UNIONI BULLONATE

1- UNIONE TRAVE - TRAVE

1-1- NODO CERNIERA

Si usa definire "NODO-CERNIERA" l'unione in grado di trasferire lo sforzo di TAGLIO dall'anima della trave secondaria all'anima della trave principale.

Il "NODO - CERNIERA" si divide in due tipologie:

- NODO-CERNIERA PER TRAVI APPOGGIATE (Fig. 1-a)
- NODO-CERNIERA PER TRAVI CONTINUE (Fig. 1-b)

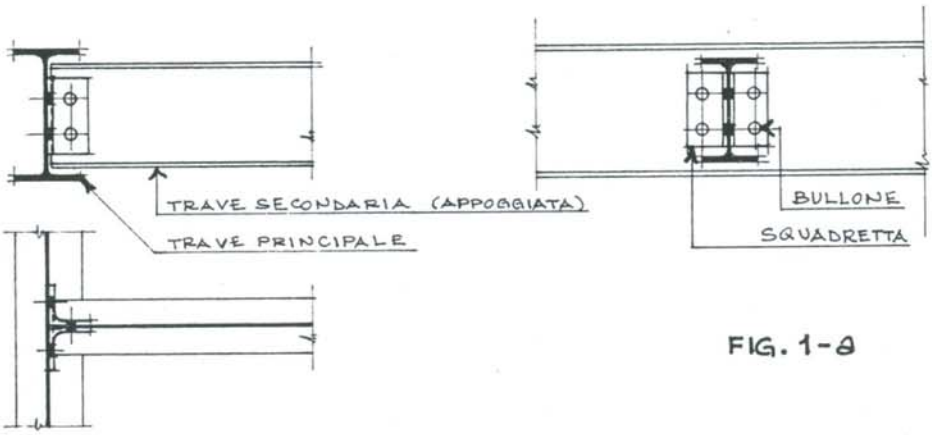


FIG. 1-a

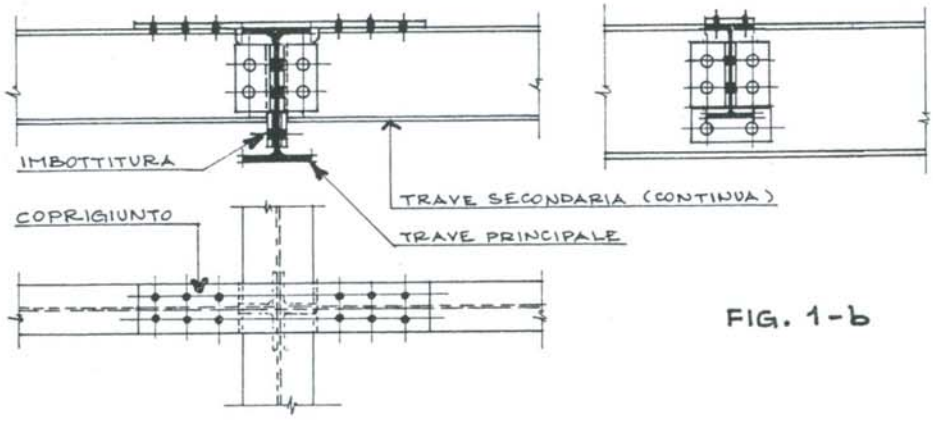


FIG. 1-b

1-1-1- NODO CERNIERA PER TRAVI APPOGGIATE

La continuità strutturale delle due travi viene conseguita collegando le anime con squadrette in angolari e bulloni (Fig 1-2).

Il dimensionamento del "nodo-cerniera" si traduce praticamente nella scelta delle squadrette e dei bulloni, compatibilmente con le caratteristiche geometriche delle travi da unire, e nella verifica di tutti gli elementi che concorrono staticamente alla definizione del collegamento (bulloni, squadrette, trave secondaria e trave principale) (Fig 1-2).

Eseguita la scelta delle squadrette e dei bulloni, la verifica viene condotta sulla base delle seguenti ipotesi semplificative:

- SI ASSUME UGUALE A ZERO LA RIGIDEZZA TORSIONALE DELLA TRAVE PRINCIPALE (Fig 2-2).
- SI SUPPONE CHE I BULLONI REAGISCANO SOLTANTO A SFORZI DI TAGLIO (Fig. 2-b).

  Si trascurano pertanto i momenti torcenti agenti sulle ali delle squadrette ed i conseguenti tiri nei bulloni.

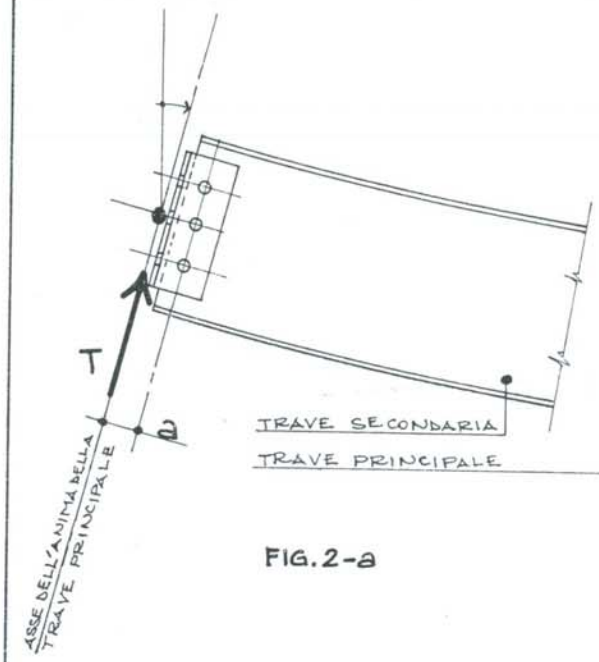


FIG. 2-a

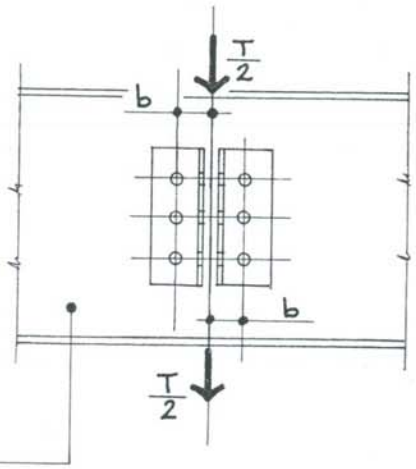


FIG. 2-b

PERTANTO LA DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI VA CONDOTTA RIFERENDOSI ALL'IPOTESI SEMPLIFICATIVA DELLA FIG. 3-a, PER L'UNIONE DELLE SQUADRETTE ALLA TRAVE SECONDARIA, ED A QUELLA DELLA FIG. 3-b PER L'UNIONE ALLA TRAVE PRINCIPALE.

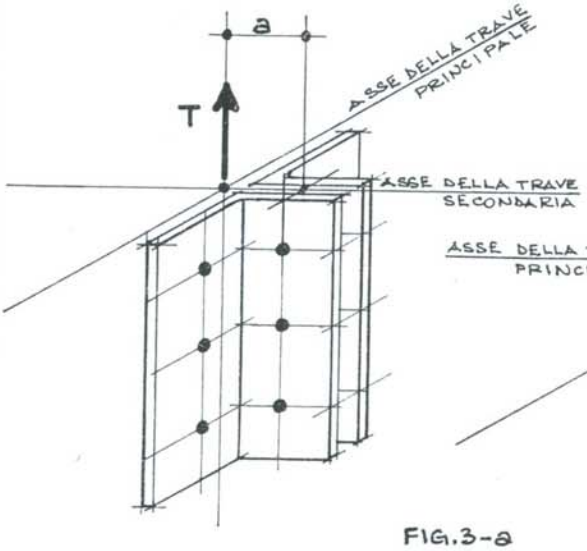


FIG. 3-a

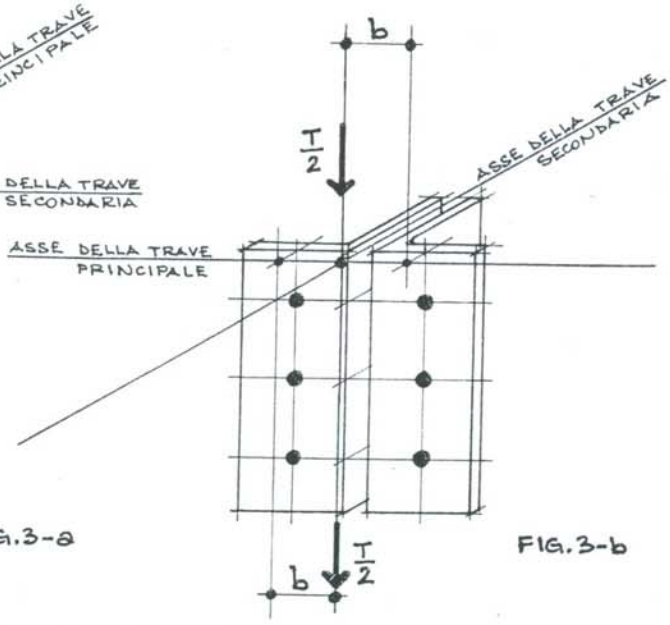


FIG. 3-b

Prendiamo quindi in esame l'unione riportata nella fig. 4, e sia T lo sforzo di taglio da trasmettere.

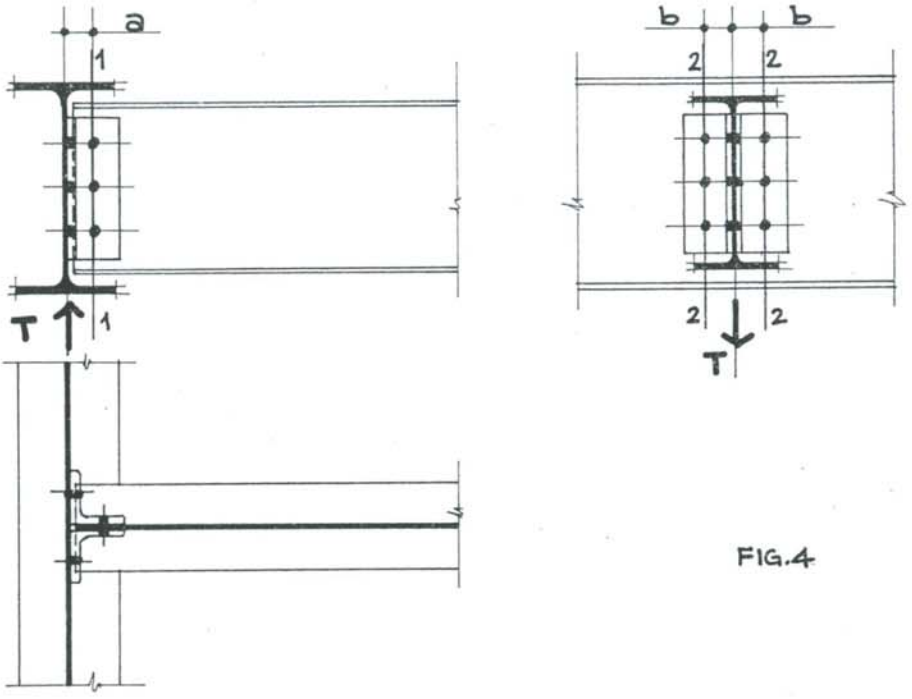


FIG.4

Nella sezione 1-1 si hanno le seguenti caratteristiche delle sollecitazioni:

$$(1)\quad \begin{cases} T_1 = T \\ M_1 = T \cdot a \end{cases}$$

Nelle sezioni 2-2 si ha analogamente:

$$(2)\quad \begin{cases} T_2 = \frac{T}{2} \\ M_2 = \frac{T}{2} \cdot b \end{cases}$$

— Le (1) inducono nei bulloni le seguenti forze:

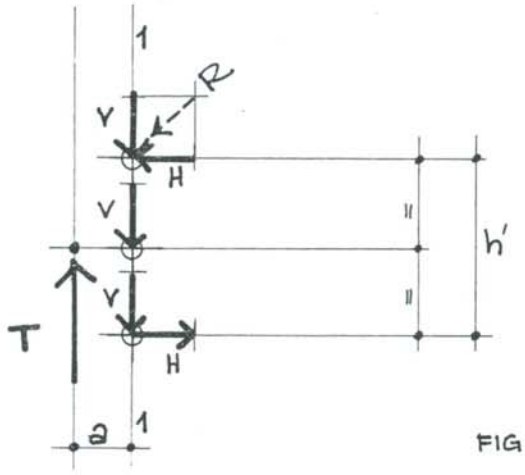


FIG. 5

$$V = \frac{T_1}{n} \qquad H = \frac{M_1}{h'} \qquad (n = 3 = \text{numero dei bulloni})$$

$$R = \sqrt{V^2 + H^2}$$

— Analogamente le (2) inducono nei bulloni le seguenti forze:

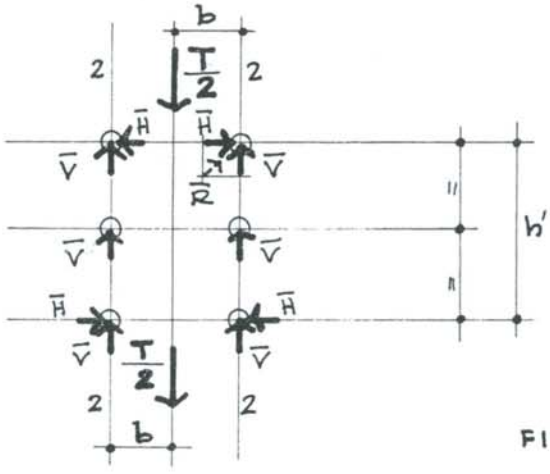


FIG. 6

$$\bar{V} = \frac{T_2}{n} \qquad \bar{H} = \frac{M_2}{h'} \qquad (n = 3 = \text{numero dei bulloni su una squadretta})$$

$$\bar{R} = \sqrt{\bar{V}^2 + \bar{H}^2}$$

Gli elementi strutturali interessati dalle forze V, $\bar{V}$, H e $\bar{H}$ sono:

- I BULLONI
- LE SQUADRETTE
- LE TRAVI

Di norma l'unione è realizzata con angolari a lati uguali e con bulloni di un solo diametro. Inoltre lo spessore dell'anima della trave principale è maggiore di quello della trave secondaria.

Da ciò consegue che di norma la sezione più sollecitata è la 1-1 delle figg. 4 e 5.

PROCEDIAMO, PERTANTO, ALLA VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI INTERESSATI DALLA SEZIONE 1-1 DELLA FIG. 7.

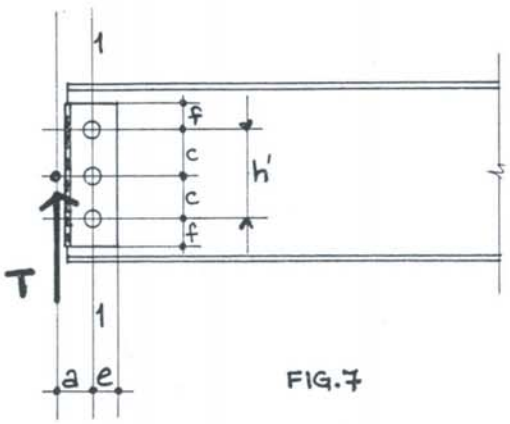


FIG.7

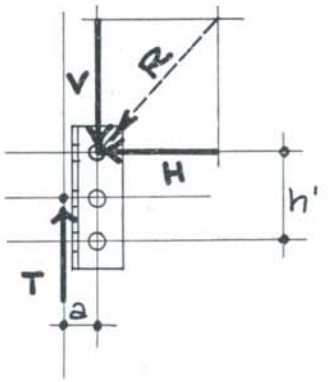


FIG.8

$$V = \frac{T}{n} \qquad H = \frac{T \cdot a}{h'} \qquad (n = 3 = \text{numero dei bulloni})$$

$$R = \sqrt{V^2 + H^2}$$

A- **BULLONI**

I bulloni sono impegnati simmetricamente in due sezioni di taglio.

Pertanto, ciascuna sezione del bullone più sollecitato è sottoposta allo sforzo di taglio $\frac{R}{2}$.

Si ha dunque la seguente formula di verifica:

$$\tau_b = \frac{R}{2 \cdot \bar{A}_r} \leq \tau_{b,am}$$

dove $\bar{A}_r$ è l'area della sezione resistente della vite in corrispondenza del gambo.

B- **SQUADRETTE**

La coppia di squadrette è sottoposta nella sezione 1-1 alle seguenti caratteristiche delle sollecitazioni:

$$\begin{cases} T_1 = T \\ M_1 = T \cdot 2 \end{cases}$$

La sezione resistente, di contro, è la seguente:

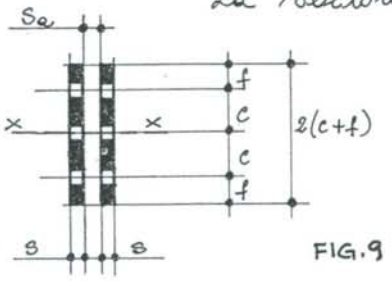


FIG.9

A_M = AREA DELLA SEZIONE 1-1 DEPURATA DEI FORI

$(W_x)_M$ = MODULO DI RESISTENZA DELLA SEZIONE 1-1 DEPURATA DEI FORI

Si hanno dunque le formule di verifica:

$$\sigma = \frac{M_1}{(W_x)_M} \qquad \tau_{med} = \frac{T_1}{A_M}$$

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau_{med}^2} \leq \sigma_{am}$$

- Inoltre ciascuna squadretta è sottoposta, in corrispondenza dei bulloni esterni, ad azioni che danno luogo a concentrazioni di tensioni -

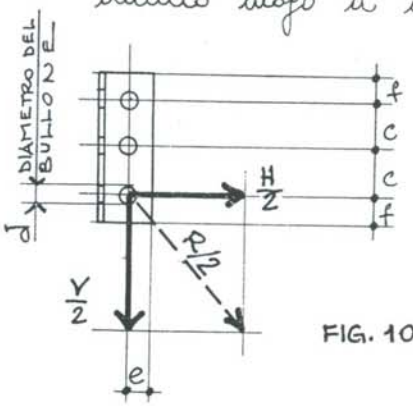


FIG. 10

Pertanto sarà opportuno rispettare le seguenti relazioni:

$$c \geq 3 \cdot d$$

$$e \geq 2 \cdot d$$

$$f \geq 2 \cdot d$$

e adottare squadrette aventi spessore circa uguale a quello dell'anima della trave secondaria -

C - TRAVE SECONDARIA

- L'anima della trave secondaria risulta impegnata dalla pressione sul contorno del foro esercitata dai bulloni - Di norma la suddetta pressione di rifollamento risulta determinante al fine del dimensionamento del collegamento -

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

$$\sigma_{rif} = \frac{R}{d \cdot s_a} \leq (\sigma_{rif})_{amm} = 1{,}15 \times 2 \cdot \sigma_{amm}$$

dove s_a è lo spessore dell'anima della trave secondaria -

- Talvolta, in corrispondenza del collegamento, alla trave secondaria vengono asportate una o entrambe le ali. In tal caso dovrà anche verificarsi che le sezioni ridotte 1-1 e 3-3 siano in grado di sopportare l'azione tagliante ed il momento flettente in esse agenti (vedi figg. 11-a-b).

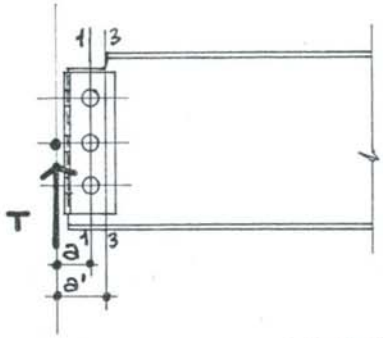


FIG.11-a

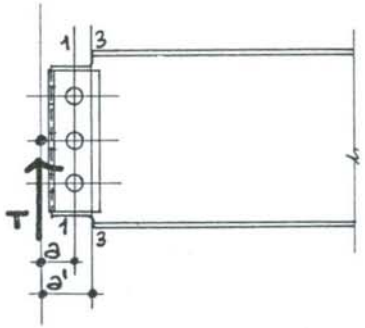


FIG.11-b

IN FUNZIONE DEL NUMERO E DELLA DISTRIBUZIONE DEI BULLONI POSSIAMO RACCOGLIERE LE VARIE TIPOLOGIE DI UNIONI DEL TIPO DESCRITTO IN QUATTRO GRUPPI FONDAMENTALI (VEDI FIGG. 12-13-a-b).

PRIMO GRUPPO

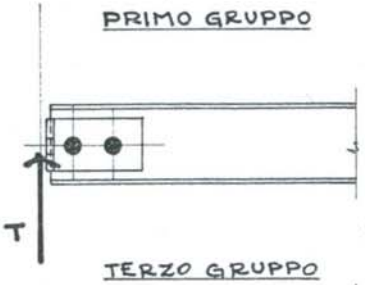


FIG.12-a

SECONDO GRUPPO

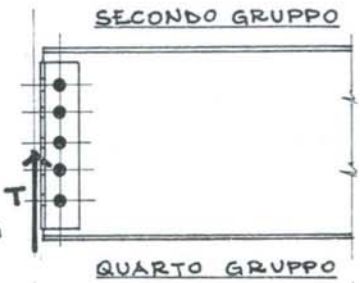


FIG.12-b

TERZO GRUPPO

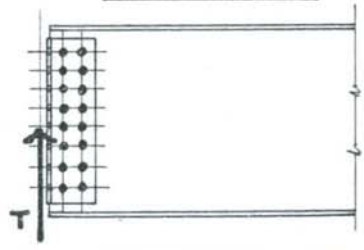


FIG.13-a

QUARTO GRUPPO

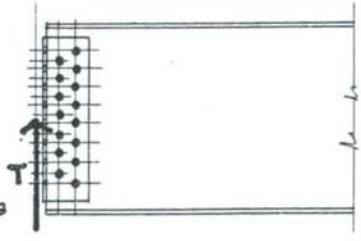


FIG.13-b

PER CIASCUN GRUPPO INDICHIAMO QUI DI SEGUITO ALCUNE FORMULE PER LA DETERMINAZIONE DI V - H - R.

A - PRIMO GRUPPO

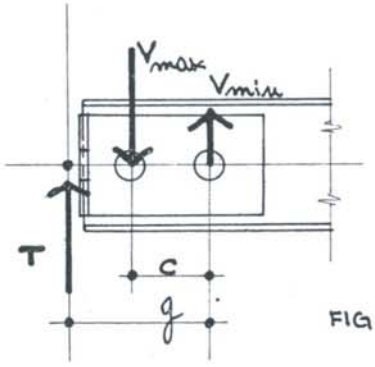


FIG. 14

$$V_{max} = \frac{T \cdot g}{c}$$

$$V_{min} = T - V_{max}$$

$$H = 0 \qquad R = V_{max}$$

B - SECONDO GRUPPO

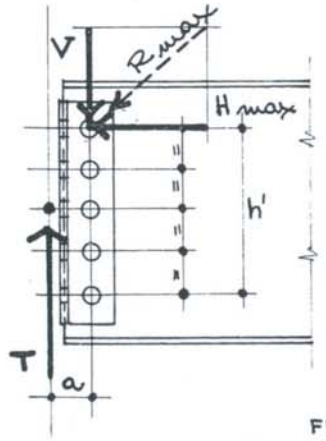


FIG. 15

$$V = \frac{T}{n}$$

$$H_{max} = f \cdot \frac{T \cdot a}{h'}$$

$$R_{max} = \sqrt{V^2 + H_{max}^2}$$

dove:

n = NUMERO DI BULLONI SULLA FILA VERTICALE

$$f = \frac{6\,(n-1)}{n\,(n+1)}$$

Al variare di n da 2 a 20, il coefficiente f assume i valori riportati nel prospetto a lato-

n	f	n	f	n	f	n	f
		6	0,714	11	0,455	16	0,331
2	1,000	7	0,643	12	0,423	17	0,314
3	1,000	8	0,583	13	0,396	18	0,298
4	0,900	9	0,533	14	0,371	19	0,284
5	0,800	10	0,491	15	0,350	20	0,271

C - TERZO GRUPPO

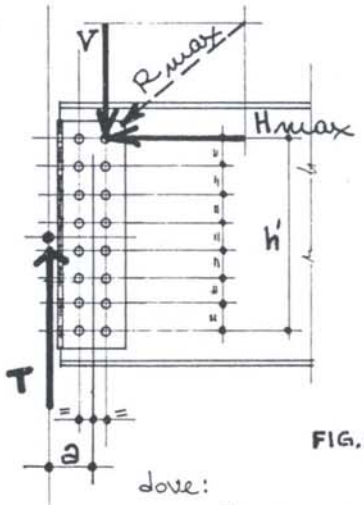


FIG. 16

$$V = \frac{T}{2 \cdot n}$$

$$H_{max} = f \cdot \frac{T \cdot a}{h'}$$

$$R_{max} = \sqrt{V^2 + H_{max}^2}$$

dove:

n = NUMERO DI BULLONI SU UNA FILA VERTICALE

$$f = \frac{6\,(n-1)}{2 \cdot n\,(n+1)}$$

Al variare di n da 2 a 20, il coefficiente f assume i valori riportati nel seguente prospetto -

n	f	n	f	n	f	n	f
		6	0,357	11	0,228	16	0,166
2	0,500	7	0,322	12	0,212	17	0,157
3	0,500	8	0,292	13	0,198	18	0,149
4	0,450	9	0,267	14	0,186	19	0,142
5	0,400	10	0,246	15	0,175	20	0,136

D - QUARTO GRUPPO

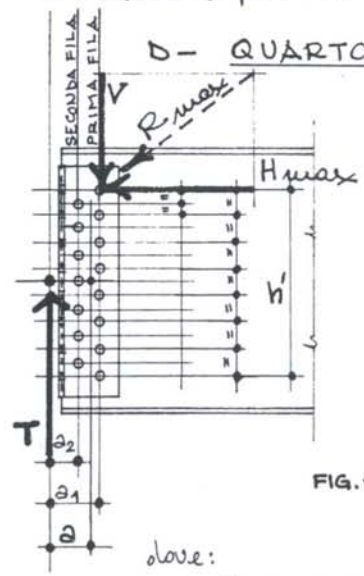


FIG. 17

$$a = \frac{n_1 \cdot a_1 + n_2 \cdot a_2}{n_1 + n_2}$$

$$V = \frac{T}{n_1 + n_2}$$

$$H_{max} = f \cdot \frac{T \cdot a}{h'}$$

$$R_{max} = \sqrt{V^2 + H_{max}^2}$$

dove:

n_1 = NUMERO DI BULLONI SULLA PRIMA FILA VERTICALE.

n_2 = NUMERO DI BULLONI SULLA SECONDA FILA VERTICALE -

$$f = \frac{6\,(n_1 - 1)}{n_1\,(2 \cdot n_1 - 1)}$$

Al variare di n_1 da 2 a 20, il coefficiente f assume i valori riportati nel prospetto a lato -

n_1	f	n_1	f	n_1	f	n_1	f
		6	0,455	11	0,260	16	0,181
2	1,000	7	0,396	12	0,239	17	0,171
3	0,800	8	0,350	13	0,222	18	0,162
4	0,643	9	0,314	14	0,206	19	0,153
5	0,533	10	0,284	15	0,193	20	0,146

ESEMPIO

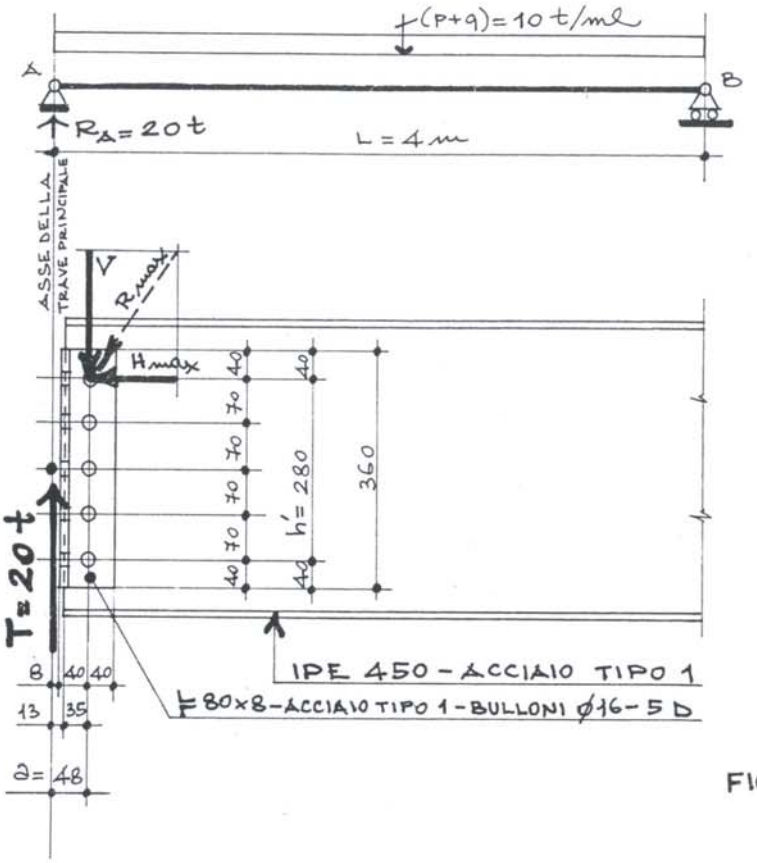


FIG. 18

$$V = \frac{T}{n} = \frac{20}{5} = 4\ t$$

$$H_{max} = f \cdot \frac{T \cdot a}{h'} = 0{,}800 \times \frac{20 \times 4{,}8}{28} = 2{,}74\ t$$

$$R_{max} = \sqrt{V^2 + H_{max}^2} =$$

$$= \sqrt{4^2 + 2{,}74^2} = \qquad \underline{4{,}85\ t}$$

A - VERIFICA DEI BULLONI

$$\tau_b = \frac{R_{max}}{2 \cdot A_r} = \frac{4,85}{2 \times 2,01} = \underline{1,21}\ t/cmq < \tau_{b,am} = 1,5\ t/cmq$$

B - VERIFICA DELLE SQUADRETTE

$$\begin{cases} T_1 = T = 20\ t \\ M_1 = T \cdot a = 20 \times 4,8 = 96\ t \times cm \end{cases}$$

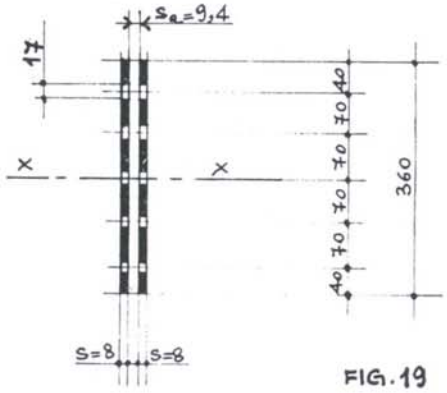


FIG. 19

$$A_n = 2 \times 36 \times 0,8 - 10 \times 1,7 \times 0,8 = \underline{44}\ cmq$$

$$(J_x)_n \cong \frac{1}{12} \cdot 2 \times 0,8 \times 36^3 - 4\,(1,7 \times 0,8) \cdot 14^2 - 4\,(1,7 \times 0,8) \cdot 7^2 = 4.888\ cm^4$$

$$(W_x)_n = \frac{4.888}{18} = \underline{272\ cm^3}$$

$$\sigma = \frac{M_1}{(W_x)_n} = \frac{96}{272} = 0,35\ t/cmq$$

$$\tau_{med} = \frac{T_1}{A_n} = \frac{20}{44} = 0,45\ t/cmq$$

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau_{med}^2} = \sqrt{0,35^2 + 3 \times 0,45^2} = \underline{0,85\ t/cmq} < \sigma_{am} = 1,6\ t/cmq$$

C - VERIFICA DELLA TRAVE SECONDARIA

$$\sigma_{rif} = \frac{R_{max}}{d \cdot s_a} = \frac{4,85}{1,6 \times 0,94} = \underline{3,22\ t/cmq} < (\sigma_{rif})_{am} =$$

$$= 1,15 \times 2 \cdot \sigma_{am} = 3,68\ t/cmq$$

1-1-2- NODO CERNIERA PER TRAVI CONTINUE

In questo collegamento il trasferimento degli sforzi di taglio dalla trave secondaria alla principale avviene collegando le anime con squadrette in angolari e bulloni - Inoltre la continuità strutturale delle ali della trave secondaria, interrotta dalla trave principale, viene ripristinata da un copriginto bullonato per l'ala superiore e da due imbottiture, da forzare al montaggio, per l'ala inferiore (fig. 1-b)-

Il dimensionamento del "nodo-cerniera" si traduce praticamente nella scelta delle squadrette, del copriginto e dei bulloni, compatibilmente con le caratteristiche geometriche delle travi da unire, e nella verifica di tutti gli elementi che concorrono staticamente alla definizione del collegamento (bulloni, squadrette, copriginto, trave secondaria e trave principale) (fig. 1-b)-

La verifica viene condotta sulla base delle seguenti ipotesi semplificative:

- SI ASSUME UGUALE A ZERO LA RIGIDEZZA TORSIONALE DELLA TRAVE PRINCIPALE -
- SI SUPPONE CHE I BULLONI REAGISCANO SOLTANTO A SFORZI DI TAGLIO -

con ciò si assume l'ipotesi semplificativa che il momento flettente M_f venga trasmesso integralmente dalle ali della trave secondaria (figg. 20-21)-

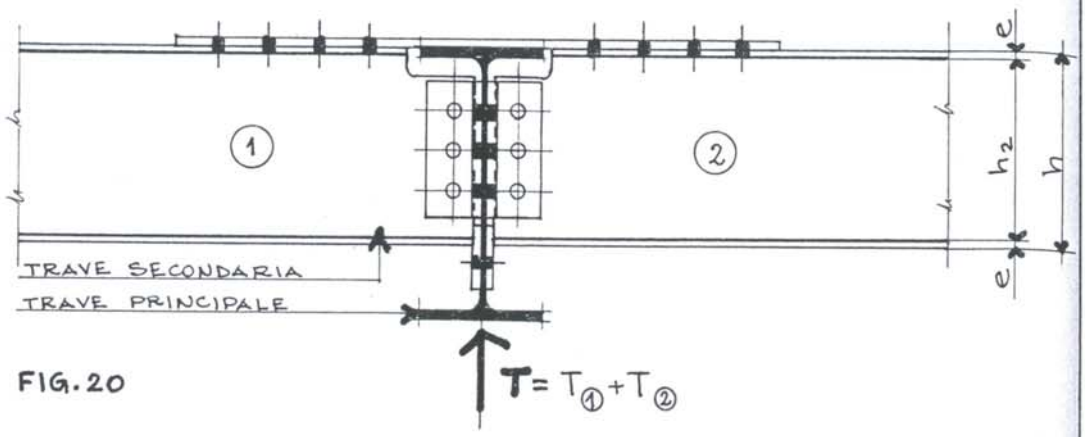


FIG. 20

PERTANTO LA DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI VA CONDOTTA RIFERENDOSI ALL'IPOTESI SEMPLIFICATIVA DELLA FIG. 21_

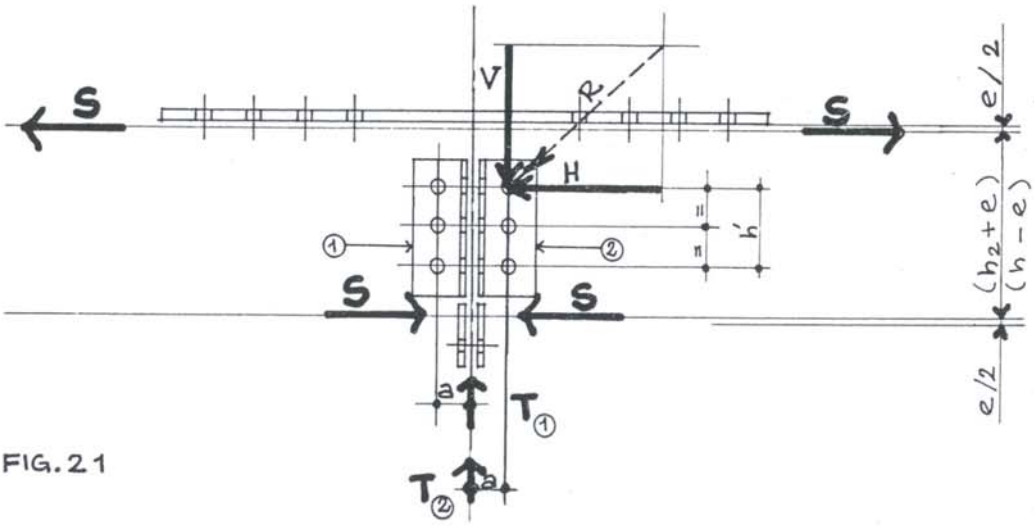


FIG. 21

GLI ELEMENTI STRUTTURALI DA DIMENSIONARE SONO :

- I BULLONI
- LE SQUADRETTE
- IL COPRIGIUNTO
- LE TRAVI

(PER LE IMBOTTITURE INFERIORI NON E' OVVIAMENTE NECESSARIO ALCUN DIMENSIONAMENTO)_

A - BULLONI

- BULLONI PER ATTACCO DELLE SQUADRETTE

Siano le squadrette in angolari a lati uguali e lo spessore dell'anima della trave principale maggiore di quello della secondaria -

Se $T_{②} > T_{①}$, le squadrette più sollecitate risultano le ② -

Per esse si ha :

$$V = \frac{T_{②}}{n} \qquad H = \frac{T_{②} \cdot a}{h'} \qquad (n = 3 = \text{numero dei bulloni})$$

$$R = \sqrt{V^2 + H^2}$$

$$\tau_b = \frac{R}{i \cdot \bar{A}_r} \leq \tau_{b,am}$$

dove $\bar{A}_r$ è l'area della sezione resistente della vite in corrispondenza del gambo -

- BULLONI PER ATTACCO DEL COPRIGIUNTO

Lo sforzo di trazione che sollecita il coprigiunto vale (fig. 21) :

$$S = \frac{M_f}{h - e}$$

Adottando bulloni aventi area della sezione resistente $\bar{A}_r$ e tensione ammissibile a taglio $\tau_{b,am}$, ciascun bullone è in grado di trasmettere su una sezione di taglio lo sforzo:

$$T_b = \bar{A}_r \cdot \tau_{b,am}$$

Pertanto il numero di bulloni n strettamente necessari per ogni lato del coprigiunto vale :

$$n = \frac{S}{T_b} = \frac{S}{\bar{A}_r \cdot \tau_{b,am}}$$

B- SQUADRETTE

PER LA VERIFICA DELLE SQUADRETTE VALE QUANTO DESCRITTO PER IL "NODO CERNIERA PER TRAVI APPOGGIATE"-

C- COPRIGIUNTO

Lo sforzo di trazione che sollecita il coprigiunto è dato dalla relazione (fig 21) :

$$S = \frac{M_f}{h-e}$$

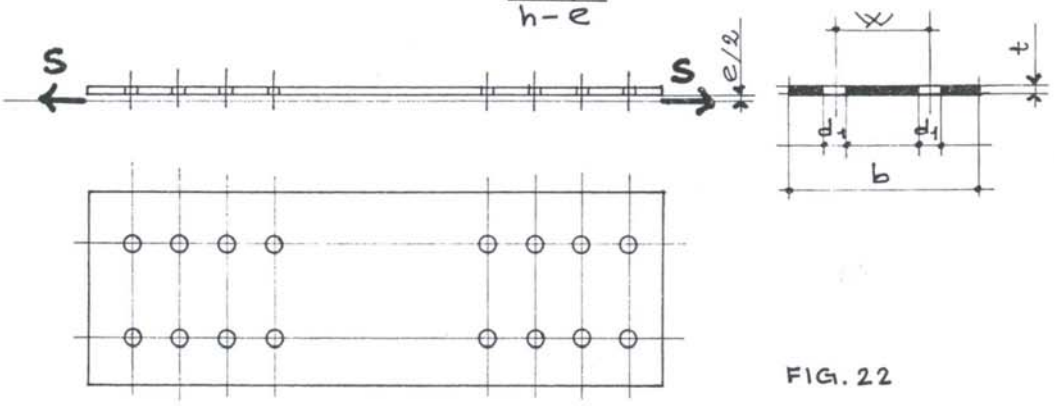


FIG. 22

L'area della sezione netta minima del coprigiunto vale :

$$A_n = b \cdot t - n_1 \cdot d_1 \cdot t = t\,(b - n_1 \cdot d_1)$$

dove n_1 è il numero di fori disposti nella sezione trasversale -

Di conseguenza, ponendo:

$$A_n \cdot \sigma_{am} = S$$

e sostituendo:

$$t\,(b - n_1 \cdot d_1)\,\sigma_{am} = S$$

si ha: $$t = \frac{S}{\sigma_{am}\,(b - n_1 \cdot d_1)} = \frac{M_f}{\sigma_{am}\,(b - n_1 \cdot d_1)(h-e)}$$

E' pertanto possibile determinare lo spessore del coprigiunto con la formula semplificativa:

$$t = \frac{M_f}{\sigma_{am}(b - n_1 \cdot d_1)(h - e)}$$

in cui:

M_f = momento flettente agente nella sezione di giunto-

σ_{am} = tensione ammissibile del coprigiunto-

b = larghezza del coprigiunto-

n_1 = numero dei fori disposti nella sezione trasversale del coprigiunto (sezione più debole)-

d_1 = diametro dei fori-

$(h-e)$ = distanza fra gli assi baricentrici delle ali della trave-

D- <u>TRAVE SECONDARIA</u>

PER LA VERIFICA DELLA TRAVE SECONDARIA VALE QUANTO DESCRITTO PER IL "NODO CERNIERA PER TRAVI APPOGGIATE".

