

(1 dicembre 2002)

### 3.9 IL CARICO DI PUNTA NELLE ASTE COMPOSTE A TRALICCIO O A CALASTRELLI (Caironi-Instabilità dei telai piani)

#### TIPOLOGIE

Tralicciate      Calastrellate      Abbottonate (Imbottite)

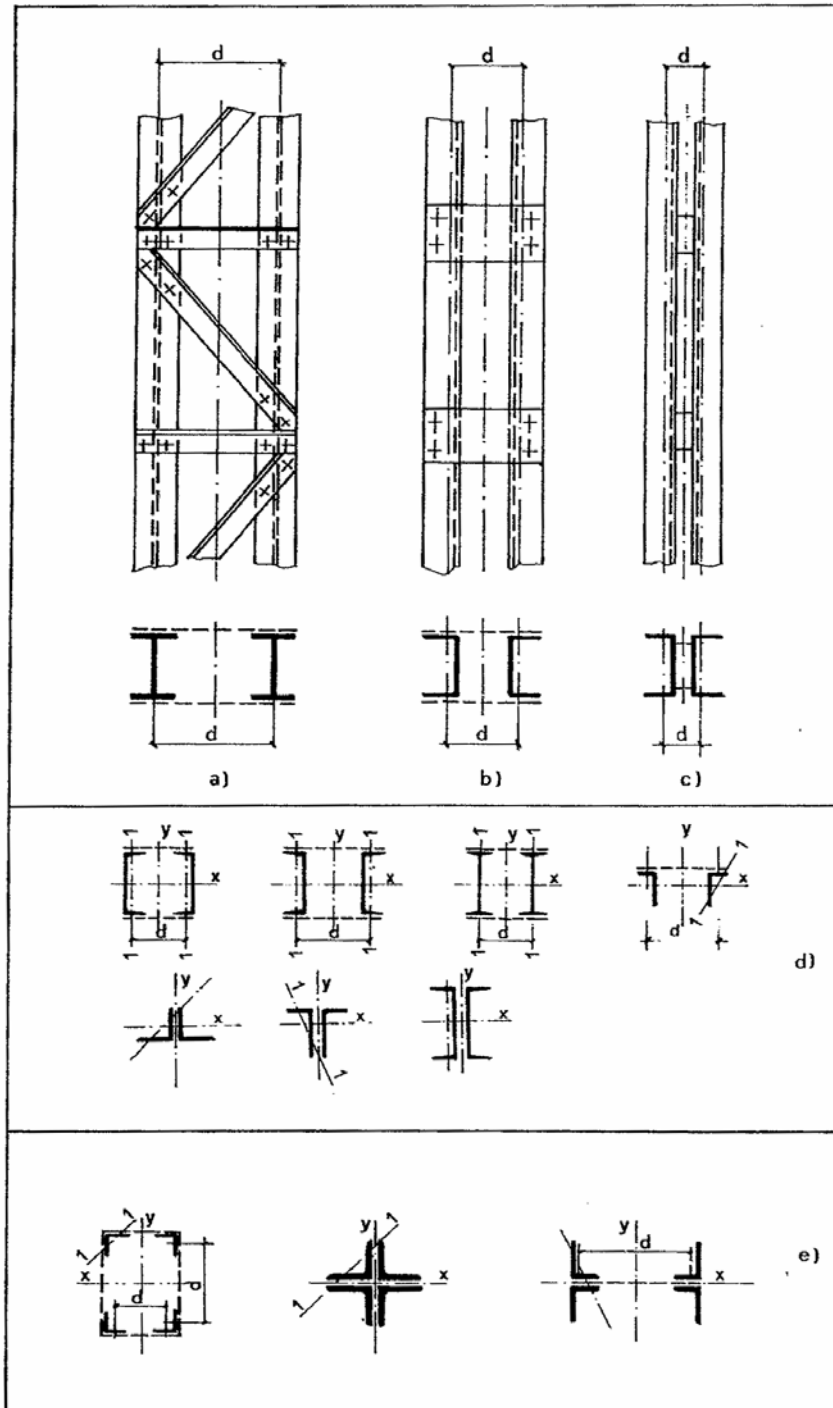


Fig. 9.57 (Ballio)

### 3.9.1 Influenza del taglio sul valore del carico critico

Nella trattazione del carico critico si è finora trascurata l'influenza della forza di taglio sulla deformazione dell'asta, avendo usato l'equazione della linea elastica che tiene conto solo del momento flettente.

Con riferimento alla figura 1 si ha:

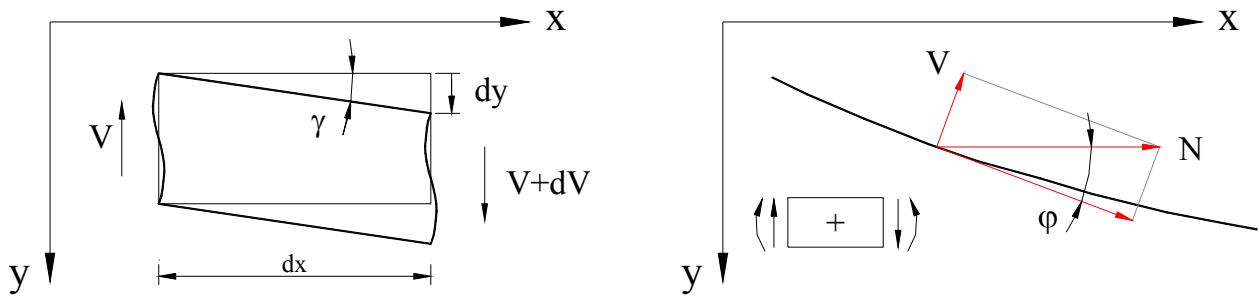


Fig. 1

$$\frac{dy}{dx} = \gamma = \frac{V}{GA/\chi} = \frac{\chi}{GA} V$$

curvatura dovuta al taglio:  $\frac{1}{r_v} = \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{d}{dx} \left( \frac{\chi}{GA} V \right)$  per sezione costante  $\frac{1}{r_v} = \frac{\chi}{GA} \frac{dV}{dx}$

curvatura totale:  $\frac{1}{r} = \frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{M}{EI} + \frac{\chi}{GA} \frac{dV}{dx} \rightarrow M = N y; V = N \operatorname{sen} \varphi \cong N \tan \varphi \cong N \frac{dy}{dx}$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{N}{EI} y + \frac{\chi N}{GA} \frac{d^2 y}{dx^2} \rightarrow \left( 1 - \frac{\chi N}{GA} \right) \frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{N}{EI} y$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{N}{EI \left( 1 - \frac{\chi}{GA} N \right)} y \rightarrow \frac{d^2 y}{dx^2} = -\alpha_v^2 y$$

Formalmente identica all'equazione differenziale che prescinde dal taglio. Il carico critico, che indicheremo con  $N_{cr,v}$ , si ottiene quindi per valori di  $\alpha_v$  uguali a quelli assunti dalla costante

