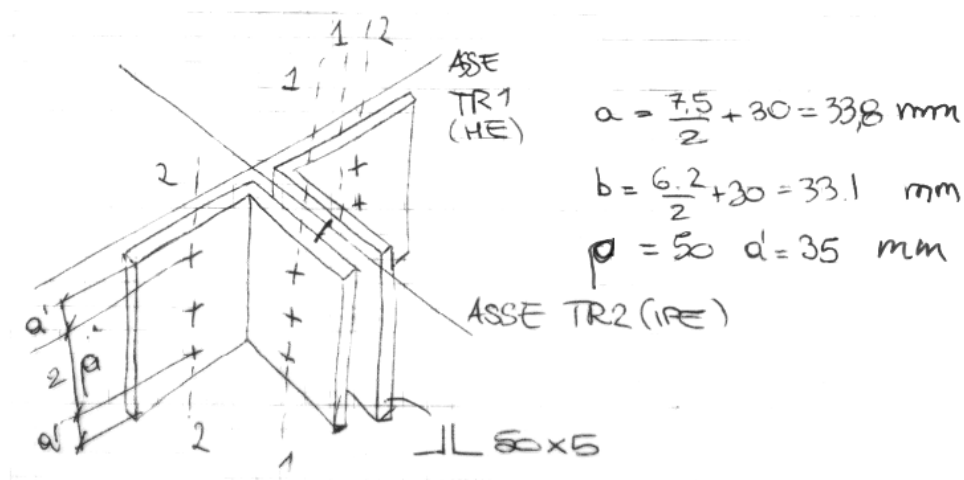
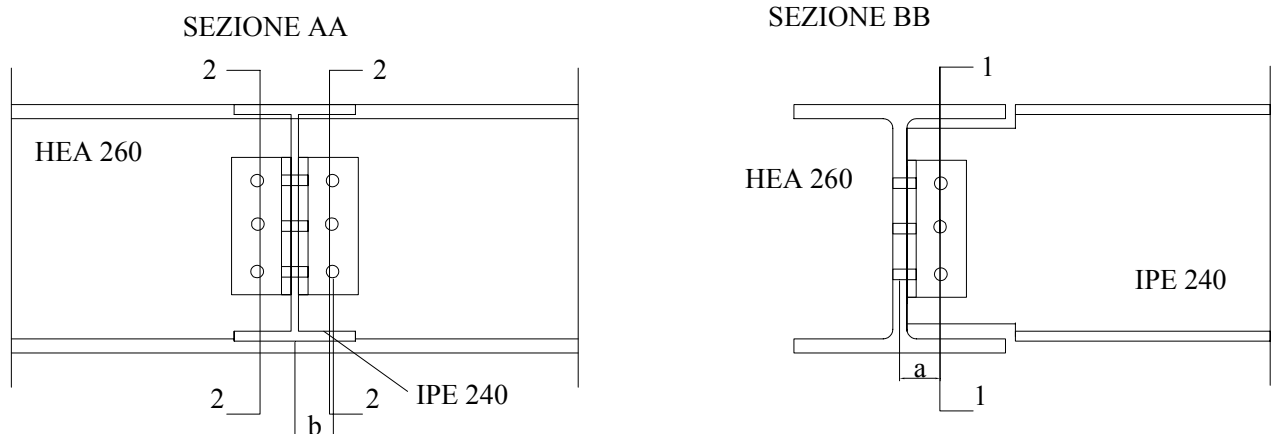


## Progetto di elementi strutturali per solaio: trave secondaria, trave principale, giunto trave secondaria-principale, giunto trave-trave

### *Giunto trave secondaria-trave principale: soluzione bullonata*

La progettazione del giunto trave secondaria-trave principale agli stati limite deve essere tale da garantire il soddisfacimento delle verifiche e una corretta ed ergonomica disposizione dei bulloni. Nell'analisi svolta, data anche la scarsa rigidezza torsionale della trave principale, si è considerato che il vincolo sia una cerniera e pertanto il collegamento sarà soggetto al solo sforzo di taglio. In particolare, data la geometria dei profili scelti si osserva che bisogna realizzare il collegamento in modo tale che l'estradosso delle due travi vada a coincidere come mostra la figura qui nel seguito (con riferimento alla pianta).



Per il collegamento si utilizzano dei profili angolari 50x5 posti ad una distanza ovviamente pari alla larghezza dell'anima della trave secondaria e di spessore simile a quello dell'anima della trave secondaria.

- **Analisi delle sollecitazioni (SLU)**

Si individuano due sezioni importanti come mostrato dai grafici sopra:

*Sezione 1-1*

$$T_1 = T = 55440N$$

$$M_1 = T_1 \cdot a = T \cdot a = 55440 \cdot 33,8 = 1870000Nmm \quad (\text{momento parassita})$$

*Sezione 2-2*

$$T_2 = \frac{T}{2} = 27700N$$

$$M_2 = T_2 \cdot b = \frac{T \cdot b}{2} = 27700 \cdot 33,1 = 920000Nmm \quad (\text{momento parassita})$$

Con a,b indicati nei disegni

Si decide dopo un predimensionamento di massima di disporre 3 bulloni  $\phi 12$  classe 5.6 con  $A_{res} = 84mm^2$  e  $f_{d,v} = 212N/mm^2$ . Osservando le prescrizioni di Norma al punto 5.3.3. si devono rispettare alcuni limiti costruttivi nella disposizione dei bulloni.

