63}{1,05}$$

$$M_{c,Rd} = 2142 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$M_{Ed} = 1252 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Verifica

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{1252}{2142} < 1$$

Verificato

SEGUE →



Indietro...

[Clic per la pagina precedente](#)



Avanti...

[Clic per proseguire](#)



Indietro...

[Clic per tutti i file V parte](#)