

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI ROMA TRE
 Facoltà di Architettura
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 2 (A – B – C)

Prof. G. de Felice - Prof. R. Giannini - Prof. G. Serino

PROVA DI ESONERO N°2 – 05/06/2001

Esercizio B

Si consideri la struttura in figura 1 costituita da un pilastro in c.a. sul quale si atterra un paranco metallico soggetto ad un carico di progetto $P_d = 150$ kN.

Trascurando il peso proprio degli elementi strutturali, effettuare:

- 1) La verifica di stabilità dell'asta compressa del paranco (in entrambi i piani x-z e x-y), costituita da due profilati C100 accoppiati di acciaio di classe Fe 360 (resistenza di calcolo $f_d = 235$ N/mm²) con interposto un fazzoletto di spessore $s = 10$ mm e due imbottiture intermedie a interasse di 58 cm; nell'effettuare la verifica di stabilità, considerare il nodo C impedito di spostarsi nel piano x-y.
- 2) Il progetto dell'asta tesa del paranco utilizzando due profilati a C accoppiati di acciaio classe Fe 360 e del collegamento dell'asta tesa nel nodo C (vedi figura 2) utilizzando n° 5 bulloni di classe 6.8 (resistenza di calcolo a taglio $f_{d,v} = 255$ N/mm²).
- 3a) **[solo laboratorio B]** Il progetto delle armature a taglio del pilastro nel tratto AB adottando staffe e trascurando la presenza di sforzo normale ($\delta=1$).
- 3b) **[solo laboratori A e C]** La verifica a pressoflessione della sezione di base del pilastro avente le seguenti caratteristiche geometriche: larghezza $b = 40$ cm, altezza $h = 50$ cm, copriferro di calcolo $d' = 3$ cm, armature $A_s = A_s' = 5 \phi 20$ (materiali: acciaio FeB 44 k, calcestruzzo Rck = 30 N/mm²).

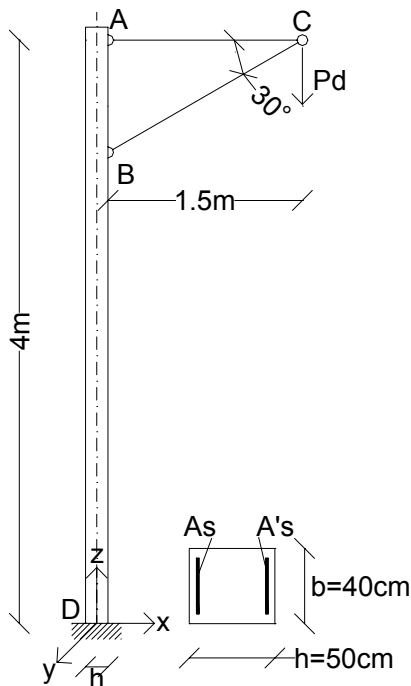


Fig. 1 Schema della struttura

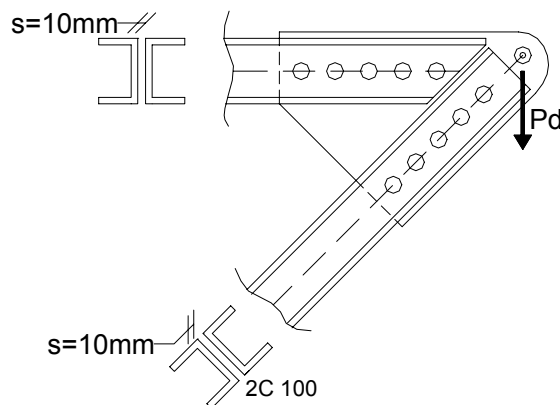
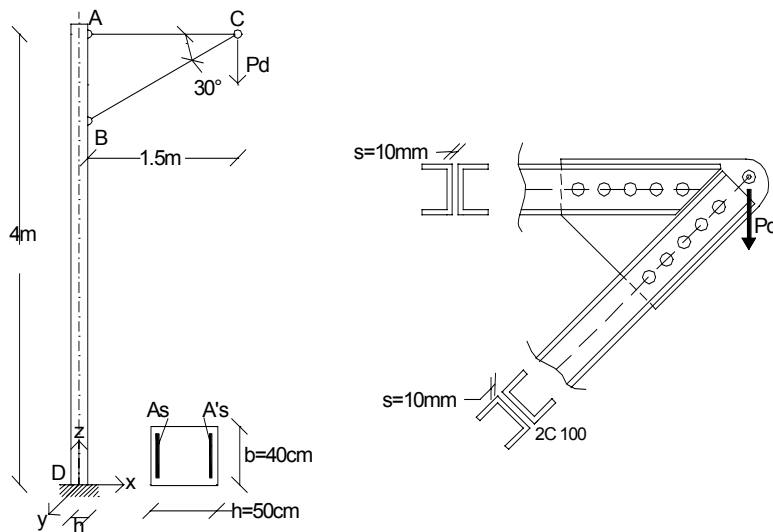