ESEMPIO

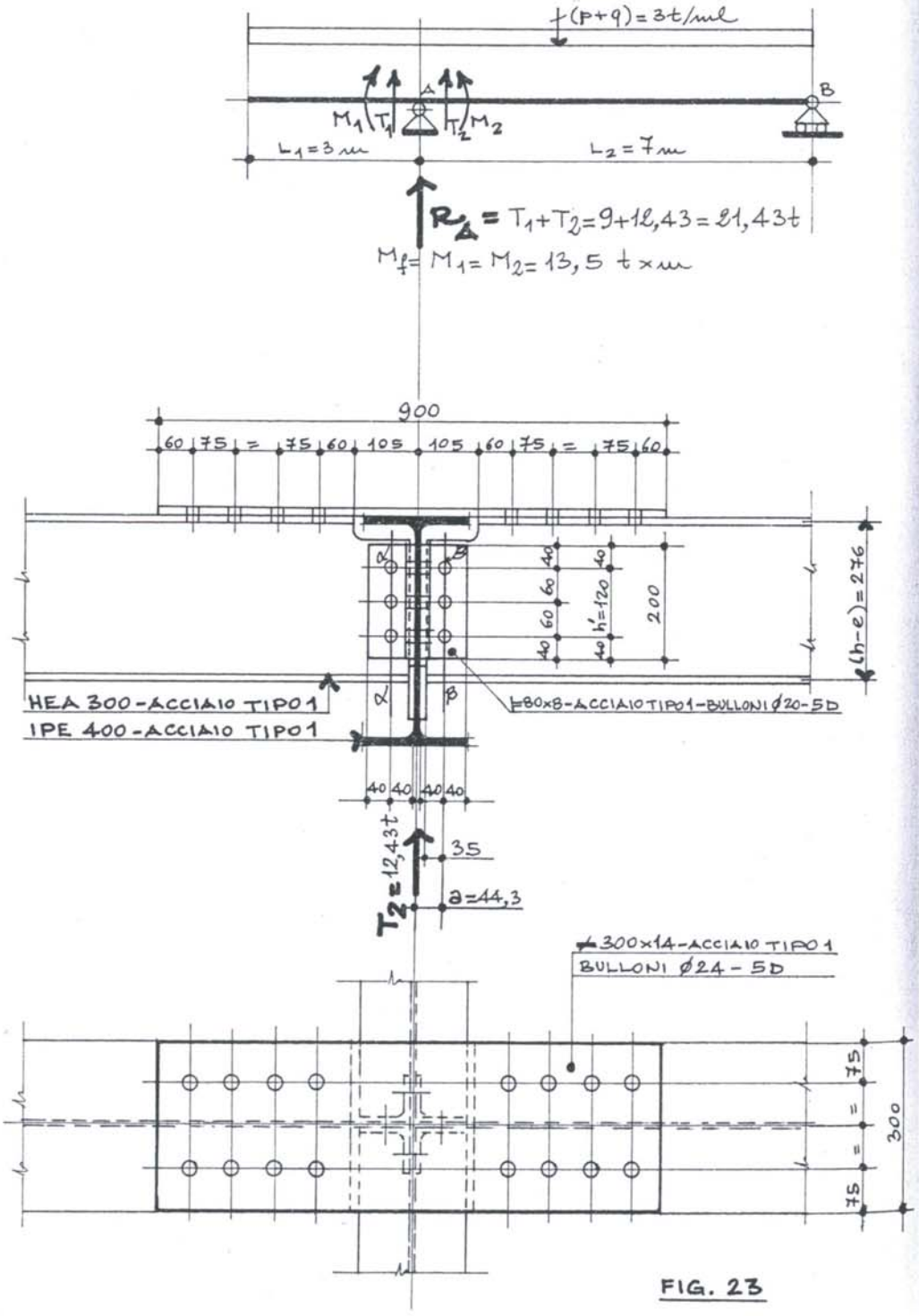


FIG. 23

A - BULLONI

- VERIFICA DEI BULLONI ALL'ATTACCO DELLE SQUADRETTE ALLA TRAVE SECONDARIA

$T_1 = 9\ t$ $\qquad T_2 = 12,43\ t$

$T_2 > T_1$

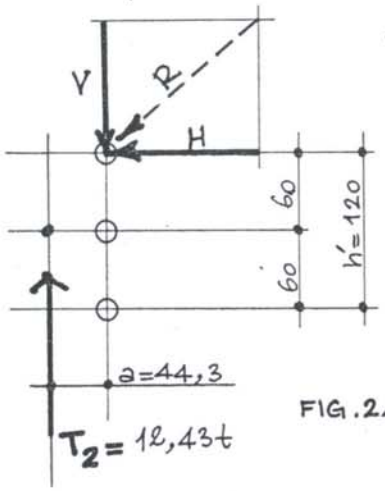


FIG.24

$$V = \frac{T_2}{n} = \frac{12,43}{3} = 4,14\ t$$

$$H = \frac{T_2 \cdot a}{h'} = \frac{12,43 \times 4,43}{12} = 4,59\ t$$

$$R = \sqrt{V^2 + H^2} = \sqrt{4,14^2 + 4,59^2} = \underline{6,18\ t}$$

$$\tau_b = \frac{R}{2 \times \bar{A}_n} = \frac{6,18}{2 \times 3,14} = \underline{0,98\ t/cmq} < \tau_{b,am} = 1,5\ t/cmq$$

- DETERMINAZIONE DEL NUMERO DI BULLONI ALL'ATTACCO DEL COPRIGIUNTO

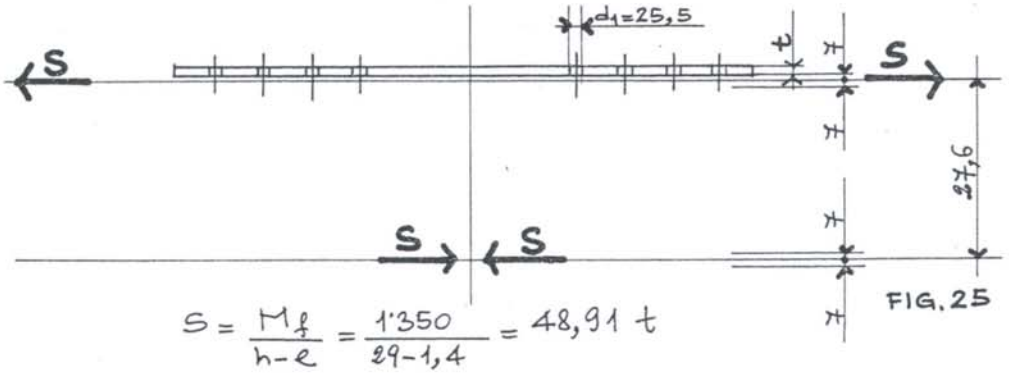


FIG.25

$$S = \frac{M_f}{h - e} = \frac{1'350}{29 - 1,4} = 48,91\ t$$

$$n = \frac{S}{\bar{A}_n \cdot \tau_{b,am}} = \frac{48,91}{4,52 \times 1,5} \cong \underline{8\ \phi 24 - 5D}$$

B- VERIFICA DELLE SQUADRETTE

$$T_2 > T_1$$

$$\begin{cases} T_p = T_2 = 12,43\ t \\ M_p = T_2 \cdot a = 12,43 \times 4,43 = 55,06\ t \times cm \end{cases}$$

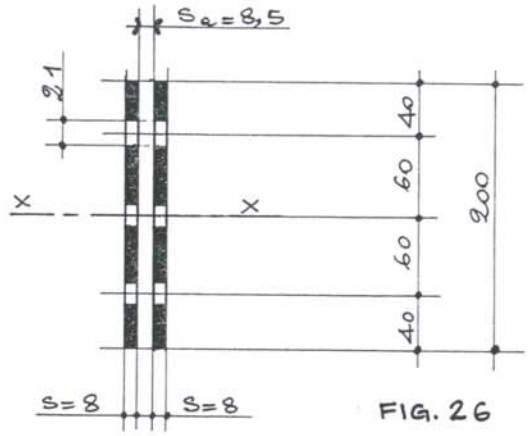


FIG. 26

$$A_n = 2 \times 20 \times 0,8 - 6 \times 2,1 \times 0,8 = 21,92\ cm^2$$

$$(J_x)_n \cong \frac{1}{12} \cdot 2 \times 0,8 \times 20^3 - 4\,(2,1 \times 0,8) \cdot 6^2 = 825\ cm^4$$

$$(W_x)_n = \frac{825}{10} = \underline{82,5\ cm^3}$$

$$\sigma = \frac{M_p}{(W_x)_n} = \frac{55,06}{82,5} = 0,67\ t/cm^2$$

$$\tau_{med} = \frac{T_p}{A_n} = \frac{12,43}{21,92} = 0,57\ t/cm^2$$

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau_{med}^2} = \sqrt{0,67^2 + 3 \times 0,57^2} =$$

$$= \underline{1,19\ t/cm^2} < \sigma_{am} = 1,60\ t/cm^2$$

C- DETERMINAZIONE DELLO SPESSORE DEL COPRIGIUNTO
(VEDI FIG. 25)

$$t = \frac{M_f}{\sigma_{am}(b - n_1 \cdot d_1)(h - e)} =$$

$$= \frac{1'350}{1,60\,(30 - 2 \times 2,55)(29 - 1,4)} = 1,23\ cm \cong \underline{14\ mm}$$

D- VERIFICA DELLA TRAVE SECONDARIA

-VERIFICA A RIFOLLAMENTO

$$\sigma_{rif} = \frac{R}{d \cdot S_a} = \frac{6,18}{2 \times 0,85} = 3,64\ t/cmq < (\sigma_{rif})_{am} = 3,68\ t/cmq$$

-VERIFICA IN CORRISPONDENZA DELLA SPALLATURA

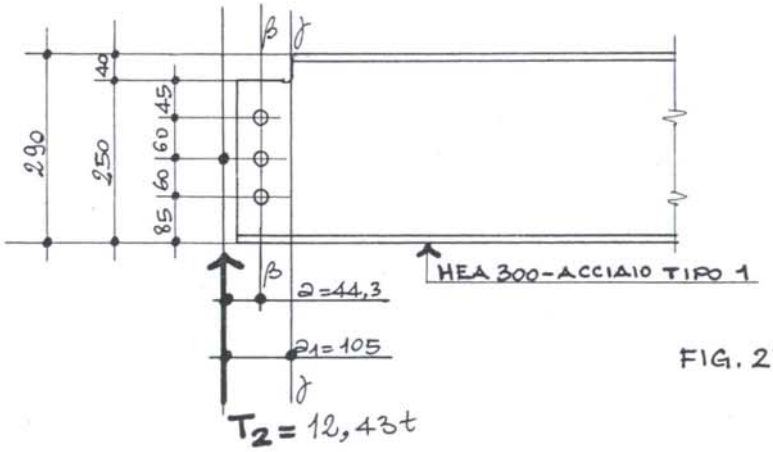


FIG. 27

- SEZIONE β-β

$$\begin{cases} T_\beta = T_2 = 12,43\ t \\ M_\beta = T_2 \cdot 2 = 12,43 \times 4,43 = 55,06\ t \times cm \end{cases}$$

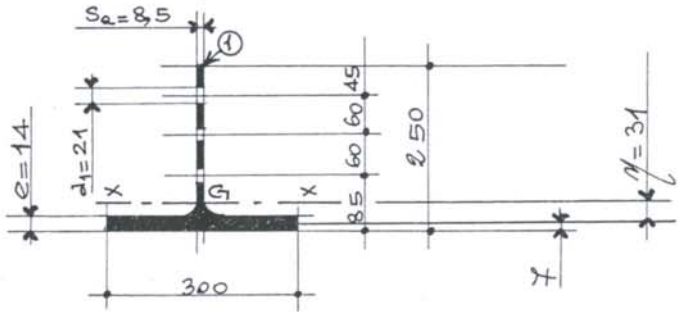


FIG. 28

$$\eta = \frac{(0,85 \times 23,6) \cdot 12,5 - (0,85 \times 2,10)(19,8+13,8+7,8)}{(0,85 \times 23,6) - 3\,(0,85 \times 2,10) + (1,4 \times 30)} = 3,1\ cm$$

$$J_x \cong \frac{1}{12} \cdot 0{,}85 \times 23{,}6^3 + (0{,}85 \times 23{,}6) \cdot 9{,}4^2 -$$
$$- (0{,}85 \times 2{,}10)(16{,}7^2 + 10{,}7^2 + 4{,}7^2) +$$
$$+ \frac{1}{12} \cdot 30 \times 1{,}4^3 + (1{,}4 \times 30) \cdot 3{,}1^2 = 2\cdot 355 \text{ cm}^4$$

$$(W_x)_{m①} = \frac{2\cdot 355}{21{,}2} = \underline{111 \text{ cm}^3}$$

$$(A_a)_m = 25 \times 0{,}85 - 3 \times 2{,}10 \times 0{,}85 = 15{,}9 \text{ cmq}$$

$$\sigma_① = \frac{M_\beta}{(W_x)_{m①}} = \frac{55{,}06}{111} = 0{,}50 \text{ t/cmq}$$

$$\tau_{med} = \frac{T_\beta}{(A_a)_m} = \frac{12{,}43}{15{,}9} = 0{,}78 \text{ t/cmq}$$

$$\sigma_{id①} = \sqrt{\sigma_①^2 + 3 \cdot \tau_{med}^2} =$$
$$= \sqrt{0{,}50^2 + 3 \cdot 0{,}78^2} = \underline{1{,}44 \text{ t/cmq}} < \sigma_{am} = 1{,}60 \text{ t/cmq}$$

- SEZIONE γ-γ

$$\begin{cases} T_\gamma = T_2 = 12{,}43 \text{ t} \\ M_\gamma = T_2 \cdot a_1 = 12{,}43 \times 10{,}5 = 130{,}5 \text{ t} \times \text{cm} \end{cases}$$

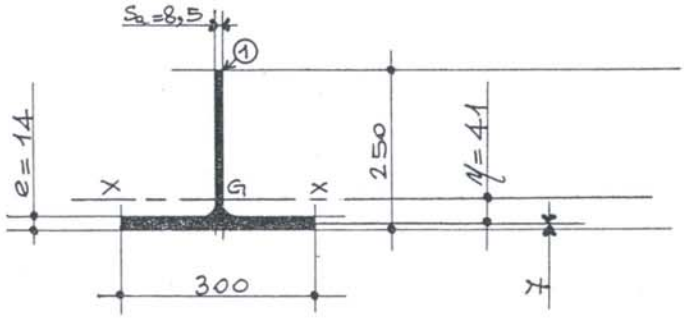


FIG. 29

$$M = \frac{(0{,}85 \times 23{,}6) \times 12{,}5}{(0{,}85 \times 23{,}6) + (1{,}4 \times 30)} = \underline{4{,}1 \text{ cm}}$$

$$J_x = \frac{1}{12} \cdot 0{,}85 \times 23{,}6^3 + (0{,}85 \times 23{,}6) \cdot 8{,}4^2 +$$
$$+ \frac{1}{12} \cdot 30 \times 1{,}4^3 + (1{,}4 \times 30) \cdot 4{,}1^2 = 3059 \text{ cm}^4$$

$$(W_x)_{①} = \frac{3059}{20{,}2} = \underline{151 \text{ cm}^3}$$

$$(A_a) = 25 \times 0{,}85 = \underline{21{,}25 \text{ cmq}}$$

$$\sigma_{①} = \frac{M_\gamma}{(W_x)_{①}} = \frac{130{,}5}{151} = 0{,}86 \text{ t/cmq}$$

$$\tau_{med} = \frac{T_\gamma}{(A_a)} = \frac{12{,}43}{21{,}25} = 0{,}58 \text{ t/cmq}$$

$$\sigma_{id①} = \sqrt{\sigma_{①}^2 + 3 \cdot \tau_{med}^2} =$$
$$= \sqrt{0{,}86^2 + 3 \cdot 0{,}58^2} = \underline{1{,}32 \text{ t/cmq}} < \sigma_{am} = 1{,}6 \text{ t/cmq}$$

E- VERIFICA DELLA TRAVE PRINCIPALE

-VERIFICA A RIFOLLAMENTO

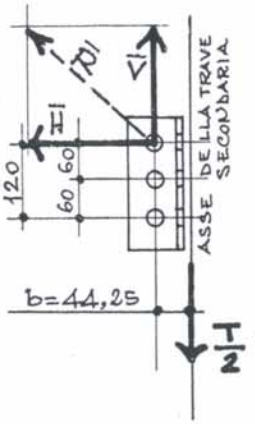


FIG. 30

$$\frac{T}{2} = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{21{,}43}{2} = 10{,}7 \text{ t}$$

$$\overline{V} = \frac{T}{2 \cdot n} = \frac{21{,}43}{2 \times 3} = 3{,}57 \text{ t}$$

$$\overline{H} = \frac{T \cdot b}{2 \cdot h'} = \frac{21{,}43 \times 4{,}425}{2 \times 12} = 3{,}95 \text{ t}$$

$$\overline{R} = \sqrt{\overline{V}^2 + \overline{H}^2} = \sqrt{3{,}57^2 + 3{,}95^2} = \underline{5{,}32 \text{ t}}$$

$$\sigma_{rif} = \frac{\overline{R}}{d \cdot s_a} = \frac{5{,}32}{2 \times 0{,}86} = \underline{3{,}09 \text{ t/cmq}} < (\sigma_{rif})_{am} = 3{,}68 \text{ t/cmq}$$

2- GIUNTI DI TRAVI A DOPPIO T

L'unione fra due tronchi di una trave, sottoposta nella sezione generica ad M e T, è di norma realizzabile secondo due tipologie fondamentali:

- UNIONE CON COPRIGIUNTI BULLONATI (FIGG. 31-32).
- UNIONE CON FLANGE (FIG. 33).

Tali unioni vanno di norma realizzate distanti dalle sezioni dove le caratteristiche delle sollecitazioni (M ; T) raggiungono i valori massimi - ciò allo scopo di avere in tali sezioni la trave non indebolita dai fori - Per il dimensionamento dei giunti con flange valgono criteri analoghi a quelli adottati per le flange dei nodi incastro di cui al paragrafo 3-2-

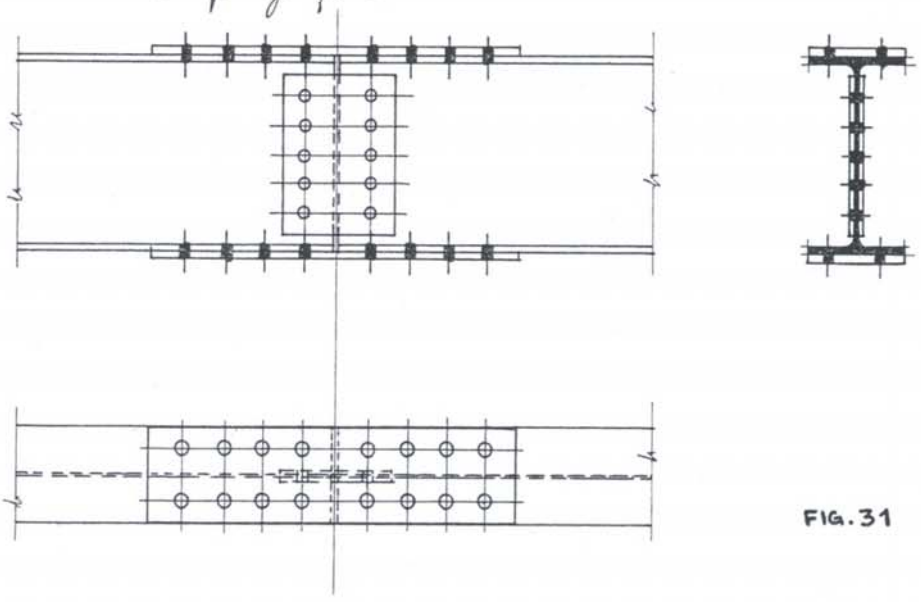


FIG. 31

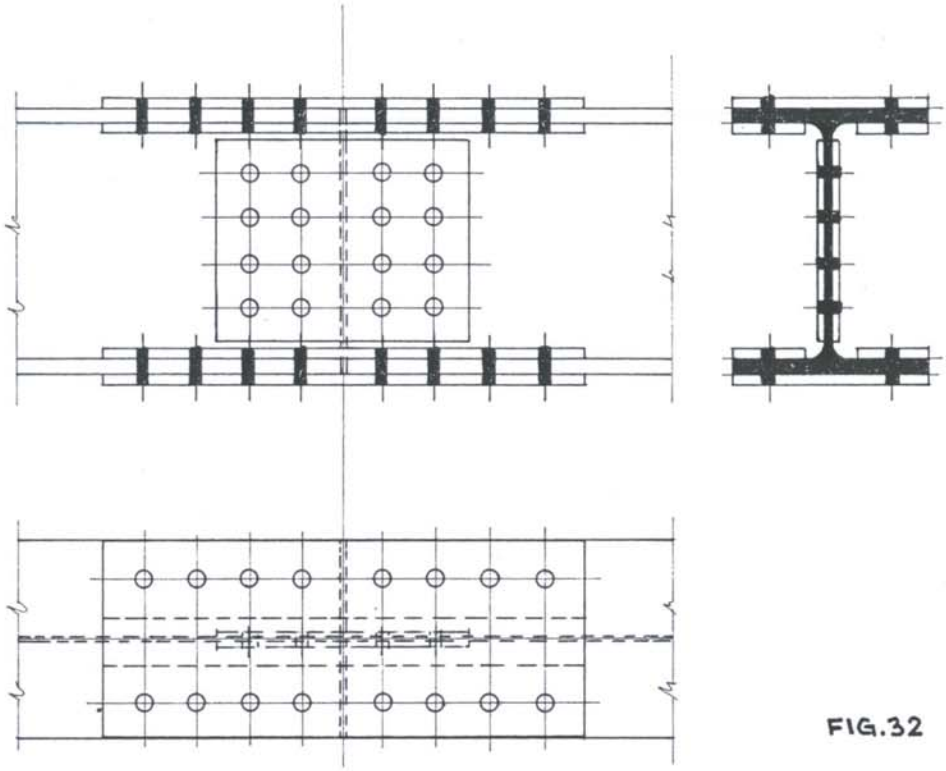


FIG.32

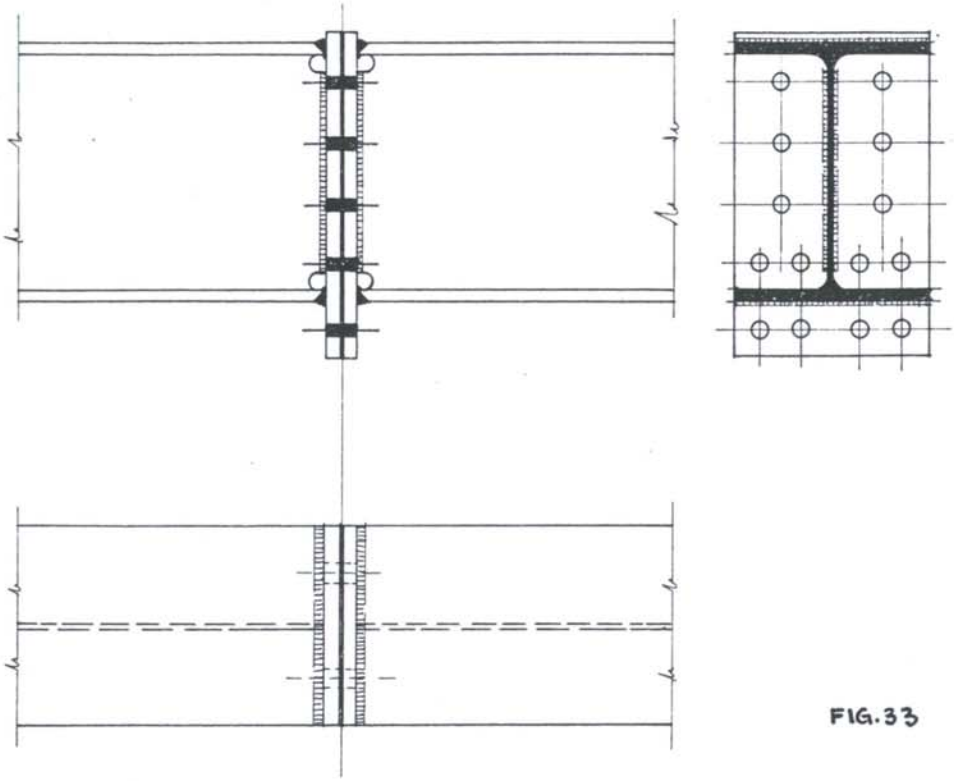


FIG.33

2-1- UNIONE CON COPRIGIUNTI BULLONATI

In questo tipo di unione le anime dei profilati vengono collegate con due coprigiunti, mentre ciascuna ala può essere collegata con semplice o con doppio coprigiunto.
Si hanno pertanto due tipi di collegamenti:

- UNIONE CON SEMPLICE COPRIGIUNTO (Fig. 31).
- UNIONE CON DOPPIO COPRIGIUNTO (Fig 32).

Se non vi sono particolari esigenze statiche o geometriche è preferibile adottare l'unione con semplice coprigiunto. Per le unioni con doppio coprigiunto valgono le considerazioni relative al semplice coprigiunto, ad eccezione dei coprigiunti d'ale. A riguardo vedasi l'unione colonna-colonna di cui al paragrafo 4-1-2.

2-1-1- UNIONE CON SEMPLICE COPRIGIUNTO

Assegnate le caratteristiche delle sollecitazioni M e T agenti nella sezione da collegare, gli elementi strutturali da dimensionare sono:

- I BULLONI
- I COPRIGIUNTI
- IL TRONCO DI TRAVE AVENTE LE CARATTERISTICHE STATICHE MINORI.

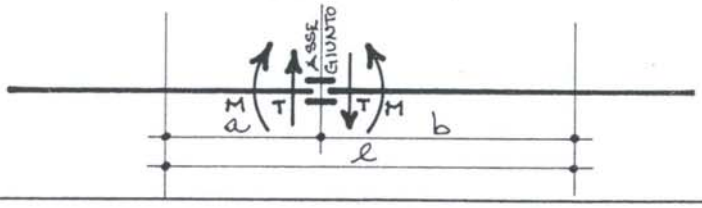


FIG. 34

A - BULLONI

Il taglio T è trasmesso integralmente dai bulloni dei coprigiunti dell'anima -

Il momento M, invece, è trasmesso in parte tramite i bulloni dei coprigiunti che collegano le ali ed in parte tramite i bulloni dei coprigiunti dell'anima -

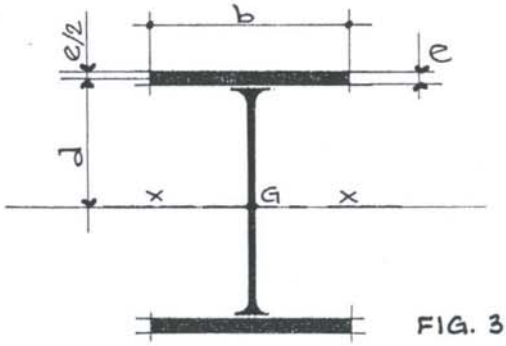


FIG. 35

(SEZIONE DEL TRONCO DI TRAVE DALLE CARATTERISTICHE STATICHE MINORI)

Chiamando M_p il momento trasmesso dai coprigiunti delle ali ed M_a quello trasmesso dai coprigiunti dell'anima, in funzione dei rispettivi momenti d'inerzia, si ha :

$$\left.\begin{aligned} M_p &= \frac{2 \cdot b \cdot e \cdot d^2}{J_x} \cdot M \\ M_a &= \left[1 - \frac{2 \cdot b \cdot e \cdot d^2}{J_x}\right] \cdot M \end{aligned}\right\} \quad M = M_p + M_a$$

dove:

J_x = momento d'inerzia della sezione trasversale del tronco di trave dalle caratteristiche statiche minori-

– BULLONI DELLE ALI

Lo sforzo che sollecita ciascun coprigiunto vale:

$$S = \frac{M_P}{h-e}$$

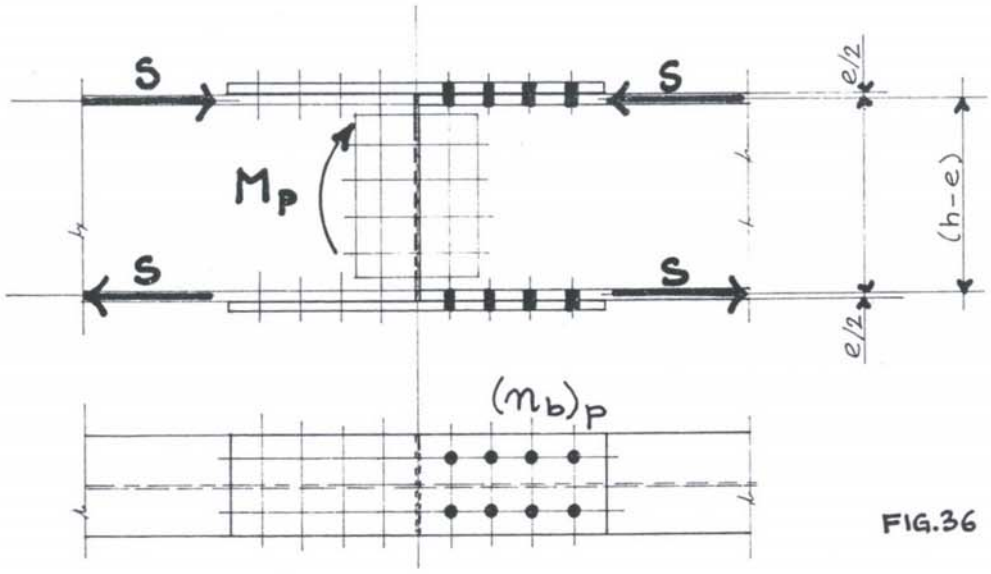


FIG.36

– PROGETTO

Adottando bulloni aventi area della sezione resistente $\bar{A}_r$ e tensione ammissibile a taglio $\tau_{b,am}$, il numero di bulloni $(\bar{n}_b)_P$ strettamente necessari per ogni lato del coprigiunto di un'ala vale:

$$(\bar{n}_b)_P = \frac{S}{\bar{A}_r \cdot \tau_{b,am}}$$

– VERIFICA

Deve essere verificata la relazione:

$$(\tau_b)_P = \frac{S}{\bar{A}_r \cdot (n_b)_P} \leq \tau_{b,am}$$

– BULLONI DELL'ANIMA (VERIFICA)

Nella sezione di giunto agiscono:

$$\begin{cases} T \\ M_a \end{cases}$$

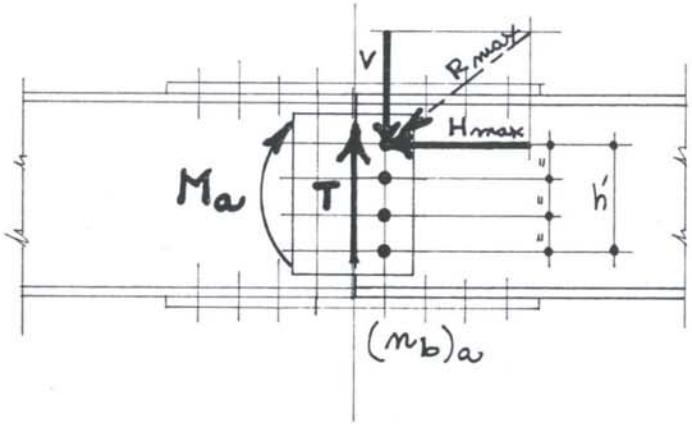


FIG. 37

che inducono in ciascun bullone le forze:

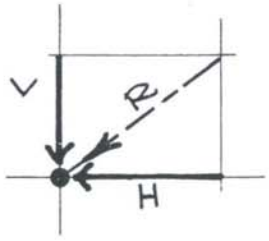


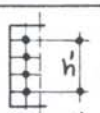
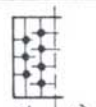
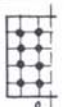
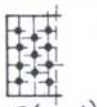
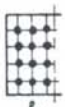
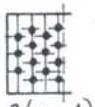
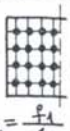
FIG. 38

che per il bullone più sollecitato valgono (vedi fig. 37):

$$V = \frac{T}{(n_b)_a} \qquad H_{max} = f \cdot \frac{M_a}{h'}$$

$$R_{max} = \sqrt{V^2 + H^2_{max}}$$

Il valore di f varia al variare della disposizione dei bulloni. Si riporta nella pagina seguente un prospetto che indica il valore di f da assumere di volta in volta.