$\alpha = \sqrt{N/EI}$  nei diversi casi di Eulero. Si ha pertanto:

$$\alpha_v^2 = \frac{N_{cr,v}}{EI \left( 1 - \frac{\chi}{GA} N_{cr,v} \right)} = \alpha^2 = \frac{N_{cr}}{EI}$$

da cui, risolvendo rispetto a  $N_{cr,v}$ , si ottiene:

$$N_{cr,y} = \frac{N_{cr}}{1 + \frac{\chi}{GA} N_{cr}} \quad \text{con:} \quad \frac{\chi}{GA} = \frac{\gamma}{V}$$

L'espressione della tensione critica diviene:

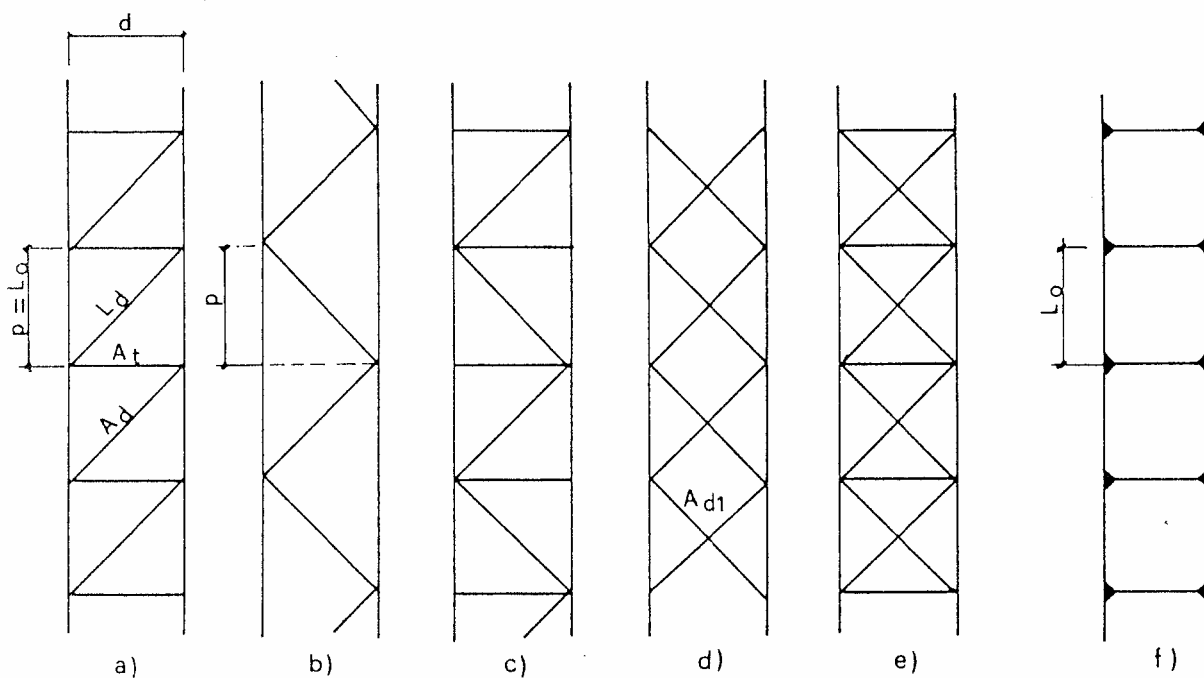
$$\sigma_{cr,y} = \frac{\sigma_{cr}}{1 + \frac{\chi}{GA} N_{cr}} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2 \left( 1 + \frac{\chi}{GA} \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} A \right)}$$

$$\sigma_{cr,y} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2 + \pi^2 EA \left( \frac{\chi}{GA} \right)} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_{eq}^2}$$

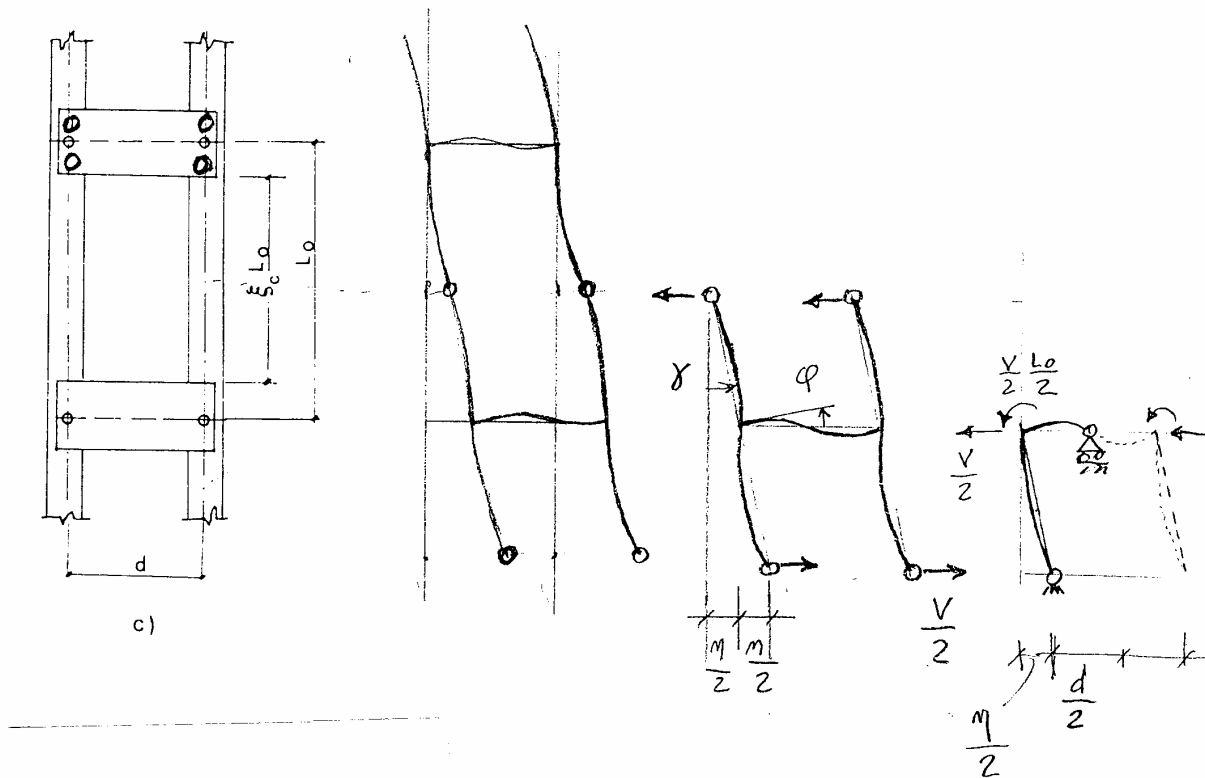
Il termine  $\frac{\chi}{GA} N_{cr}$  è trascurabile rispetto all'unità nelle aste a parete piena, mentre in quelle composte può far diminuire notevolmente il carico critico.

### 9.2.3.1 Aste composte con correnti distanziati (Ballio)

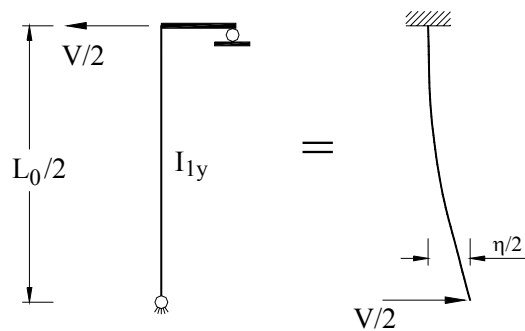
Le norme forniscono le espressioni di  $\lambda_{eq}$  per le varie tipologie di aste composte.