Fig. 2 Dettaglio del Nodo C

1) Soluzione del problema statico:



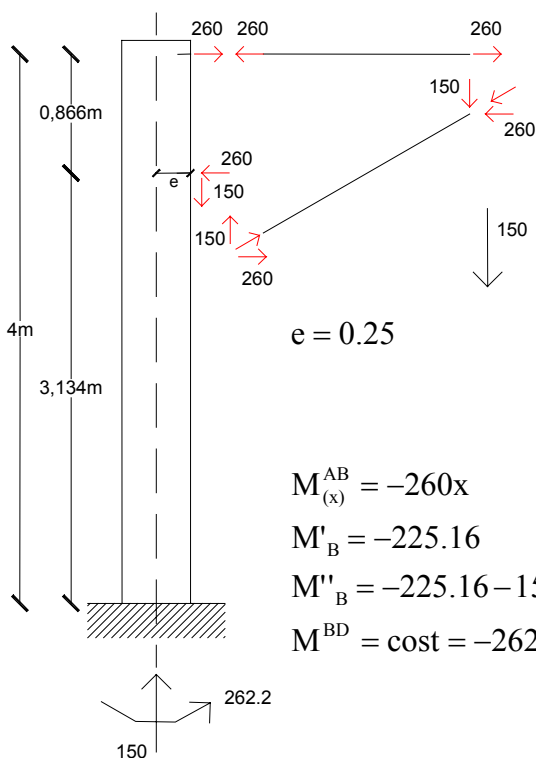
Equilibrio nodo C:



$$N = \frac{150}{\sin 30^\circ} = 300 \text{KN}$$

$$T = N * \cos 30^\circ = 260 \text{KN}$$

Reazioni vincolari:



$$e = 0.25$$

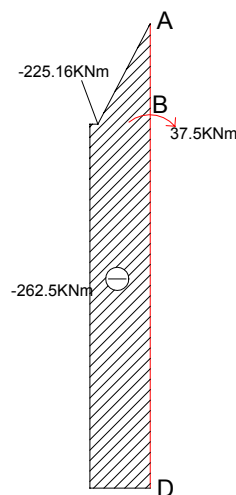
$$M_{(x)}^{AB} = -260x$$

$$M'_B = -225.16$$

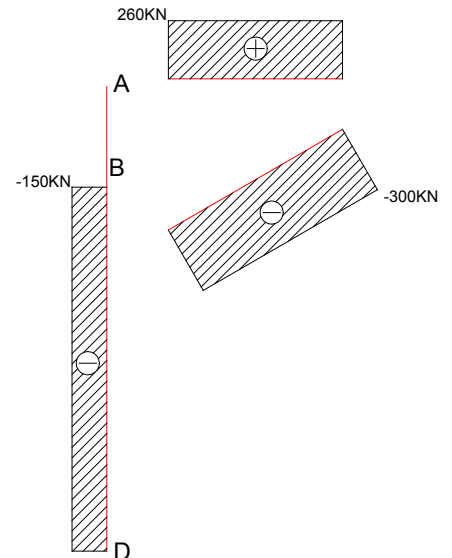
$$M''_B = -225.16 - 150 * 0.25 = -262.5$$