### 5.3.3. Interasse e distanza dai margini

Per l'applicabilità dei criteri di verifica indicati ai successivi punti, con riferimento alla fig. 5-5, indicato con  $t_{min}$  il minore degli spessori degli elementi collegati deve risultare:

- interasse fori in direzione della forza
  - elementi compressi  $15 t_{min} \geq p \geq 3 d$
  - elementi tesi  $25 t_{min} \geq p \geq 3 d$
- distanza fori dal bordo libero in
  - direzione della forza  $a \geq 2 d$
  - bordo non irrigidito  $a \leq 6 t_{min}$
  - bordo irrigidito  $a \leq 9 t_{min}$
- distanza fori dal bordo libero in
  - direzione perpendicolare alla forza  $a_1 \geq 1,5 d$
  - bordo non irrigidito  $a_1 \leq 6 t_{min}$
  - bordo irrigidito  $a_1 \leq 9 t_{min}$

Si assume, rispettando i limiti e avendo posto  $t = 5mm$ :

$$p = 50mm$$

$$a' = 35mm$$

### Sezione 1-1

- **Verifiche degli elementi**

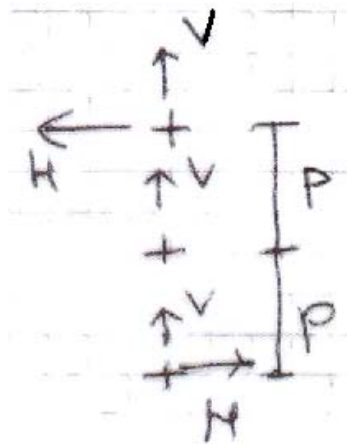
### Verifica dei bulloni

Disponendo 3 bulloni sulla sezione 1-1 si hanno le seguenti sollecitazioni:

$$V_1 = \frac{T_1}{n_b} = \frac{T}{3} = \frac{55440}{3} = 18467N$$

$$H_1 = \frac{M_1 \cdot d_{\max}}{J_{\text{bullonatura}}} = \frac{1870000 \cdot 50}{5000} = 18700N$$

Dove  $H_1$  è la forza orizzontale che si ottiene sul bullone più sollecitato (quello a distanza massima dal baricentro  $d_{\max} = p = 50$  mm) ripartendo il momento parassita sollecitante la bullonatura secondo lo schema seguente:



$$J_{\text{bullonatura}} = p^2 \cdot 2 = 50^2 \cdot 2 = 5000mm^2 \text{ è il momento d'inerzia della bullonatura}$$

La risultante sul bullone più sollecitato pertanto sarà uguale a:

$$R = \sqrt{H_1^2 + V_1^2} = \sqrt{18467^2 + 18700^2} = 26300N$$

Seguendo i rispettivi paragrafi 5.3.4 della CNR si verifica la bullonatura con:

- Verifica a taglio: la tensione tangenziale sul gambo del bullone dovrà essere inferiore a quella di resistenza a taglio di progetto.

5.3.4.1. Per bulloni sollecitati ad azione tagliante  $V$ , lo sforzo medio risulta:

$$\tau = \frac{V}{A} \quad \text{se il gambo è a contatto con le piastre di giunto,}$$

$$\tau = \frac{V}{A_{\text{res}}} \quad \text{se la parte filettata è a contatto con le piastre di giunto,}$$

essendo  $A$  l'area nominale del gambo e  $A_{\text{res}}$  quella resistente.

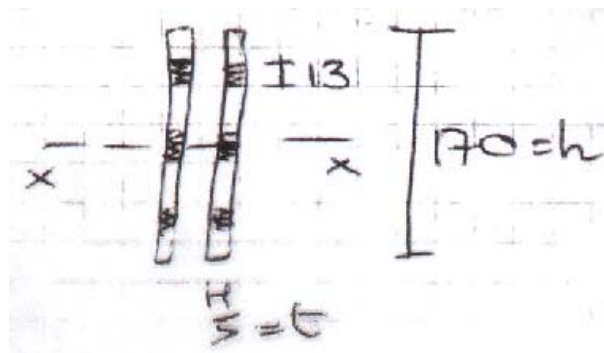
Per cui:

$$\tau_b = \frac{R}{n_{sez} \cdot A_{res}} = \frac{26300}{2 \cdot 84} = 156,3 \frac{N}{mm^2} < f_{d,v} = 212 \frac{N}{mm^2} \quad \text{verificato}$$

### Verifica delle squadrette

Le squadrette dovranno essere verificate secondo considerando una tensione ideale che agisce su una sezione depurata dai fori come appare nel grafico.

**Non si condurranno per tali elementi l'usuale verifica di rifollamento perché essi presentano una sezione resistente il cui spessore complessivo è superiore a quello dell'anima della trave secondaria a cui è collegato e per la quale tale verifica è obbligatoria.**



Pertanto si dovrà calcolare un momento d'inerzia di due sezioni rettangolari forate e di una corrispondente area netta:

$$A_n = (h - \phi_f \cdot 3) \cdot 2 \cdot t = (130 - 13 \cdot 3) \cdot 2 \cdot 5 = 1310 mm^2$$

$$J_n = 2 \cdot \left[ t \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot h^3 - \phi_f \cdot p^2 \cdot 2 - \frac{3}{12} \cdot \phi_f^3 \right) \right] = 2 \cdot \left[ 5 \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot 170^3 - 13 \cdot 50^2 \cdot 2 - \frac{3}{12} \cdot 13^3 \right) \right] = 3430000 mm^4$$