### Esempio: collegamento a calastrelli



Se si considera il calastrello infinitamente rigido rispetto ai correnti si ha:



$$\frac{\eta}{2} = \frac{V (L_0/2)^3}{2 \cdot 3EI_{1y}} \rightarrow \eta = \frac{L_0^3}{24EI_{1y}}$$

$$\frac{\chi}{GA} = \frac{\gamma}{V} = \frac{\eta/L_0}{V} = \frac{L_0^2}{24EI_{1y}}; \quad I_{1y} = \frac{A}{2} i_{1y}^2 \quad (A = \text{area di due correnti})$$

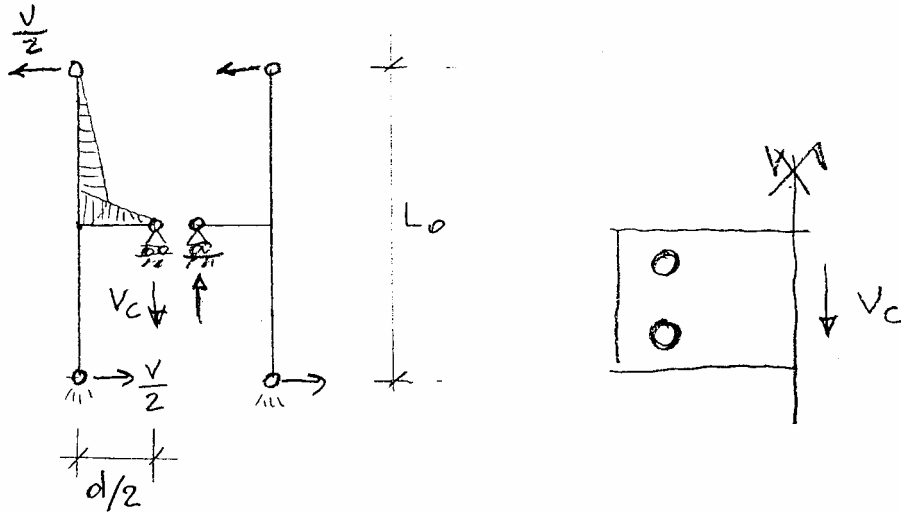
$$\frac{\chi}{GA} = \frac{\lambda_1^2}{12EA} \quad \text{con } \lambda_1 = \frac{I_{1y}}{L_0} = \text{snellezza del singolo corrente}$$

$$\lambda_{eq}^2 = \lambda^2 + \pi^2 EA \frac{\chi}{GA} = \lambda^2 + \frac{\pi^2}{12} \lambda_1^2 \cong \lambda^2 + \lambda_1^2$$

N.B.  $\lambda_1$  va calcolata rispetto all'asse di minima inerzia e deve essere  $< 50$ . Verificare con  $\omega$  curva c.

## Verifica calastrelli

I calastrelli sono soggetti a flessione e taglio:

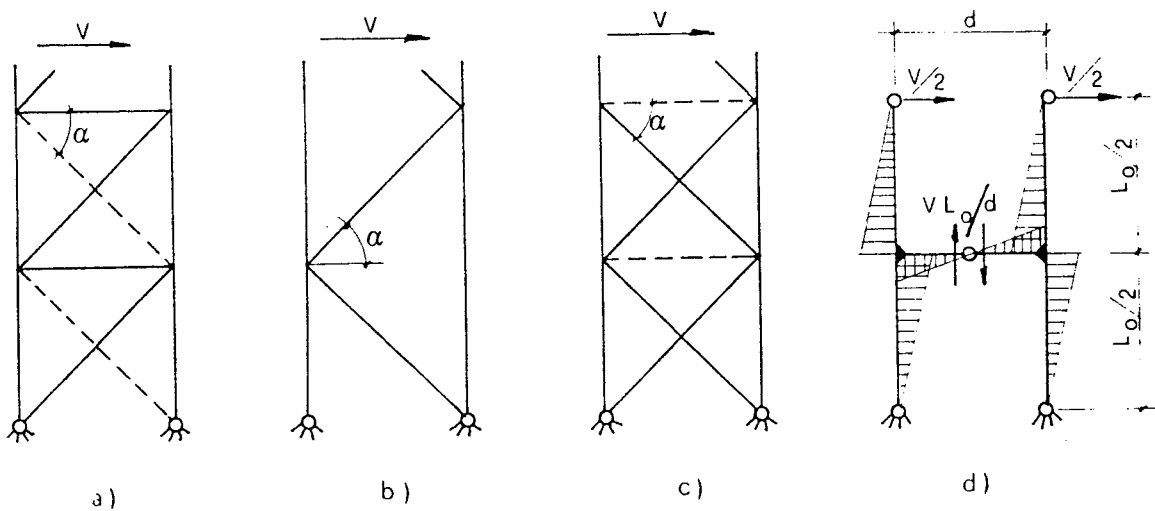


$$V_c \frac{d}{2} = \frac{V}{2} L_0 \rightarrow V_c = V \frac{L_0}{d}$$

Il taglio  $V$  è teoricamente nullo se il carico è puramente assiale. Si assume un valore, detto taglio fittizio:

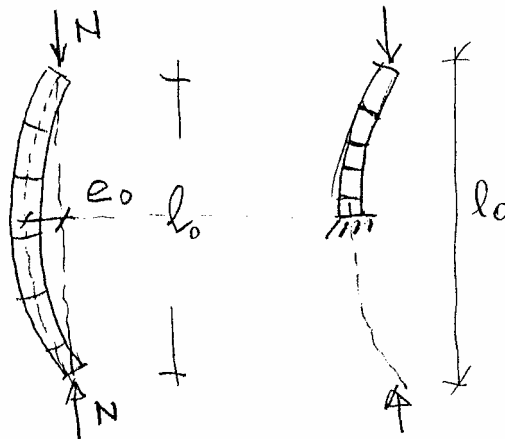
$$V = \frac{\omega N}{100} \quad (\text{CNR})$$

$$V_s = \pi \frac{M_s}{L_0} \quad (\text{EC3})$$

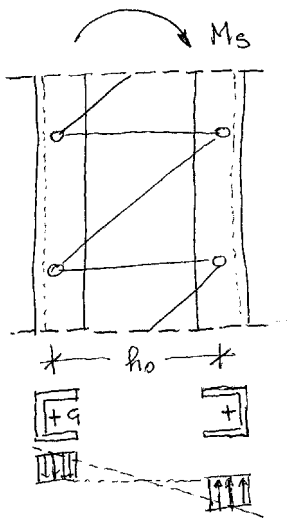


### Eurocodice 3

L'eurocodice 3 affronta il problema in modo sostanzialmente diverso: considera l'asta composta come una struttura (un telaio o una trave reticolare) da analizzare con la teoria del secondo ordine (o con metodi approssimati) con un'imperfezione geometrica equivalente  $e_0=L_0/500$  (maggiore della tolleranza che viene considerata accettabile per un'asta, che è dell'ordine di  $L_0/1000$ ).