NUMERO DI BULLONI SU UNA FILA VERTICALE n	FILA SEMPLICE  $f_1=\frac{6(n-1)}{n(n+1)}$	FILA DOPPIA  $f_2=\frac{6(n-1)}{n(2n-1)}$	 $f_2=\frac{f_1}{2}$	FILA TRIPLA  $f_3=\frac{2(n-1)}{n^2}$	 $f_3=\frac{f_1}{3}$	FILA QUADRUPLA  $f_4=\frac{3(n-1)}{n(2n-1)}$	 $f_4=\frac{f_1}{4}$
2	1,000	1,000	0,500	0,500	0,333	0,500	0,250
3	1,000	0,800	0,500	0,444	0,333	0,400	0,250
4	0,900	0,643	0,450	0,375	0,300	0,322	0,225
5	0,800	0,533	0,400	0,320	0,267	0,267	0,200
6	0,714	0,455	0,357	0,278	0,238	0,227	0,179
7	0,643	0,396	0,322	0,245	0,214	0,198	0,161
8	0,583	0,350	0,292	0,219	0,194	0,175	0,146
9	0,533	0,314	0,267	0,198	0,178	0,157	0,133
10	0,491	0,284	0,246	0,180	0,164	0,142	0,123
11	0,455	0,260	0,228	0,165	0,152	0,130	0,114
12	0,423	0,239	0,212	0,153	0,141	0,120	0,106
13	0,396	0,222	0,198	0,142	0,132	0,111	0,099
14	0,371	0,206	0,186	0,133	0,124	0,103	0,093
15	0,350	0,193	0,175	0,124	0,117	0,097	0,088
16	0,331	0,181	0,166	0,117	0,110	0,091	0,083
17	0,314	0,171	0,157	0,111	0,105	0,086	0,079
18	0,298	0,162	0,149	0,105	0,099	0,081	0,075
19	0,284	0,153	0,142	0,100	0,095	0,077	0,071
20	0,271	0,146	0,136	0,095	0,090	0,073	0,068

(Da << A. GREGOR - DER PRAKTISCHE STAHLBAU - BAND IV - TRÄGERBAU - PAG. 284).

Poiché l'anima ha due coprigiunti, i bulloni lavorano su due sezioni di taglio.

Pertanto la formula di verifica è la seguente:

$$(\tau_b)_a = \frac{R_{max}}{2 \cdot \bar{A}_n} \leq \tau_{b,am}$$

B- COPRIGIUNTI

– COPRIGIUNTI DELLE ALI

Lo sforzo che sollecita ciascun coprigiunto vale (fig.36):

$$S = \frac{M_p}{h - e}$$

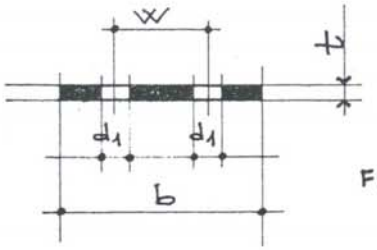


FIG. 39

$$A_n = t(b - n_1 \cdot d_1)$$

n_1 = NUMERO DI FORI DISPOSTI NELLA SEZIONE TRASVERSALE DEL COPRIGIUNTO (SEZIONE PIÚ DEBOLE).

Considerando la sezione resistente depurata dei fori, di cui alla fig.39, si ha che lo spessore t del coprigiunto vale:

$$t = \frac{M_p}{\sigma_{amm}(b - n_1 \cdot d_1)(h - e)}$$

– COPRIGIUNTI DELL'ANIMA

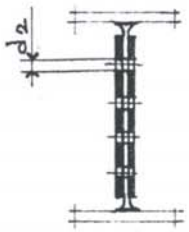


FIG.40

Dovrá essere rispettata la condizione:

$$\left[(J_x)_c\right]_n \geq \left[(J_x)_a\right]_n$$

dove:

$\left[(J_x)_a\right]_n$ = MOMENTO D'INERZIA DELLA SEZIONE DELL'ANIMA DEPURATA DEI FORI.

$\left[(J_x)_c\right]_n$ = MOMENTO D'INERZIA DELLA SEZIONE DEI COPRIGIUNTI DEPURATA DEI FORI.

C - TRONCO DI TRAVE AVENTE LE CARATTERISTICHE STATICHE MINORI

- I due tronchi di trave risultano impegnati dalla pressione sul contorno dei fori esercitata dai bulloni -

La suddetta pressione di rifollamento risulta massima nel tronco di trave avente spessori delle ali e dell'anima più piccoli -

Dovranno pertanto essere verificate le relazioni:

$$(\sigma_{rif})_p = \frac{S}{(n_b)_p \cdot d_p \cdot e} \leq (\sigma_{rif})_{am}$$

$$(\sigma_{rif})_a = \frac{R_{max}}{d_a \cdot s_a} \leq (\sigma_{rif})_{am}$$

dove:

d_p = DIAMETRO DEI BULLONI DELLE ALI
e = SPESSORE DELLE ALI

d_a = DIAMETRO DEI BULLONI DELL'ANIMA
s_a = SPESSORE DELL'ANIMA

- Inoltre sarà necessario verificare lo stesso tronco di trave in corrispondenza delle forature -

Essendo: $(W_x)_n$ = MODULO DI RESISTENZA DELLA SEZIONE DEPURATA DEI FORI -

$(A_a)_n$ = AREA DELL'ANIMA DEPURATA DEI FORI -

deve essere soddisfatta la condizione:

$$\sigma = \frac{M}{(W_x)_n} \qquad \tau_{med} = \frac{T}{(A_a)_n}$$

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau_{med}^2} \leq \sigma_{am}$$

ESEMPIO A

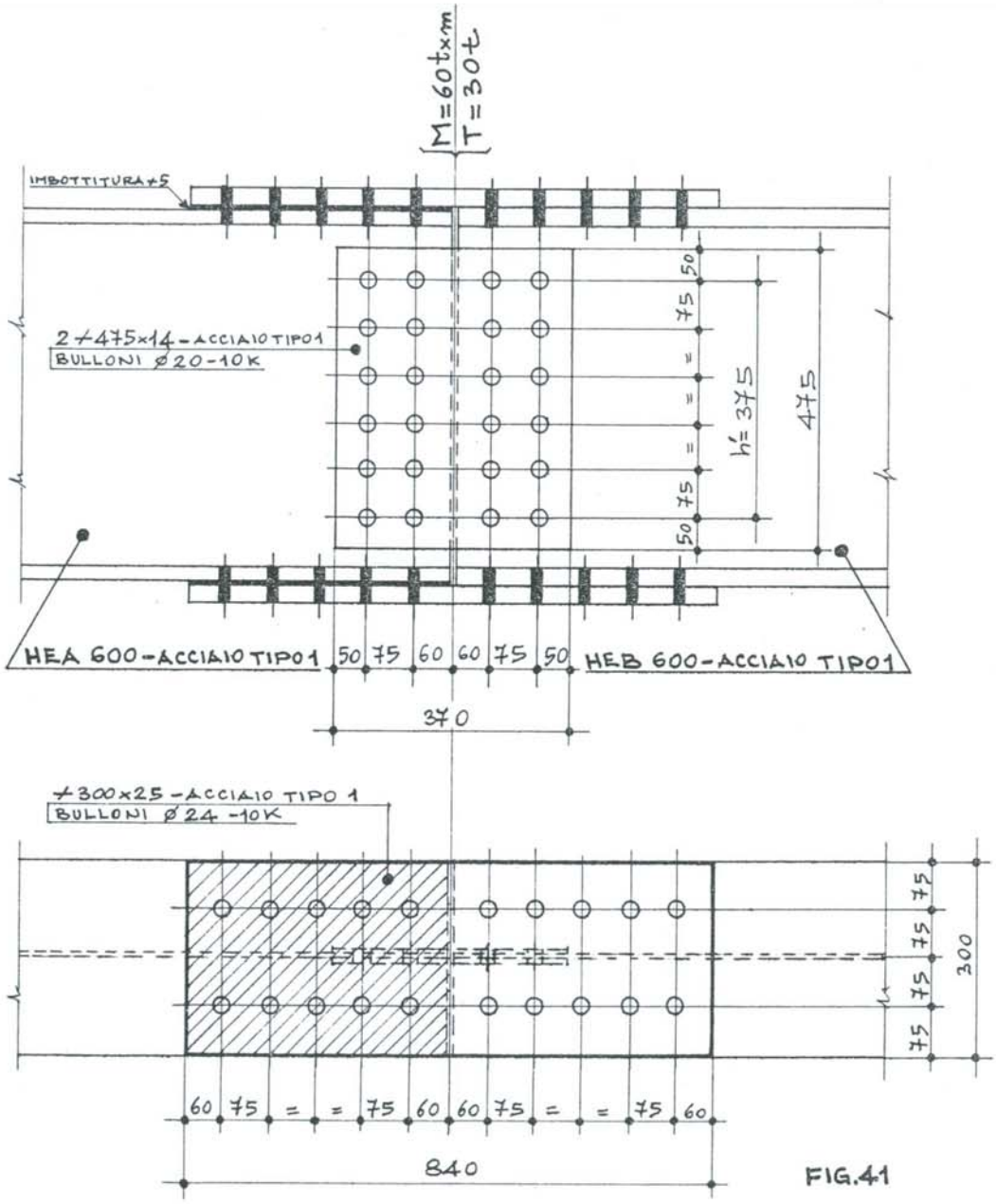


FIG.41

SIANO ASSEGNATI :

$\tau_{b,am}$ = 2,2 t/cmq (BULLONI DI CLASSE 10K)

σ_{am} = 1,6 t/cmq (ACCIAIO TIPO 1)

A - BULLONI

$$\begin{cases} M = 60 \text{ t}\times\text{m} \\ T = 30 \text{ t} \end{cases}$$

$$M_p = \frac{2 \cdot b \cdot e \cdot d^2}{J_x} \cdot M = \frac{2 \times 30 \times 2{,}5 \times 28{,}25^2}{141.203} \cdot 60 = \underline{50{,}9 \text{ t}\times\text{m}}$$

$$M_e = \left[1 - \frac{2 \cdot b \cdot e \cdot d^2}{J_x}\right] \cdot M = (1 - 0{,}848) \cdot 60 = \underline{9{,}1 \text{ t}\times\text{m}}$$

- BULLONI DELLE ALI

$$S = \frac{M_p}{h - e} = \frac{5.090}{59 - 2{,}5} = \underline{90{,}1 \text{ t}}$$

- PROGETTO

$$(\bar{n}_b)_p = \frac{S}{\bar{A}_r \cdot \tau_{b,am}} = \frac{90{,}1}{4{,}52 \times 2{,}2} = 9{,}06$$

SI ADOTTANO **10 BULLONI Ø24 - 10 K**

- VERIFICA

$$(\tau_b)_p = \frac{S}{\bar{A}_r \cdot (n_b)_p} = \frac{90{,}1}{4{,}52 \times 10} = \underline{1{,}99 \text{ t/cmq}} < \tau_{b,am} = 2{,}2 \text{ t/cmq}$$

- BULLONI DELL'ANIMA (VERIFICA)

$$V = \frac{T}{(n_b)_a} = \frac{30}{12} = 2{,}5 \text{ t} \qquad H_{max} = f \cdot \frac{M_e}{h'} = 0{,}357 \times \frac{9{,}1}{0{,}375} = 8{,}66 \text{ t}$$

$$R_{max} = \sqrt{V^2 + H_{max}^2} = \sqrt{2{,}5^2 + 8{,}66^2} = \underline{9{,}01 \text{ t}}$$

$$(\tau_b)_a = \frac{R_{max}}{2 \times \bar{A}_r} = \frac{9{,}01}{2 \times 3{,}14} = \underline{1{,}43 \text{ t/cmq}} < \tau_{b,am} = 2{,}2 \text{ t/cmq}$$

B - COPRIGIUNTI

- COPRIGIUNTI DELLE ALI

$$t = \frac{M_p}{\sigma_{am}\,(b - n_1 \cdot d_1)(h-e)} = \frac{5'090}{1{,}6\,(30 - 2\times 2{,}55)(59 - 2{,}5)} = 2{,}26 \text{ cm}$$

SI ADOTTA $\underline{+\ 300\times 25 - \text{ACCIAIO TIPO 1}}$

- COPRIGIUNTI DELL'ANIMA

SI ADOTTANO $\underline{2 + 475\times 14 - \text{ACCIAIO TIPO 1}}$

considerando la sezione trasversale depurata dei fori, si ha:

$$\left[(J_x)_a\right]_n = \left(141'203 - 2\times 30\times 2{,}5\times 28{,}25^2\right) -$$
$$- 2(2{,}1\times 1{,}3)\left(18{,}75^2 + 11{,}25^2 + 3{,}75^2\right) =$$
$$= \underline{18'806 \text{ cm}^4}$$

$$\left[(J_x)_c\right]_n = \frac{1}{12}\cdot 2{,}8\times 47{,}5^3 -$$
$$- 2(2{,}1\times 2{,}8)\left(18{,}75^2 + 11{,}25^2 + 3{,}75^2\right) =$$
$$= \underline{19'218 \text{ cm}^4}$$

Dunque resta verificato:

$$\left[(J_x)_c\right]_n > \left[(J_x)_a\right]_n$$

C- TRONCO IN HEA 600

$$(\sigma_{rif})_p = \frac{S}{(n_b)_p \cdot d_p \cdot e} = \frac{90,1}{10 \times 2,4 \times 2,5} = \underline{1,5\ t/cmq} < (\sigma_{rif})_{am} = 3,2\ t/cmq$$

$$(\sigma_{rif})_a = \frac{R_{max}}{d_a \cdot s_a} = \frac{9,01}{2 \times 1,3} = \underline{3,47\ t/cmq} < (\sigma_{rif})_{am} = 3,68\ t/cmq$$

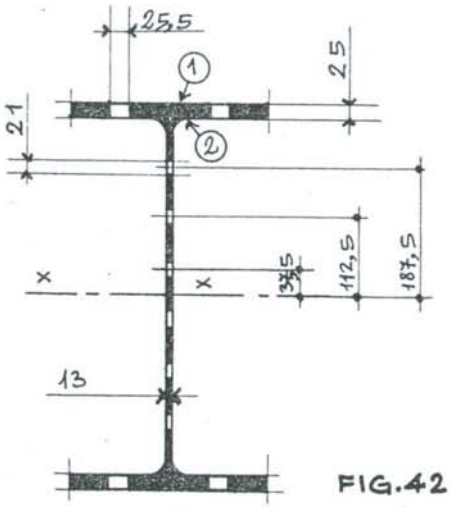


FIG.42

$$(J_x)_n = 141.203 - 4(2,55 \times 2,5) \times 28,25^2 - 2 \cdot (2,1 \times 1,3)(18,75^2 + 11,25^2 + 3,75^2) =$$

$$= 118.165\ cm^4$$

$$(W_x)_{n\,①} = \frac{118.165}{29,5} = \underline{4.006\ cm^3}$$

$$(W_x)_{n\,②} = \frac{118.165}{27} = \underline{4.376\ cm^3}$$

$$\sigma_① = \frac{M}{(W_x)_{n\,①}} = \frac{6.000}{4.006} = \underline{1,50\ t/cmq} < \sigma_{am} = 1,60\ t/cmq$$

$$\sigma_② = \frac{M}{(W_x)_{n\,②}} = \frac{6.000}{4.376} = 1,37\ t/cmq$$

$$\tau_{med} = \frac{T}{(A_a)_n} = \frac{30}{(54 - 6 \times 2,1)1,3} = \underline{0,56\ t/cmq}$$

$$\tau_② \cong \frac{T \cdot J_{tr\,p}}{s_a \cdot J_x} \cdot \frac{A_a}{(A_a)_n} = \frac{30 \times (30 \times 2,5)\,28,25}{1,3 \times 141.203} \cdot \frac{1,3 \times 54}{1,3(54 - 6 \times 2,1)} = 0,45\ t/cmq$$

$$\sigma_{id\,②} = \sqrt{\sigma_②^2 + 3 \cdot \tau_②^2} = \sqrt{1,37^2 + 3 \times 0,45^2} = 1,58\ t/cmq < \sigma_{am} = 1,60\ t/cmq$$

(NELLA VERIFICA IN ② E' STATO CONSIDERATO L'EFFETTIVO VALORE TEORICO DELLA τ AL POSTO DI τ_{med})

ESEMPIO (B)

Molto spesso, per non mutare le caratteristiche statiche della sezione della trave in corrispondenza del giunto, si preferisce dimensionare l'unione ripristinando la sezione, indipendentemente dalle caratteristiche delle sollecitazioni effettivamente agenti nella sezione.

In particolare si preferisce considerare il taglio massimo T, effettivamente agente nella sezione del giunto, ed il momento M che la sezione sarebbe in grado di trasmettere se lavorasse al limite della tensione ammissibile.

Sulla base di questa ipotesi ridimensioniamo il giunto della fig. 41.

SIANO ASSEGNATI:

$\tau_{b,am} = 2{,}2$ t/cmq (BULLONI DI CLASSE 10 K)

$\sigma_{am} = 1{,}6$ t/cmq (ACCIAIO TIPO 1)

- UNIONE DELLE ALI

A- COPRIGIUNTI

SI ADOTTANO $\quad$ **+ 300 x 25 - ACCIAIO TIPO 1**

B- BULLONI

L'area netta della sezione trasversale dell'ala vale:

$$(A_p)_n = 30 \times 2,5 - 2 \times 2,55 \times 2,5 = 62,25 \text{ cmq}$$

Pertanto lo sforzo da essa trasmissibile risulta:

$$(S_p)_n = (A_p)_n \cdot \sigma_{am} = 62,25 \times 1,6 = \underline{99,6 \text{ t}}$$

da cui consegue il numero di bulloni strettamente necessari:

$$(n_b)_p = \frac{(S_p)_n}{A_r \cdot \tau_{b,am}} = \frac{99,6}{4,52 \times 2,2} = 10$$

SI ADOTTANO $\quad$ **10 BULLONI ϕ24 - 10 K**

- UNIONE DELL'ANIMA

A- COPRIGIUNTI

SI ADOTTANO $\quad$ **2 + 475x14 - ACCIAIO TIPO 1**

e si dispongono i bulloni come in fig. 41.

Si ha:

$$\left[(J_x)_c\right]_n = 19.218 \text{ cm}^4 > \left[(J_x)_a\right]_n = 18.806 \text{ cm}^4$$

B- BULLONI

Il taglio massimo effettivamente gravante nella sezione di giunto vale: $\quad T = \underline{30 \text{ t}}$

Il momento flettente trasmissibile dall'anima risulta:

$$M_a = \frac{2 \cdot [(J_x)_a]_n}{h} \cdot \sigma_{am} = \frac{2 \times 18.806 \times 1,6}{59} = \underline{1020 \text{ t} \times \text{cm}}$$

Verificando il bullone più sollecitato si ha:

$$V = \frac{T}{(n_b)_a} = \frac{30}{12} = 2,5 \text{ t}$$

$$H_{max} = f \cdot \frac{Ma}{h'} = 0,357 \times \frac{10,20}{0,375} = 9,71 \text{ t}$$

$$R_{max} = \sqrt{V^2 + H_{max}^2} = \sqrt{2,5^2 + 9,71^2} = \underline{10,03 \text{ t}}$$

$$(\tau_b)_a = \frac{R_{max}}{2 \times A_r} = \frac{10,03}{2 \times 3,14} = \underline{1,60 \text{ t/cmq}} < \tau_{b,am} = 2,2 \text{ t/cmq}$$

— TRONCO IN HEA 600

$$(\sigma_{rif})_p = \frac{(S_p)_n}{(n_b)_p \cdot d_p \cdot e} = \frac{99,6}{10 \times 2,4 \times 2,50} = \underline{1,66 \text{ t/cmq}} < (\sigma_{rif})_{am} = 3,2 \text{ t/cmq}$$

$$(\sigma_{rif})_a = \frac{R_{max}}{d_a \cdot S_a} = \frac{10,03}{2 \times 1,3} = \underline{3,86 \text{ t/cmq}} > (\sigma_{rif})_{am} = 3,68 \text{ t/cmq}$$

Essendo $(\sigma_{rif})_a > (\sigma_{rif})_{am}$ si richiede un ridimensionamento del piatto d'anima e la conseguente verifica della sezione della trave in corrispondenza dei fori.

3- UNIONE TRAVE - COLONNA

Le unioni trave-colonna si dividono in due tipologie fondamentali:

- NODO - CERNIERA
- NODO - INCASTRO

Si è soliti definire "nodo-cerniera" l'unione in grado di trasferire lo sforzo di TAGLIO dalla trave alla colonna (fig. 43-a-b).

Di contro si definisce "nodo-incastro" l'unione in grado di trasferire dalla trave alla colonna, oltre allo sforzo di taglio, anche il MOMENTO FLETTENTE e lo sforzo assiale (fig. 44-a-b; fig. 45).

(E' evidente che il "nodo-cerniera" può anche essere dimensionato al fine di trasmettere, oltre allo sforzo di taglio, anche eventuali sforzi assiali di trazione o compressione agenti nella trave).

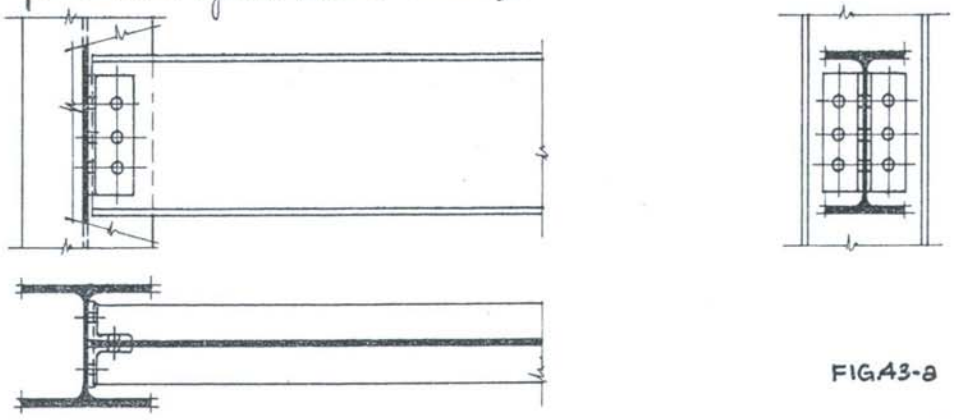


FIG.43-a

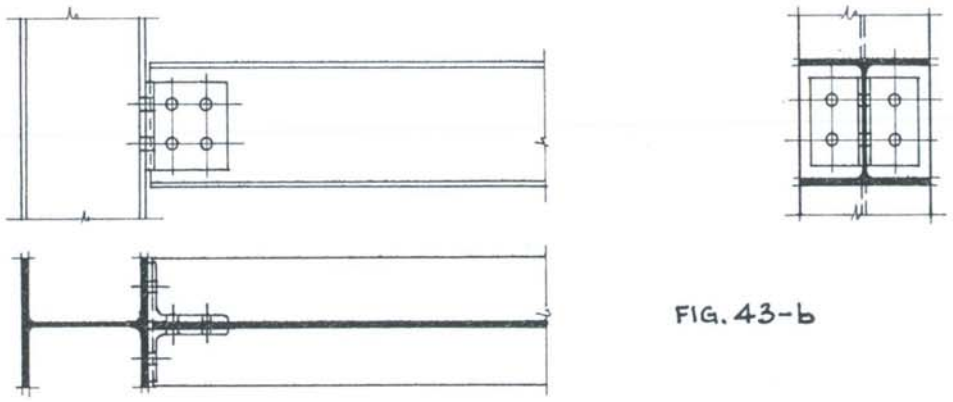


FIG. 43-b

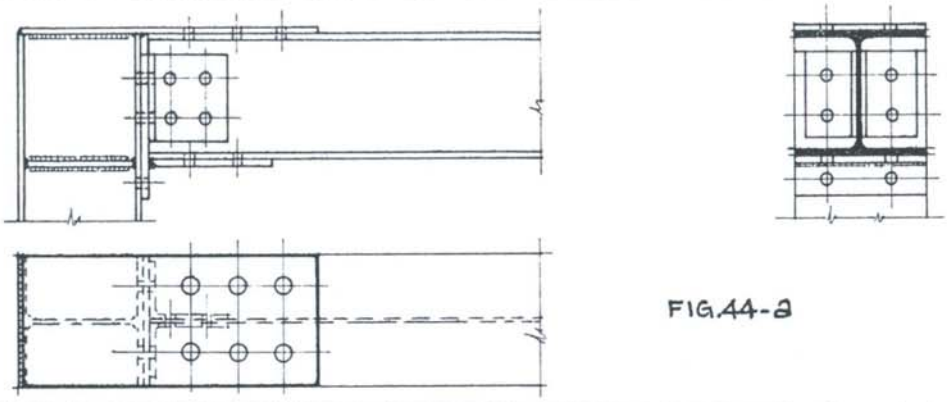


FIG. 44-a

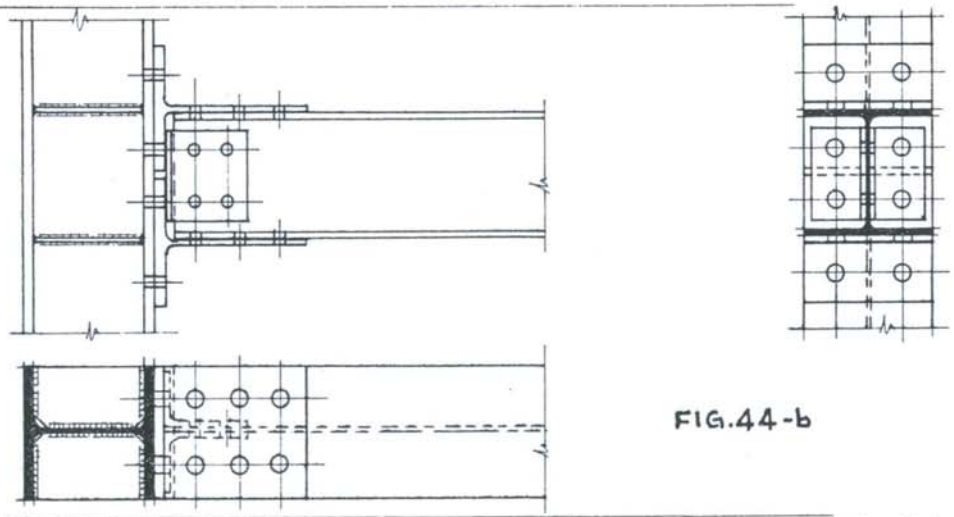


FIG. 44-b

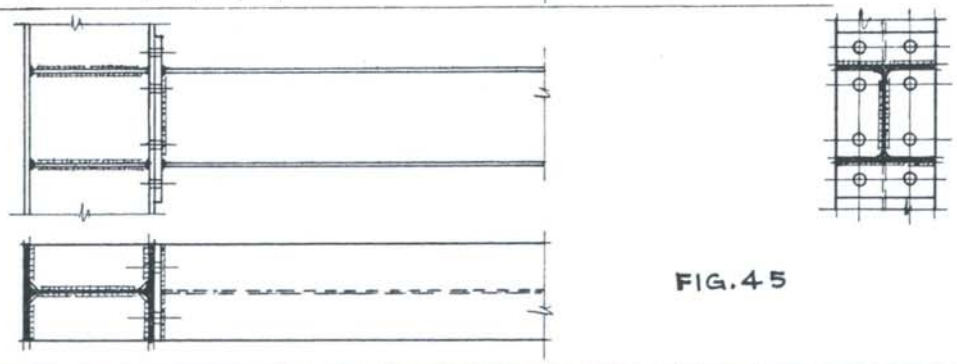


FIG. 45

3-1- NODO CERNIERA

La trasmissione dello sforzo di taglio dall'anima della trave alla colonna viene di norma conseguita collegando i due elementi strutturali con squadrette in angolari e bulloni.

L'unione alla colonna può essere ottenuta collegando le squadrette all'anima (fig. 43-a) o ad una delle ali (fig. 43-b).

3-1-1- UNIONE ALL'ANIMA (FIG. 43-a)

In questo caso il dimensionamento viene eseguito analogamente a quello del "NODO - CERNIERA PER TRAVI APPOGGIATE", riportato nelle pagine precedenti al paragrafo 1-1-1, considerando l'anima della colonna come se fosse l'anima della trave principale.

Pertanto la verifica del collegamento viene condotta sulla base delle seguenti ipotesi semplificative:

- SI ASSUME UGUALE A ZERO LA RIGIDEZZA FLESSIONALE DELLA COLONNA.
- SI SUPPONE CHE I BULLONI REAGISCANO SOLTANTO A SFORZI DI TAGLIO.

3-1-2- UNIONE ALL'ALA (FIG. 43-b)

Eseguita la scelta delle squadrette e dei bulloni, compatibilmente con le caratteristiche geometriche della trave e della colonna, la verifica viene condotta assumendo la seguente ipotesi semplificativa:

- SI SUPPONE CHE I BULLONI REAGISCANO SOLTANTO A SFORZI DI TAGLIO (FIG. 46).

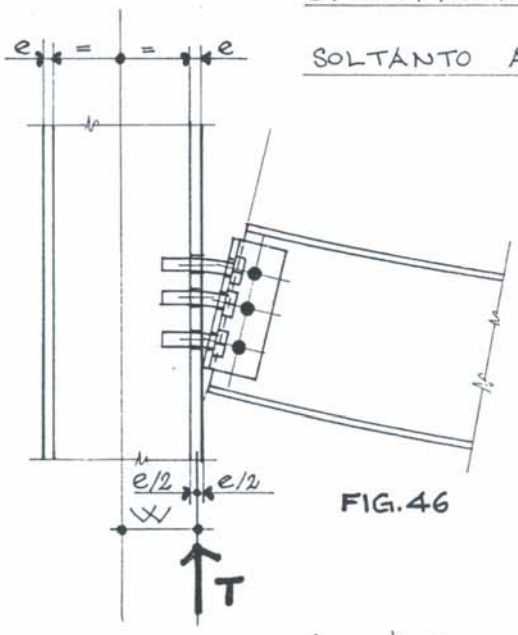


FIG. 46

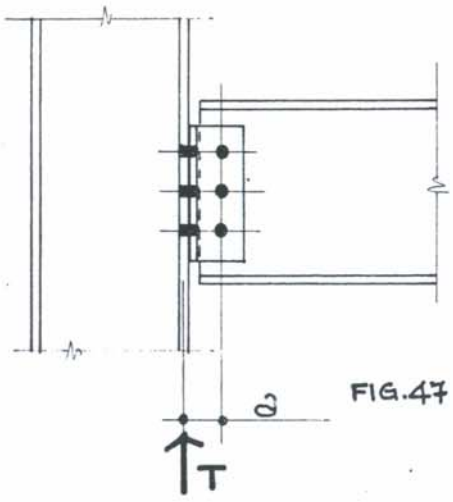


FIG. 47

Tale ipotesi presuppone una eccentricità W e, pertanto, un momento T·W da considerare nel dimensionamento delle colonne.

Il dimensionamento del giunto, invece, viene condotto come quello del "NODO-CERNIERA PER TRAVI APPOGGIATE", riportato al paragrafo 1-1-1.

Per valutare l'eccentricità a della reazione vincolare T dall'asse dei bulloni d'anima, si considera l'ala della colonna come se fosse l'anima della trave principale (Fig. 47).

3-2- NODO INCASTRO

L'unione del traverso al ritto può essere eseguita in vari modi. La scelta della tipologia dipende dalla necessità di realizzare un nodo incastro efficiente che non dia luogo ad apprezzabili cedimenti rotazionali, inevitabili con l'adozione dell'unione bullonata.

Nelle figg. 44-a-b e 45 sono riportati alcuni esempi. Il più efficiente, dal punto di vista statico, è quello con unione flangiata riportato nella fig. 45.

Il dimensionamento delle squadrette, delle piastre bullonate e dei bulloni viene condotto, per gli esempi riportati nelle figg. 44-a-b, come indicato nel paragrafo 1-1-2 per il "NODO-CERNIERA PER TRAVI CONTINUE".

Il dimensionamento della "flangia bullonata" della fig. 45, invece, può essere realizzato sulla base dell'ipotesi semplificativa riportata nella fig. 48, per la trasmissione del momento flettente M_f e degli sforzi assiali di trazione e di compressione, e di quella riportata nella fig. 49, per la trasmissione degli sforzi di taglio T.

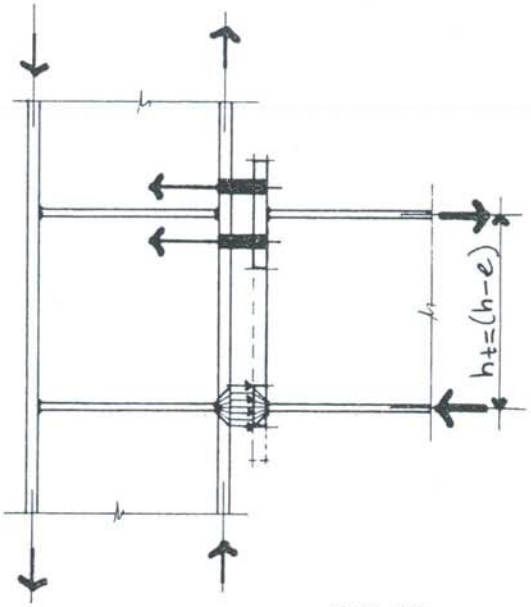


FIG. 48

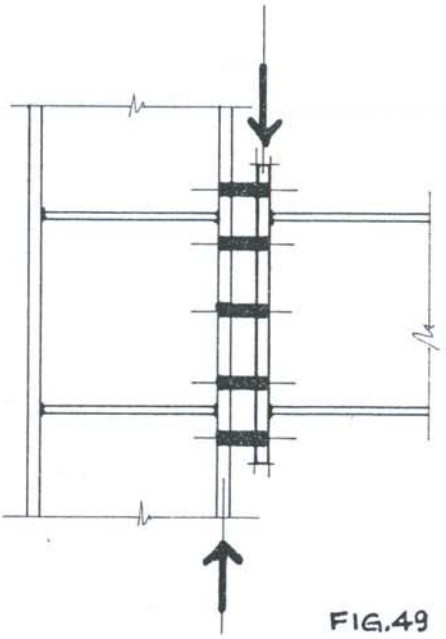


FIG. 49

L'efficienza statica e la rigidezza del nodo si manifestano nella sua capacità di trasferire al ritto le forze di trazione e di compressione provenienti dal traverso, oltre agli sforzi di taglio.

Supponendo efficiente l'unione bullonata del traverso all'ala del ritto, sarà ora opportuno verificare la capacità del ritto ad assorbire le forze che lo sollecitano nel nodo.

Se il ritto non è provvisto (in corrispondenza del nodo) di opportune costole orizzontali, sarà necessario verificare che le ali non vengano strappate dalle forze di trazione trasmesse dall'ala superiore del traverso e che l'anima non si imbozzi sotto la forza di compressione trasmessa dall'ala inferiore della trave (fig. 50).