Con:

t = 5mm spessore di una squadretta

h = 170mm altezza delle squadrette

$\phi_f$  = 13mm diametro foro per il bullone

Da cui:

$$W_n = \frac{J_n}{\frac{h}{2}} = \frac{3430000}{\frac{170}{2}} = 40300 mm^3$$

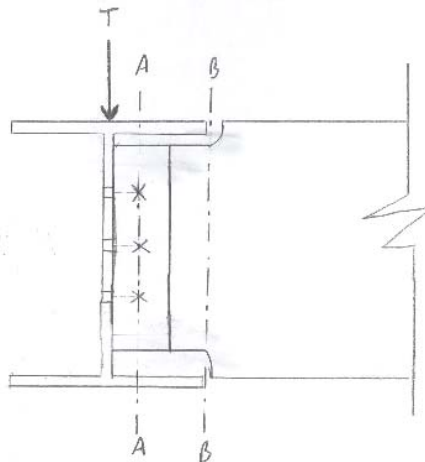
Si conduce una verifica seguendo quanto previsto dalla C.N.R.10011 (Von Mises):

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{\left(\frac{M_1}{W_n}\right)^2 + 3\left(\frac{T_1}{A_n}\right)^2} \cong \sqrt{\left(\frac{1870000}{40300}\right)^2 + 3\left(\frac{55440}{1310}\right)^2} \cong 87 \frac{N}{mm^2} \leq f_d = 235 \frac{N}{mm^2}$$

**Verificato**

### Verifica della trave secondaria

In questo caso la trave secondaria rappresenta l'elemento più debole rispetto alle due squadrette e data l'altezza della trave secondaria e di quella principale la soluzione giuntata sarà del tipo indicato nel disegno sotto. Sarà necessario verificare la trave in due sezioni fondamentali (A-A, B-B): questo perché nella prima la porzione di anima della trave è indebolita dai fori per i bulloni con delle sollecitazioni pari a  $T$  e  $M = Ta$ , nella seconda essa ha diversa geometria ma un momento parassita maggiore  $M' = Tl$  (dove  $l$  è la distanza tra l'asse baricentrico della trave principale – ove è applicato il taglio  $T$ - e la sezione  $BB$  di verifica).



- Verifica a rifollamento della lamiera: la tensione tra bullone e piastra dovrà essere inferiore ad un certo valore.

### **5.3.6. Verifiche a rifollamento**

La pressione sul contorno del foro, riferita alla proiezione diametrale della superficie cilindrica del chiodo o del bullone, deve risultare:

$$\sigma_{rit} \leq \alpha \cdot f_d \quad \text{stati limite}$$

$$\sigma_{rit} \leq \alpha \cdot \sigma_{adm} \quad \text{tensioni ammissibili}$$

dove:  $\alpha = a/d$  e comunque da assumersi non maggiore di 2,5;

$f_d$  è la resistenza di progetto del materiale costituente gli elementi del giunto (vedere 4.1.1);

$\sigma_{adm}$  è la tensione ammissibile del materiale costituente gli elementi del giunto (vedere 4.1.1);

$a$  e  $d$  sono definiti e limitati come al punto 5.3.3.

Per cui:

$$\sigma_{\text{rif}} = \frac{R}{s \cdot \phi_b} = \frac{26300}{6,2 \cdot 12} = 326 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \alpha \cdot f_d = 2,5 \cdot 235 = 587 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{verificato}$$

NB:  $\left(\frac{a}{\phi_b} = \frac{35}{12} = 2,92 > 2,5 \quad \text{quindi si assume } \alpha=2,5\right)$

Con  $s = 6,2\text{mm}$  spessore anima  
 $\phi_b = 12\text{mm}$  diametro del bullone

- Verifica della sezione di profilo: la tensione nella sezione di profilo eventualmente depurata dai fori dovrà essere inferiore alla tensione di progetto.

### 5.3.5. Verifiche delle sezioni forate

**Per la verifica di resistenza il calcolo delle tensioni di trazione si effettua con riferimento all'area netta, detratta cioè l'area dei fori, assumendo come tale quella minima corrispondente o alla sezione retta o al profilo spezzato.**  
**Per la verifica di stabilità di cui al punto 7, e per la determinazione di qualunque parametro dipendente dalla deformabilità, si devono considerare, invece, le sezioni lorde, cioè senza detrazione dei fori per i collegamenti.**  
**La verifica a flessione delle travi si effettua in generale tenendo conto del momento d'inerzia della sezione con la detrazione degli eventuali fori.**  
**Il calcolo di regola viene eseguito deducendo dal momento d'inerzia della sezione lorda il momento d'inerzia delle aree dei fori rispetto all'asse baricentrico della stessa sezione lorda.**

Analizzando la sezione A-A:

$$A_n = (h' - \phi_f \cdot 3) \cdot s = (170 - 13 \cdot 3) \cdot 6,2 = 812 \text{mm}^2$$

$$J_n = \left[ s \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot h'^3 - \phi_f \cdot p^2 \cdot 2 - \frac{3}{12} \cdot \phi_f^3 \right) \right] = \left[ 6,2 \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot 170^3 - 13 \cdot 50^2 \cdot 2 - \frac{3}{12} \cdot 13^3 \right) \right] \cong 2100000 \text{mm}^4$$

Con:

$s = 6,2\text{mm}$  spessore anima

$h' = 170\text{mm}$  altezza anima tagliata (in prima approssimazione posta uguale all'altezza delle squadrette)