Inoltre per le aste tralicciate i correnti sono considerati come aree puntiformi (#5.9.2.3). Viene cioè trascurato il momento d'inerzia del corrente intorno al suo asse baricentrico e si considera solo il momento di trasporto (inerzia efficace  $I_{eff} = 0.5 h_0^2 A_f$ ).



La sezione quindi, soggetta a flessione, non si conserva piana.

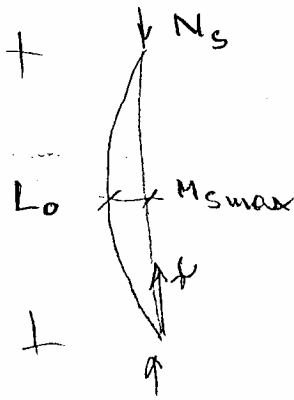
Per le aste calastrellate la conservazione delle sezioni piane è ammessa solo per snellezze contenute (#5.9.3.3  $\lambda < 75$ ).

Il corrente viene verificato come un'asta, con lunghezza di libera inflessione pari alla distanza fra i nodi, soggetta all'azione assiale  $N/2$  e all'effetto del momento flettente del 2° ordine:

$$M_s = \frac{N e_0}{1 - \frac{N}{N_{cr}}}$$

che provoca nel corrente un incremento di azione assiale  $M_s/h_0$  (#5.9.2.4).

Più precisamente, per tener conto della deformabilità a taglio, il coefficiente di amplificazione del momento è:  $1 / \left( 1 - \frac{N}{N_{cr}} - \frac{N}{S_v} \right)$  essendo  $S_v$  la rigidezza a taglio, cioè l'azione tagliante richiesta per produrre una deformazione tagliante  $\gamma$  unitaria, ovvero  $GA/\chi$  della teoria classica.



La verifica delle aste di parete che devono assorbire il taglio  $V_S$  (forza di scorrimento) conseguente alla variazione del momento ( $V_S = dM_S/dx$ ) deve essere eseguita per tutte le aste in base al taglio massimo:

$$V_S = \left( \frac{dM_S}{dx} \right)_{x=0} = \frac{\pi}{L_0} M_{S,\max}$$

Infatti:

$$M_S(x) = M_{S,\max} \operatorname{sen} \frac{\pi x}{L_0}$$

$$\frac{dM_S}{dx} = \frac{\pi}{L_0} M_{S,\max} \cos \frac{\pi x}{L_0}$$

Il coefficiente di amplificazione del momento deriva dalle considerazioni seguenti:

- il carico critico che tiene conto della deformabilità a taglio è dato da:

$$N_{cr,V} = \frac{N_{cr}}{1 + \frac{\chi}{GA} N_{cr}} = \frac{N_{cr}}{1 + \frac{N_{cr}}{S_V}}$$

- il coefficiente di amplificazione del momento si scrive quindi:

$$\frac{1}{1 - \frac{N_S}{N_{cr,V}}} = \frac{1}{1 - \frac{N_S}{N_{cr}} \left( 1 + \frac{N_{cr}}{S_V} \right)} = \frac{1}{1 - \frac{N_S}{N_{cr}} - \frac{N_S}{S_V}}$$

### Esercizio 1

Determinare il valore massimo del carico ammissibile, secondo la normativa italiana, per l'asta di fig. 3, in acciaio tipo 1, vincolata nei due piani principali di flessione rispettivamente a incastro estremo libero e cerniera-carrello.

I correnti sono costituiti da angolari L 80x80x8 aventi le seguenti caratteristiche statiche

$$A_1 = 12,3 \text{ cm}^2 \quad i_{1x} = i_{1y} = 2,42 \text{ cm} \quad i_{1\min} = 1,56 \text{ cm}$$

$$J_{1x} = J_{1y} = i_{1s}^2 A = 72 \text{ cm}^4$$

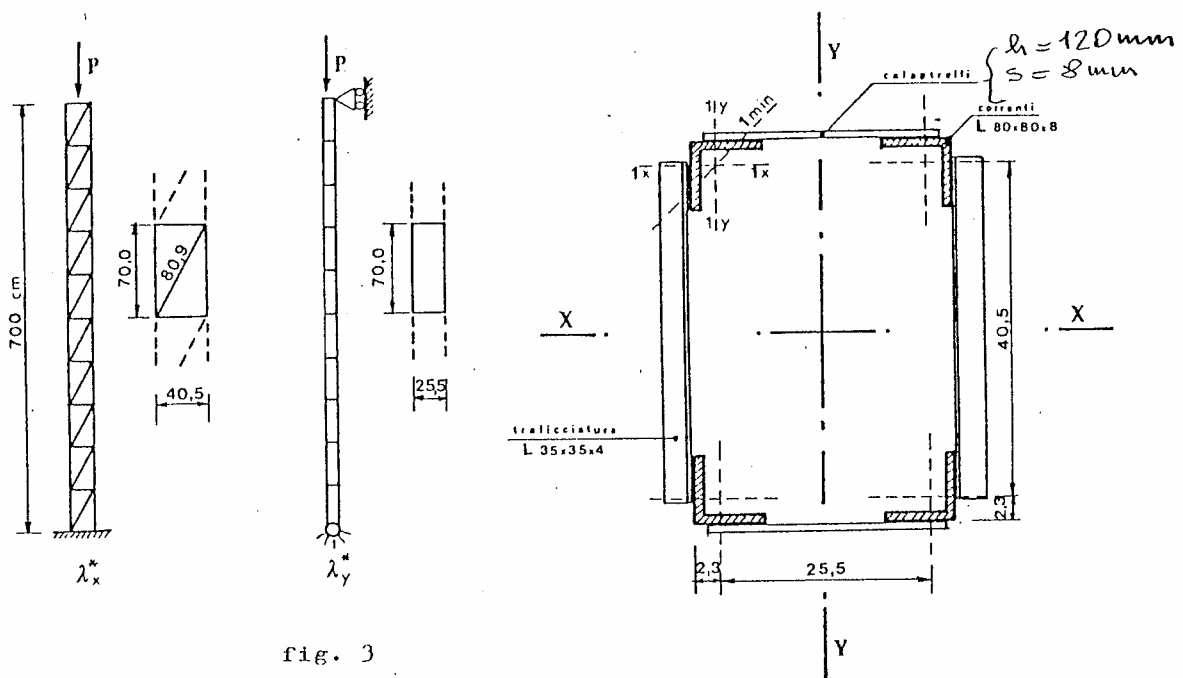


fig. 3

Per le verifiche secondo la normativa italiana vedi Caironi, Instabilità dei telai piani, pag 196.