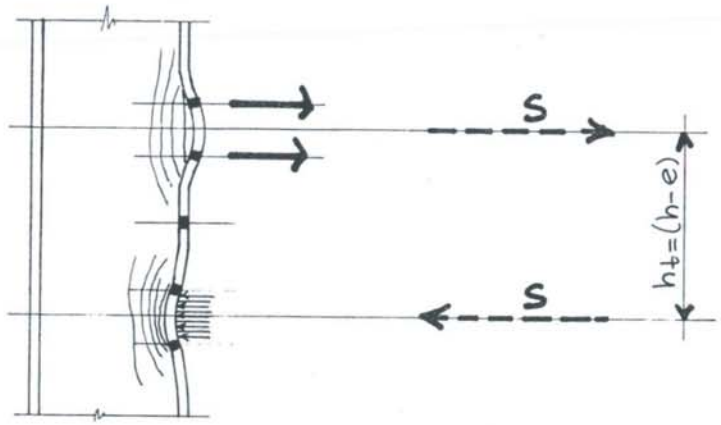


FIG. 50

Poiché di norma le condizioni di verifica non vengono soddisfatte, occorre predisporre, all'interno del ritto e in corrispondenza delle ali del traverso, opportune costole saldate (di spessore di norma uguale a quello delle ali della trave) in grado di ricevere le forze di trazione e compressione e di trasmetterle alla colonna -

Per la verifica del nodo così ottenuto si procede con il "CALCOLO A COLLASSO", considerando l'ipotesi semplificativa che il MOMENTO PLASTICO M_p VENGA TRASMESSO INTEGRALMENTE DALLE ALI DEL PROFILATO - (Fig. 51)-

Poiché oggetto di verifica è il pannello ABCD dell'anima del ritto ci riferiamo, per semplicità di trattazione, al nodo incastro riportato nella fig. 52 -

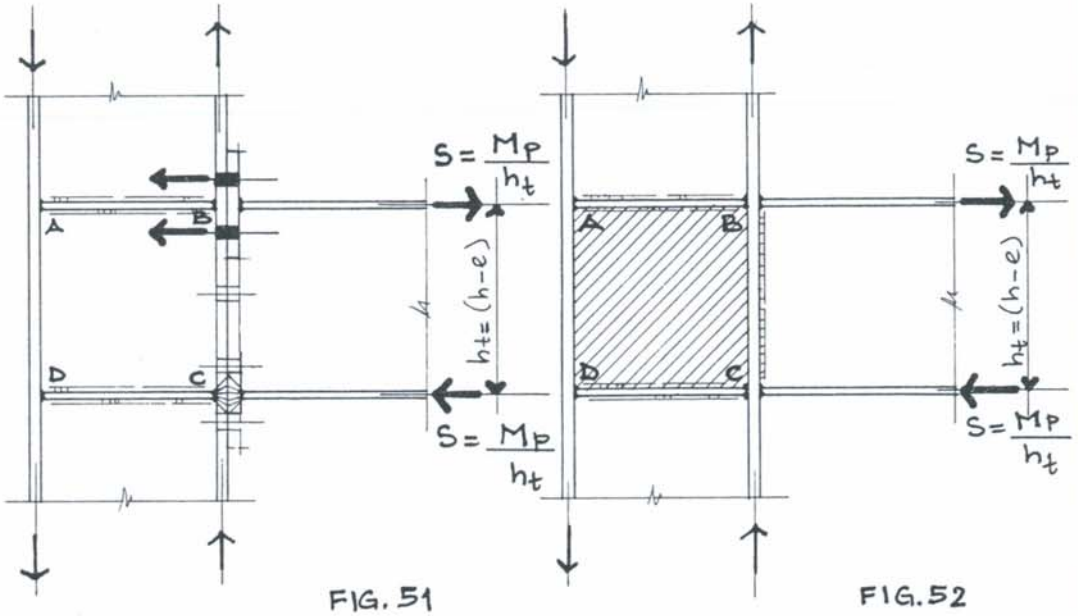


FIG. 51

FIG. 52

La trave può assorbire a collasso e quindi trasmettere al nitto, il momento plastico

$$M_p = \sigma_s \cdot \psi \cdot W_e \qquad (1)$$

dove:

σ_s = tensione di snervamento
ψ = fattore plastico di forma } DELLA TRAVE
W_e = modulo di resistenza elastico }

[Infatti si dimostra:

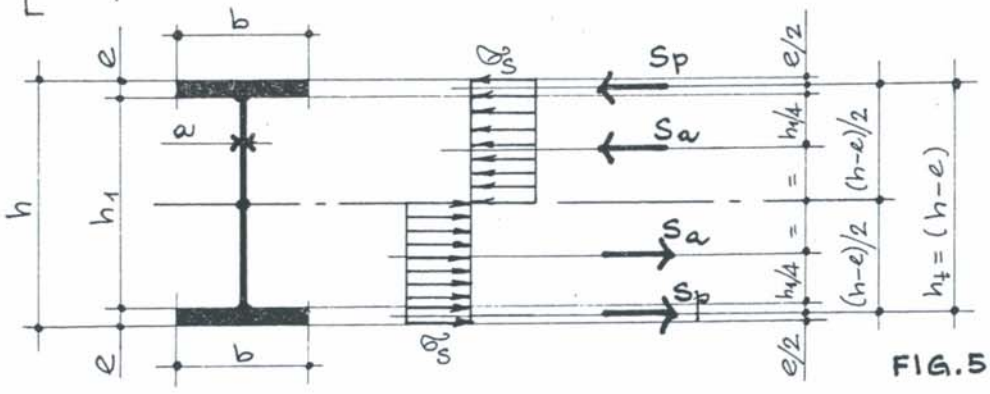


FIG. 53

$$S_p = A_p \cdot \sigma_s \qquad A_p = b \cdot e$$

$$S_a = \frac{A_a}{2} \cdot \sigma_s \qquad A_a = h_1 \cdot a$$

– Il momento sopportabile a collasso dalla trave vale :

$$M_p = 2 \cdot S_p \cdot \frac{h-e}{2} + 2 \cdot S_a \cdot \frac{h_1}{4} =$$

$$= 2 \cdot A_p \sigma_s \cdot \frac{h-e}{2} + 2 \cdot \frac{A_a}{2} \cdot \sigma_s \cdot \frac{h_1}{4} =$$

$$= 2\, b\, e\, \sigma_s \frac{h-e}{2} + 2 \frac{h_1 a}{2} \sigma_s \frac{h_1}{4} =$$

$$= \sigma_s b e (h-e) + \sigma_s a \frac{h_1^2}{4} =$$

$$= \sigma_s \left[b \cdot e (h-e) + a \frac{h_1^2}{4} \right]$$

Ponendo:

$$W_p = b \cdot e (h-e) + a \frac{h_1^2}{4} = \text{MODULO DI RESISTENZA PLASTICO}$$

si ha:

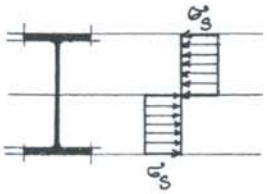


FIG. 54

$$M_p = \sigma_s \cdot W_p$$

– Il momento sopportabile in campo elastico dalla trave vale:

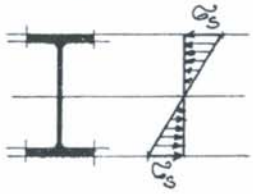


FIG. 55

$$M_e = \sigma_s \cdot W_e$$

– Si definisce FATTORE PLASTICO DI FORMA il rapporto $\psi = \frac{M_p}{M_e} = \frac{W_p}{W_e}$ che caratterizza le risorse plastiche della trave –

Si ha pertanto:

$$W_p = \psi \cdot W_e \qquad M_p = \sigma_s \cdot \psi \cdot W_e$$

Analizzando anche il pannello ABCD di spessore s_a nella condizione di collasso e supponendo che M_p venga trasmesso integralmente dalle ali della trave, si nota che esso è in grado di assorbire dalla trave e trasferire al nodo il momento: (fig. 56)

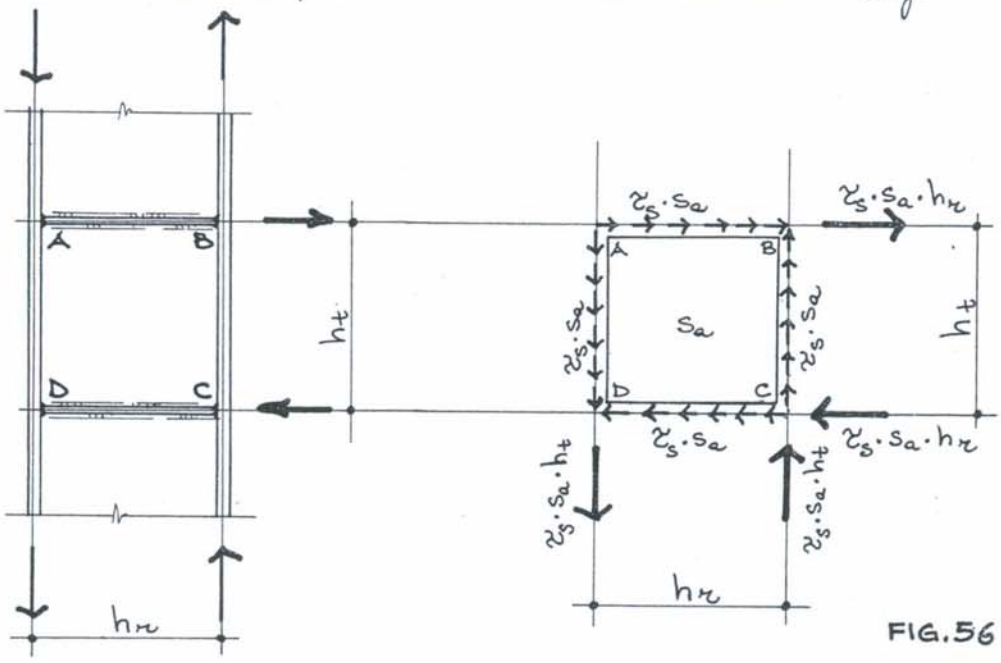


FIG. 56

$$\overline{M}_p = (\tau_s \cdot s_a \cdot h_r)\, h_t = (\tau_s \cdot s_a \cdot h_t)\, h_r =$$

$$= \tau_s \cdot s_a \cdot h_r \cdot h_t$$

Ed essendo:

$$\tau_s = \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}}$$

si ha:

$$\overline{M}_p = \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} \cdot s_a \cdot h_r \cdot h_t \qquad (2)$$

ovviamente nel nodo rigido deve essere verificata la relazione:

$$M_p = \overline{M}_p$$

Pertanto, confrontando la ① con la ②

$$\sigma_s \cdot \psi \cdot W_e = \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} \cdot s_a \cdot h_r \cdot h_t$$

si ha:

$$s_a = \sqrt{3}\ \frac{\psi \cdot W_e}{h_r \cdot h_t} \qquad ③$$

Relazione che ci permette di determinare lo spessore s_a dell'anima della colonna che assicura la piena efficienza dell'unione, noti:

ψ = fattore plastico di forma della trave
W_e = modulo di resistenza elastico della trave
h_r = interasse delle ali della colonna
h_t = interasse delle ali della trave -

Di norma lo spessore dell'anima del profilato scelto per il ritto è inferiore al valore strettamente necessario, calcolato con la ③.

Si presenta pertanto la necessità di rinforzare ulteriormente il nodo -

A tal fine, chiamato η il rapporto fra lo spessore $\bar{s}_a$ dell'anima del profilato ed s_a,

$$\eta = \frac{\bar{s}_a}{s_a}$$

e sostituito ad s_a la ③:

$$\eta = \frac{\bar{s}_a}{\sqrt{3}\ \frac{\psi \cdot W_e}{h_r \cdot h_t}}$$

si ha:

$$\eta = \frac{\bar{s}_a \cdot h_r \cdot h_t}{\sqrt{3} \cdot \psi \cdot We} \qquad ④$$

E' evidente che il nodo risulta PIENAMENTE EFFICACE per:

$$\eta \geq 1$$

Per $\eta < 1$ è possibile rinforzare il nodo con una nervatura diagonale (fig. 57).

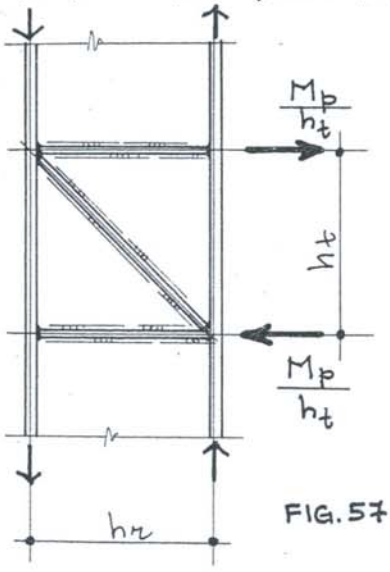


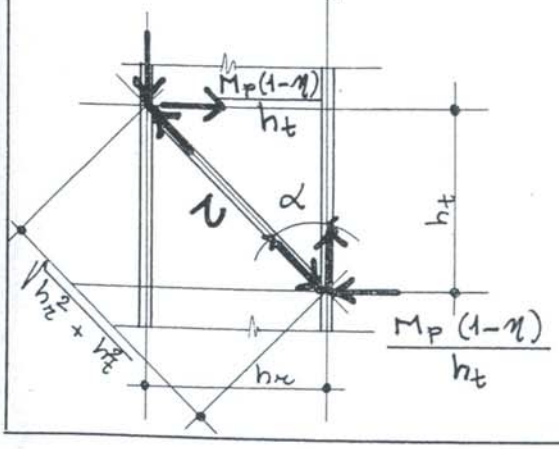
FIG. 57

Questa deve trasmettere al ritto l'aliquota di momento plastico del traverso

$$M_p(1-\eta)$$

che l'anima del ritto non è in grado di assorbire e trasmettere al traverso.

E' possibile schematizzare l'azione della nervatura diagonale nella fig. 58.



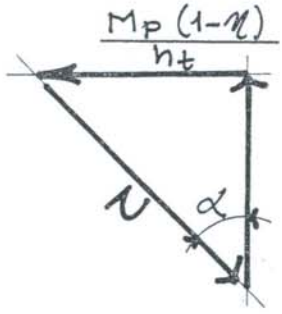


FIG. 58

Dal poligono delle forze si ha:

$$N = \frac{M_p\,(1-\eta)}{h_t \cdot \operatorname{sen}\alpha}$$

Ma:

$$\operatorname{sen}\alpha = \frac{h_r}{\sqrt{h_r^2 + h_t^2}}$$

Allora:

$$N = \frac{M_p\,(1-\eta)}{h_t \cdot \dfrac{h_r}{\sqrt{h_r^2 + h_t^2}}} = M_p(1-\eta)\,\frac{\sqrt{h_r^2 + h_t^2}}{h_r \cdot h_t}$$

La nervatura diagonale in condizioni di collasso è in grado di trasferire lo sforzo:

$$N = A_d \cdot \sigma_s$$

Da cui:

$$A_d = \frac{N}{\sigma_s} = \frac{M_p(1-\eta)}{\sigma_s} \cdot \frac{\sqrt{h_r^2 + h_t^2}}{h_r \cdot h_t} =$$

$$= \frac{\sigma_s \cdot \psi \cdot W_e\,(1-\eta)}{\sigma_s} \cdot \frac{\sqrt{h_r^2 + h_t^2}}{h_r \cdot h_t}$$

Ossia:

$$A_d = \psi \cdot W_e\,(1-\eta) \cdot \frac{\sqrt{h_r^2 + h_t^2}}{h_r \cdot h_t} \qquad (5)$$

E sostituendo la (4) nella (5)

$$A_d = \sqrt{h_r^2 + h_t^2}\left(\frac{\psi \cdot W_e}{h_r \cdot h_t} - \frac{\psi \cdot W_e}{h_r \cdot h_t} \cdot \frac{\bar{s}_a \cdot h_r \cdot h_t}{\sqrt{3} \cdot \psi \cdot W_e}\right)$$

si ha:

$$A_d = \sqrt{h_r^2 + h_t^2}\left(\frac{\psi \cdot W_e}{h_r \cdot h_t} - \frac{\bar{s}_a}{\sqrt{3}}\right)$$

Relazione che ci permette di determinare l'area della sezione trasversale della nervatura diagonale che assicura con l'anima del ritto la piena efficacia dell'unione, noti:

ψ = FATTORE PLASTICO DI FORMA DELLA TRAVE
W_e = MODULO DI RESISTENZA ELASTICO DELLA TRAVE
h_r = INTERASSE DELLE ALI DELLA COLONNA
h_t = INTERASSE DELLE ALI DELLA TRAVE
$\bar{s}_a$ = SPESSORE DELL'ANIMA DEL RITTO -

ESEMPIO

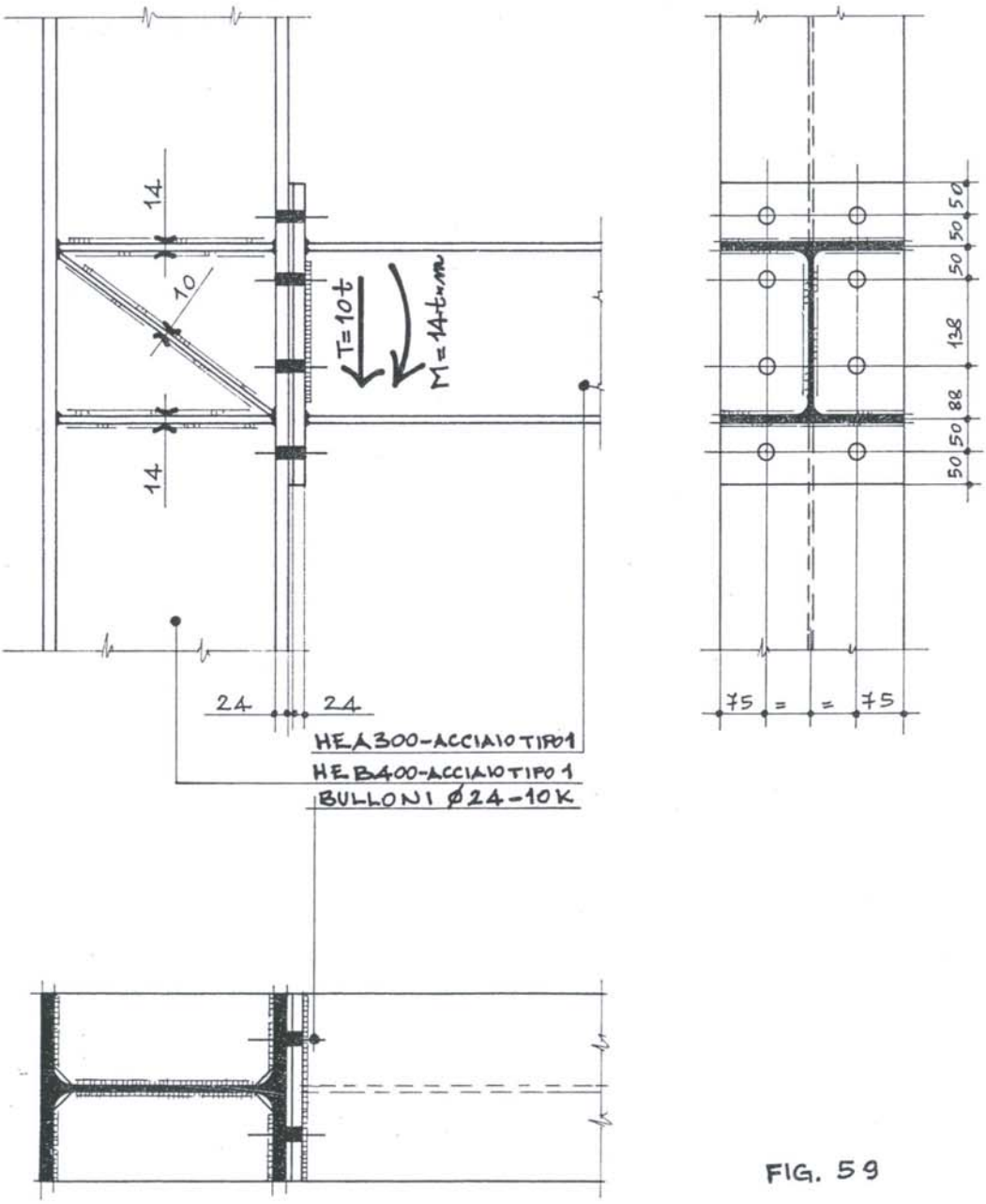


FIG. 59

A- BULLONI

- SFORZO ASSIALE DI TRAZIONE

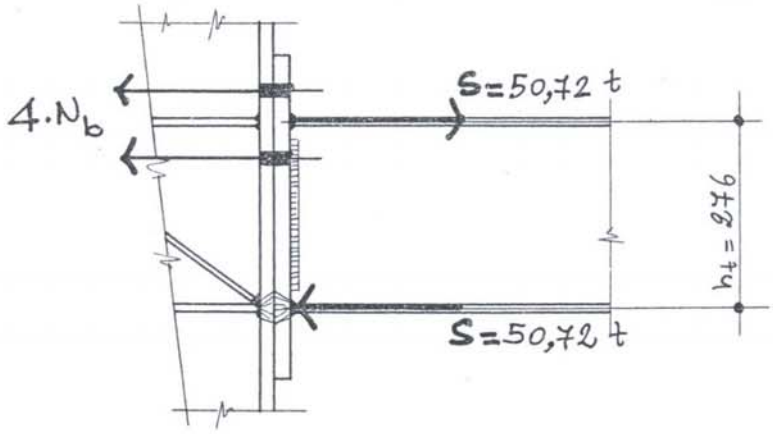


FIG. 60

Supponendo che tutto il momento M venga trasmesso dalle ali della trave, si ha:

$$S = \frac{M}{h_t} = \frac{14}{0,276} = 50,72\ t$$

Pertanto la forza di trazione che sollecita ciascun bullone vale: (fig. 60)

$$N_b = \frac{S}{n_b} = \frac{50,72}{4} = \underline{12,68\ t}$$

- SFORZO DI TAGLIO

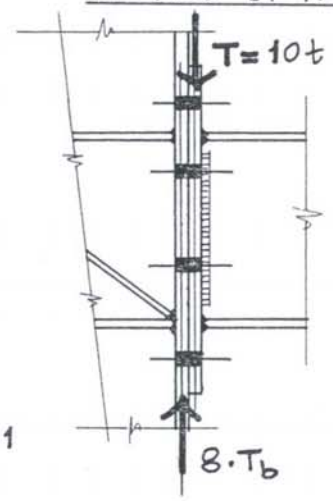


FIG. 61

Lo sforzo di taglio che sollecita ciascun bullone vale:

$$T_b = \frac{T}{n_b} = \frac{10}{8} = \underline{1,25\ t}$$

- VERIFICA

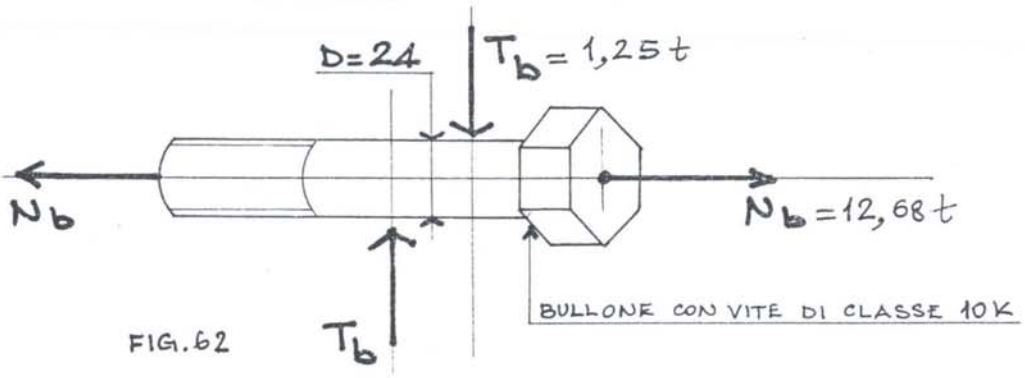


FIG. 62

Siano:

A_r = sezione resistente della vite in corrispondenza del filetto

$\bar{A}_r$ = sezione resistente della vite in corrispondenza del gambo

Si ha pertanto:

$$(\sigma_b)_{max} = \frac{N_b}{A_r} = \frac{12,68}{3,53} = \underline{3,59\ t/cmq} < \sigma_{b,am} = 3,9\ t/cmq$$

$$\sigma_b = \frac{N_b}{\bar{A}_r} = \frac{12,68}{4,52} = 2,80\ t/cmq$$

$$\tau_b = \frac{T_b}{\bar{A}_r} = \frac{1,25}{4,52} = \underline{0,28\ t/cmq} < \tau_{b,am} = 2,2\ t/cmq$$

$$\left(\frac{\tau_b}{\tau_{b,am}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_b}{\sigma_{b,am}}\right)^2 = \left(\frac{0,28}{2,20}\right)^2 + \left(\frac{2,80}{3,90}\right)^2 = \underline{0,73} < 1$$

B - PIASTRA E ALA DEL RITTO

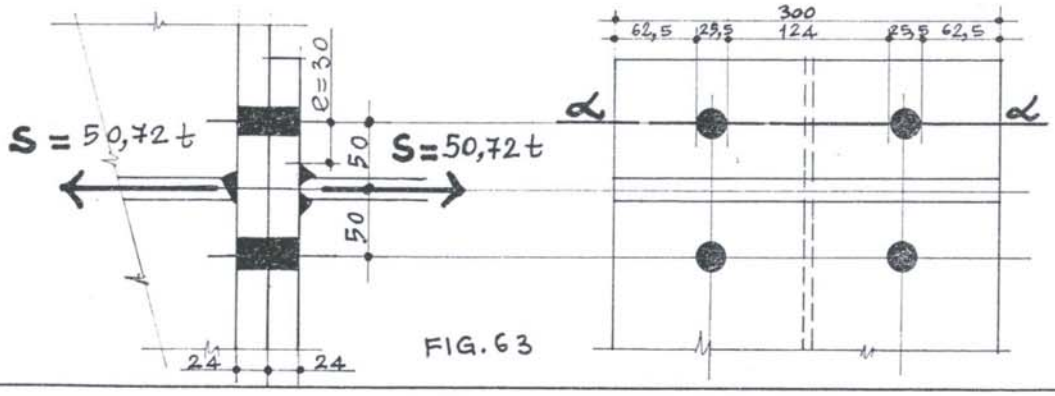


FIG. 63

La piastra saldata alla trave e l'ala del ritto hanno lo stesso spessore, pertanto la verifica può essere limitata alla piastra –

Il momento flettente che sollecita la sezione $\alpha-\alpha$ vale:

$$M_\alpha = \frac{S \cdot e}{4} = \frac{50{,}72 \times 3}{4} = 38{,}04 \text{ t} \times \text{cm}$$

Il modulo di resistenza della sezione ridotta si determina con riferimento alla fig. 64:

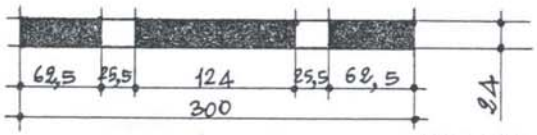


FIG. 64

$$A_\alpha = (30 - 2\times 2{,}55)\cdot 2{,}4 = 59{,}76 \text{ cmq}$$

$$(W_x)_\alpha = \frac{1}{6}(30 - 2\times 2{,}55)\cdot 2{,}4^2 = \underline{23{,}9 \text{ cm}^3}$$

Pertanto:

$$\sigma = \pm \frac{M_\alpha}{(W_x)_\alpha} = \pm \frac{38{,}04}{23{,}9} = \pm \underline{1{,}59 \text{ t/cmq}} < \sigma_{am} = 1{,}60 \text{ t/cmq}$$

$$\tau_{med} = \frac{S}{2 \times A_\alpha} = \frac{50{,}72}{2\times 59{,}76} = \underline{0{,}42 \text{ t/cmq}} < \tau_{am} = 0{,}92 \text{ t/cmq}$$

C – NERVATURA DIAGONALE DEL RITTO

L'area della sezione trasversale della nervatura diagonale vale:

$$A_d = \sqrt{h_r^2 + h_t^2}\left(\frac{\psi \cdot We}{h_r \cdot h_t} - \frac{\bar{S}a}{\sqrt{3}}\right)$$

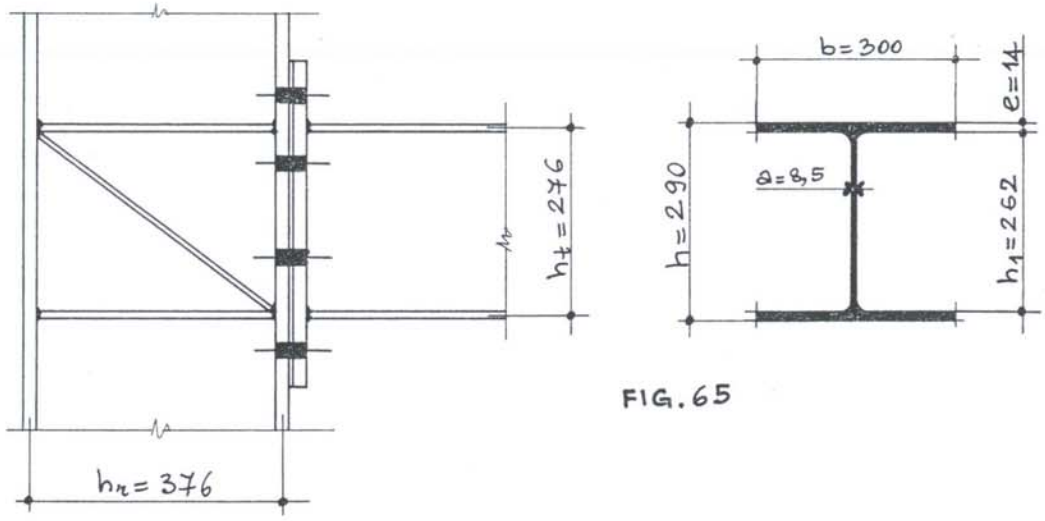


FIG. 65

dove nel caso in esame:

$h_r = 37{,}6$ cm $\qquad h_t = 27{,}6$ cm

$$\psi = \frac{W_p}{W_e} \cong \frac{b \cdot e\,(h-e) + a \cdot \frac{h_1^2}{4}}{W_e} = \frac{30 \cdot 1{,}4\,(29-1{,}4) + 0{,}85 \cdot \frac{26{,}2^2}{4}}{1'260} = 1{,}04$$

$W_e = 1'260\ cm^3 \qquad \bar{s}_a = 1{,}35$ cm

Sostituendo si ha:

$$A_d = \sqrt{37{,}6^2 + 27{,}6^2}\left(\frac{1{,}04 \times 1'260}{37{,}6 \times 27{,}6} - \frac{1{,}35}{\sqrt{3}}\right) = 22{,}54\ cmq$$

Stabilita di 140 mm la larghezza di ciascuno dei due elementi della controventatura diagonale, il loro spessore sarà:

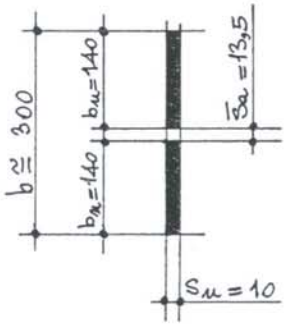


FIG. 66

$$s_n = \frac{A_d}{2 \times b_n} = \frac{22{,}54}{2 \times 14} = 0{,}80\ cm$$

Si assume $s_n = 10$ mm

affinché sia verificata la condizione:

$$\frac{b_n}{s_n} = \frac{14}{1} = 14 < 15$$

4- UNIONE COLONNA - COLONNA

L'unione fra due tronchi consecutivi di una stessa colonna, sottoposta a SFORZO ASSIALE DI COMPRESSIONE, é di norma realizzabile secondo due tipologie fondamentali:

- UNIONE CON COPRIGIUNTI BULLONATI (FIGG. 67 - 68)
- UNIONE CON FLANGE (FIG. 69).

Tali unioni, compatibilmente con le loro caratteristiche geometriche, debbono essere realizzate in prossimità dei nodi strutturali - ciò accade allo scopo di non indebolire l'asta nelle sezioni dove più é sentito il fenomeno del carico di punta -

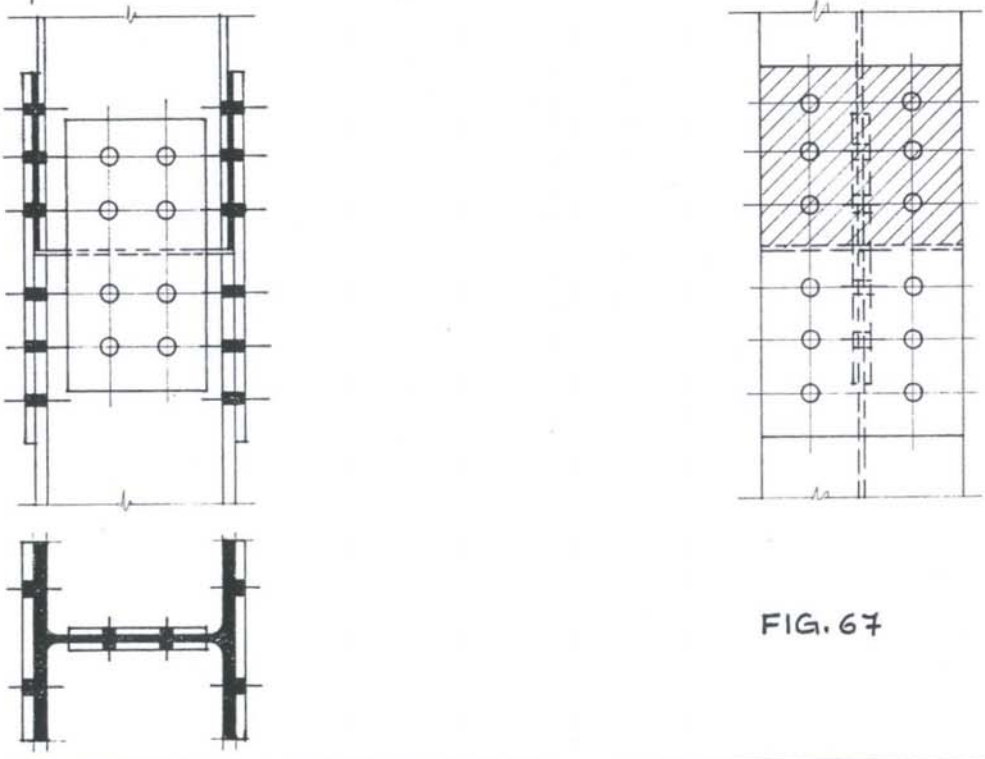
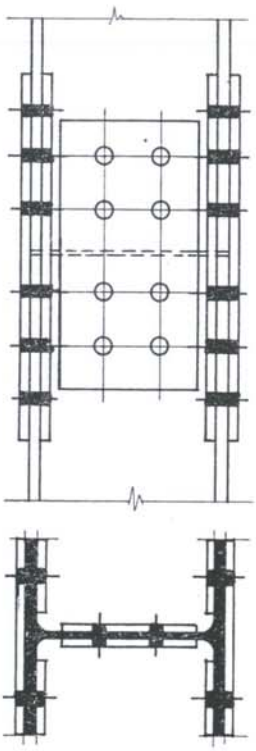


FIG. 67



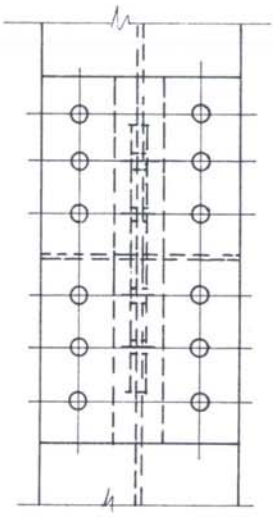
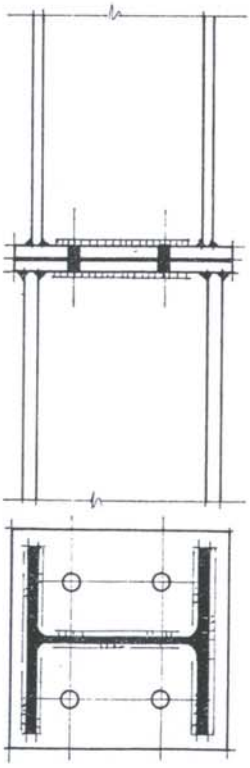


FIG. 68



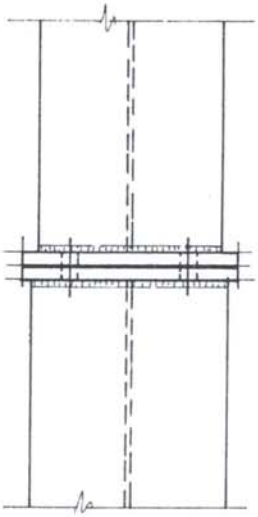


FIG. 69

4-1- UNIONE CON COPRIGIUNTI BULLONATI

In questo tipo di unione le anime dei profilati vengono collegate con due coprigiunti, mentre ciascuna ala può essere collegata con semplice o con doppio coprigiunto.

Si hanno, pertanto, due tipi di collegamenti:

- UNIONE CON SEMPLICE COPRIGIUNTO (FIG.67)
- UNIONE CON DOPPIO COPRIGIUNTO (FIG. 68)

Se non vi sono particolari esigenze statiche o geometriche a orientare la scelta verso la seconda soluzione, è preferibile adottare, per motivi economici, l'unione con semplice coprigiunto.

4-1-1- UNIONE CON SEMPLICE COPRIGIUNTO

Assegnato lo sforzo assiale N, che il profilato superiore deve trasmettere a quello inferiore, gli elementi strutturali da verificare sono:

- I BULLONI
- I COPRIGIUNTI
- IL TRONCO DI COLONNA AVENTE LA SEZIONE MINORE.