$\phi_f = 13\text{mm}$  diametro foro per il bullone

Da cui:

$$W_n = \frac{J_n}{\frac{h'}{2}} = \frac{2100000}{\frac{170}{2}} \cong 25000 \text{mm}^3$$

Analogamente a quanto fatto per le squadrette si conduce una verifica seguendo quanto previsto dalla C.N.R.10011 (Von Mises):

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{\left(\frac{M_1}{W_n}\right)^2 + 3\left(\frac{T_1}{A_n}\right)^2} \cong \sqrt{\left(\frac{1870000}{25000}\right)^2 + 3\left(\frac{55440}{812}\right)^2} \cong 146 \frac{N}{mm^2} \leq f_d = 235 \frac{N}{mm^2}$$

**Verificato**

Analizzando la sezione B-B:

$$T = T_1 = 55440N$$

$$M' = Tl = 55440 \cdot 135 = 7479000Nmm$$

Con  $l = 135mm$  valutando che dal baricentro della HEA 260 l'ala ha lunghezza 130mm a cui si deve aggiungere la parte intagliata di profilo

$$A_n = (h') \cdot s = (170) \cdot 6,2 = 1054mm^2$$

$$J_n = \left[ s \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot h'^3 \right) \right] = \left[ 6,2 \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot 170^3 \right) \right] \cong 2538400mm^4$$

Da cui:

$$W_n = \frac{J_n}{\frac{h'}{2}} = \frac{2538400}{\frac{170}{2}} \cong 29863mm^3$$

In conclusione:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{\left(\frac{M'}{W_n}\right)^2 + 3\left(\frac{T_1}{A_n}\right)^2} \cong \sqrt{\left(\frac{7479000}{29863}\right)^2 + 3\left(\frac{55440}{1054}\right)^2} \cong 266 \frac{N}{mm^2} > f_d = 235 \frac{N}{mm^2}$$

**Non verificato**

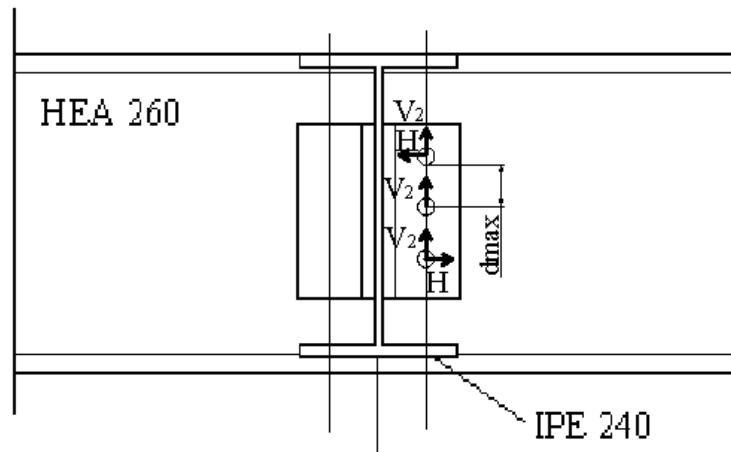
**N.B.:** la verifica non risulta soddisfatta e pertanto occorre modificare la sezione resistente del profilo o trovare accorgimenti costruttivi tali da aumentare la componente inerziale della sezione che fornisce il contributo resistente fondamentale per il soddisfacimento della verifica.

In fase di esercitazione non si svolgono i calcoli aggiuntivi.

**Sezione 2-2**

Nella sezione 2-2 la sollecitazione di taglio che va ad interessare in bulloni si divide in due e il contributo di momento parassita è rappresentato in figura: come al solito si considera il baricentro della bullonatura e si assume che il momento parassita eserciti forze che si ripartiscano proporzionalmente alle distanze dal baricentro.

#### SEZIONE AA



In conclusione si ha:

$$V_2 = \frac{T_2}{n_b} = \frac{T}{2 \cdot 3} = \frac{T}{6} \quad \text{considerando 3 bulloni}$$

$$H_2 = H_{\max} = \frac{M_2 \cdot d_{\max}}{J_{\text{bullonatura}}}$$

(sollecitazione massima orizzontale sul bullone a distanza massima  $d_{\max}$  dal baricentro della bullonatura, in questo caso pari al passo dei bulloni).

La risultante sul bullone più sollecitato sarà pertanto:

$$R = \sqrt{(V_2)^2 + H_{\max}^2}$$

**In sede di esercizio non si proseguono i calcoli e le verifiche che sono analoghe a quelle precedentemente svolte per la sezione 1-1 (si fa notare che in questo caso i bulloni hanno 1 sezione resistente).**

### ***Collegamento di testa trave-trave: soluzione bullonata***

Nelle situazioni progettuali può capitare che si debbano collegare parti di travi in cantiere realizzando dei giunti a completo o parziale ripristino. Tale realizzazione può essere dovuta ad