### Verifica secondo EC3

I correnti sono costituiti da angolari L 80x80x8 mm aventi le seguenti caratteristiche statiche:

$$A_1 = 12.3 \text{ cm}^2 \quad i_{1x} = i_{1y} = 2.42 \text{ cm} \quad i_{1\min} = 1.56 \text{ cm} \quad I_{1x} = I_{1y} = 72 \text{ cm}^4$$

Le caratteristiche statiche dell'asta composta sono quindi:

$$A = 4 \cdot 12.3 = 49.2 \text{ cm}^2 \quad (4 \text{ L } 80 \times 80 \times 8)$$

$$i_x = \sqrt{2.42^2 + (40.5/2)^2} = 20.39 \text{ cm} \quad i_y = \sqrt{2.42^2 + (25.5/2)^2} = 12.98 \text{ cm}$$

$$I_x = A i_x^2 = 20455 \text{ cm}^4 \quad I_y = A i_y^2 = 8289 \text{ cm}^4$$

Le lunghezze di libera inflessione e le relative snellezze, considerando l'asta come un'asta semplice, valgono:

$$\ell_x = 2 \cdot 700 = 1400 \text{ cm} \quad \ell_y = 1 \cdot 700 = 700 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = 1400/20.39 = 68.7 \quad \lambda_y = 700/12.98 = 53.9$$

**Eseguiamo le verifiche per  $N_{Sd} = 1.5 P_{adm} = 1.5 \cdot 528.3 = 792.5 \text{ kN}$**

#### a) Instabilità per inflessione attorno all'asse x-x (che impegna la tralicciatura)

Inerzia efficace (#5.9.2.3)

$$I_{eff} = 0.5 h_0^2 A_f = 20175 \text{ cm}^4$$

$$\text{con: } A_f = 2 \cdot 12.3 = 24.6 \text{ cm}^2 \quad (2 \text{ L } 80 \times 80 \times 8) \quad h_0 = 40.5 \text{ cm}$$

contro un'inerzia  $I_x = 20475$  calcolata tenendo conto anche dei momenti d'inerzia baricentrici dei singoli correnti.

Forze nella mezzaria (baricentro) dei correnti (#5.9.2.4)

$$N_{f,Sd} = 0.5 N_{Sd} + M_S/h_0$$

$$M_S = N_{Sd} e_0 / (1 - N_{Sd}/N_{cr} - N_{Sd}/S_V)$$

$M_S$  è il momento del 2° ordine dovuto all'imperfezione geometrica equivalente  $e_0 = \ell/500$ .

$$\ell = 2 \cdot 700 = 1400 \text{ cm} \quad (\text{lunghezza di libera inflessione})$$

$$e_0 = 1400/500 = 2.8 \text{ cm}$$

$$N_{cr} = \pi^2 EI_{eff}/\ell^2 = 2133 \text{ kN} \quad (E = 210000 \text{ MPa})$$

$S_V$  è la rigidezza a taglio della tralicciatura ( $=GA/\chi$ ) ricavabile dalla figura 5.9.3 e coincidente con la formulazione della CNR 10011:

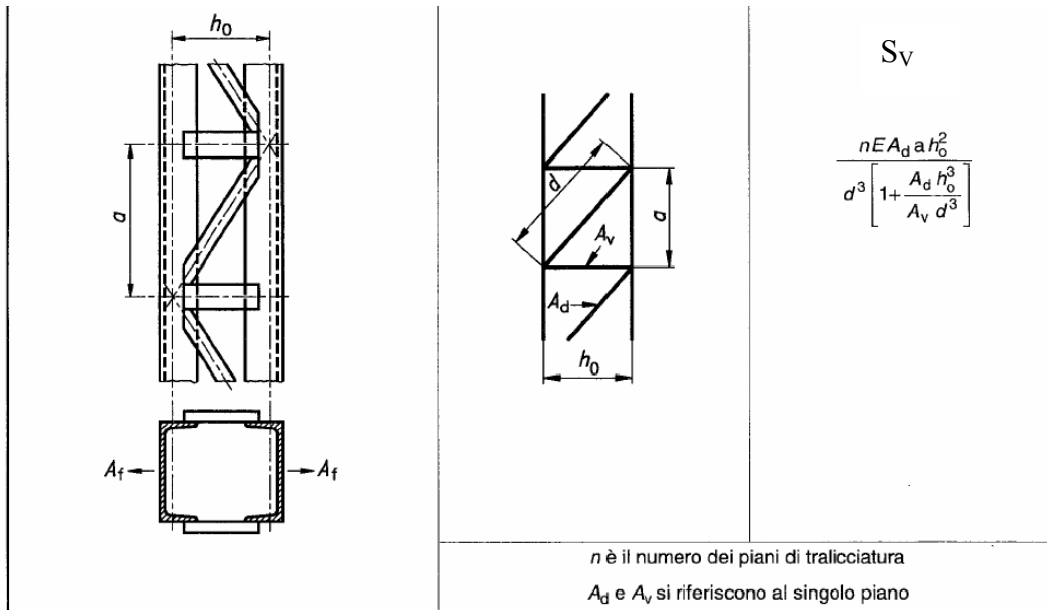


Fig. 5.9.3 - Membratura tralicciata compressa

$$S_V = 2 \frac{EA_d a h_0^2}{d^3 \left[ 1 + \frac{A_d h_0^3}{A_v d^3} \right]} = 27371 \text{ kN}$$

con:  $A_d = A_v = 2.67 \text{ cm}^2$  (L35x35x4)  $a = 70 \text{ cm}$   $h_0 = 40.5 \text{ cm}$   $d = 80.9 \text{ cm}$

Si ha pertanto:

$$\frac{1}{N_{cr}} + \frac{1}{S_V} = \frac{1}{2133} + \frac{1}{27371} = 0.505 \cdot 10^{-3} \text{ kN}^{-1}$$

$$M_S = \frac{N_{Sd} e_0}{1 - N_{Sd} \left( \frac{1}{N_{cr}} + \frac{1}{S_V} \right)} = \frac{792.5 \cdot 0.028}{1 - 792.5 \cdot 0.505 \cdot 10^{-3}} = \frac{22.19}{0.5995} = 37.01 \text{ kNm}$$

$$N_{f,Sd} = 0.5 N_{Sd} + M_S / h_0 = 396.2 + 91.4 = 487.6 \text{ kN} \quad (\text{su una coppia di correnti})$$

Il singolo corrente (L 80x80x8) va quindi verificato all'instabilità per il carico assiale  $N_{1,Sd} = 243.8$  kN. La sua lunghezza di libera inflessione  $\ell_f$  è di 70 cm e il raggio minimo d'inerzia è  $i_{1\min} = 1.56$  cm. La verifica va condotta secondo il #5.5.1 (membrature compresse):

$$N_{b,Rd} = \chi A_{fl} f_y / \gamma_{M1} = 224.8 \text{ kN} < N_{1,Sd} = 243.8$$

con:  $f_y = 235$ ;  $\gamma_{M1} = 1.1$   $A_{fl} = 12.3 \text{ cm}^2$

$$\lambda = 70 / 1.56 = 44.9 \quad \lambda_1 = 93.9 \quad \bar{\lambda} = \lambda / \lambda_1 = 0.478$$

si deve usare la curva c (angolari); si ottiene:

$$\bar{\lambda} = 0.4 \rightarrow \chi = 0.8973$$

$$\bar{\lambda} = 0.5 \rightarrow \chi = 0.8430$$

$$\bar{\lambda} = 0.478 \rightarrow \chi = 0.8549 \quad \text{per interpolazione lineare}$$

Il corrente non è verificato (di poco) secondo l'eurocodice 3.