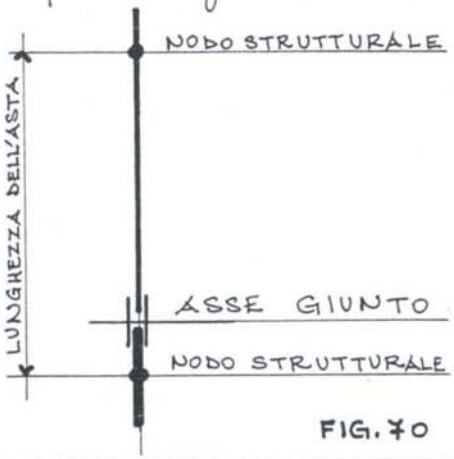
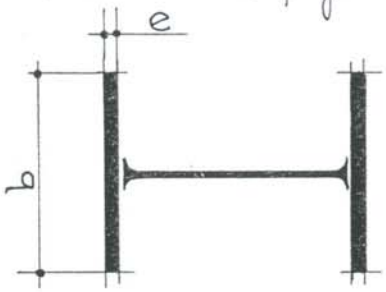


FIG. 70

A - BULLONI

Lo sforzo assiale N è trasmesso in parte tramite i coprigiunti che collegano le ali ed in parte tramite i coprigiunti dell'anima -



(SEZIONE DEL TRONCO PIÚ SOLLECITATO DI AREA A)

FIG.71

Chiamando N_p lo sforzo trasmesso dai coprigiunti delle ali ed N_a quello trasmesso dai coprigiunti dell'anima, si ha:

$$\left.\begin{aligned} N_p &= \frac{2\,(b\cdot e)}{A}\cdot N \\ N_a &= \left[1 - \frac{2\,(b\cdot e)}{A}\right]\cdot N \end{aligned}\right\} \quad N = N_p + N_a$$

- BULLONI DELLE ALI

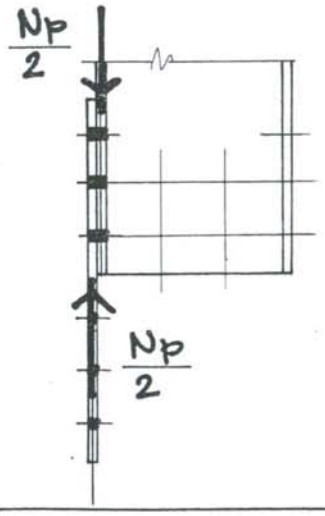
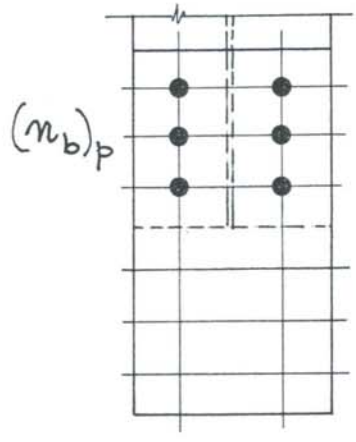


FIG. 72



- PROGETTO

Adottando bulloni aventi area della sezione resistente $\bar{A}_r$ e tensione ammissibile a taglio $\tau_{b,am}$, il numero di bulloni $(\bar{n}_b)_p$ strettamente necessari per ogni lato del coprigiunto di un'ala vale:

$$(\bar{n}_b)_p = \frac{N_p}{2 \cdot \bar{A}_r \cdot \tau_{b,am}}$$

- VERIFICA

Deve essere verificata la relazione:

$$(\tau_b)_p = \frac{N_p}{2 \cdot \bar{A}_r \cdot (n_b)_p} \leq \tau_{b,am}$$

- BULLONI DELL'ANIMA

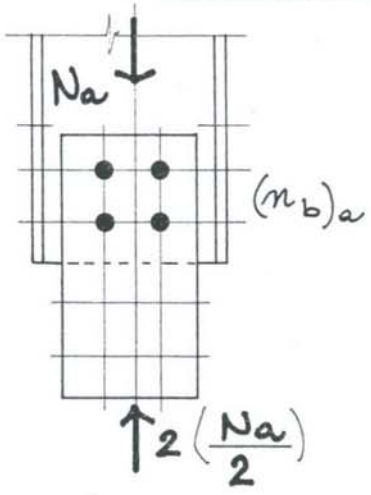


FIG. 73

PROGETTO

Adottando bulloni aventi area della sezione resistente $\bar{A}_r$ e tensione ammissibile a taglio $\tau_{b,am}$,

il numero di bulloni $(\bar{n}_b)_a$ strettamente necessari per ogni lato della coppia dei coprigiunti dell'anima vale:

$$(\bar{n}_b)_a = \frac{N_a}{2 \cdot \bar{A}_r \cdot \tau_{b,am}}$$

– VERIFICA

Deve essere verificata la relazione:

$$(\tau_b)_a = \frac{N_a}{2 \cdot \bar{A}_r \cdot (n_b)_a} \leq \tau_{b,am}$$

B- COPRIGIUNTI

In corrispondenza del collegamento, l'asta compressa, di norma sottoposta a carico di punta, presenta una discontinuità strutturale.

Pertanto gli elementi strutturali dell'unione debbono essere in grado di ristabilire la continuità, in modo che l'asta abbia la stessa resistenza e la stessa rigidezza flessionale di un'asta analoga senza giunzione.

In particolare i coprigiunti debbono avere la sezione ed i momenti d'inerzia pari a quelli dell'asta da collegare.

- COPRIGIUNTI DELLE ALI

E' sufficiente realizzarli con le stesse dimensioni delle ali del profilato più piccolo da usare, arrotondando in eccesso lo spessore -

- COPRIGIUNTI DELL'ANIMA

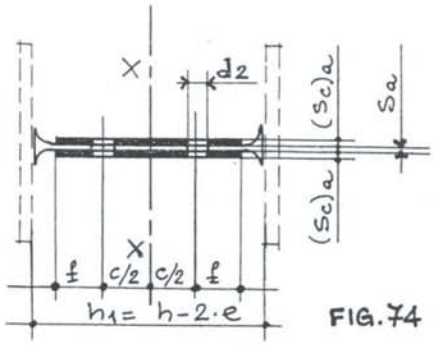


FIG. 74

Siano:

$(A_a)_n$ = AREA DELL'ANIMA DEPURATA DEI FORI

$(A_c)_n$ = AREA TOTALE DEI DUE COPRIGIUNTI DEPURATA DEI FORI

$[(J_x)_a]_n$ = MOMENTO D'INERZIA DELLA SEZIONE DELL'ANIMA DEPURATA DEI FORI

$[(J_x)_c]_n$ = MOMENTO D'INERZIA DELLA SEZIONE TOTALE DEI DUE COPRIGIUNTI DEPURATA DEI FORI

Dovranno essere verificate le relazioni:

$$(A_c)_n \geq (A_a)_n$$

$$[(J_x)_c]_n \geq [(J_x)_a]_n$$

C - COLONNA

- I due tronchi del ritto risultano impegnati dalla pressione sul contorno del foro, esercitata dai bulloni -

La suddetta pressione di rifollamento risulta massima nel tronco superiore di colonna più piccolo.

In esso dovranno essere verificate le relazioni:

$$(\sigma_{rif})_p = \frac{N_p}{2 \cdot (n_b)_p \cdot d_p \cdot e} \leq (\sigma_{rif})_{am}$$

$$(\sigma_{rif})_a = \frac{N_a}{(n_b)_a \cdot d_a \cdot s_a} \leq (\sigma_{rif})_{am}$$

dove:

d_p = DIAMETRO DEI BULLONI DELLE ALI
e = SPESSORE DELLE ALI

d_a = DIAMETRO DEI BULLONI DELL'ANIMA
s_a = SPESSORE DELL'ANIMA

- Inoltre bisogna verificare il ritto in corrispondenza delle forature, cioè dovrà essere verificata la relazione:

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq \sigma_{am}$$

dove:

A_n = AREA NETTA DELLA SEZIONE TRASVERSALE DEL RITTO IN CORRISPONDENZA DELLE FORATURE.

4-1-2- UNIONE CON DOPPIO COPRIGIUNTO

Nell'unione con doppio coprigiunto (fig. 68) le verifiche vanno condotte in modo analogo a quelle dell'unione con semplice coprigiunto, tenendo però presente che i bulloni delle ali lavorano su due sezioni di taglio.

Riportiamo qui di seguito le indicazioni per il progetto e la verifica degli elementi strutturali di collegamento.

A - BULLONI

$$\left.\begin{aligned} N_p &= \frac{2\,(b\cdot e)}{A}\cdot N \\ N_a &= \left[1-\frac{2\,(b\cdot e)}{A}\right]\cdot N \end{aligned}\right\} \quad N = N_p + N_a$$

(vedi fig. 71)

- BULLONI DELLE ALI

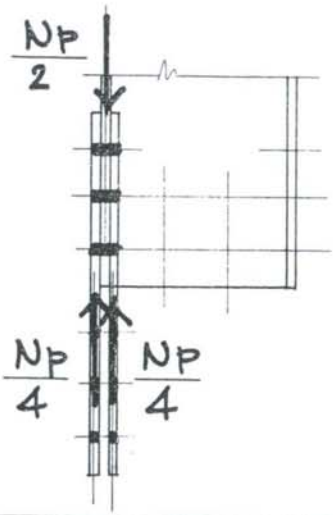
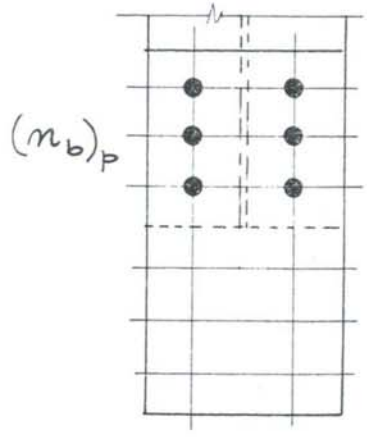


FIG. 75



- PROGETTO

$$(\bar{n}_b)_p = \frac{N_p}{4 \cdot \bar{A}_r \cdot \tau_{b,am}}$$

- VERIFICA

$$(\tau_b)_p = \frac{N_p}{4 \cdot \bar{A}_r \cdot (n_b)_p} \leq \tau_{b,am}$$

- BULLONI DELL'ANIMA (Vedi fig. 73)

- PROGETTO

$$(\bar{n}_b)_a = \frac{N_a}{2 \cdot \bar{A}_r \cdot \tau_{b,am}}$$

- VERIFICA

$$(\tau_b)_a = \frac{N_a}{2 \cdot \bar{A}_r \cdot (n_b)_a} \leq \tau_{b,am}$$

B - COPRIGIUNTI

- COPRIGIUNTI DELLE ALI

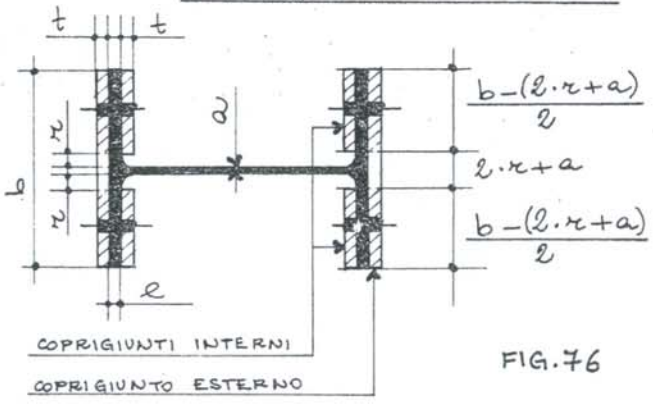


FIG. 76

Siano:

$A_n = (b \cdot e - A_f)$ = AREA DI UN'ALA DEPURATA DEI FORI

$(A_{ci})_u = \left[t \cdot \frac{b-(2 \cdot r+a)}{2} - \frac{A_f}{2} \cdot \frac{t}{e}\right]$ = AREA DI UN COPRIGIUNTO INTERNO DEPURATA DEI FORI

Affinché i coprigiunti siano pienamente efficienti deve essere soddisfatta la relazione:

$$b \cdot e - A_f = 4\left[t \cdot \frac{b-(2r+a)}{2} - \frac{A_f}{2} \cdot \frac{t}{e} \right]$$

da cui:

$$t = \frac{b \cdot e - A_f}{2\left[b - \left(\frac{A_f}{e} + 2 \cdot r + a\right)\right]}$$

Relazione che ci permette di determinare lo spessore t dei coprigiunti, noti che siano:

b = LARGHEZZA DELL'ALA

e = SPESSORE DELL'ALA

A_f = AREA DEI FORI DELL'ALA

r = RAGGIO DI RACCORDO DEL PROFILATO

a = SPESSORE DELL'ANIMA DEL PROFILATO

Naturalmente il coprigiunto esterno ha larghezza b e i coprigiunti interni hanno larghezza $\frac{b-(2r+a)}{2}$.

- <u>COPRIGIUNTI DELL'ANIMA</u> (Vedi fig. 74)

Dovranno essere verificate le relazioni:

$$(A_c)_n \geq (A_a)_n \qquad \left[(J_x)_c\right]_n \geq \left[(J_x)_a\right]_n$$

C - <u>COLONNA</u>

Dovranno essere verificate le relazioni:

$$(\sigma_{rif})_p = \frac{N_p}{2 \cdot (n_b)_p \cdot d_p \cdot e} \leq (\sigma_{rif})_{am}$$

$$(\sigma_{rif})_a = \frac{N_a}{(n_b)_a \cdot d_a \cdot s_a} \leq (\sigma_{rif})_{am} \qquad \sigma = \frac{N}{A_n} \leq \sigma_{am}$$

4-2- UNIONE CON FLANGE

L'unione con flange, da collegare in opera mediante bullonatura (fig. 69), richiede che le superfici a contatto siano lavorate di macchina, al fine di un corretto montaggio e di una razionale ripartizione del carico.

Queste unioni vanno realizzate in corrispondenza dei nodi strutturali. Pertanto i bulloni possono essere dimensionati esclusivamente al fine dell'assemblaggio dei due tronchi.

Lo spessore delle flangia dipende dalla geometria dei due tronchi da collegare. Per l'unione di due tronchi uguali si assumono piastre aventi spessore almeno uguale a quello delle ali dei profilati da collegare.

Se invece si debbono unire profilati di dimensioni diverse (fig. 77)

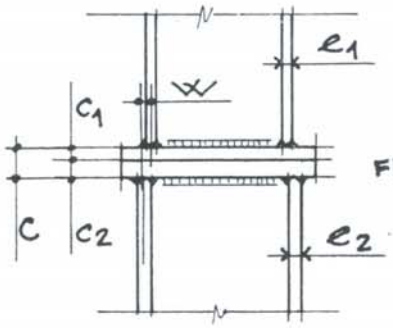


FIG. 77

dovranno essere verificate le relazioni:

$$c_1 \geq e_1$$

$$c_2 \geq e_2$$

$$c = c_1 + c_2 \geq 2 \cdot w$$

Per valori di w molto grandi è opportuno orientarsi verso soluzioni con flange nervate o che prevedono la rastremazione del profilato più grande.

ESEMPIO (A)

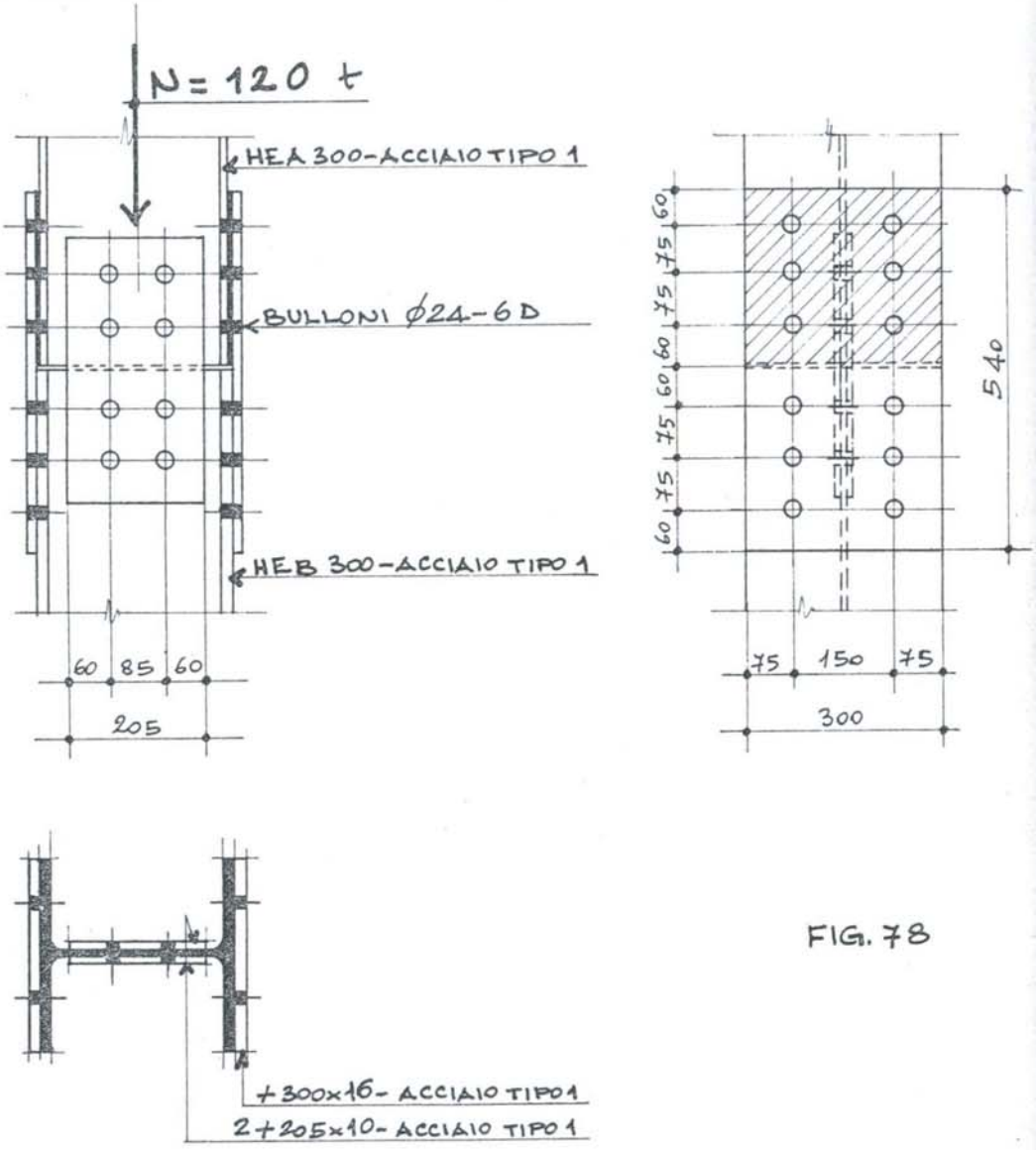


FIG. 78

A - BULLONI

$$N_p = \frac{2\,(b \cdot e)}{A} \cdot N = \frac{2\,(30 \times 1{,}4)}{112} \cdot 120 = 90\ t$$

$$N_a = \left[1 - \frac{2\,(b \cdot e)}{A}\right] \cdot N = \left[1 - \frac{2\,(30 \times 1{,}4)}{112}\right] \cdot 120 = 30\ t$$

$$N = N_p + N_a = 120\ t$$

- BULLONI DELLE ALI

- PROGETTO

$$(\bar{n}_b)_p = \frac{N_p}{2 \cdot \bar{A}_r \cdot \tau_{b,am}} = \frac{90}{2 \times 4{,}52 \times 1{,}7} = 5{,}86$$

SI ADOTTANO **6 BULLONI ϕ24 - 6D**

- VERIFICA

$$(\tau_b)_p = \frac{N_p}{2 \cdot \bar{A}_r \cdot (n_b)_p} = \frac{90}{2 \times 4{,}52 \times 6} = 1{,}66\ t/cmq < \tau_{b,am} = 1{,}7\ t/cmq$$

- BULLONI DELL'ANIMA

- PROGETTO

$$(\bar{n}_b)_a = \frac{N_a}{2 \cdot \bar{A}_r \cdot \tau_{b,am}} = \frac{30}{2 \times 4{,}52 \times 1{,}7} = 1{,}95$$

SI ADOTTANO **4 BULLONI ϕ24 - 6D**

- VERIFICA

$$(\tau_b)_a = \frac{N_a}{2 \cdot \bar{A}_r \cdot (n_b)_a} = \frac{30}{2 \times 4{,}52 \times 4} = 0{,}83\ t/cmq < \tau_{b,am} = 1{,}7\ t/cmq$$

B - COPRIGIUNTI

- COPRIGIUNTI DELLE ALI

SI ADOTTA $+ 300 \times 16$ - ACCIAIO TIPO 1

- COPRIGIUNTI DELL'ANIMA

SI ADOTTANO $2 + 205 \times 10$ - ACCIAIO TIPO 1

Si ha pertanto:

$$(A_a)_n = \left[112 - 2(30 \times 1{,}4)\right] - 2 \times 2{,}55 \times 0{,}85 = 23{,}67 \text{ cmq}$$

$$(A_c)_n = 2\left(20{,}5 \times 1 - 2 \times 2{,}55 \times 1\right) = 30{,}8 \text{ cmq}$$

$$\left[(J_x)_a\right]_n \cong \frac{1}{12} \cdot 0{,}85 \times 26{,}2^3 - 2\left(2{,}55 \times 0{,}85\right) \times 4{,}25^2 = 1.196 \text{ cm}^4$$

$$\left[(J_x)_c\right]_n = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 1 \times 20{,}5^3 - 4\left(2{,}55 \times 1\right) \times 4{,}25^2 = 1.252 \text{ cm}^4$$

$$(A_c)_n = 30{,}8 \text{ cmq} > (A_a)_n = 23{,}67 \text{ cmq}$$

$$\left[(J_x)_c\right]_n = 1.252 \text{ cm}^4 > \left[(J_x)_a\right]_n \cong 1.196 \text{ cm}^4$$

C - COLONNA

$$(\sigma_{rif})_p = \frac{N_p}{2 \cdot (n_b)_p \cdot d_p \cdot e} = \frac{90}{2 \times 6 \times 2{,}4 \times 1{,}4} = \underline{2{,}23 \text{ t/cmq}} < (\sigma_{rif})_{am} = 3{,}2 \text{ t/cmq}$$

$$(\sigma_{rif})_a = \frac{N_a}{(n_b)_a \cdot d_a \cdot s_a} = \frac{30}{4 \times 2{,}4 \times 0{,}85} = \underline{3{,}67 \text{ t/cmq}} < (\sigma_{rif})_{am} = 3{,}68 \text{ t/cmq}$$

$$\sigma = \frac{N}{A_n} = \frac{120}{112 - 4 \times 2{,}55 \times 1{,}4 - 2 \times 2{,}55 \times 0{,}85} = \underline{1{,}29 \text{ t/cmq}} < \sigma_{am} = 1{,}60 \text{ t/cmq}$$

ESEMPIO (B)

Molto spesso per non mutare le caratteristiche statiche della sezione del ritto in corrispondenza del collegamento, si preferisce dimensionare l'unione ripristinando la sezione, indipendentemente dallo sforzo assiale N effettivamente agente nella sezione.

Sulla base di questa ipotesi ridimensioniamo il giunto della fig. 78.

SIANO ASSEGNATI:

$\tau_{b,am} = 2{,}2$ t/cmq (BULLONI DI CLASSE 10 K)

$\sigma_{am} = 1{,}6$ t/cmq (ACCIAIO TIPO 1)

B-1- ALI

A- COPRIGIUNTO

SI ADOTTA $\neq 300 \times 16$ - ACCIAIO TIPO 1

B- BULLONI

L'area netta della sezione trasversale di un'ala vale:

$(A_p)_n = 30 \times 1{,}4 - 2 \times 2{,}55 \times 1{,}4 = 34{,}86$ cmq

Lo sforzo da essa trasmissibile è pertanto:

$(S_p)_n = (A_p)_n \cdot \sigma_{am} = 34{,}86 \times 1{,}6 = \underline{55{,}78}$ t

Da cui consegue il numero di bulloni strettamente necessari:

$$(\bar{n}_b)_p = \frac{(S_p)_u}{\bar{A}_r \cdot \tau_{b,am}} = \frac{55,78}{4,52 \times 2,2} = 5,61$$

SI ADOTTANO **6 BULLONI ϕ24 – 10 K**

B-2 – ANIMA

A – COPRIGIUNTI

SI ADOTTANO **2 + 205×10 – ACCIAIO TIPO 1**

E SI DISPONGONO I BULLONI COME IN FIG. 78 –

Si ha pertanto:

$(A_c)_u = 30,8$ cmq $>$ $(A_a)_u = 23,67$ cmq

$[(J_x)_c]_u = 1252$ cm^4 $>$ $[(J_x)_a]_u \cong 1196$ cm^4

B – BULLONI

L'area netta della sezione trasversale dell'anima vale:

$(A_a)_u = [112 - 2(30 \times 1,4)] - 2 \times 2,55 \times 0,85 = 23,67$ cmq

Lo sforzo da essa trasmissibile è pertanto:

$(S_a)_u = (A_a)_u \cdot \sigma_{am} = 23,67 \times 1,6 = \underline{37,87 \text{ t}}$

Da cui consegue il numero di bulloni strettamente necessari:

$$(\bar{n}_b)_a \cong \frac{(S_a)_u}{2 \times \bar{A}_r \cdot \tau_{b,am}} = \frac{37,87}{2 \times 4,52 \times 2,2} = 1,90$$

SI ADOTTANO **4 BULLONI ϕ24 – 10 K**

B-3- RITTO IN HEA 300

$$(\sigma_{rif})_p = \frac{(S_p)_M}{(n_b)_p \cdot d_p \cdot e} = \frac{55,78}{6 \times 2,4 \times 1,4} = 2,77 t/cmq < (\sigma_{rif})_{am} = 3,2 t/cmq$$

$$(\sigma_{rif})_a = \frac{(S_a)_M}{(n_b)_a \cdot d_a \cdot s_a} = \frac{37,87}{4 \times 2,4 \times 0,85} = \underline{4,64 t/cmq} > (\sigma_{rif})_{am} = 3,68 t/cmq$$

Essendo $(\sigma_{rif})_a > (\sigma_{rif})_{am}$ si richiede un ridimensionamento del piunto d'anima e la conseguente verifica della sezione del ritto in corrispondenza dei fori.

---

5 - UNIONE COLONNA - PLINTO IN C. A.

Alla base delle colonne si studiano opportune unioni in grado di trasferire le caratteristiche delle sollecitazioni (N - T - M) dalla colonna alle opere di fondazione in cemento armato -

La tipologia del collegamento varia principalmente in funzione dei seguenti parametri:

- TIPO DI VINCOLO (CARRELLO - CERNIERA - INCASTRO)
- VERSO DELLE CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI
- ENTITÁ DEGLI SFORZI CHE SOLLECITANO LA COLONNA ALLA BASE
- CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE TRASVERSALE DELLA COLONNA -

Limitiamo il nostro esame a tre collegamenti per le colonne realizzate con i profilati a caldo delle serie HEA - HEB - HEM :

- CERNIERA PER COLONNE COMPRESSE (FIG. 79)
- CERNIERA PER COLONNE TESE (FIG. 80)
- INCASTRO (FIG. 81) -

(Naturalmente é possibile estendere le considerazioni di questo studio anche a colonne aventi caratteristiche geometriche diverse da quelle dei profilati HE) -

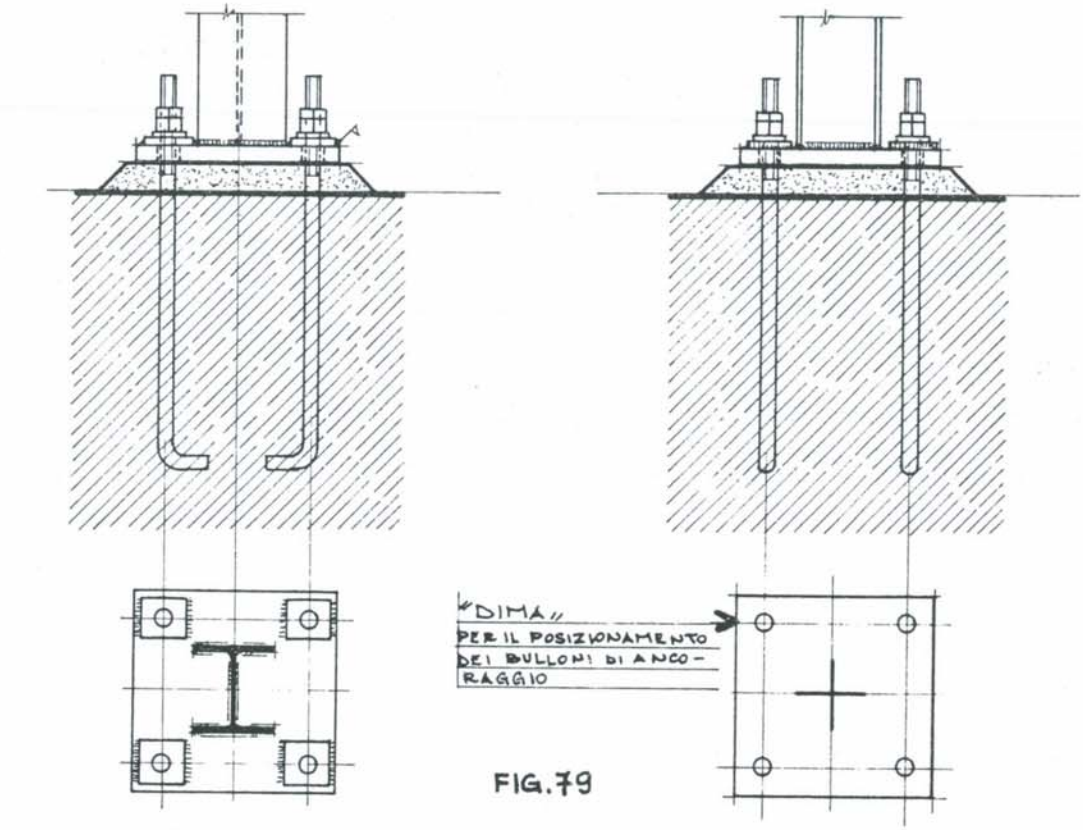


FIG. 79

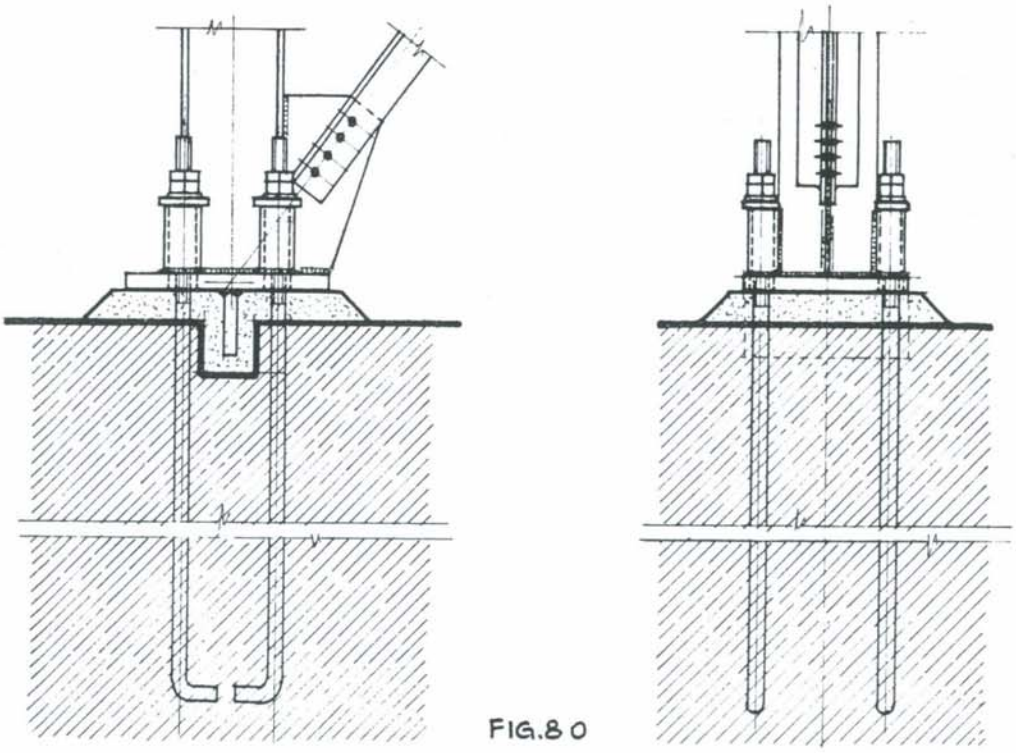


FIG. 80

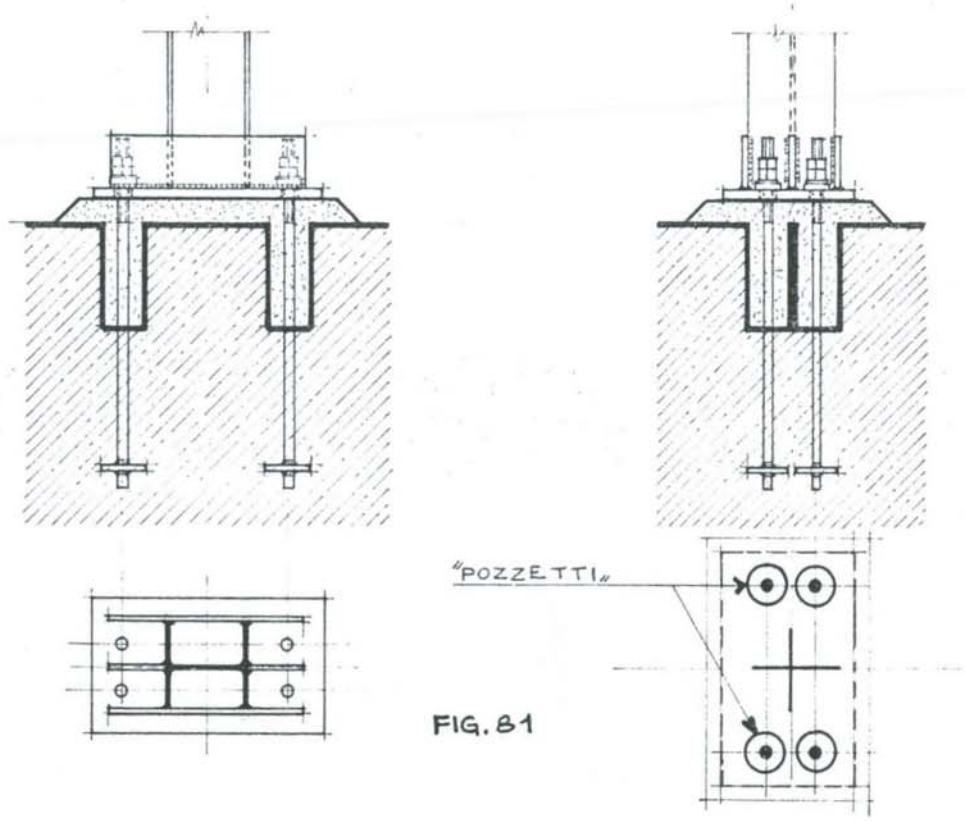


FIG. 81

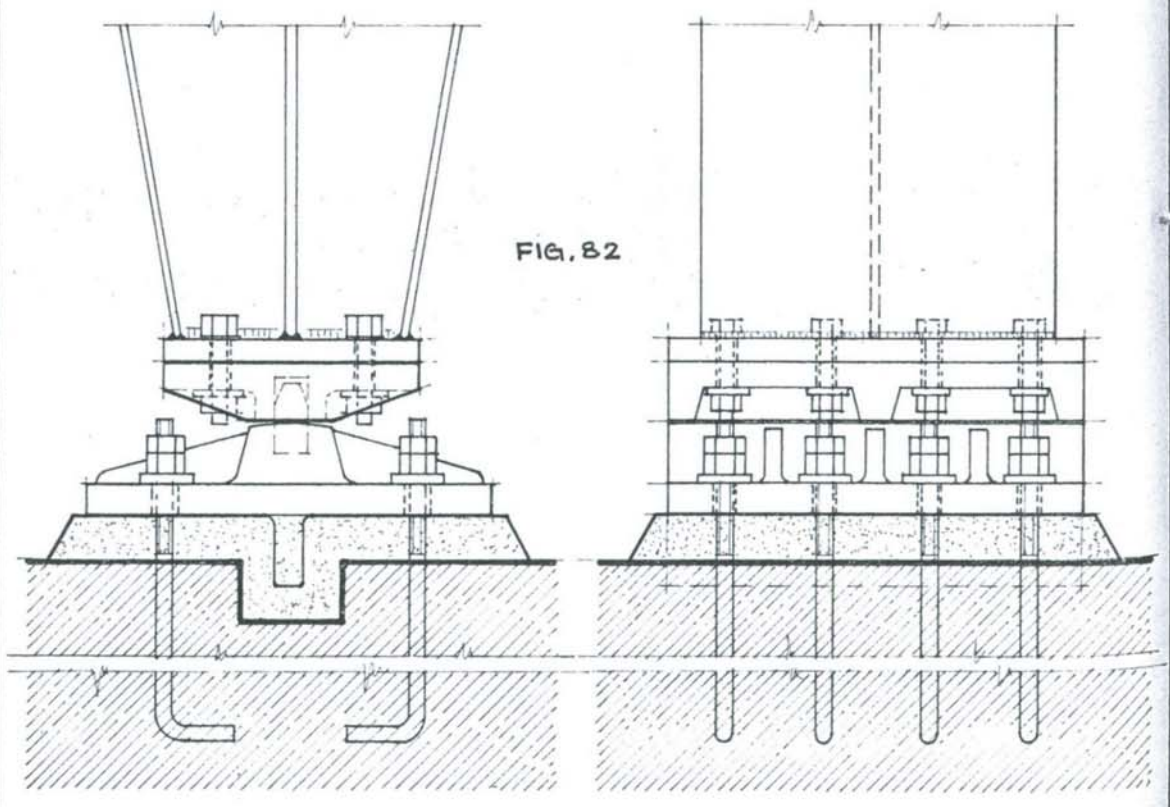


FIG. 82

Negli esempi riportati il vincolo CERNIERA si discosta notevolmente dal vincolo ideale.