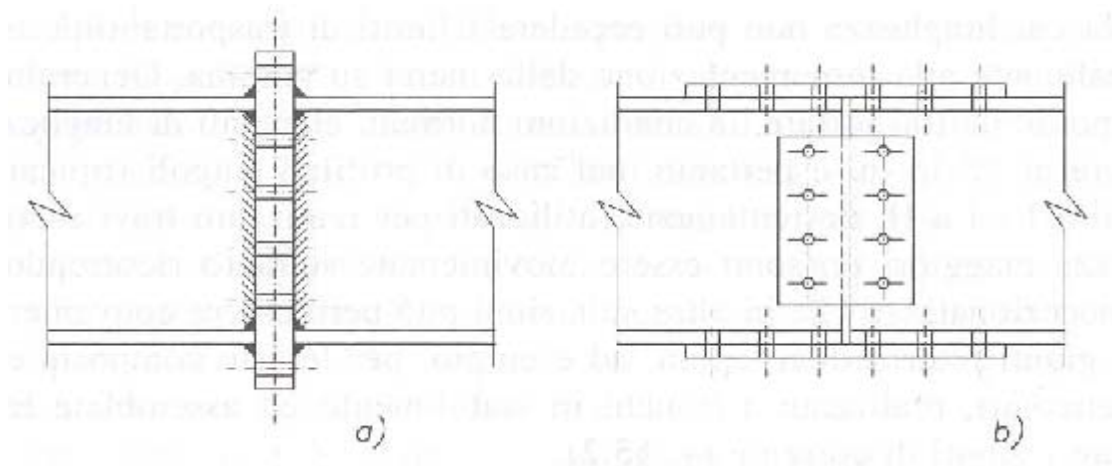
esempio ad una insufficiente lunghezza della trave in commercio oppure per un più facile trasporto in cantiere.

In funzione della loro resistenza messa in relazione con quella degli elementi collegati si possono distinguere:

- giunti a parziale ripristino
- giunti a completo ripristino

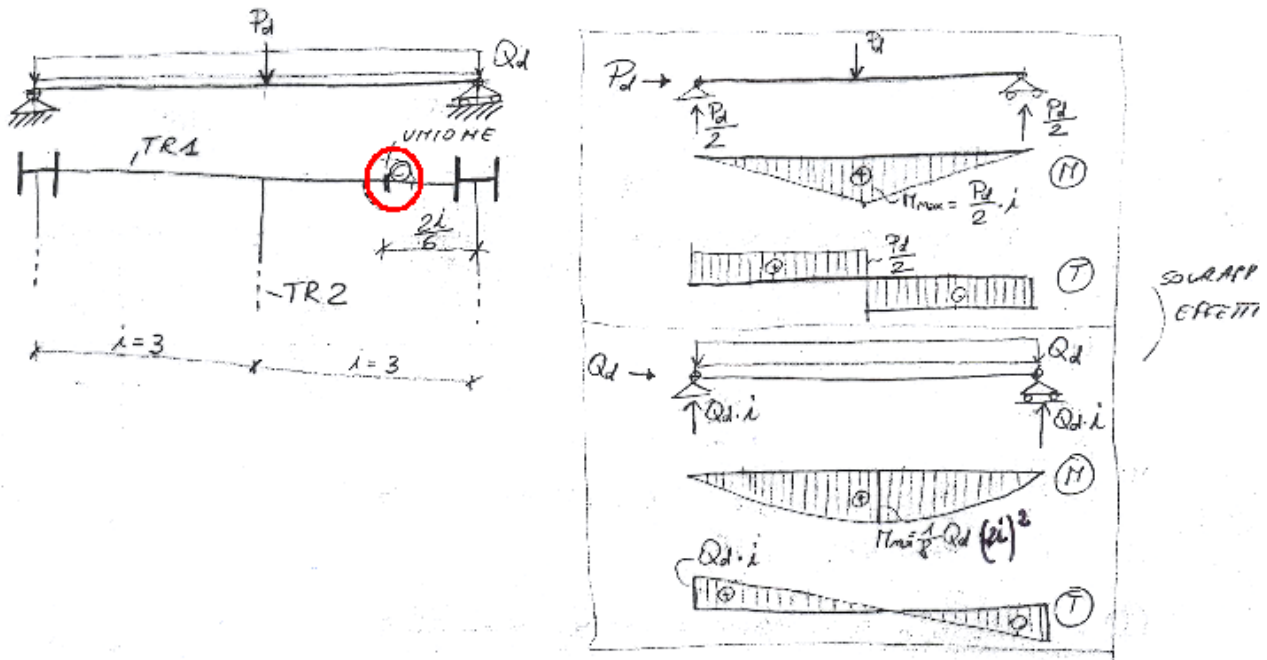
Focalizzando l'attenzione in questa esercitazione sui primi, essi consentono il trasferimento dei massimi valori di sollecitazione di progetto, ma la loro resistenza è inferiore a quella dell'elemento più debole della giunzione.

In riferimento alla soluzione bullonata esso può essere come mostrato in figura o con piastre saldate in officina alle estremità delle due parti di trave da collegare e bullonate in opera a) oppure con coprigiunti d'ala e d'anima bullonati in opera b).



Riprendendo lo schema di carico per la trave principale, si decide a titolo esplicativo, di progettare un collegamento di tipo b) nel punto C indicato (ad  $1/6$  della luce dall'appoggio) dove sono presenti sia sollecitazioni taglianti che flettenti.

### **Analisi delle sollecitazioni (SLU)**



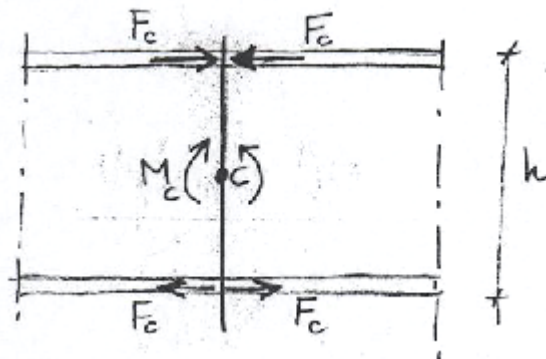
In particolare si hanno dai calcoli le sollecitazioni:

$$V_c = \frac{P_d}{2} + Q_d i - Q_d \frac{2i}{6} = 56960 \text{ N}$$

$$M_c = \frac{P_d}{2} \cdot \frac{2i}{6} + Q_d i \cdot \frac{2i}{6} - Q_d \cdot \frac{2i}{6} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2i}{6} \cong 57450000 \text{ Nmm}$$

- **Predimensionamento copriungto d'ala**

Per avere un dimensionamento di massima è possibile ipotizzare che l'intero valore del momento  $M_c$  venga assorbito dalle ali della HEA 260 attraverso una coppia di forze  $F$  di braccio  $h$ .