**b) Instabilità per inflessione attorno all'asse y-y (che impegna i calastrelli)**

Inerzia efficace (#5.9.3.3)

5.9.3.3. Momento d'inerzia della sezione

(1) Si raccomanda che il momento d'inerzia efficace nel piano  $I_{\text{eff}}$  di una membratura compressa calastrellata con due elementi principali sia assunto pari a:

$$I_{\text{eff}} = 0,5 h_0^2 A_f + 2 \mu I_f \quad [5.90]$$

$$I_{\text{eff}} = 0,5 h_0^2 A_f + 2 \mu I_f = 8289 \text{ cm}^4$$

$$\text{con: } A_f = 2 \cdot 12,3 = 24,6 \text{ cm}^2 \quad h_0 = 25,5 \text{ cm}$$

$\mu$  dipende dalla snellezza  $\lambda$  dell'intera asta composta, considerata come un'asta semplice a parete piena; quindi:

$$\lambda = \lambda_y = 53,9 < 75 \quad \rightarrow \quad \mu = 1$$

Per  $\mu = 1$   $I_{\text{eff}}$  è il momento d'inerzia calcolato normalmente:  $I_{\text{eff}} = I_y = 8289 \text{ cm}^4$

Per il calcolo della rigidezza a taglio  $S_V$  si deve tener conto della deformabilità dei calastrelli (eq. [5.93]) perché non è verificata né la clausola #5.9.3.2 (5) (larghezza calastrello = 12 cm < 0,5  $h_0$  = 0,5 · 25,5 = 12,75 cm), né la clausola (6) eq. [5.89] essendo:

$$\frac{nI_b}{h_0} = \frac{2 \cdot 115}{25,5} = 9,02 < 10 \frac{I_f}{a} = 10 \frac{144}{70} = 20,6$$

$$\text{con: } I_b = \frac{1}{12} 0,8 \cdot 12^3 = 115 \text{ cm}^4 \quad \text{momento d'inerzia calastrello}$$

$$I_f = 2 I_{1y} = 144 \text{ cm}^4 \quad \text{momento d'inerzia coppia correnti}$$

$$a = 70 \text{ cm} \quad \text{interasse calastrelli}$$

La relazione [5.93] fornisce la rigidezza a taglio:

$$S_V = \frac{24EI_f}{a^2 \left[ 1 + \frac{2I_f h_0}{nI_b a} \right]} = \frac{24 \cdot 210000 \cdot 144 \cdot 10^4}{700^2 \left[ 1 + \frac{2 \cdot 144 \cdot 25,5}{2 \cdot 115 \cdot 70} \right]} 10^{-3} = 10170 \text{ kN}$$

$$\text{con la limitazione: } S_V \leq \frac{2\pi^2 EI_f}{a^2} = \frac{2\pi^2 \cdot 210000 \cdot 144 \cdot 10^4}{700^2} 10^{-3} = 12182 \text{ kN}$$

Si ha pertanto:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{\text{eff}}}{\ell^2} = \frac{\pi^2 210000 \cdot 8289 \cdot 10^4}{7000^2} 10^{-3} = 3506 \text{ kN}$$

$$\frac{1}{N_{cr}} + \frac{1}{S_V} = 0,384 \cdot 10^{-3} \text{ kN}^{-1} \quad e_0 = \frac{700}{500} = 1,4 \text{ cm}$$

Il momento sollecitante del 2° ordine vale quindi:

$$M_S = \frac{N_{Sd} e_0}{1 - N_{Sd} (1/N_{cr} + 1/S_V)} = \frac{792.5 \cdot 0.014}{1 - 792.5 \cdot 0.384 \cdot 10^{-3}} = \frac{11.09}{0.696} = 15.93 \text{ kNm}$$

Forza nella mezzaria del corrente [5.91]:

$$N_{f,Sd} = 0.5 N_{Sd} + M_S h_0 A_f / I_{eff} = 0.5 (792.5 + 15.93 \cdot 0.255 \cdot 24.6 \cdot 10^{-4} / (8289 \cdot 10^{-8}))$$

$$N_{f,Sd} = 396.2 + 60.3 = 456.5 \text{ kN} \quad \text{su una coppia di correnti}$$

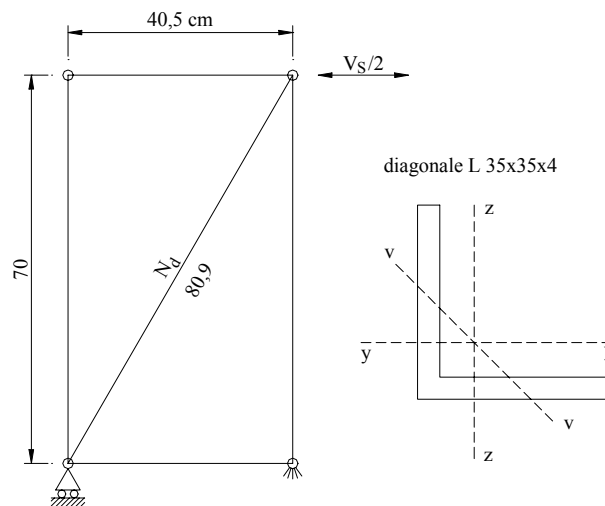
$$N_{1f,Sd} = 456.6/2 = 228.3 \text{ kN} \quad \text{sul singolo profilo a L}$$

La verifica di stabilità è praticamente soddisfatta essendo la resistenza del singolo profilo a L

$$N_{b,Rd} = 224.8 \text{ kN.}$$

## Verifica delle aste di parete

### Diagonali



La forza di taglio interna (#5.9.2.6) vale:

$$V_S = \pi M_S / \ell = \pi \cdot 37.01/14 = 8.31 \text{ kN}$$

La forza in una diagonale è quindi:

$$N_d = \frac{V_S}{2} \frac{80.9}{40.5} = 8.30 \text{ kN}$$

La diagonale, costituita da un profilato a L 35x35x4, va verificata a compressione con lunghezza di libera inflessione 80.9 cm, ma con snellezza efficace data dal #5.8.3 (angolari quali aste di parete in compressione) per l'inflessione intorno agli assi v-v e z-z (o y-y):

$$i_v = 0.678 \text{ cm} \quad \lambda_v = \frac{80.9}{0.678} = 119 \quad \bar{\lambda}_v = \frac{119}{93.9} = 1.2707$$

$$\bar{\lambda}_{eff,v} = 0.35 + 0.7 \bar{\lambda}_v = 1.2395$$

$$i_z = i_y = 1.05 \text{ cm} \quad \lambda_z = \frac{80.9}{1.05} = 77.05 \quad \bar{\lambda}_z = \frac{77.05}{93.9} = 0.8205$$

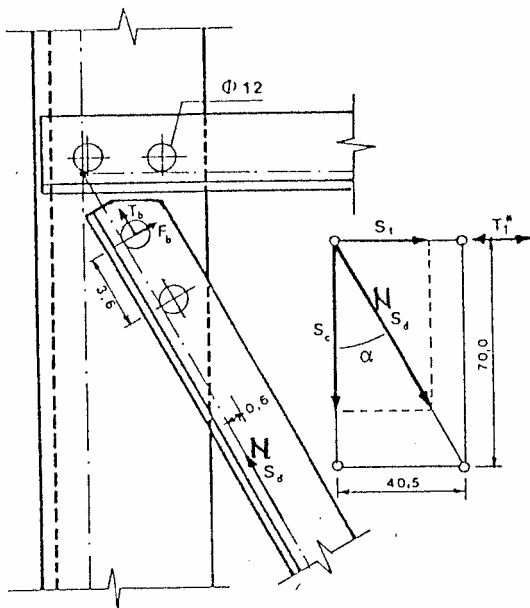
$$\bar{\lambda}_{eff,z} = 0.35 + 0.7 \bar{\lambda}_z = 1.0744 < \bar{\lambda}_{eff,v}$$

Si verifica quindi la diagonale, soggetta a  $N_{Sd} = 8.30 \text{ kN}$ , per la snellezza  $\bar{\lambda}_{eff,v} = 1.2395$  con la curva c. Non si tiene conto dell'eccentricità dell'asse baricentrico rispetto alle connessioni di estremità perché queste sono sufficientemente rigide (2 bulloni). Si ha:

$$\chi = 0.4160 \quad N_{b,Rd} = 0.4160 \cdot 267 \cdot 235 / 1.1 \cdot 10^{-3} = 23.7 \text{ kN} \gg N_{Sd}$$

La verifica della diagonale è quindi soddisfatta.