Tali soluzioni sono accettabili in quanto di pratica realizzazione e poiché i momenti d'incastro, a cui danno luogo, sono di entità trascurabile.

Si ricorre agli "APPARECCHI D'APPOGGIO A CERNIERA IDEALE", quando si presentano particolari condizioni di progetto. (Fig. 82).

5-1 - CERNIERA PER COLONNE COMPRESSE

Il vincolo CERNIERA viene di norma richiesto per le colonne in HE degli edifici multipiano in acciaio, con elementi strutturali a "SCHEMA STATICO PENDOLARE".

In tal caso l'unione più semplice è realizzata saldando alla base del ritto una piastra in acciaio predisposta con quattro fori e collegando quest'ultima alla fondazione in cemento armato, mediante quattro bulloni. (Fig. 79).

Per colonne di notevoli dimensioni, sottoposte a grossi carichi di compressione, risulta più opportuno rinforzare la piastra di base con nervature verticali, al fine di contenere lo

spessore della piastra entro valori accettabili -

Naturalmente in questo caso sarà necessario dimensionare "a la stra" gli elementi della piastra di base contornati delle nervature e "a flessione e taglio" le nervature considerate collaboranti con una parte della piastra di base a cui sono saldate - (Fig. 83).

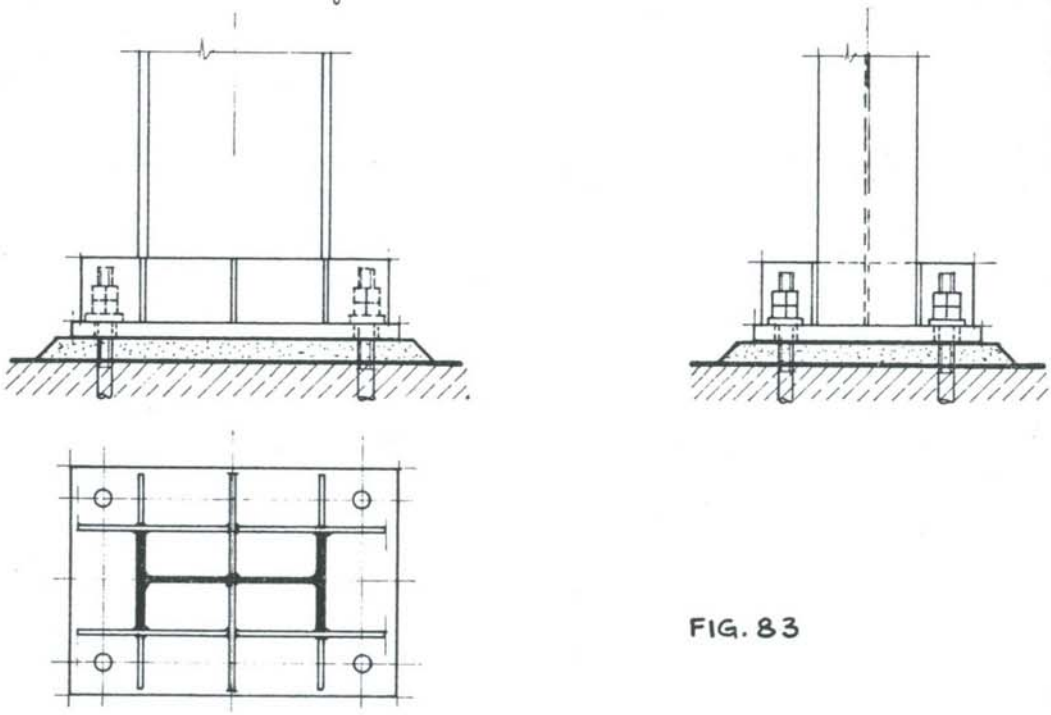


FIG. 83

I bulloni di ancoraggio vengono previsti e dimensionati per le azioni agenti sulla colonna durante le operazioni di montaggio - Infatti in esercizio, essendo il ritto sottoposto a soli carichi assiali di compressione, i bulloni non sono sollecitati né da azioni di taglio né da sforzi di trazione -

— Riportiamo alcune indicazioni per il dimensionamento della piastra di base delle cerniere del tipo della fig. 79.

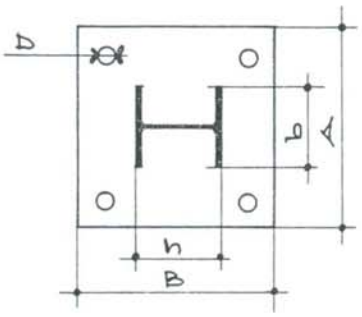


FIG. 84

Assegnata la piastra di base della fig. 84, siano:

- N = carico totale che la colonna deve trasmettere, tramite la piastra di base, alla fondazione in c.a.
- $S = A \cdot B$ = Area della piastra
- n_f = Numero di fori di diametro D praticati nella piastra
- A_f = Area totale dei fori
- $S_n = S - A_f$ = Area netta della piastra
- σ_c = Tensione di contatto fra piastra e calcestruzzo
- $\overline{\sigma}'_b$ = Tensione di compressione ammissibile nel conglomerato cementizio.
- σ_{am} = Tensione a flessione ammissibile nella piastra
- t = Spessore della piastra.

Al contatto fra l'intradosso della piastra e l'estradosso della fondazione in c.a. dovrà essere verificata la relazione:

$$S_n \cdot \overline{\sigma}'_b \geq N$$

Da cui:

$$(A \cdot B - n_f \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}) \cdot \bar{\sigma}'_b \geq N$$

$$A \cdot B \geq \frac{N}{\bar{\sigma}'_b} + n_f \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}$$

$$B \geq \frac{1}{A} \left(\frac{N}{\bar{\sigma}'_b} + n_f \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right)$$

Relazione che permette di valutare B una volta prefissato A

Nel caso particolare di PIASTRA QUADRATA CON QUATTRO FORI si ha:

$$A = B \geq \sqrt{\frac{N}{\bar{\sigma}'_b} + \pi \cdot D^2}$$

– Al fine del dimensionamento dello spessore della piastra si suppone, per profilati delle serie HEA - HEB – HEM, che il carico N sia uniformemente distribuito su una superficie rettangolare fittizia di lati (Fig. 85):

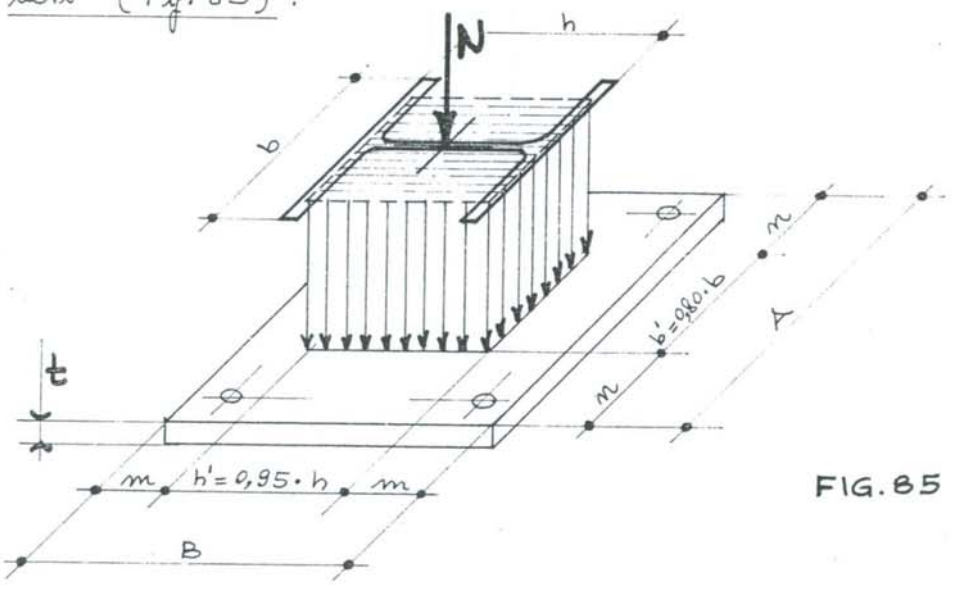


FIG. 85

$$h' = 0{,}95 \cdot h$$

$$b' = 0{,}80 \cdot b$$

Si suppone cioé che la piastra abbia sbalzi:

$$m = \frac{B - 0{,}95 \cdot h}{2}$$

$$n = \frac{A - 0{,}80 \cdot h}{2}$$

Sulla base di tale ipotesi risulta immediato il dimensionamento dello spessore t.

Infatti, determinata l'effettiva tensione di contatto fra piastra e calcestruzzo con una delle due relazioni:

$$\sigma_c = \frac{N}{A \cdot B - n_f \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}}$$ (PER PIASTRA RETTANGOLARE CON n_f FORI)

$$\sigma_c = \frac{N}{A^2 - \pi \cdot D^2}$$ (PER PIASTRA QUADRATA CON QUATTRO FORI)

e chiamato L il maggiore tra m ed n, si pone:

$$M_{x\,(1\,cm)} = \sigma_c \cdot \frac{L^2}{2} \qquad W_{x\,(1\,cm)} = \frac{1}{6} \cdot t^2$$

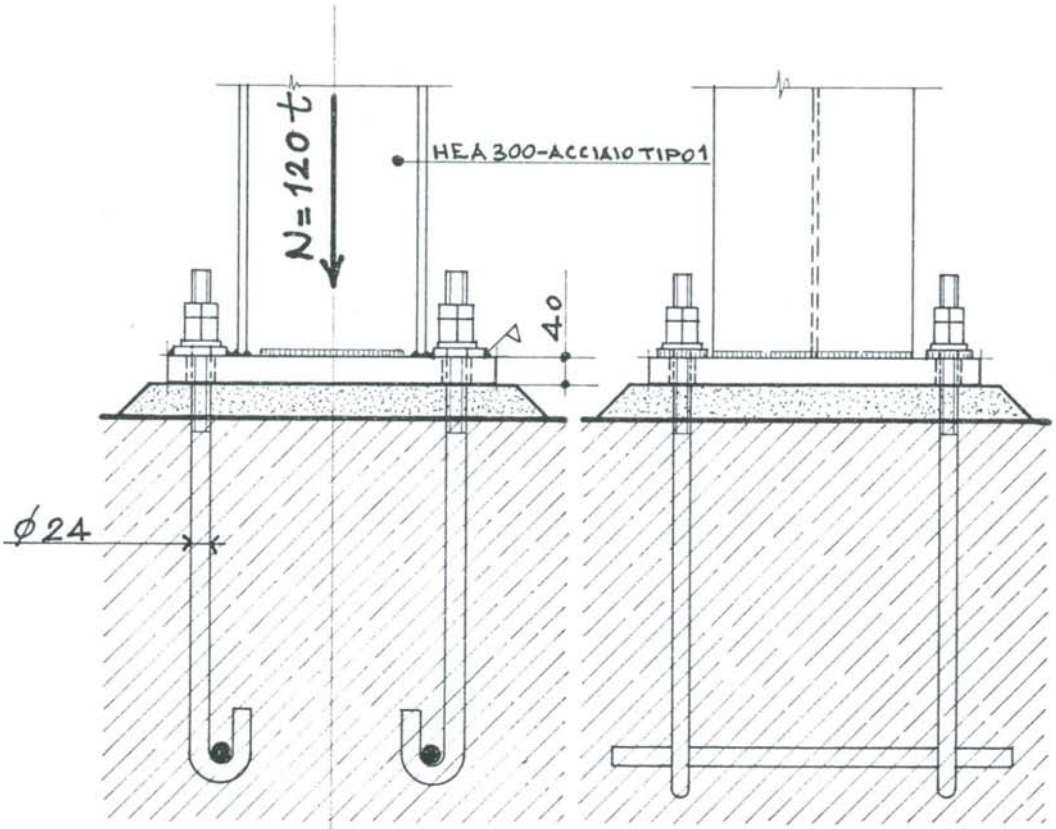
$$\sigma = \frac{M_{x\,(1\,cm)}}{W_{x\,(1\,cm)}} = \frac{\sigma_c \cdot \frac{L^2}{2}}{\frac{1}{6} \cdot t^2} = \frac{3 \cdot \sigma_c \cdot L^2}{t^2} \leq \sigma_{am}$$

da cui:

$$3 \cdot \frac{\sigma_c \cdot L^2}{\sigma_{am}} \leq t^2$$

$$t \geq \sqrt{\frac{3 \cdot \sigma_c \cdot L^2}{\sigma_{am}}}$$

ESEMPIO



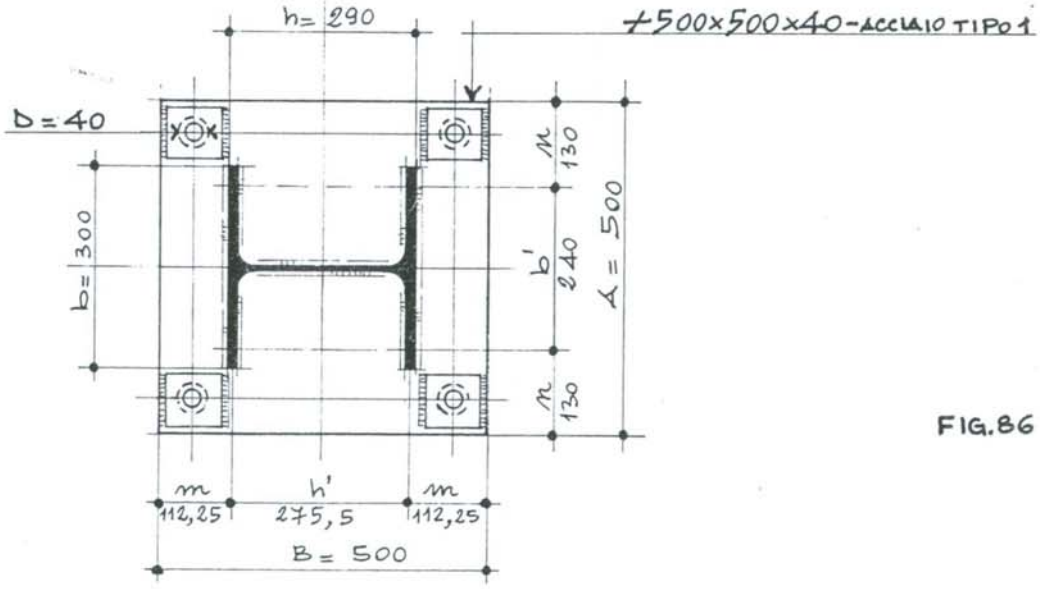


FIG. 86

Siano assegnati:

$$\begin{cases} N = 120\ t \\ \bar{\sigma}'_b = 60\ kg/cmq \\ \sigma_{am} = 1{,}6\ t/cmq \\ D = 40\ mm \end{cases}$$

Poiché è prevista una piastra quadrata con quattro fori, deve essere:

$$A = B \geq \sqrt{\frac{N}{\bar{\sigma}'_b} + \pi \cdot D^2} = \sqrt{\frac{120{\cdot}000}{60} + 3{,}14 \times 4^2} = 45{,}3\ cm$$

ADOTTIAMO $\underline{A = B = 500\ mm}$

Si ha pertanto:

$$m = \frac{B - 0{,}95 \cdot h}{2} = \frac{50 - 0{,}95 \times 29}{2} = 11{,}225\ cm$$

$$n = \frac{A - 0{,}80 \cdot b}{2} = \frac{50 - 0{,}80 \times 30}{2} = 13\ cm$$

di cui il maggiore è:

$$L = n = 13\ cm > m$$

Troviamo quindi la tensione effettiva di contatto fra piastra e calcestruzzo e lo spessore della piastra:

$$\sigma_c = \frac{N}{A^2 - \pi \cdot D^2} = \frac{120{\cdot}000}{50^2 - 3{,}14 \times 4^2} = \underline{48{,}98\ kg/cmq} < \bar{\sigma}'_b$$

$$t \geq \sqrt{\frac{3 \cdot \sigma_c \cdot L^2}{\sigma_{am}}} = \sqrt{\frac{3 \times 48{,}98 \times 13^2}{1{\cdot}600}} = 3{,}94\ cm$$

ADOTTIAMO $\underline{t = 40\ mm}$

5-2- CERNIERA PER COLONNE TESE

Negli edifici multipiano in acciaio, con elementi strutturali a "schema statico pendolare", vi sono colonne semplicemente compresse e colonne che sono sottoposte a sforzi assiali di compressione o di trazione, a seconda dell'entità e del verso delle forze che sollecitano l'edificio-

In particolare le colonne interessate dai controventi verticali, oltre a trasmettere alle fondazioni i carichi verticali agenti sui solai, sono sottoposte a sforzi assiali di compressione e trazione, in quanto briglie di tali controventi-
Tali sforzi s'invertono al variare del verso delle forze orizzontali che sollecitano i controventi-

In questo caso l'unione dovrà essere in grado di trasmettere alla fondazione sia gli sforzi di compressione che quello di trazione (fig. 80).

Per la trasmissione degli sforzi di compressione si può dimensionare la piastra sulla base delle indicazioni riportate per le colonne solamente compresse-

La forza di trazione, invece, viene trasmessa dalla colonna alla fondazione in C.A., tramite i bulloni di ancoraggio-

Questi possono trasmettere il tiro alla fondazione in C.A. con tre tipi di vincolo:

- ADERENZA FRA LA SUPERFICIE DEL BULLONE ED IL CALCESTRUZZO (FIG. 87)
- ANCORAGGIO A TRAVERSE IN ACCIAIO, ANNEGATE NELLA FONDAZIONE, CHE RICEVONO IL TIRO DAI BULLONI E LO TRASMETTONO PER CONTATTO AL CALCESTRUZZO (FIG. 88)
- ADERENZA FRA LA SUPERFICIE DEL BULLONE ED IL CALCESTRUZZO, OLTRE AL CONTATTO CON QUEST'ULTIMO DI UNA ROSETTA D'ACCIAIO, SALDATA AL BULLONE (FIG. 89)

(Naturalmente il plinto va adeguatamente armato per evitare lesioni a taglio).

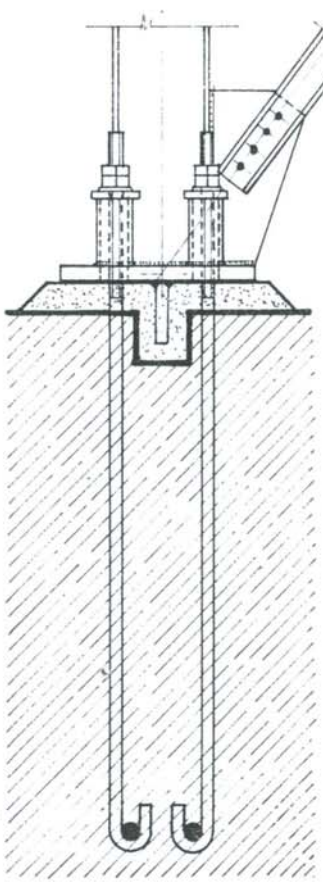


FIG. 87

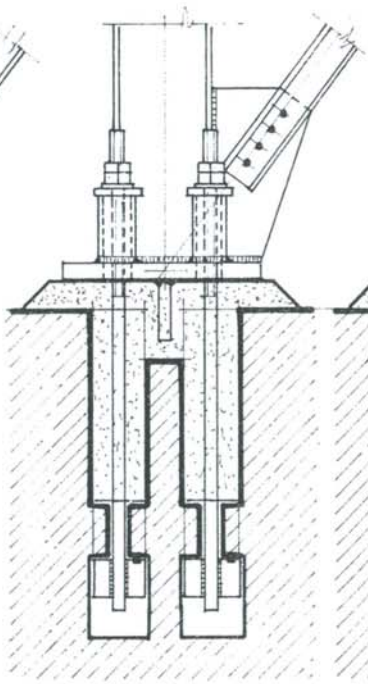


FIG. 88

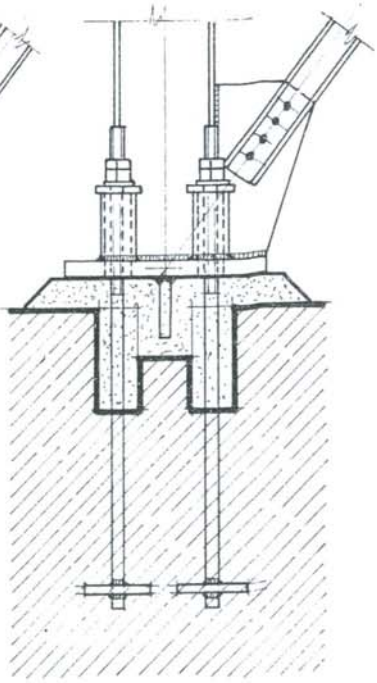


FIG. 89

– Riportiamo alcune indicazioni per il dimensionamento dei bulloni e degli ancoraggi annegati nella fondazione in C.A. –

Siano:

- N = TIRO DA TRASMETTERE ALLA FONDAZIONE
- n_b = NUMERO DEI BULLONI DI ANCORAGGIO
- D = DIAMETRO DEI BULLONI
- $\bar{A}_r$ = SEZIONE RESISTENTE DEL BULLONE IN CORRISPONDENZA DEL GAMBO
- A_r = SEZIONE RESISTENTE DEL BULLONE IN CORRISPONDENZA DEL FILETTO
- $\sigma_{b,am}$ = TENSIONE AMMISSIBILE A TRAZIONE DEL BULLONE.

ciascun bullone deve trasmettere lo sforzo $N_b = \frac{N}{n_b}$ ed è sollecitato dalla tensione a trazione $\sigma_b = \frac{N_b}{A_r} = \frac{N}{n_b \cdot A_r}$

Dovrà naturalmente essere soddisfatta la relazione:

$$\sigma_b = \frac{N}{n_b \cdot A_r} \leq \sigma_{b,am}$$

Poiché mediamente si ha $A_r = 0{,}75 \cdot \bar{A}_r$, possiamo scrivere:

$$\sigma_{b,am} = \frac{N}{n_b \cdot A_r} = \frac{N}{n_b \cdot 0{,}75 \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}} = \frac{N}{0{,}59 \cdot n_b \cdot D^2}$$

Da cui si ricava:

$$D = \sqrt{\frac{N}{0{,}59 \cdot n_b \cdot \sigma_{b,am}}}$$

Relazione che ci permette di <u>determinare direttamente il diametro D dei bulloni</u>.

Come abbiamo già accennato, lo sforzo N_b può essere trasmesso alla fondazione in tre modi:

- BULLONI AD ADERENZA
- TRAVERSE DI FONDAZIONE A CONTATTO
- BULLONI AD ADERENZA E ROSETTE A CONTATTO –

Esaminiamo separatamente i tre casi.

5-2-1- BULLONI AD ADERENZA

Questo tipo di vincolo permette il passaggio dello sforzo N_b dal bullone al calcestruzzo, mediante l'aderenza fra la superficie del bullone ed il calcestruzzo (fig. 90).

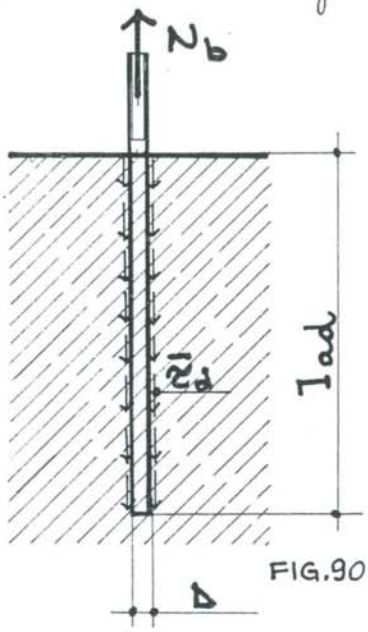


FIG. 90

La tensione tangenziale di aderenza ammissibile per le barre tonde lisce vale:

$$\bar{\tau}_d = 1{,}2 \cdot \bar{\tau}_{bo} = 1{,}2\left(4 + \frac{R'_{bK} - 150}{75}\right)$$

dove:

$\bar{\tau}_{bo}$ = TENSIONE TANGENZIALE AMMISSIBILE NEL CONGLOMERATO IN ASSENZA DI APPOSITA ARMATURA.

R'_{bK} = RESISTENZA CARATTERISTICA A 28 GIORNI DEL CALCESTRUZZO.

Il bullone è a diretto contatto del calcestruzzo mediante la superficie:

$$A_{ad} = \pi \cdot D \cdot l_{ad}$$

Poiché lo sforzo che il bullone può trasmettere per aderenza deve essere uguale ad N_b, si ha:

$$N_b = A_{ad} \cdot \bar{\tau}_d = \pi \cdot D \cdot l_{ad} \cdot 1{,}2 \cdot \bar{\tau}_{bo}$$

Da cui:

$$l_{ad} = \frac{N_b}{3{,}768 \cdot \bar{\tau}_{bo} \cdot D}$$

Relazione che ci permette di valutare la lunghezza della parte di bullone da annegare nel calcestruzzo.

— PER BULLONI DI CLASSE 4D e in assenza di apprezzabili flessioni parassite e di fenomeni di fatica $\sigma_{b,am} = 1{,}40$ t/cmq che sostituito nella

$$D = \sqrt{\frac{N}{0{,}59 \cdot n_b \cdot \sigma_{b,am}}}$$

dà:

$$D = \sqrt{\frac{N}{n_b} \cdot \frac{1}{0{,}59 \times 1{,}40}} = \sqrt{N_b \cdot 1{,}21}$$

$$\textcircled{1} \quad D = 1{,}10\sqrt{N_b}$$

{ D espresso in cm
{ N_b espresso in t

— PER CONGLOMERATI CON $R'_{bK} = 150$ Kg/cmq si ha $\bar{\tau}_{bo} = 4$ Kg/cmq che sostituito nella:

$$I_{ad} = \frac{N_b}{3{,}768 \times \bar{\tau}_{bo} \cdot D}$$

dà:

$$I_{ad} = \frac{N_b}{3{,}768 \times 4 \cdot D}$$

$$\textcircled{2} \quad I_{ad} = \frac{N_b}{15 \cdot D}$$

{ I_{ad} espresso in cm
{ N_b espresso in Kg
{ D espresso in cm

— PER BULLONI DI CLASSE 4D IN ASSENZA DI APPREZZABILI FLESSIONI PARASSITE E DI FENOMENI DI FATICA E PER CONGLOMERATI CON $R'_{bK} = 150$ Kg/cmq

sostituendo la ① nella ② si ha:

$$I_{ad} = \frac{10^3 \times N_b}{15 \times 1{,}10 \cdot \sqrt{N_b}} = \frac{10^3 \times N_b \cdot \sqrt{N_b}}{15 \times 1{,}10 \cdot N_b} = \frac{10^3 \times \sqrt{N_b}}{15 \times 1{,}10}$$

$$I_{ad} = 60\sqrt{N_b}$$

{ I_{ad} espresso in cm
{ N_b espresso in t

Pertanto le due relazioni

$$D = 1{,}10\sqrt{N_b} \; ; \; I_{ad} = 60\sqrt{N_b}$$

{ D espresso in cm
{ I_{ad} " " cm
{ N_b " " t

permettono di determinare direttamente il diametro del bullone e la lunghezza della superficie di aderenza strettamente necessari, una volta noto lo sforzo N_b che sollecita il bullone, e per:

$A_r = 0{,}75\,\bar{A}_r$ $\quad \sigma_{b,am} = 1{,}40$ t/cmq $\quad \bar{\tau}_{bo} = 4$ Kg/cmq

ESEMPIO

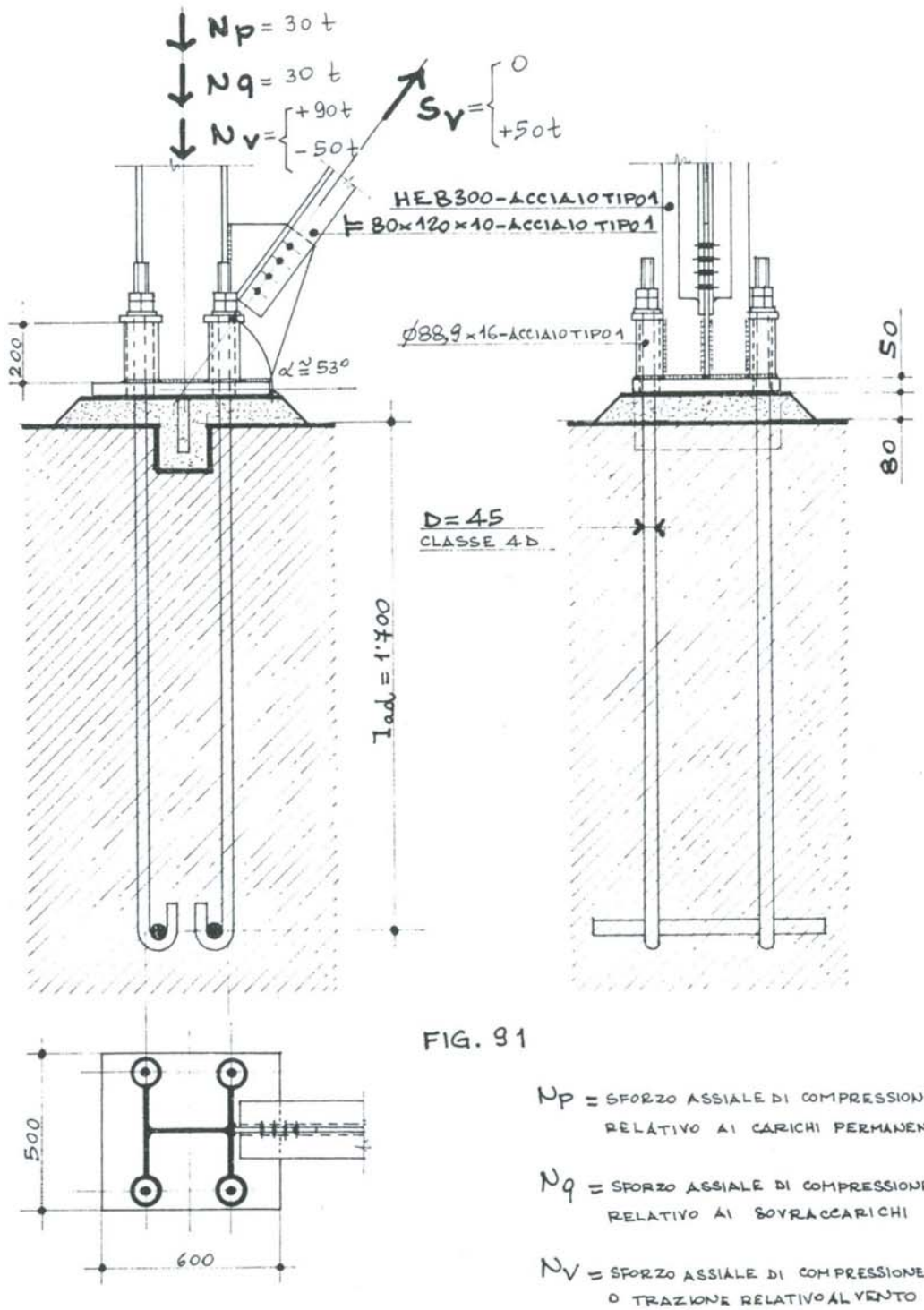


FIG. 91

N_p = SFORZO ASSIALE DI COMPRESSIONE RELATIVO AI CARICHI PERMANENTI

N_q = SFORZO ASSIALE DI COMPRESSIONE RELATIVO AI SOVRACCARICHI

N_V = SFORZO ASSIALE DI COMPRESSIONE O TRAZIONE RELATIVO AL VENTO

S_V = SFORZO DI TRAZIONE REL. AL VENTO

- Lo sforzo di trazione che sollecita ciascun bullone vale:

$$N_b = \frac{N}{n_b} = \frac{N_V + S_V \cdot \operatorname{sen}\alpha - N_P}{n_b} =$$

$$= \frac{50 + 50 \times 0{,}80 - 30}{4} = \underline{15\ t}$$

- Siano assegnati:

$\sigma_{b,am} = 1{,}40\ t/cmq$ (BULLONI DI CLASSE 4D)

$R'_{bK} = 250\ Kg/cmq$

$\bar{\tau}_{bo} = 4 + \frac{R'_{bK} - 150}{75} = 5{,}33\ Kg/cmq$

- DIAMETRO DEI BULLONI

- PROGETTO

$D = 1{,}10\sqrt{N_b} = 1{,}10\sqrt{15} = 4{,}26\ cm$

SI ADOTTANO **4 BULLONI ϕ 45 - 4D**

- VERIFICA

$\sigma_b = \frac{N_b}{A_r} = \frac{15}{11{,}74} = \underline{1{,}28\ t/cmq} < \sigma_{b,am} = 1{,}40\ t/cmq$

- LUNGHEZZA DELLA PARTE DI BULLONE DA ANNEGARE NEL CALCESTRUZZO

- PROGETTO

$l_{ad} = \frac{N_b}{3{,}768 \cdot \bar{\tau}_{bo} \cdot D} = \frac{15'000}{3{,}768 \times 5{,}33 \times 4{,}5} = 166\ cm$

SI ASSUME **$l_{ad} = 170\ cm$**

- VERIFICA

$\tau_{ad} = \frac{N_b}{\pi \cdot D \cdot l_{ad}} = \frac{15'000}{3{,}14 \times 4{,}5 \times 170} = \underline{6{,}24\ Kg/cmq} < 1{,}2 \times \bar{\tau}_{bo} =$

$= 1{,}2 \times 5{,}33 = 6{,}4\ Kg/cm$

5-2-2- TRAVERSE DI FONDAZIONE A CONTATTO

Durante l'esecuzione delle fondazioni vengono annegate delle traverse costituite di norma da una coppia di profilati ad UNP.

E' possibile ricorrere a traverse in angolari o in tondo, se i bulloni sono sollecitati da carichi modesti o servono esclusivamente durante le operazioni di montaggio delle strutture.

Naturalmente nelle fondazioni sono previsti dei pozzetti che permettono l'inserimento dei bulloni ed il loro ammorso alle traverse (fig. 92).

In questo tipo di vincolo, il passaggio degli sforzi N_b dai bulloni al calcestruzzo avviene tramite il contatto delle traverse con il calcestruzzo.