Risulterà pertanto:

$$F = \frac{M_c}{h} = \frac{57450000}{250} \cong 230000 \text{ N}$$

Il numero minimo dei bulloni occorrenti da ciascun lato, considerando  $\phi 16$  classe 5.6 (1 sezione resistente) sarà:

$$n_b = \frac{F}{A_{res} \cdot f_{d,v}} = \frac{230000}{157 \cdot 212} \cong 7$$

Se ne dispongono 8 per parte.

Disponendo 2 file di bulloni lo spessore  $t_1$  minimo necessario del coprigiunto (di larghezza pari alla larghezza  $b$  delle ali) sarà:

$$t_1 = \frac{F}{(b - 2\phi_f) \cdot f_{d,v}} = \frac{230000}{(260 - 2 \cdot 17) \cdot 212} = 4.33\text{mm} \rightarrow 6\text{mm}$$

Rispettando le distanze:

### 5.3.3. Interasse e distanza dai margini

Per l'applicabilità dei criteri di verifica indicati ai successivi punti, con riferimento alla fig. 5-5, indicato con  $t_{min}$  il minore degli spessori degli elementi collegati deve risultare:

- interasse fori in direzione della forza
  - elementi compressi  $15 t_{min} \geq p \geq 3 d$
  - elementi tesi  $25 t_{min} \geq p \geq 3 d$
- distanza fori dal bordo libero in
  - direzione della forza  $a \geq 2 d$
  - bordo non irrigidito  $a \leq 6 t_{min}$
  - bordo irrigidito  $a \leq 9 t_{min}$
- distanza fori dal bordo libero in
  - direzione perpendicolare alla forza  $a_1 \geq 1.5 d$
  - bordo non irrigidito  $a_1 \leq 6 t_{min}$
  - bordo irrigidito  $a_1 \leq 9 t_{min}$

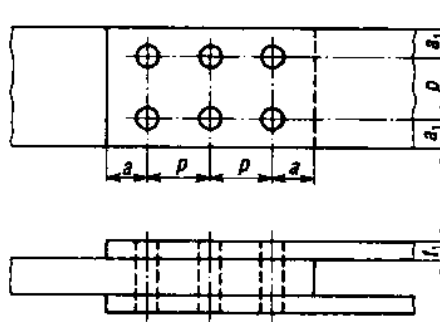


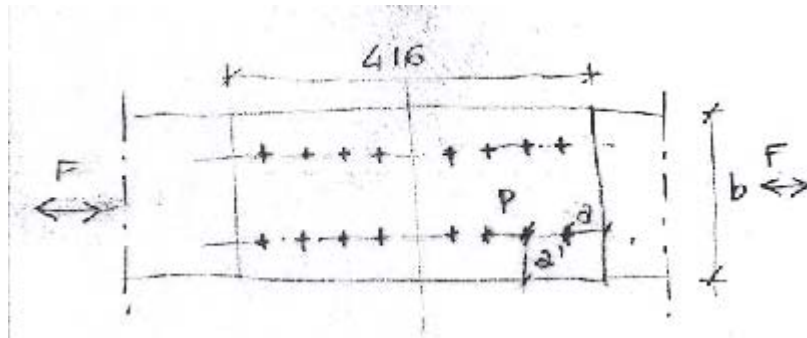
Fig. 5-5

Si assume:

$$p = 48\text{mm}$$

$$a' = 24\text{mm}$$

$$a = 32\text{mm}$$



- **Predimensionamento coprighiunto d'anima**

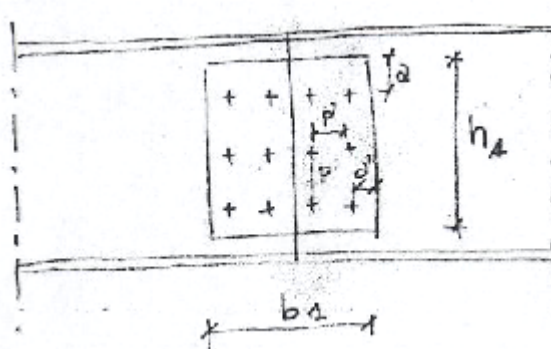
Analogamente si ipotizza che lo sforzo di taglio  $V_c$  sia interamente assorbito dall'anima della trave HEA 260, pertanto operando allo stesso modo si ricava, considerando  $\phi 16$  classe 5.6:

$$n_b = \frac{V_c}{n_{res} \cdot A_{res} \cdot f_{d,v}} = \frac{56960}{2 \cdot 157 \cdot 212} = 0.85 < 1$$

Si diminuisce il diametro dei bulloni ( $\phi 12$ ) e si ricava:

$$n_b = \frac{V_c}{n_{res} \cdot A_{res} \cdot f_{d,v}} = \frac{56960}{2 \cdot 84 \cdot 212} = 1.59 \cong 2$$

Si dispongono in realtà 6 bulloni prevedendo che il contributo del taglio generato sui bulloni a causa del momento in realtà assorbito dall'anima possa incidere sulla valutazione.