### Verifica del collegamento bullonato



I bulloni vanno verificati per la risultante  $R_b$  delle forze:

$$T_b = N_{Sd} / 2 = 4.16 \text{ kN}$$

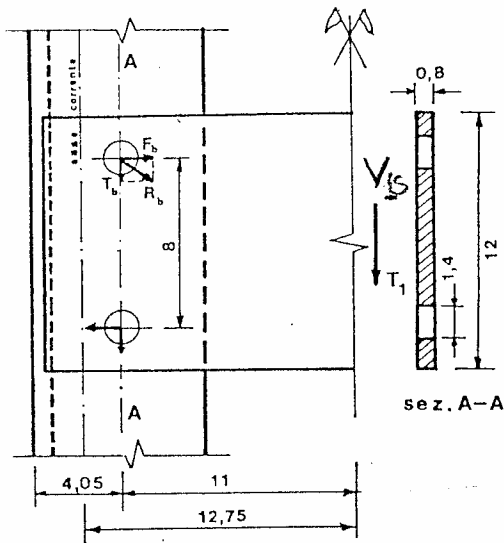
$$F_b = N_{Sd} \cdot 0.6 / 3.6 = 1.39 \text{ kN}$$

$$R_b = \sqrt{T_b^2 + F_b^2} = 4.39 \text{ kN}$$

L'angolare deve essere verificato a rifollamento e la sua sezione netta, dato che la  $N$  può essere di trazione, deve essere verificata secondo #6.5.2.3

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad \text{con} \quad \beta_2 = 0.46 \quad \text{essendo} \quad p_1 = 3.6 = 3d_0$$

## Calastrelli



Forza interna di taglio:

$$V_S = \pi M_S / \ell = 7.15 \text{ kN} \quad [5.94]$$

con:  $M_S = 15.93 \text{ kNm}$ ;  $\ell = 700 \text{ cm}$

Su ciascun calastrello agisce il taglio:

$$V_{1S} = \frac{1}{2} V_S \frac{a}{h_0} = \frac{1}{2} 7.15 \frac{70}{25.5} = 9.81 \text{ kN}$$

Nella sezione A-A il calastrello è soggetto al momento flettente:

$$M_{Sd} = 9.81 \cdot 0.11 = 1.080 \text{ kNm}$$

La sezione netta ha modulo di resistenza elastico (si potrebbe usare quello plastico)  $W_{net} = 13.2 \text{ cm}^3$ .

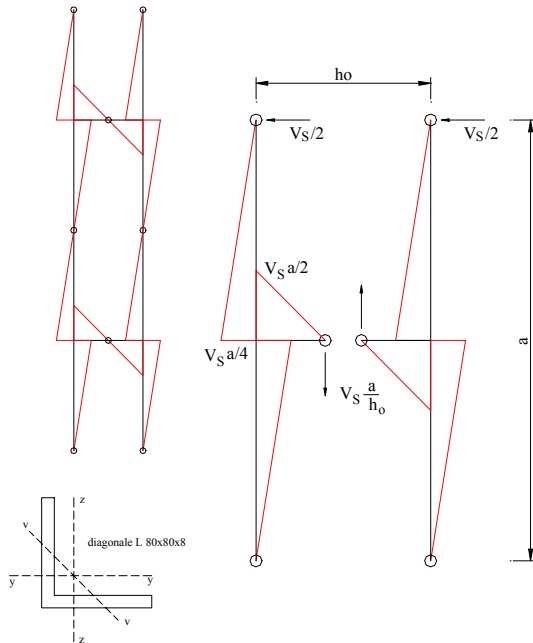
La sua resistenza è (v. #5.4.5.1 (3)):

$$M_{u,Rd} = 0.9 W_{net} f_u / \gamma_{M2} = 0.9 \cdot 13.2 \cdot 360 / 1.25 \cdot 10^{-3} = 3.42 \text{ kNm} \gg M_{Sd}$$

I bulloni sono soggetti alle forze:

$$T_b = 9.81/2 = 4.90 \text{ kN} \quad F_b = 1.080/0.08 = 13.49 \text{ kN}$$

$$R_b = \sqrt{T_b^2 + F_b^2} = 14.36 \text{ kN}$$



Il taglio  $V_{1S}$  determina nel corrente il momento:

$$M_{Sd} = V_{1S} a/4 = 9.81 \cdot 0.70/4 = 1.72 \text{ kNm}$$

che va combinato con l'azione assiale:

$$N_{Sd} = 792.5/4 = 198.1 \text{ kN}$$

Si usa il carico esterno  $N_{Sd}$  non amplificato dall'effetto del 2° ordine perché i calastrelli più sollecitati sono quelli di estremità dove l'effetto del 2° ordine è nullo (#5.9.3.6 (2)).

Il momento flettente impegna la sezione a L del corrente intorno all'asse z-z. Si avrebbe quindi flessione deviata. Poiché però l'inflexione intorno a y-y è impedita dal collegamento tralicciato con l'angolare opposto, la flessione rimane retta.

Si esegue una semplice verifica di resistenza perché l'instabilità riguarda la mezzeria dei correnti, dove il momento dovuto al taglio è nullo.

$$W_z = 12.6 \text{ cm}^3 \quad A = 12.3 \text{ cm}^2$$

Momento resistente  $M_{c,Rd} = 12.6 \cdot 235/1.1 \cdot 10^{-3} = 2.691 \text{ kNm}$

Azione assiale resistente  $N_{c,Rd} = 12.3 \cdot 235/1.1 \cdot 10^{-1} = 262.7 \text{ kN}$

$$\frac{N_{Sd}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{Sd}}{M_{c,Rd}} = \frac{19.81}{262.7} + \frac{1.72}{2.691} = 0.075 + 0.639 = 0.714 < 1$$