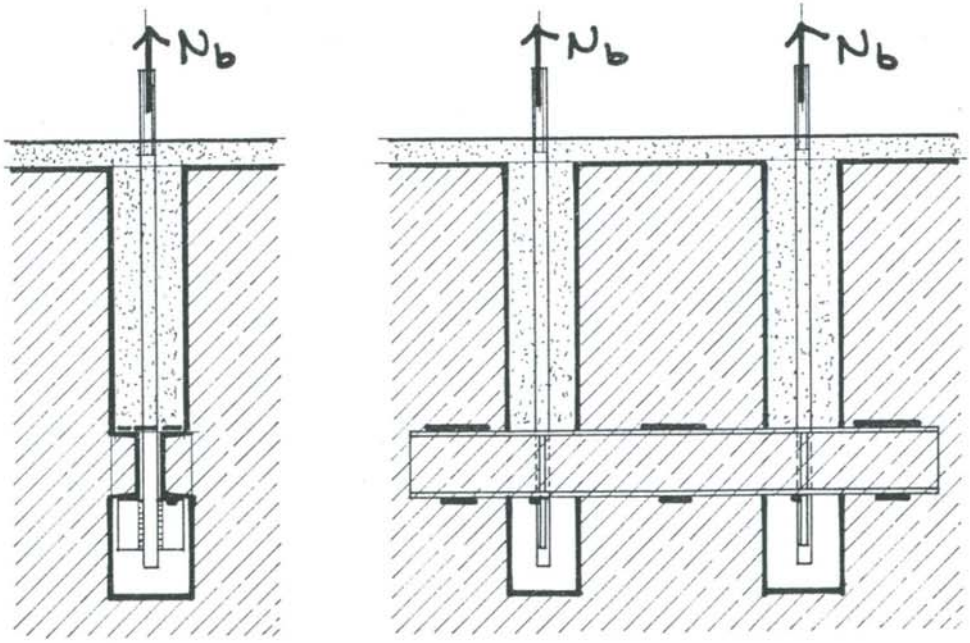


FIG. 92

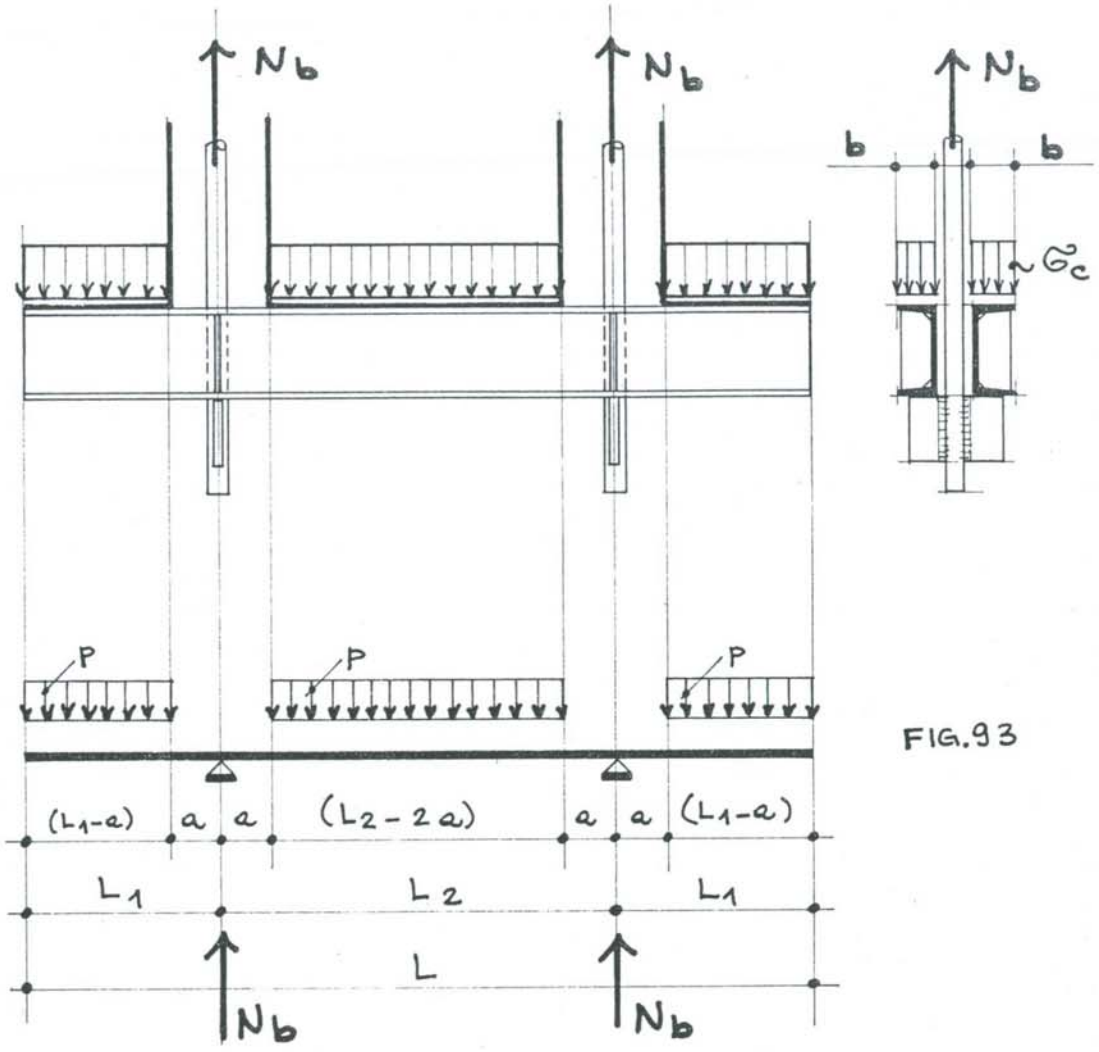


FIG. 93

La traversa è sollecitata dai carichi in fig. 93 - dove, essendo:

$$p = \frac{2 \cdot N_b}{L - 4 \cdot a}$$

si ha:

$$(M_{max})_- = -\frac{1}{2}\, p \cdot (L_1^2 - a^2)$$

$$(M_{max})_+ = \frac{1}{8}\, p \cdot (L_2^2 - 4 \cdot L_1^2)$$

(si hanno momenti positivi solo se: $L_1 < \frac{L_2}{2}$)

IL TAGLIO MASSIMO SUGLI APPOGGI VALE :

per $L_1 \leq \frac{L_2}{2}$ $\qquad T_{max} = p \cdot \frac{(L_2 - 2a)}{2}$

per $L_1 \geq \frac{L_2}{2}$ $\qquad T_{max} = p \cdot (L_1 - a)$

- Effettuato un predimensionamento di massima della traversa, vanno eseguite due verifiche :

A - Verifica di resistenza della fondazione

B - Verifica di resistenza della traversa -

A - VERIFICA DI RESISTENZA DELLA FONDAZIONE

Sia

$$\bar{\sigma}'_b = 60 + \frac{R'_{bK} - 150}{4}$$

la tensione di compressione ammissibile nel conglomerato -

La TENSIONE DI CONTATTO σ_c fra estradosso della traversa e calcestruzzo dovrà soddisfare la relazione (fig. 93):

$$\sigma_c = \frac{p}{2 \cdot b} \leq 0{,}7 \cdot \bar{\sigma}'_b$$

B - VERIFICA DI RESISTENZA DELLA TRAVERSA

Siano

σ_{am} = tensione ammissibile a flessione della traversa -

$$\sigma_1 = \frac{(M_{max})_-}{W_x} \; ; \; \sigma_2 = \frac{(M_{max})_+}{W_x}$$

$$\tau_{med} = \frac{T_{max}}{A_a}$$

dove A_a è l'area totale delle due anime della coppia di profilati facenti parte di una traversa -

Dovranno essere verificate le relazioni:

$$\sigma_{1\,id} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3 \cdot \tau_{med}^2} \leq \sigma_{am} \; ; \; \sigma_2 \leq \sigma_{am}$$

ESEMPIO

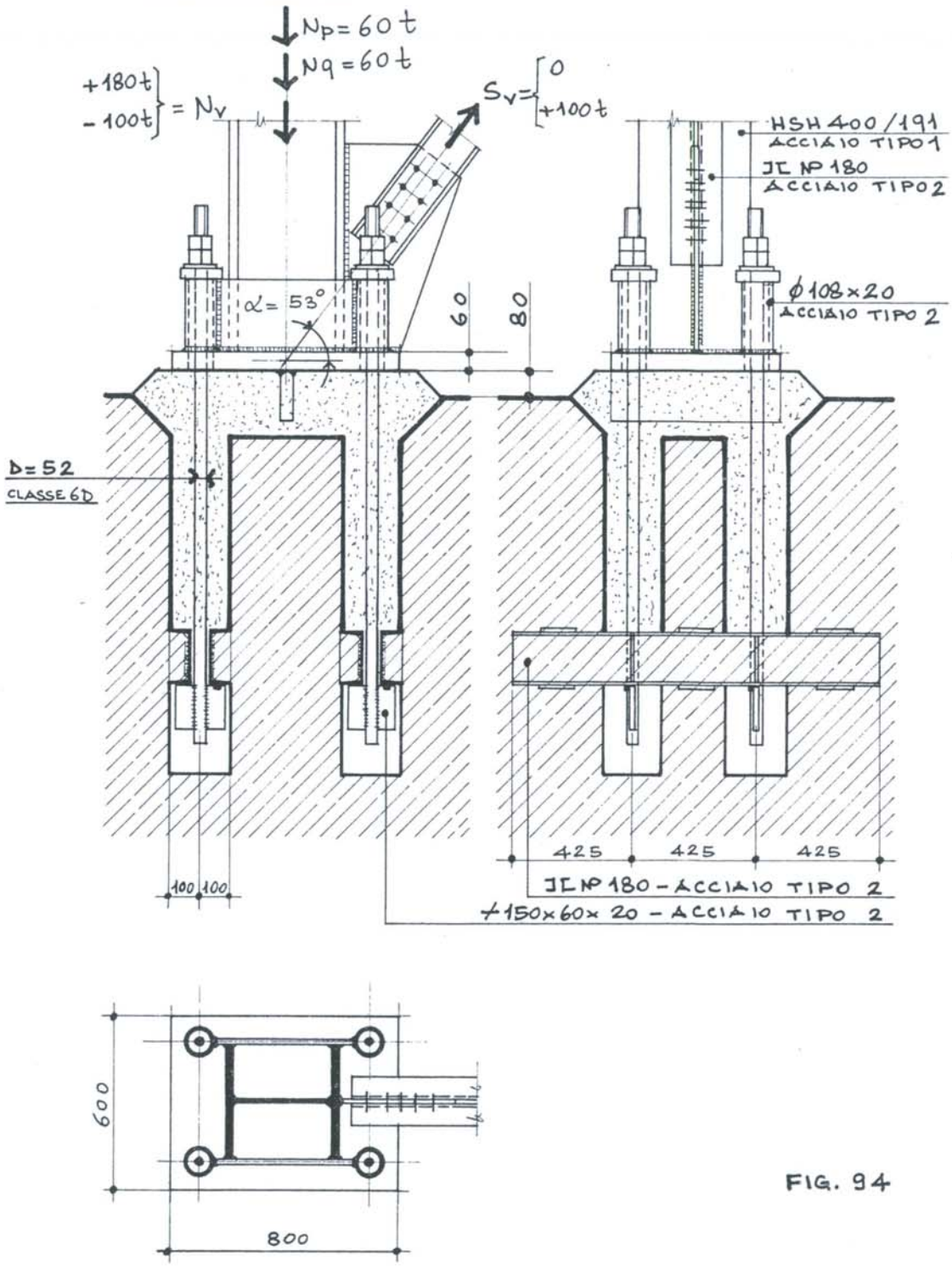


FIG. 94

- Lo sforzo di trazione che sollecita ciascun bullone vale:

$$N_b = \frac{N}{n_b} = \frac{N_V + S_V \cdot \operatorname{sen}\alpha - N_P}{n_b} =$$

$$= \frac{100 + 100 \times 0{,}80 - 60}{4} = \underline{30\ t}$$

- Siano assegnati:

$\sigma_{b,am} = 2{,}00\ t/cmq$ (BULLONI DI CLASSE 6D)

$R'_{bK} = 300\ Kg/cmq$

$\bar{\sigma}'_b = 60 + \frac{R'_{bK} - 150}{4} = 97{,}5\ Kg/cmq$

$\sigma_{am} = 2{,}40\ t/cmq$ (TRAVERSE IN ACCIAIO TIPO 2)

- DIAMETRO DEI BULLONI

- PROGETTO

$$D = \sqrt{\frac{N_b}{0{,}59 \times \sigma_{b,am}}} = \sqrt{\frac{30}{0{,}59 \times 2{,}00}} = 5{,}04\ cm$$

SI ADOTTANO **4 BULLONI ϕ52 - 6D**

- VERIFICA

$$\sigma_b = \frac{N_b}{A_r} = \frac{30}{15{,}88} = \underline{1{,}89\ t/cmq} < \sigma_{b,am} = 2{,}00\ t/cmq$$

- TRAVERSE DI FONDAZIONE

- PREDIMENSIONAMENTO

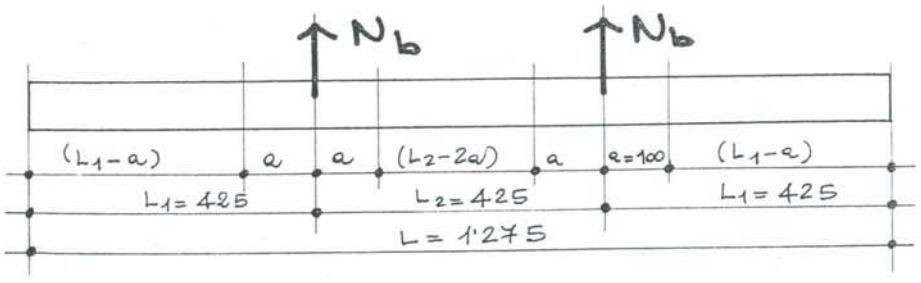


FIG. 95

$$p = \frac{2 \cdot N_b}{L - 4 \cdot a} = \frac{2 \times 30'000}{127{,}5 - 4 \times 10} = 685{,}71 \text{ Kg/cml}$$

$$b_{min} = \frac{p}{2 \times 0{,}7 \times \bar{\sigma}'_b} = \frac{685{,}71}{2 \times 0{,}7 \times 97{,}5} = 5{,}02 \text{ cm}$$

ADOTTIAMO][N° 180 – ACCIAIO TIPO 2

A– VERIFICA DI RESISTENZA DELLA FONDAZIONE

$$\sigma_c = \frac{p}{2 \cdot b} = \frac{685{,}71}{2 \times 7} = 48{,}98 \text{ Kg/cmq} < 0{,}7 \times \bar{\sigma}'_b = 68{,}25 \text{ Kg/cmq}$$

B– VERIFICA DI RESISTENZA DELLA TRAVERSA

$$\sigma_1 = \frac{(M_{max})_-}{W_x} = \frac{-\frac{1}{2} p (L_1^2 - a^2)}{W_x} =$$

$$= \frac{-\frac{1}{2} \cdot 685{,}71 (42{,}5^2 - 10^2)}{2 \times 150} = -1'950 \text{ Kg/cmq}$$

$$\sigma_2 = \frac{(M_{max})_+}{W_x} = \frac{\frac{1}{8} p (L_2^2 - 4 \cdot L_1^2)}{W_x} =$$

$$= \frac{\frac{1}{8} \cdot 685{,}71 (42{,}5^2 - 4 \times 42{,}5^2)}{2 \times 150} = -1'549 \text{ Kg/cmq}$$

(NOTA BENE

La valutazione di σ_2 va effettuata solo quando $|(M_{max})_+| > |(M_{max})_-|$.
Qui è stato calcolato σ_2 a solo scopo indicativo).

$$L_1 > \frac{L_2}{2}$$

$$\tau_{med} = \frac{T_{max}}{A_a} = \frac{p(L_1 - a)}{A_a} =$$

$$= \frac{685{,}71\,(42{,}5-10)}{2 \times 0{,}80 \times 18} = 774 \text{ kg/cmq}$$

$$\sigma_{1\,id} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3 \cdot \tau_{med}^2} = \sqrt{1.950^2 + 3 \times 774^2} =$$

$$= \underline{2.366 \text{ kg/cmq}} < \sigma_{am} = 2.400 \text{ kg/cmq}$$

$$\sigma_2 = -1.549 \text{ kg/cmq} < \sigma_{am} = 2.400 \text{ kg/cmq}$$

C - "TESTA A MARTELLO" DEL BULLONE

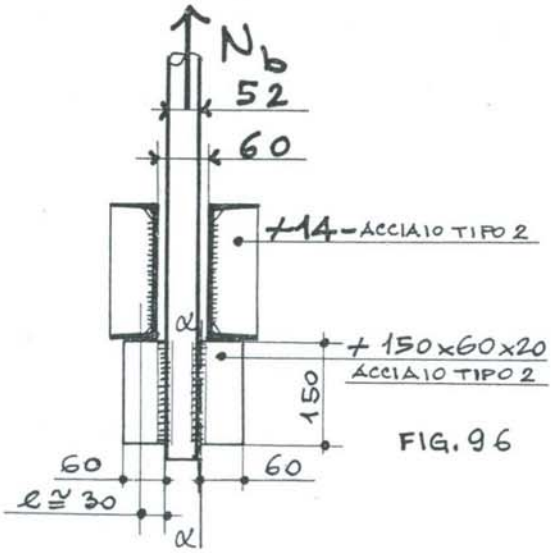
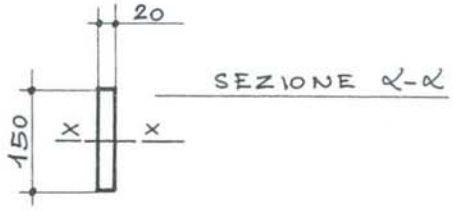


FIG. 96



$$A = 15 \times 2 = 30 \text{ cmq}$$

$$W_x = \frac{1}{6} \cdot 2 \times 15^2 = 75 \text{ cm}^3$$

$$\begin{cases} T = \dfrac{N_b}{2} = \dfrac{30}{2} = 15\,t \\ M = \dfrac{N_b}{2} \cdot e = 15 \times 3 = 45\ t \times cm \end{cases}$$

$$\sigma = \frac{M}{W_x} = \frac{45}{75} = 0{,}60 \text{ t/cmq} \; ; \; \tau_{med} = \frac{T}{A} = \frac{15}{30} = 0{,}50 \text{ t/cmq}$$

$$\sigma_{id} \cong \sqrt{\sigma^2 + 3 \times \tau_{med}^2} = \sqrt{0{,}60^2 + 3 \times 0{,}50^2} = \underline{1{,}05 \text{ t/cmq}} < \sigma_{am} = 2{,}40 \text{ t/cmq}$$

5-2-3- BULLONI AD ADERENZA E ROSETTE A CONTATTO

E' possibile trasferire la forza di trazione dal bullone al calcestruzzo per contatto, ricorrendo ad una piastra d'acciaio saldata all'estremità del bullone (fig. 97).

Valutando opportunamente le dimensioni di tale piastra e la lunghezza l_{ad} della parte di bullone annegata nel calcestruzzo, si può prevedere che un'aliquota di N_b venga trasmessa per contatto e la rimanente parte per aderenza.

In questo studio supponiamo che N_b VENGA TRASMESSO AL CALCESTRUZZO INTEGRALMENTE PER CONTATTO.

La piastra d'acciaio, di forma anulare, la chiameremo "ROSETTA".

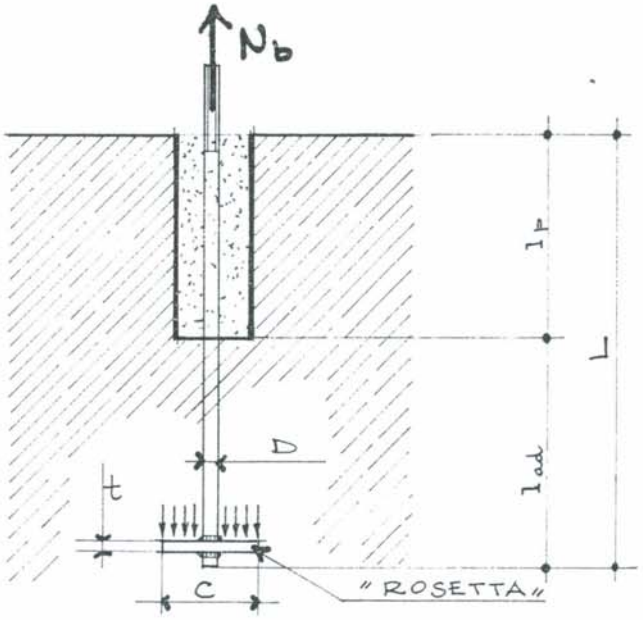


FIG.97

- Noto N_b bisognerà valutare:

A - DIAMETRO DEL BULLONE

B - DIAMETRO DELLA ROSETTA

C - SPESSORE DELLA ROSETTA

Siano:

- D = DIAMETRO DEL BULLONE
- $\bar{A}_r$ = SEZIONE RESISTENTE DEL BULLONE IN CORRISPONDENZA DEL GAMBO
- A_r = " " " " " " " FILETTO
- $\sigma_{b,am}$ = TENSIONE AMMISSIBILE A TRAZIONE DEL BULLONE

- C = DIAMETRO DELLA ROSETTA
- t = SPESSORE " "
- $\bar{\sigma}'_b$ = TENSIONE DI COMPRESSIONE AMMISSIBILE DEL CONGLOMERATO
- σ_{am} = TENSIONE AMMISSIBILE DELLA ROSETTA

A - DIAMETRO DEL BULLONE

Nell'ipotesi di $A_r = 0{,}75 \cdot \bar{A}_r$

è valutabile con la formula:

$$D = \sqrt{\frac{N_b}{0{,}59 \cdot \sigma_{b,am}}}$$

B - DIAMETRO DELLA ROSETTA

Il bullone è in grado di trasmettere alla rosetta lo sforzo di trazione:

$$N_b = \sigma_{b,am} \cdot A_r \cong \sigma_{b,am} (0{,}75 \cdot \bar{A}_r) = \sigma_{b,am} \left[0{,}75 \left(\pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \right]$$

La rosetta può trasmettere al calcestruzzo per contatto la forza:

$$N_c = 0{,}7 \cdot \bar{\sigma}'_b \cdot A_c = 0{,}7 \cdot \bar{\sigma}'_b \left(\pi \cdot \frac{C^2}{4} - \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right)$$

Eguagliando le due espressioni:

$$\sigma_{b,am}\left[0{,}75\left(\pi\cdot\frac{D^2}{4}\right)\right] = 0{,}7\cdot\overline{\sigma}'_b\left(\pi\cdot\frac{c^2}{4}-\pi\cdot\frac{D^2}{4}\right)$$

si ha:

$$0{,}75\cdot D^2\cdot\sigma_{b,am} = 0{,}7\cdot\overline{\sigma}'_b\cdot c^2 - 0{,}7\cdot\overline{\sigma}'_b\cdot D^2$$

$$c^2 = D^2\,\frac{(0{,}75\cdot\sigma_{b,am}+0{,}7\cdot\overline{\sigma}'_b)}{0{,}7\cdot\overline{\sigma}'_b}$$

$$C = D\cdot\sqrt{1{,}07\cdot\frac{\sigma_{b,am}}{\overline{\sigma}'_b}+1}$$

Se N_b induce nel bullone una tensione

$$\sigma_b < \sigma_{b,am}$$

si ha:

$$C = D\cdot\sqrt{1{,}07\cdot\frac{\sigma_b}{\overline{\sigma}'_b}+1}$$

C - SPESSORE DELLA ROSETTA

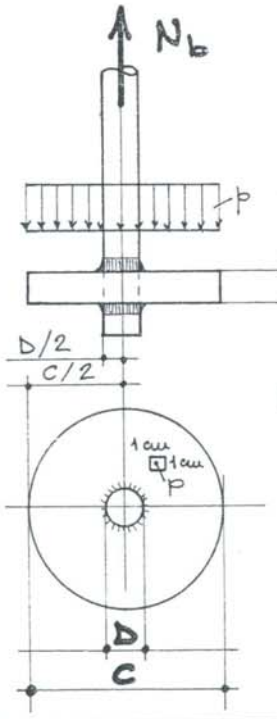


FIG. 98

La pressione esercitata sul calcestruzzo vale:

$$p = \frac{N_b}{\pi\cdot\frac{c^2}{4}-\pi\cdot\frac{D^2}{4}}$$

ossia:

$$p = \frac{1{,}27\cdot N_b}{c^2-D^2}$$

Nell'ipotesi di lastra anulare, incastrata al bordo interno e libera al bordo esterno, dovrà essere verificata la relazione:

$$\eta \cdot p \left(\frac{c}{2t}\right)^2 \leq \sigma_{am}$$

	C/D					
	1,25	1,50	2	3	5	10
η	0,124	0,373	0,947	1,96	3,36	5,30

(G. COLOMBO – MANUALE DELL'INGEGNERE – 1965 – PAG. 673)

da cui si ricava:

$$\eta \cdot p \cdot \frac{c^2}{4 \cdot t^2} = \sigma_{am}$$

$$t = \sqrt{\frac{\eta \cdot p \cdot c^2}{4 \cdot \sigma_{am}}}$$

ESEMPIO

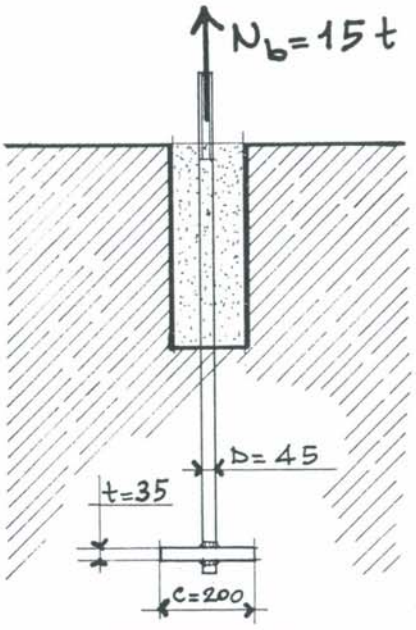


FIG. 99

SIANO ASSEGNATI:

$\sigma_{b,am} = 1{,}40\,t/cmq$ (BULLONE DI CLASSE 4D)

$\bar{\sigma}'_b = 85\,Kg/cmq$ ($R'_{bK} = 250\,Kg/cmq$)

$\sigma_{am} = 1{,}60\,t/cmq$ (ACCIAIO TIPO 1)

A - DIAMETRO DEL BULLONE

- PROGETTO

$$D = 1{,}10\sqrt{N_b} = 1{,}10\sqrt{15} = 4{,}26 \text{ cm}$$

SI ADOTTA **BULLONE ϕ45 - 4D**

- VERIFICA

$$\sigma_b = \frac{N_b}{A_r} = \frac{15}{11{,}74} = 1{,}28 \text{ t/cmq} < \sigma_{b,am} = 1{,}40 \text{ t/cmq}$$

B - DIAMETRO DELLA ROSETTA

$$C = D\sqrt{1{,}07 \cdot \frac{\sigma_b}{\bar{\sigma}'_b} + 1} =$$

$$= 4{,}5\sqrt{1{,}07 \cdot \frac{1.280}{85} + 1} = 18{,}62 \text{ cm}$$

SI ADOTTA **$C = 200$ mm**

C - SPESSORE DELLA ROSETTA

$$p = \frac{1{,}27 \cdot N_b}{C^2 - D^2} = \frac{1{,}27 \times 15.000}{20^2 - 4{,}5^2} =$$

$$= 50{,}16 \text{ Kg/cmq} < 0{,}7 \cdot \bar{\sigma}'_b = 59{,}5 \text{ Kg/cmq}$$

$$\frac{C}{D} = \frac{20}{4{,}5} = 4{,}44$$

$$\eta = 1{,}96 + \frac{3{,}36 - 1{,}96}{5-3} \cdot 1{,}44 = 2{,}968$$

$$t = \sqrt{\frac{\eta \cdot p \cdot C^2}{4 \cdot \sigma_{am}}} = \sqrt{\frac{2{,}968 \times 59{,}5 \times 20^2}{4 \times 1.600}} = 3{,}32 \text{ cm}$$

SI ADOTTA **$t = 35$ mm**

5-3- INCASTRO

Nei paragrafi precedenti abbiamo esaminato l'unione fra "RITTO PENDOLARE" e fondazione in C. A.-

I vincoli studiati sono in grado di trasferire gli sforzi assiali (compressione e/o trazione), oltre ad eventuali sforzi di taglio-

Un esempio tipico è indicato nella fig. 91-

In tale esempio la piastra di base trasmette i carichi verticali di compressione, i bulloni di ancoraggio assorbono la trazione e la nervatura saldata sotto la piastra di base trasmette le azioni di taglio-

Pertanto il comportamento statico del collegamento può schematizzarsi come indicato nelle figg. 100-101-

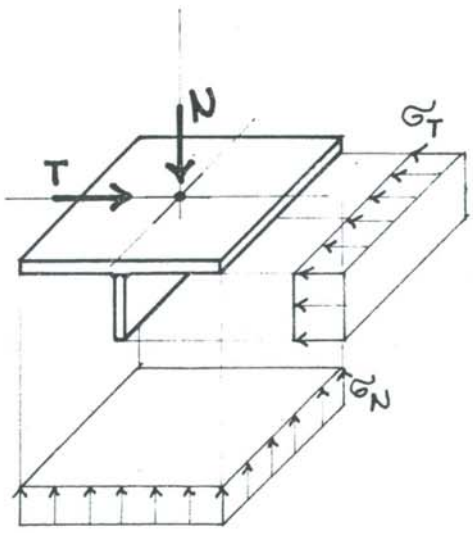


FIG. 100

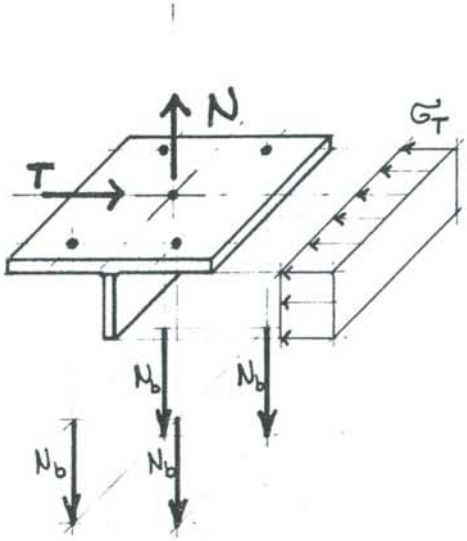


FIG. 101

Lo studio del vincolo si complica notevolmente se deve essere studiato per trasmettere, oltre ad **N** e **T**, anche un momento flettente **M**, cioé se deve comportarsi come "VINCOLO INCASTRO".

La trasmissione di T puó effettuarsi in modo analogo a quanto indicato nelle figg. 100-101.

Di contro l'esame delle sollecitazioni dovute ad N_{ed} **M** e il dimensionamento degli elementi strutturali vanno condotti in modo diverso.

La determinazione delle sollecitazioni puó essere eseguita assimilando la superficie di contatto (fra l'intradosso delle piastre di base e l'estradosso della fondazione) ad una sezione rettangolare in c.a. a semplice armatura pressoinflessa (fig. 102).

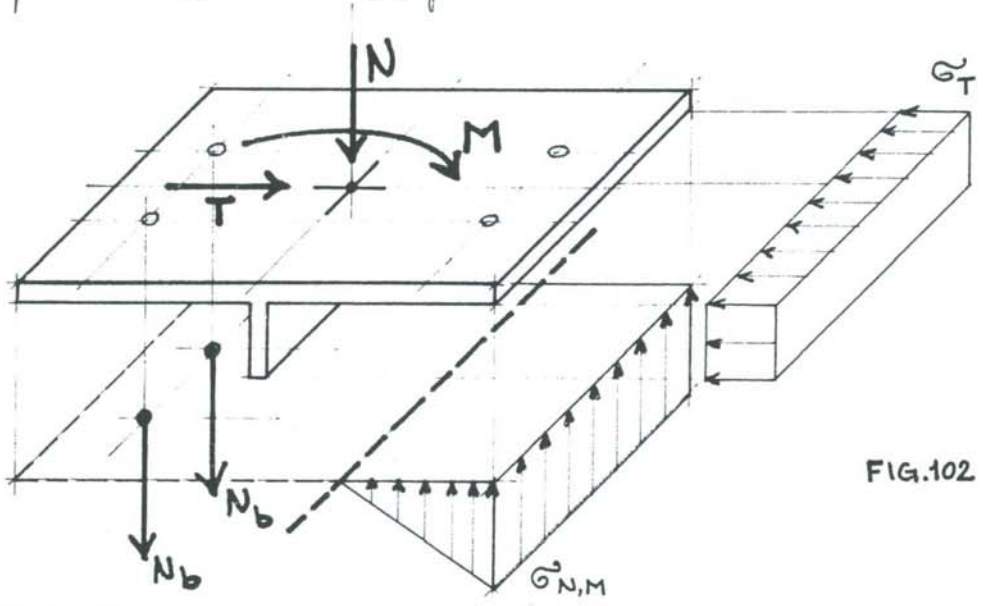


FIG.102

Le caratteristiche delle sollecitazioni agenti alla base incastrata della colonna sono dovute a carichi di varia natura (pesi propri, carichi di esercizio, neve, vento, azioni sismiche, ecc...).

Tali carichi possono avere verso uguale o contrario e la loro azione può essere simultanea o può avvenire in tempi diversi.

La diversa combinazione dei carichi dà luogo a più "CONDIZIONI DI CARICO".

Ciascun elemento strutturale dell'ancoraggio (base della colonna, calcestruzzo, bulloni di fondazione) va dimensionato considerando la "condizione di carico" che genera le caratteristiche delle sollecitazioni più sfavorevoli per tale elemento.

Normalmente non è facile individuare immediatamente le condizioni di carico più sfavorevoli.

Si consiglia di effettuare le verifiche ricorrendo alle condizioni di seguito riportate:

- N_{max}	e	M_{max}	corrispondente
- M_{max}	"	N_{max}	"
- N_{min}	"	M_{max}	"
- M_{min}	"	N_{max}	"
- N_{max}	"	M_{min}	"
- M_{max}	"	N_{min}	"
- N_{min}	"	M_{min}	"
- M_{min}	"	N_{min}	"

Il predimensionamento del vincolo e la sua verifica vanno effettuati in quattro fasi successive:

A – Si stabiliscono le caratteristiche geometriche della base e la posizione dei bulloni in funzione di opere analoghe.

B – Si determinano la pressione massima sul calcestruzzo e gli sforzi di trazione massimi nei bulloni, con un PROCEDIMENTO SEMPLIFICATO. Si effettua il predimensionamento dei bulloni.

C – Si determinano lo sforzo di trazione massimo agente nei bulloni e i diagrammi delle pressioni sul calcestruzzo più sfavorevoli, assimilando la base ad una sezione rettangolare presso-inflessa in C.A. a semplice armatura.

D – Si effettua la verifica definitiva degli elementi strutturali (bulloni, piastra, nervature, ecc...).

– PROCEDIMENTO SEMPLIFICATO

In questo procedimento si suppone che la fondazione reagisca a compressione, secondo una striscia larga $\frac{1}{4}$ della lunghezza della piastra di base e che la pressione sul calcestruzzo sia costante

in tutti i punti di tale striscia fittizia reagente (fig. 103 - 104).

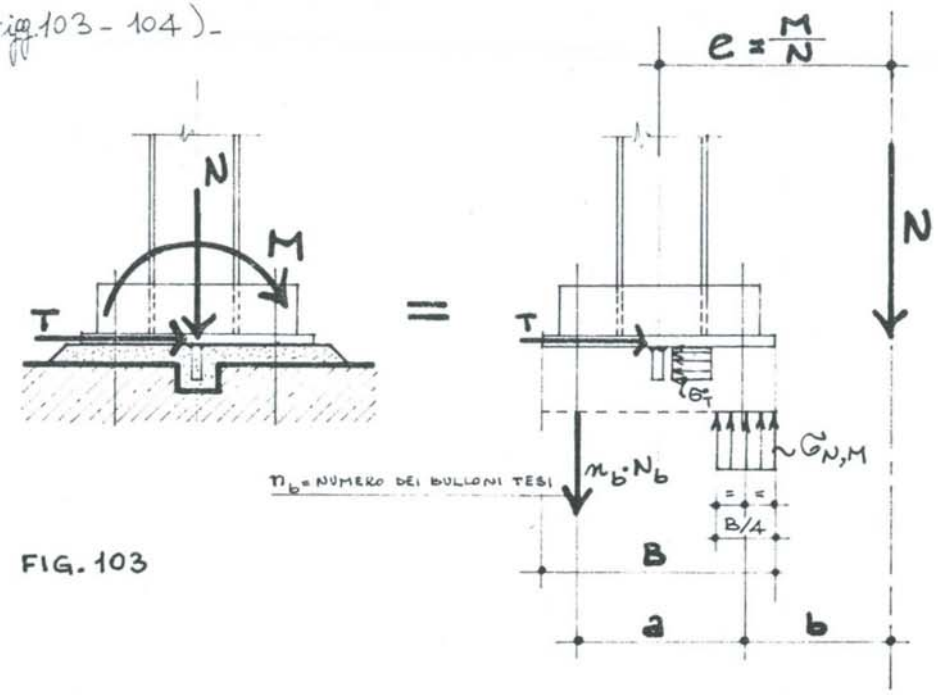


FIG. 103

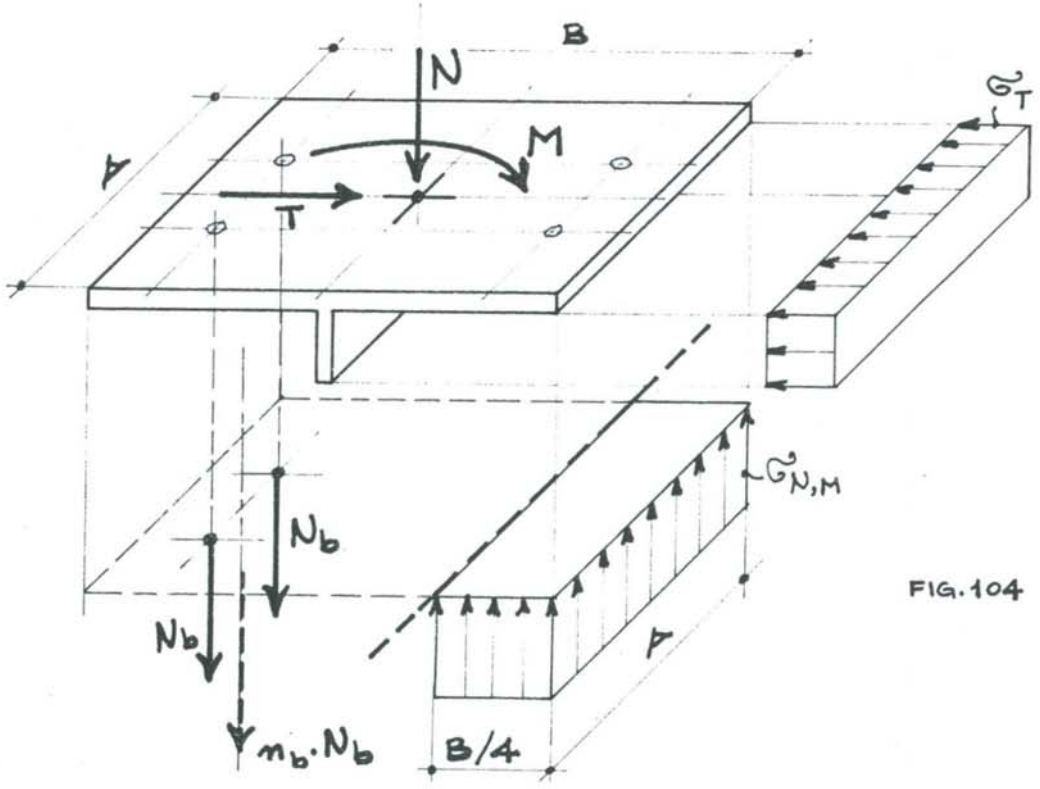


FIG. 104

- Sulla base di tale ipotesi si ha:

$$n_b \cdot N_b \cdot a = N \cdot b$$

$$N_b = \frac{N}{n_b} \cdot \frac{b}{a}$$

dove:

N_b = SFORZO DI TRAZIONE AGENTE IN CIASCUN BULLONE

- Si ha inoltre:

$$N\,(a+b) = \left[\left(A \cdot \frac{B}{4} \right) \sigma_{N,M} \right] \cdot a$$

$$\sigma_{N,M} = \frac{4 \cdot N}{A \cdot B} \cdot \frac{a+b}{a}$$

dove:

$\sigma_{N,M}$ = TENSIONE DI COMPRESSIONE AGENTE SUL CALCESTRUZZO

N_b permette di effettuare il predimensionamento dei bulloni.