Lo spessore  $t_2$  minimo necessario del coprighiunto potrà essere calcolato uguagliando il momento di inerzia dell'anima della trave con quello del coprighiunto avendo assunto come altezza del coprighiunto  $h_1 = 175\text{mm}$  che è circa uguale alla massima disponibilità di altezza dove inserirlo considerando le curvature delle piattabande:

$$\frac{1}{12} \cdot (2 \cdot t_2) \cdot h_1^3 = J_{copr.} = J_{anima} = \frac{1}{12} \cdot (a) \cdot (h - 2e)^3$$

$$\frac{1}{12} \cdot (2 \cdot t_2) \cdot 175^3 = \frac{1}{12} \cdot (7,5) \cdot (250 - 2 \cdot 12,5)^3 \rightarrow t_2 \cong 8\text{mm}$$

Si assume osservando le indicazioni del disegno sopra:

$p = 62\text{mm}$  interasse bulloni in direzione parallela al taglio

$a' = 24\text{mm}$

$a = 26\text{ mm}$

$p' = 36\text{mm}$  interasse bulloni in direzione perpendicolare al taglio

$b_1 = 4a' + 2p' = 144\text{mm}$

## Verifiche

Dopo aver opportunamente dimensionato i coprighiunti si passa alla verifica degli stessi ipotizzando che le sollecitazioni flettenti agenti su anima e ali siano pertanto una quota parte della sollecitazione totale (e si ripartiscano proporzionalmente alle rispettive inerzie) e che la sollecitazione tagliante sia assorbita interamente dall'anima della trave.

Osservando le indicazioni citate sopra si ha che sul coprighiunto d'ala e d'anima agiscono i seguenti contributi:

$$M_{\text{anima}} = M_c \cdot \frac{J_{\text{anima}}}{J} = M_c \cdot \frac{\frac{1}{12} \cdot a \cdot (h - 2e)^3}{J} = 57450000 \cdot \frac{\frac{1}{12} \cdot 7,5 \cdot (250 - 2 \cdot 12,5)^3}{104550000} \cong 3911952\text{Nmm}$$

(=7%  $M_c$  ; l'ipotesi che tutto il momento venga distribuito sulle ali è accettabile)

$$T_{\text{anima}} = V_c = 56960\text{N}$$

$$M_{\text{ali}} = M_c - M_{\text{anima}} = 57450000 - 3911952 = 53538040\text{Nmm}$$

$$T_{\text{ali}} = 0$$

### • Verifica del coprighiunto d'ala

Ricavate le sollecitazioni si procede alle usuali verifiche seguendo le Normative vigenti:

-Verifica a trazione della lamiera:

#### 5.3.5. Verifiche delle sezioni forate

*Per la verifica di resistenza il calcolo delle tensioni di trazione si effettua con riferimento all'area netta, detratta cioè l'area dei fori, assumendo come tale quella minima corrispondente o alla sezione retta o al profilo spezzato.*

*Per la verifica di stabilità di cui al punto 7, e per la determinazione di qualunque parametro dipendente dalla deformabilità, si devono considerare, invece, le sezioni lorde, cioè senza detrazione dei fori per i collegamenti.*

*La verifica a flessione delle travi si effettua in generale tenendo conto del momento d'inerzia della sezione con la detrazione degli eventuali fori.*

*Il calcolo di regola viene eseguito deducendo dal momento d'inerzia della sezione lorde il momento d'inerzia delle aree dei fori rispetto all'asse baricentrico della stessa sezione lorde.*

Sulla sezione netta agirà una tensione normale dovuta al momento pari a:

$$\sigma = \frac{\frac{M_{ali}}{h}}{(b - 2\phi_f) \cdot t_1} = \frac{53538040}{(260 - 2 \cdot 17) \cdot 6} \cong 158 \frac{N}{mm^2} \leq f_d = 235 \frac{N}{mm^2} \quad \text{verificato}$$

-Verifica a taglio del bullone:

#### 5.3.4. Verifiche dei bulloni

5.3.4.1. Per bulloni sollecitati ad azione tagliante  $V$ , lo sforzo medio risulta:

$$\tau = V/A \quad \text{se il gambo è a contatto con le piastre di giunto,}$$

$$\tau = V/A_{res} \quad \text{se la parte filettata è a contatto con le piastre di giunto,}$$

essendo  $A$  l'area nominale del gambo e  $A_{res}$  quella resistente.

$$\tau_b = \frac{\frac{M_{ali}}{h}}{n_{res} \cdot n_b \cdot A_{res}} = \frac{53538040}{1 \cdot 8 \cdot 157} \cong 171 \frac{N}{mm^2} \leq f_{d,v} = 212 \frac{N}{mm^2} \quad \text{verificato}$$

Dove:

$n_{res} = 1$  numero di sezioni resistenti

-Verifica a rifollamento della lamiera:

$$\sigma_{rif} = \frac{\frac{M_{ali}}{h}}{n_b \cdot t_{min} \cdot \phi_b} = \frac{53538040}{8 \cdot 6 \cdot 16} \cong 260 \frac{N}{mm^2} \leq \alpha \cdot f_d = \frac{32}{16} \cdot 235 = 470 \frac{N}{mm^2} \quad \text{verificato}$$

Dove:

$t_{min} = t_1$

$\alpha$  è il coefficiente ricavabile dai disegni sulla disposizione dei bulloni