### Aste composte con elementi ravvicinati (Ballio 9.2.3.2)

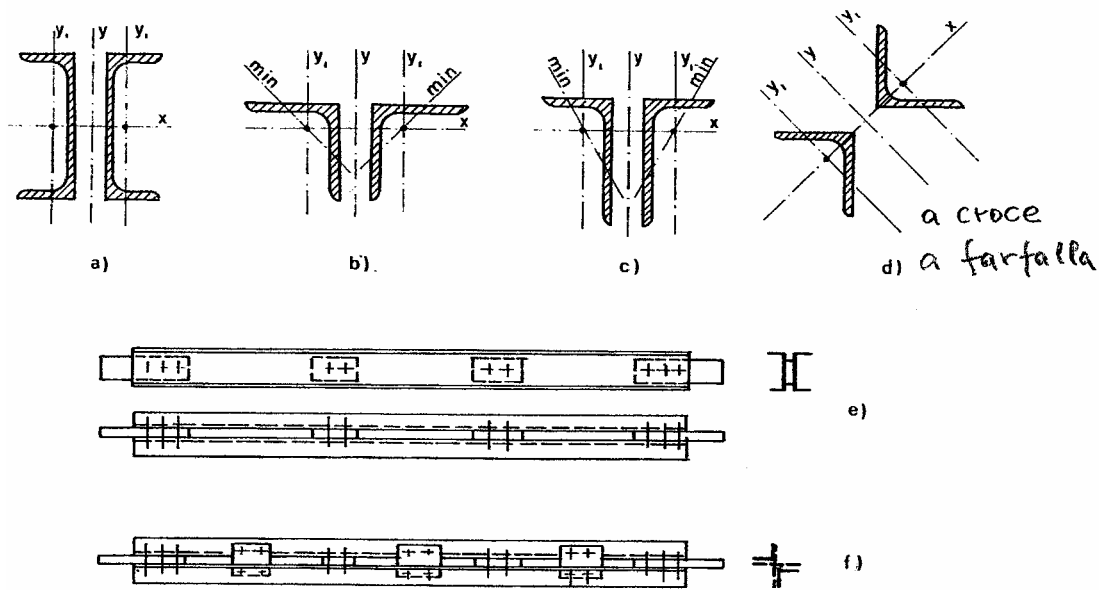
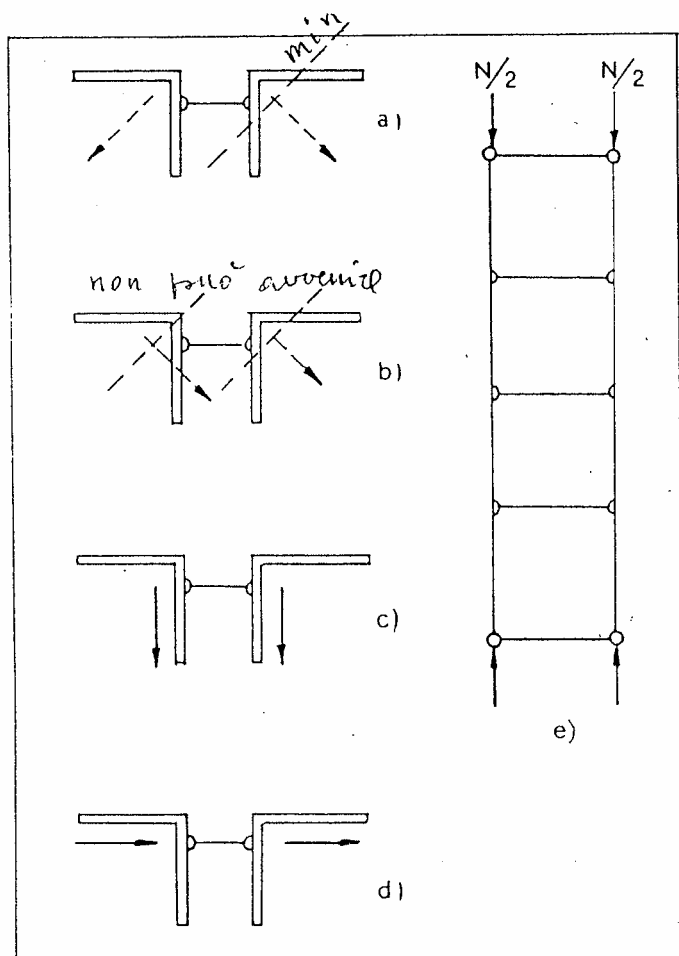


Fig. 9.65



Si dicono ravvicinati se la distanza  $d$  fra i baricentri dei correnti è piccola rispetto al raggio giratorio  $i_{1y}$  del singolo corrente, più precisamente secondo alcune normative:

$$d < 3 i_{1y}$$

Si ricorda che il raggio giratorio dell'intera sezione composta vale:

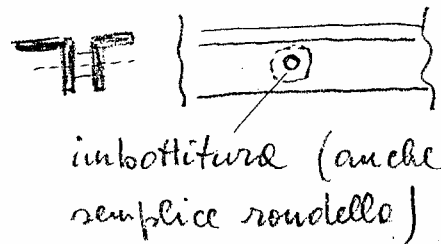
$$i_y^2 = i_{1y}^2 + (d/2)^2$$

Spesso le aste di parete ed i correnti delle travi reticolari sono realizzati con due angolari a lati uguali. Poiché le lunghezze di libera inflessione nel piano della trave e nel piano perpendicolare sono uguali, non ha interesse avere momenti d'inerzia diversi, interessa solo impedire l'inflessione del singolo angolare intorno all'asse di minima inerzia. In questo caso

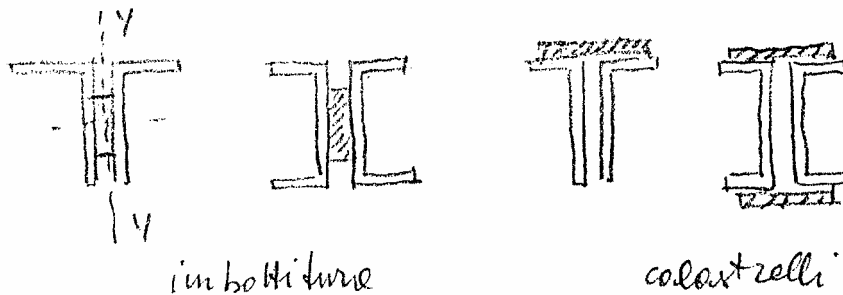
il collegamento non deve assorbire forze di scorrimento e ha solo la funzione cinematica illustrata



in figura. Ciascuno dei due angolari verrà verificato come asta semplice soggetta a  $N/2$  con  $i = i_{1y} = i_{1z}$



Il collegamento può essere realizzato con imbottitura (anche una semplice rondella) ed un solo bullone.



Se invece si vuole sfruttare l'aumento di momento d'inerzia  $\Delta I_y = A_1 d^2/2$  della sezione composta, il collegamento deve essere più efficiente (v. figura) sia per l'imbottitura che per i calastrelli. Sarà un collegamento saldato o con almeno due bulloni in fori calibrati o con bulloni ad attrito.

L'EC3 al #5.9.4 permette di considerare l'asta composta come un'asta a parete piena se l'interasse dei collegamenti è inferiore a  $15 i_{\min}$ . I collegamenti vanno verificati a taglio. Il taglio longitudinale  $V_s$  può essere per semplicità assunto pari a  $2.5\%N$ , il che corrisponde a considerare un'eccentricità del 2° ordine  $e_{02} = \ell/125$ . Sia ha infatti:

$$V_s = \pi \frac{M_s}{\ell} = \pi \frac{N e_{02}}{\ell} = \frac{\pi}{125} N = 0.025 N$$