$\sigma_{N,M}$, che dovrà risultare minore della tensione ammissibile di contatto con il calcestruzzo, permette la verifica del predimensionamento (A e B) della piastra di base.

Se risulta $\sigma_{N,M} > 0{,}7 \cdot \bar{\sigma}'_b$, occorrerà ovviamente modificare le caratteristiche geometriche della base e/o la posizione dei bulloni.

- PROCEDIMENTO DEFINITIVO

Effettuato il predimensionamento della piastra di base e dei bulloni di ancoraggio con l'ausilio dell'esperienza progettuale e del "PROCEDIMENTO SEMPLIFICATO", si passa alla valutazione dello sforzo di trazione massimo agente nei bulloni e dei diagrammi delle pressioni sul calcestruzzo più sfavorevoli -

- Assegnata, per esempio, la coppia delle "caratteristiche delle sollecitazioni"

$$\begin{cases} N \\ M \end{cases}$$

e le caratteristiche geometriche più significative dell'ancoraggio

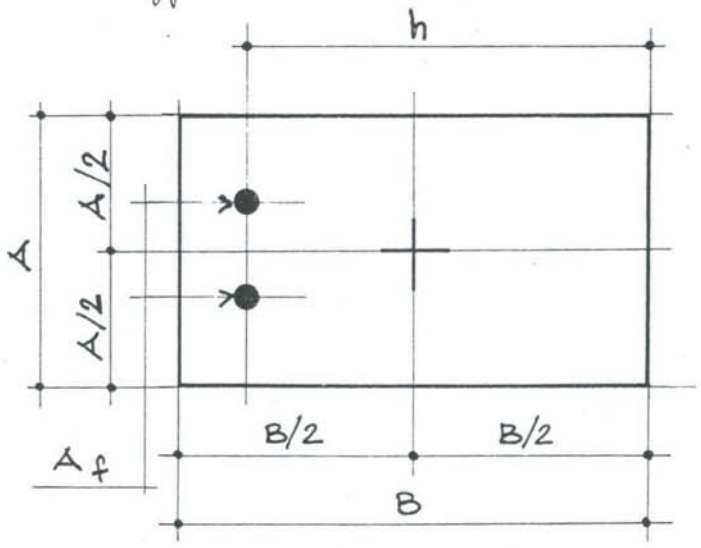


FIG. 105

si determina la posizione dell'asse neutro risolvendo l'equazione cubica :

$$x^3 + 3\left(e - \frac{B}{2}\right)x^2 + 6m\frac{A_f}{A}d\cdot x - 6m\frac{A_f}{A}d\cdot h = 0$$

dove :

$$e = \frac{M}{N} \qquad\qquad m = \frac{E_f}{E_c}$$

$A_f = n_b \cdot \bar{A}_x$ = AREA TOTALE DELLA SEZIONE TRASVERSALE DEI BULLONI TESI, VALUTATA IN CORRISPONDENZA DEL GAMBO -

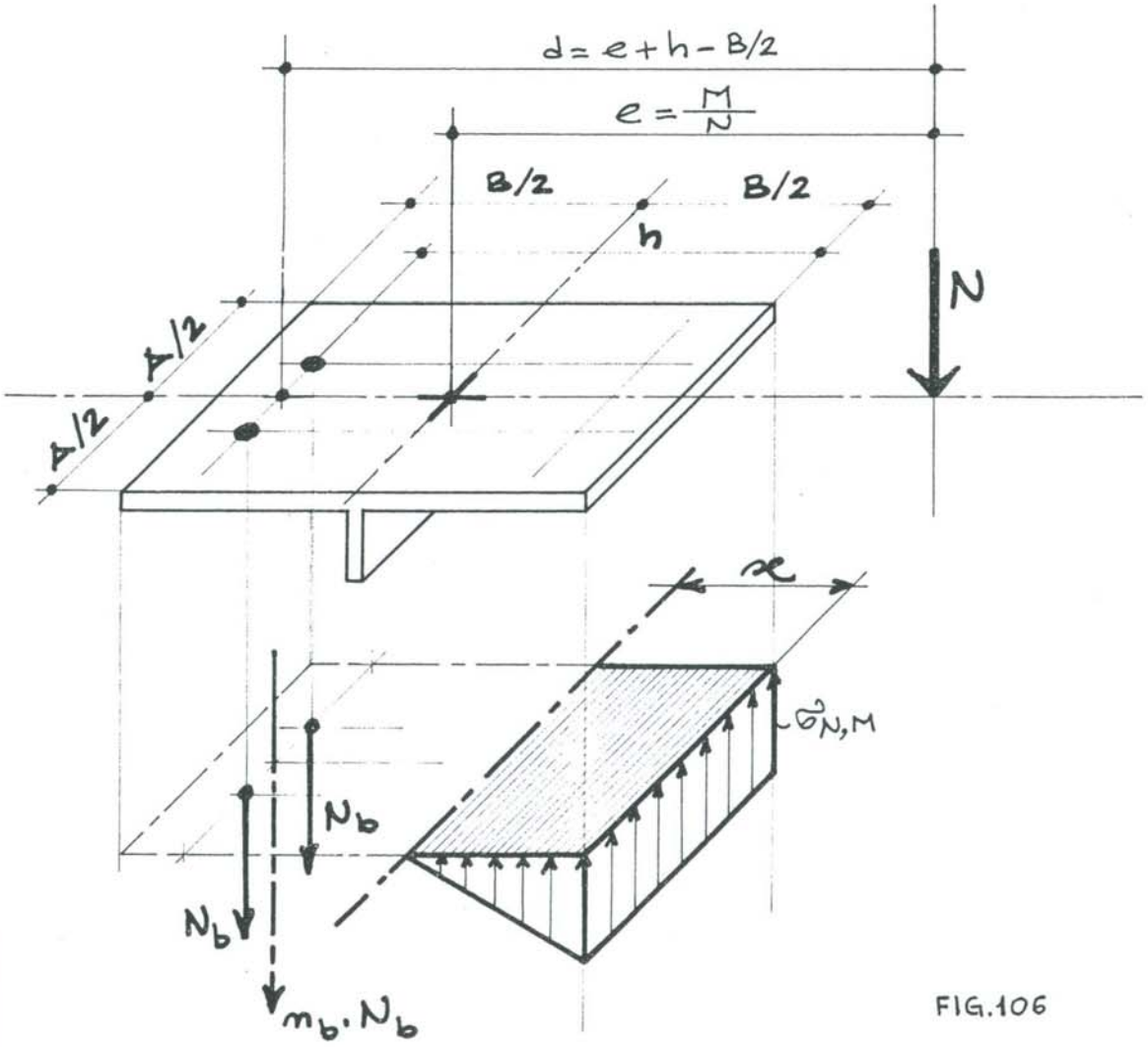


FIG.106

Valutata l'incognita x, si ha:

$$\sigma_{N,M} = \frac{N}{A\left(\frac{x}{2}\right) - (h-x)\, m \cdot \frac{A_f}{x}}$$

TENSIONE DI COMPRESSIONE MASSIMA AGENTE SUL CALCESTRUZZO

$$\overline{\sigma_b} = \frac{m \cdot \sigma_{N,M}}{x}\,(h-x)$$

— TENSIONE NEI BULLONI IN CORRISPONDENZA DEL GAMBO

$$\sigma_b = \frac{N_b}{\frac{(A_f)_n}{n_b}}$$

— TENSIONE NEI BULLONI IN CORRISPONDENZA DEL NUCLEO

dove:

$$N_b = \frac{A_f}{n_b} \cdot \overline{\sigma_b} = \frac{n_b \cdot \bar{A}_r}{n_b} \cdot \overline{\sigma_b} = \bar{A}_r \cdot \overline{\sigma_b}$$

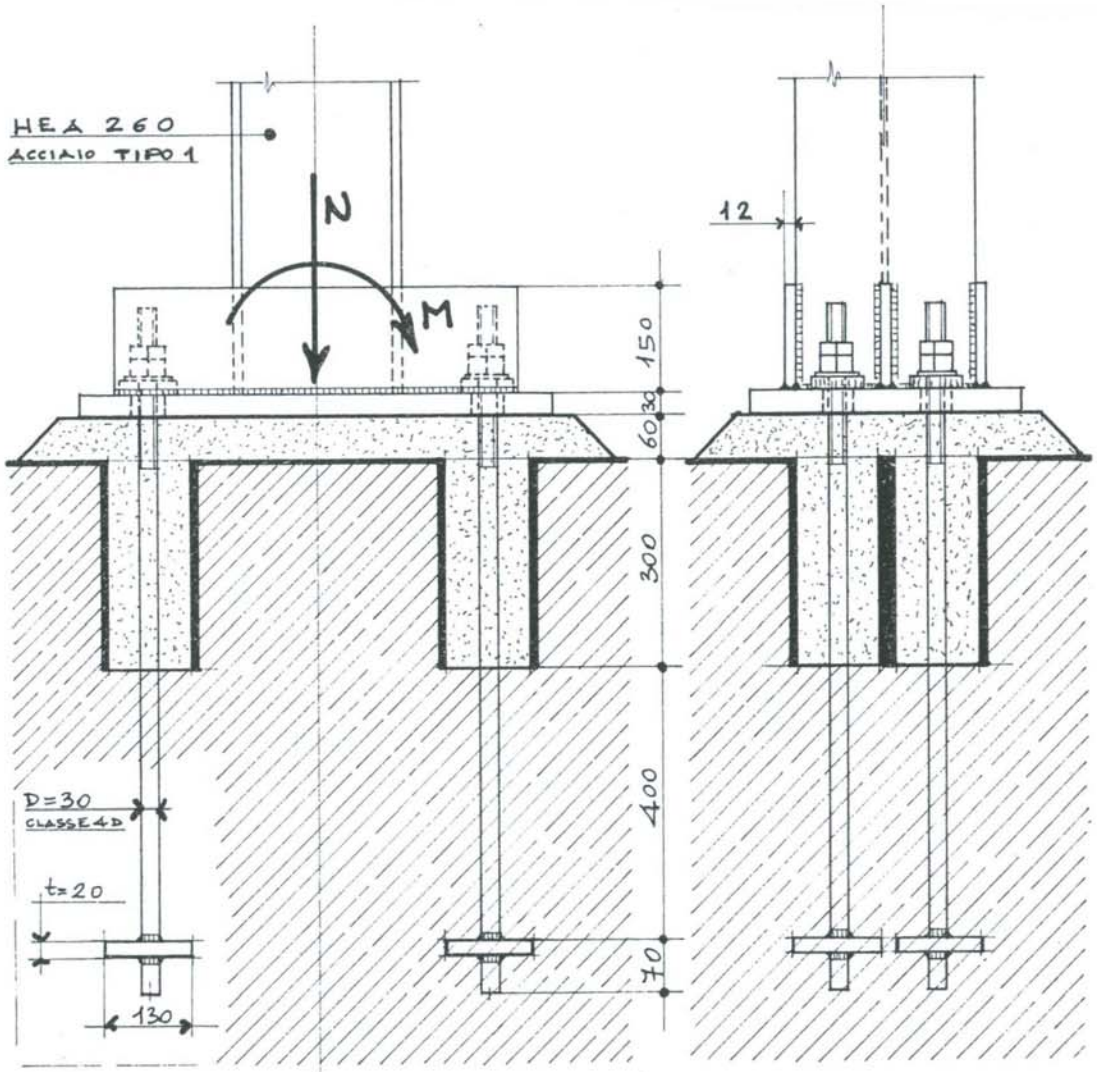
SFORZO DI TRAZIONE AGENTE IN CIASCUN BULLONE

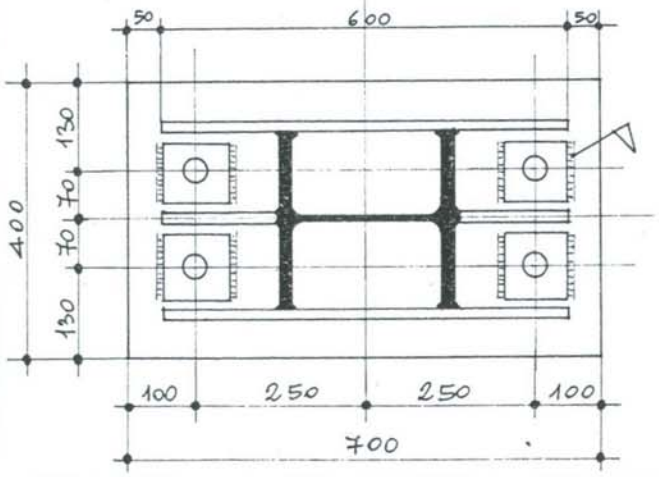
$(A_f)_n = n_b \cdot \bar{A}_r =$ AREA TOTALE DELLA SEZIONE TRASVERSALE DEI BULLONI TESI, VALUTATA IN CORRISPONDENZA DEL NUCLEO.

$n_b =$ NUMERO DEI BULLONI TESI

$\frac{(A_f)_n}{n_b} =$ AREA DELLA SEZIONE TRASVERSALE DI UN BULLONE TESO, VALUTATA IN CORRISPONDENZA DEL NUCLEO.

ESEMPIO





1ª $\begin{cases} N_{max} = 19,44 \text{ t} \\ M = +8,34 \text{ t} \times \text{m} \end{cases}$

2ª $\begin{cases} N_{min} = 3,23 \text{ t} \\ M = +4,32 \text{ t} \times \text{m} \end{cases}$

3ª $\begin{cases} N = 9,36 \text{ t} \\ M_{max} = -9,15 \text{ t} \times \text{m} \end{cases}$

FIG. 107

- SIANO ASSEGNATI :

$\bar{\sigma}_{b,am} = 1,40$ t/cmq (BULLONE DI CLASSE 4D)

$\bar{\sigma}'_b = 85$ Kg/cmq ($R'_{bK} = 250$ Kg/cmq)

$\bar{\sigma}_{am} = 1,60$ t/cmq (ACCIAIO TIPO 1)

- Procedendo secondo lo schema di calcolo indicato si ha:

A- CARATTERISTICHE GEOMETRICHE PRESUNTE DELLA BASE E POSIZIONE DEI BULLONI

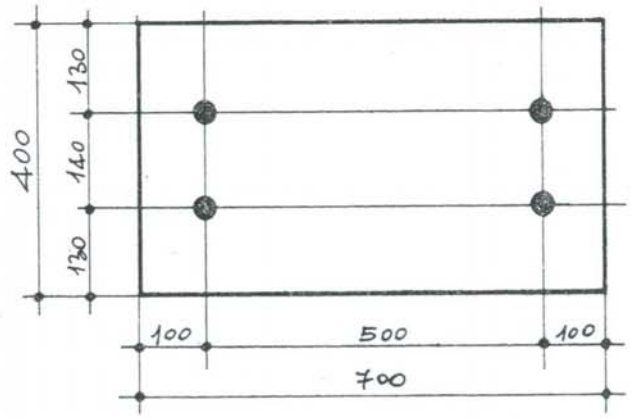
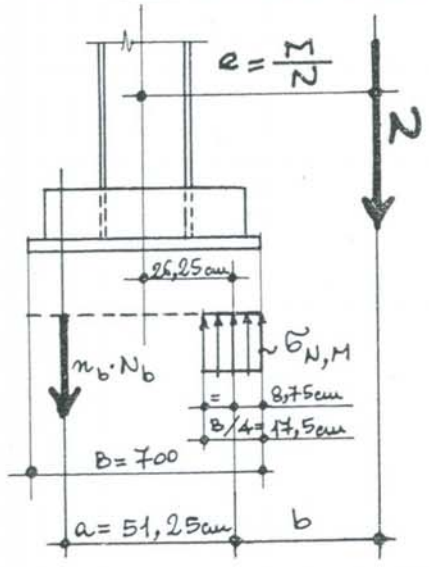


FIG. 108

B- PROCEDIMENTO SEMPLIFICATO



$$a = 700 - 100 - \frac{700}{8} = 512,5$$

FIG. 109

1ª CONDIZIONE

$$e = \frac{8,34}{19,44} = 0,429\,m = 42,9\,cm$$

$$b = 42,9 - 26,25 = 16,65\,cm$$

Lo sforzo di trazione in ciascun bullone vale:

$$N_b = \frac{N}{n_b} \cdot \frac{b}{a} = \frac{19,44}{2} \cdot \frac{16,65}{51,25} = 3,16\,t$$

La tensione di compressione sul calcestruzzo vale:

$$\sigma_{N,M} = \frac{4 \cdot N}{A \cdot B} \cdot \frac{a+b}{a} = \frac{4 \times 19'440}{40 \times 70} \cdot \frac{51,25+16,65}{51,25} =$$

$$= \underline{36,79}\ kg/cmq\ (\text{VALORE ACCETTABILE})$$

2ª CONDIZIONE

$$e = \frac{4,32}{3,23} = 1,34\,m = 134\,cm$$

$$b = 134 - 26,25 = 107,75\,cm$$

$$N_b = \frac{3,23}{2} \cdot \frac{107,75}{51,25} = 3,4\,t$$

$$\sigma_{N,M} = \frac{4 \times 3'230}{40 \times 70} \cdot \frac{51,25 + 107,75}{51,25} = 14,3\ kg/cmq$$

3ª CONDIZIONE

$$e = \frac{9,15}{9,36} = 0,98\,m = 98\,cm$$

$$b = 98 - 26,25 = 71,75\,cm$$

$$N_b = \frac{9,36}{2} \cdot \frac{71,75}{51,25} = \underline{6,55\,t}$$

$$\sigma_{N,M} = \frac{4 \times 9'360}{40 \times 70} \cdot \frac{51,25 + 71,75}{51,25} = 32,09\ kg/cmq$$

PREDIMENSIONAMENTO DEI BULLONI

- PROGETTO

Essendo:

$\sigma_{b,am} = 1{,}40$ t/cmq (BULLONI DI CLASSE 4D)

si ha:

$D = 1{,}10\sqrt{N_b} = 1{,}10\sqrt{6{,}55} = 2{,}82$ cm

SI ADOTTANO **BULLONI ϕ 30 - 4D**

- VERIFICA

$$\sigma_b = \frac{N_b}{A_r} = \frac{6{,}55}{4{,}94} = 1{,}33\ t/cmq < \sigma_{b,am} = 1{,}40\ t/cmq$$

C- PROCEDIMENTO DEFINITIVO

1ª CONDIZIONE

$$\begin{cases} N_{max} = 19{,}44\ t \\ M = 8{,}34\ t \times m \end{cases} \qquad e = \frac{M}{N_{max}} = 0{,}429\ m$$

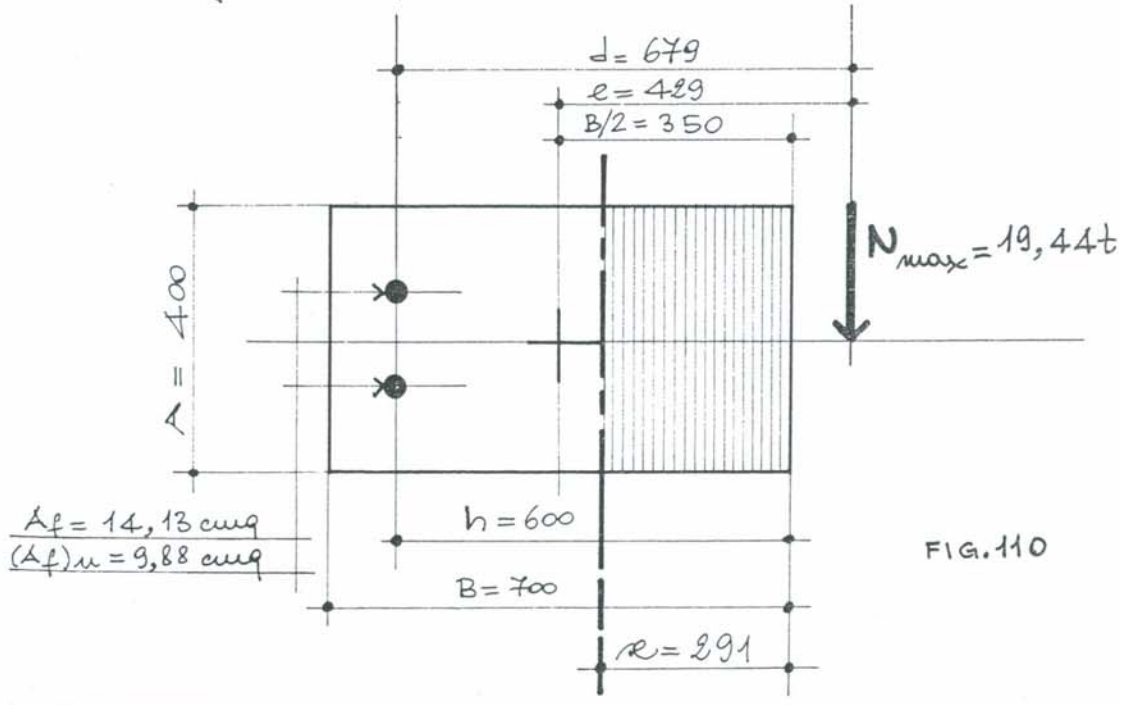


FIG. 110

$$x^3+3\left(e-\frac{B}{2}\right)x^2+6m\frac{A_f}{A}\cdot d\cdot x-6m\frac{A_f}{A}d\cdot h=0$$

sostituendo si ha:

$$x^3+3(42{,}9-35)x^2+6\cdot 10\cdot\frac{14{,}13}{40}67{,}9\cdot x-6\cdot 10\cdot\frac{14{,}13}{40}67{,}9\cdot 60=0$$

$$x^3+23{,}7\cdot x^2+1'439\cdot x-86'348=0$$

da cui:

$$\underline{x\cong 29{,}1\,cm}$$

Si valutano quindi:

- LA TENSIONE DI COMPRESSIONE MASSIMA AGENTE SUL CALCESTRUZZO

$$\sigma_{N,M}=\frac{N}{A\left(\frac{x}{2}\right)-(h-x)\,m\cdot\frac{A_f}{x}}=$$

$$=\frac{19'440}{40\left(\frac{29{,}1}{2}\right)-(60-29{,}1)10\cdot\frac{14{,}13}{29{,}1}}=45\ Kg/cmq$$

- LA TENSIONE NEI BULLONI IN CORRISPONDENZA DEL GAMBO

$$\overline{\sigma}_b=\frac{m\cdot\sigma_{N,M}}{x}(h-x)=\frac{10\times 45}{29{,}1}(60-29{,}1)=478\ Kg/cmq$$

- LO SFORZO DI TRAZIONE AGENTE IN CIASCUN BULLONE

$$N_b=\frac{A_f}{n_b}\cdot\overline{\sigma}_b=\frac{14{,}13}{2}\cdot 478=3'377\ Kg$$

- LA TENSIONE NEI BULLONI IN CORRISPONDENZA DEL NUCLEO

$$\sigma_b=\frac{N_b}{\frac{(A_f)_n}{n_b}}=\frac{3'377}{4{,}94}=684\ Kg/cmq$$

2ª CONDIZIONE

$$\begin{cases}N_{min}=3{,}23\ t\\ M=4{,}32\ t\times m\end{cases}\qquad e=\frac{4{,}32}{3{,}23}=\underline{1{,}34\,m}$$

Procedendo come per la 1ª condizione si ha:

$x = 20,4$ cm

$\sigma_{N,M} = 24,2$ Kg/cmq $\qquad N_b = 3'313$ Kg

$\bar{\sigma}'_b = 469$ Kg/cmq $\qquad \sigma_b = 671$ Kg/cmq

3ª CONDIZIONE

$$\begin{cases} N = 9,36 \text{ t} \\ M_{max} = -9,15 \text{ t} \times \text{m} \end{cases} \qquad e = \frac{9,15}{9,36} = \underline{0,98 \text{ m}}$$

Procedendo come per la 1ª condizione si ha:

$x = 21,8$ cm

$\sigma_{N,M} = 49,7$ Kg/cmq $\qquad N_b = 6'154$ Kg

$\bar{\sigma}_b = 871$ Kg/cmq $\qquad \sigma_b = 1'246$ Kg/cmq

---

Confrontando i risultati delle tre condizioni di carico si ha:

$(\sigma_{N,M})_{max} = \underline{49,7}$ Kg/cmq $< 0,7 \cdot \bar{\sigma}'_b = 0,7 \times 85 = 59,5$ Kg/cmq

$(N_b)_{max} = 6'154$ Kg

$(\sigma_b)_{max} = \underline{1'246}$ Kg/cmq $< \sigma_{b,am} = 1'400$ Kg/cmq

---

D - VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

(1) BULLONE CON ROSETTA A CONTATTO
(SI TRASCURI L'ADERENZA FRA BULLONE E CALCESTRUZZO)

1-1- DIAMETRO DEL BULLONE

- PROGETTO

$$D = 1{,}10\sqrt{N_b} = 1{,}10\sqrt{6{,}154} = 2{,}73 \text{ cm}$$

SI ADOTTANO **BULLONI ϕ 30 - 4D**

- VERIFICA

$$\sigma_b = \frac{N_b}{A_n} = \frac{6{,}154}{4{,}94} = 1{,}25 \text{ t/cmq} < \sigma_{b,am} = 1{,}40 \text{ t/cmq}$$

1-2- DIAMETRO DELLA ROSETTA

$$C = D\cdot\sqrt{1{,}07\cdot\frac{\sigma_b}{\bar{\sigma}'_b}+1} = 3\cdot\sqrt{1{,}07\cdot\frac{1{,}24}{0{,}85}+1} = 12{,}25 \text{ cm}$$

SI ADOTTA **$C = 130$ mm**

1-3- SPESSORE DELLA ROSETTA

$$p = \frac{1{,}27\cdot N_b}{C^2 - D^2} = \frac{1{,}27\times 6{,}154}{13^2 - 3^2} =$$

$$= 48{,}9 \text{ Kg/cmq} < 0{,}7\cdot\bar{\sigma}'_b = 59{,}5 \text{ Kg/cmq}$$

$$\frac{C}{D} = \frac{13}{3} = 4{,}33 \; ; \qquad \eta = 2{,}89$$

$$t = \sqrt{\frac{\eta\cdot p\cdot C^2}{4\cdot\sigma_{am}}} = \sqrt{\frac{2{,}89\times 48{,}9\times 13^2}{4\times 1.600}} = 1{,}93 \text{ cm}$$

SI ADOTTA **$t = 20$ mm**

2 PIASTRA DI BASE

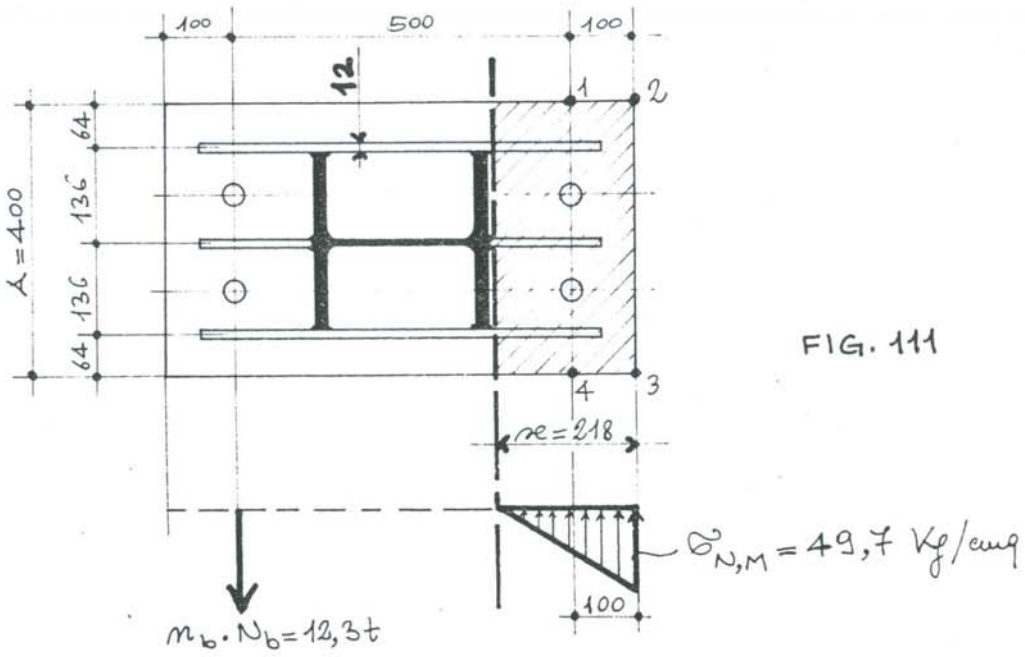


FIG. 111

3 - REAZIONE DEL CALCESTRUZZO

A favore di stabilità consideriamo:

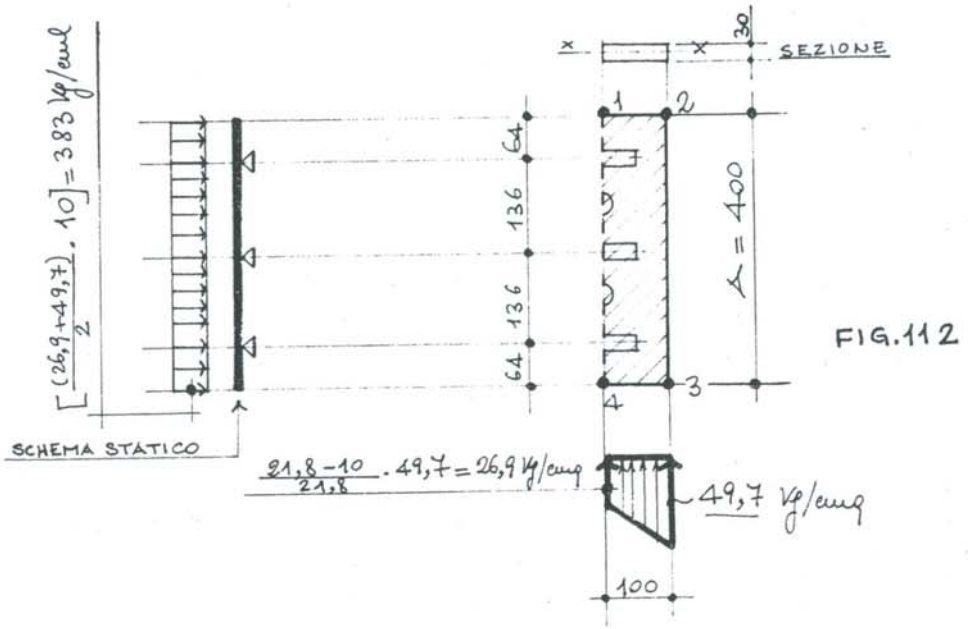


FIG. 112

$M_{max} \cong \frac{1}{8} \cdot 383 \times 13{,}6^2 = 8.855 \text{ kg} \times \text{cm} \cong \underline{8{,}86 \text{ t} \times \text{cm}}$

$W_x = \frac{1}{6} \cdot 10 \times 3^2 = 15 \text{ cm}^3$

$\sigma = \pm \frac{8{,}86}{15} = \pm \underline{0{,}59} \text{ t/cmq} < \sigma_{am} = 1{,}60 \text{ t/cmq}$

b - TIRO DEI BULLONI

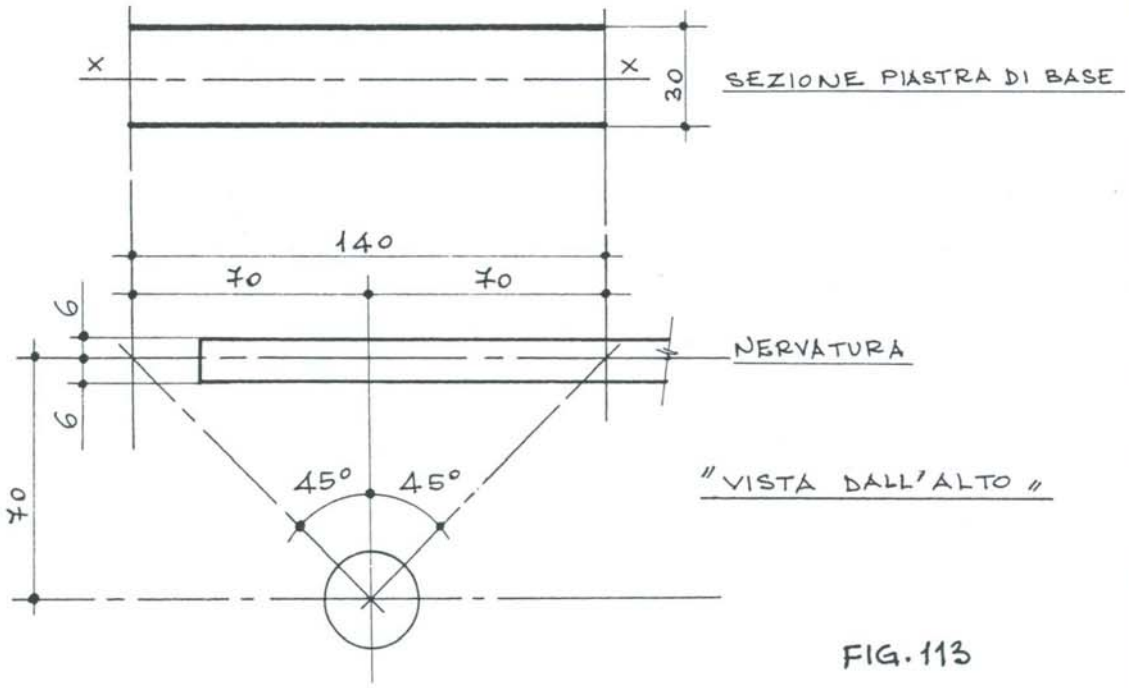


FIG. 113

$M_{max} \cong \frac{6{,}15}{2} \cdot 7 = \underline{21{,}53 \text{ t} \times \text{cm}}$

$W_x = \frac{1}{6} \cdot 14 \times 3^2 = 21 \text{ cm}^3$

$\sigma = \pm \frac{21{,}53}{21} = \pm \underline{1{,}03} \text{ t/cmq} < \sigma_{am} = 1{,}60 \text{ t/cmq}$

3 NERVATURE DELLA PIASTRA DI BASE

a - REAZIONE DEL CALCESTRUZZO

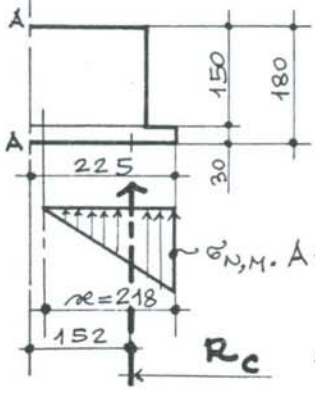


FIG. 114

$M_A = 21,7 \times 15,2 \cong 330\ t \times cm$

b - TIRO DEI BULLONI

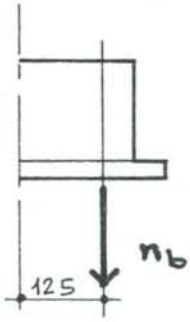


FIG. 115

$M_A = 12,3 \times 12,5 \cong 154\ t \times cm$

c - VERIFICA

$$\begin{cases} M_{max} = 330\ t \times cm \\ T_{max} = 21,7\ t \end{cases}$$

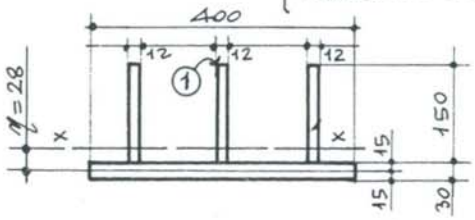


FIG 116

$A = 1,2 \times 15 \times 3 + 40 \times 3 = 174\ cm^2$

$y = \frac{54 \times 9}{174} = 2,8\ cm$

$J_x = 4.119\ cm^4$; $W_{x①} = \underline{300\ cm^3}$

$\sigma_① = \frac{330}{300} = \underline{1,10\ t/cm^2} < \sigma_{am} = 1,60\ t/cm^2$

$\tau_{med} \cong \frac{21,7}{54} = \underline{0,40\ t/cm^2}$