#### • Verifica del coprigiunto d'anima

-Verifica a trazione della lamiera:

Sulla sezione netta delle due squadrette agirà una tensione normale dovuta al momento pari a:

$$\sigma = \frac{M_{anima}}{W_n} \quad \text{con } W_n = \frac{J_n}{\frac{h_1}{2}}$$

Ed una tensione tangenziale dovuta al taglio

$$\tau = \frac{T_c}{A_n}$$

Pertanto si dovrà calcolare un momento d'inerzia di due sezioni rettangolari forate e di una corrispondente area netta:

$$A_n = (h_1 - \phi_f \cdot 3) \cdot 2 \cdot t_2$$

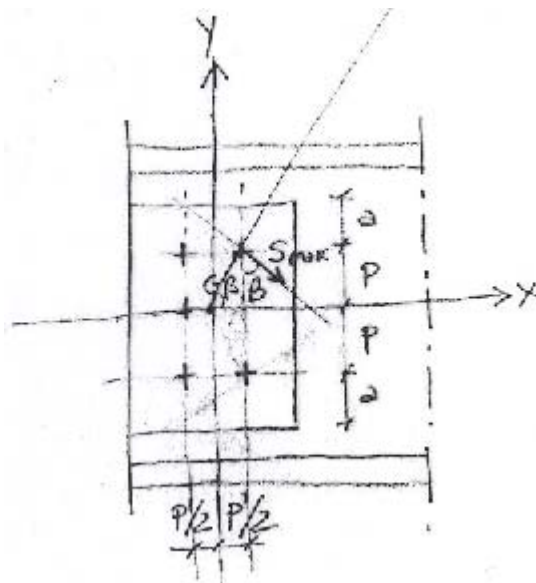
$$J_n = 2 \cdot \left[ t_2 \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot h_1^3 - \phi_f \cdot p^2 \cdot 2 - \frac{3}{12} \cdot \phi_f^3 \right) \right]$$

Si conduce una verifica (che qui non verrà riportata) seguendo quanto previsto dalla C.N.R.10011 (Von Mises):

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq f_d$$

-Verifica a taglio del bullone:

Per quanto riguarda il coprighiunto d'anima occorre che per la sollecitazione flettente  $M_{anima}$  vi sia una distribuzione delle tensioni sui bulloni proporzionale alle distanze dal baricentro della bullonatura come appare dal grafico.



La sollecitazione tagliante legata alla sollecitazione flettente  $M_{anima}$  è massima sul bullone a distanza massima  $d_{max}$  dal baricentro della bullonatura.

$$S_{max} = \frac{M_{anima}}{\sum d^2} \cdot d_{max} = \frac{M_{anima}}{\sum (x^2 + y^2)} \cdot \sqrt{(x_{max}^2 + y_{max}^2)} =$$

$$= \frac{3911952}{\sum \left[ \left( 6 \cdot \left( \frac{36}{2} \right)^2 + 62^2 \right) \right]} \cdot \sqrt{\left( \left( \frac{36}{2} \right)^2 + 62^2 \right)} = 14582N$$

Da cui considerando le componenti di taglio verticali ed orizzontali sul bullone più sollecitato:

$$S_{\max,H} = S_{\max} \cdot \sin \beta = 14582 \cdot 0,96 \cong 14000N$$

$$S_{\max,V} = S_{\max} \cdot \cos \beta = 14582 \cdot 0,28 \cong 4082N$$

Con:

$$\beta = \arctan \left( \frac{p}{\frac{p'}{2}} \right) \cong 73^\circ \text{ per la disposizione geometrica dei bulloni}$$

Per quanto riguarda la sollecitazione tagliante legata al taglio  $M_{anima} = V_c$  è ripartita uniformemente sui bulloni:

$$V_b = \frac{(T_{anima})}{n_b} = \frac{56960}{6} = 9464N$$

La risultante sul bullone più sollecitato sarà pertanto:

$$R = \sqrt{(V_b + S_{\max,V})^2 + S_{\max,H}^2} = \sqrt{(9464 + 4082)^2 + 14000^2} \cong 19480N$$

Ripetendo ora le medesime verifiche eseguite in precedenza si ha:

$$\tau_b = \frac{R}{n_{res} \cdot A_{res}} = \frac{19480}{2 \cdot 84} \cong 115 \frac{N}{mm^2} \leq f_{d,v} = 212 \frac{N}{mm^2} \quad \mathbf{verificato}$$

Dove:

$n_{res} = 2$  numero di sezioni resistenti

-Verifica a rifollamento dell'anima:

Si avrà:

$$\sigma_{rif} = \frac{R}{t_{min} \cdot \phi_b} = \frac{19480}{7,5 \cdot 12} \cong 217 \frac{N}{mm^2} \leq \alpha \cdot f_d = \frac{26}{12} \cdot 235 = 509 \frac{N}{mm^2} \quad \mathbf{verificato}$$



Dove:

$$t_{\min} = t_{\text{anima}}$$

$\alpha$  è il coefficiente ricavabile dai disegni sulla disposizione dei bulloni

• **Verifica a trazione della trave:**

Si considera che la sezione di trave sia indebolita per la presenza dei fori e pertanto occorre verificare che essa possa trasmettere il taglio e il momento di progetto. Sulla sezione netta agiranno tensioni:

$$\sigma = \frac{M_c}{J_{\text{netto}}} \cdot \frac{h}{2}$$

$$\tau = \frac{T_c}{A_{\text{netto}}}$$

La verifica che qui non verrà riportata consterà in:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq f_d$$