$$M^{BD} = \text{cost} = -262.5$$

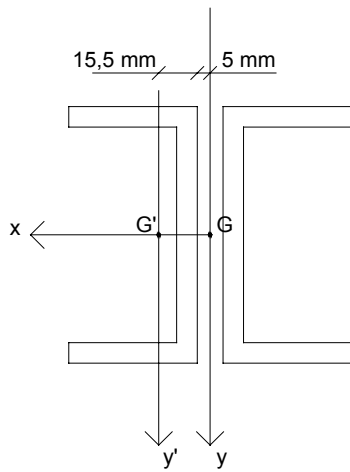
M



N



2) Verifica di stabilità dell'asta compressa del paranco:



$$l_0 = 173 \text{ cm} = \frac{150}{\cos 30^\circ}$$

$$i = 58 \text{ cm (interasse tra le imbottiture)}$$

$$N = 300 \text{ kN}$$

Dal sagomario si ricavano i seguenti dati :

$$A = 13.5 \text{ cm}^2$$

$$I_{x_1} = 205 \text{ cm}^4$$

$$I_{y_1'} = 29.1 \text{ cm}^4$$

$$\rho_{x_1} = 3.91 \text{ cm}$$

$$\rho_{y_1'} = 1.47 \text{ cm}$$

$$e_y = 1.55 \text{ cm}$$

Verifica di stabilità nel piano xz :

$$\rho_{x_1} = 3.91 \text{ cm} \rightarrow \lambda_{x_1} = \frac{l_0}{\rho_{x_1}} = \frac{173}{3.91} = 44.2$$

$$\lambda_{x_1} = 45 \rightarrow \omega = 1.17$$

$$\sigma = \frac{1.17 * 300}{2 * 13.5} = 13 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} = 130 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \rightarrow \text{verificato}$$

Verifica di stabilità nel piano xy :

Calcolo del momento d'inerzia dei profili accoppiati :

$$I_{y_1} = 2I_{y_1'} + 2Ad^2 = 2 * 29.1 + 2 * 13.5 * (1.55 + 0.5)^2 = 171.67 \text{ cm}^4$$

$$\rho_{y_1} = \sqrt{\frac{I_{y_1}}{2A}} = \sqrt{\frac{171.67}{2 * 13.5}} = 2.52 \text{ cm} \rightarrow \lambda_{y_1} = \frac{l_0}{\rho_{y_1}} = \frac{173}{2.52} = 69.0$$

$$\lambda_1 = \frac{i}{\rho_{\min}} = \frac{58}{1.47} = 39.5$$

$$\lambda_{\text{eq}} = \sqrt{\lambda_{y_1}^2 + \lambda_1^2} = \sqrt{(69.0)^2 + (39.5)^2} = 79.5 \rightarrow 80 \rightarrow \omega = 1.62$$

$$\sigma = \frac{\omega N}{2A} = \frac{1.62 * 300000}{2 * 1350} = 180 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_d = 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

3) Progetto dell'asta tesa e del collegamento del nodo C:

Progetto bulloni:

$$A_b = \frac{T}{n_r * n_b * f_{d,v}} = \frac{260000}{2 * 5 * 255} = 102 \text{mm}^2 \rightarrow \text{bullone} \quad d = 14 \text{mm}$$

$$A_{\text{res}} = 115 \text{mm}^2$$

Si adottano pertanto 5 bulloni $d=14\text{mm}$ \longrightarrow diametro del foro $d_f = d + 1 \text{mm} = 15 \text{mm}$

Progetto asta tesa:

$$(A_{\text{prof}} - t * d) \geq \frac{260/2}{23.5} = 5.53 \text{cm}^2$$

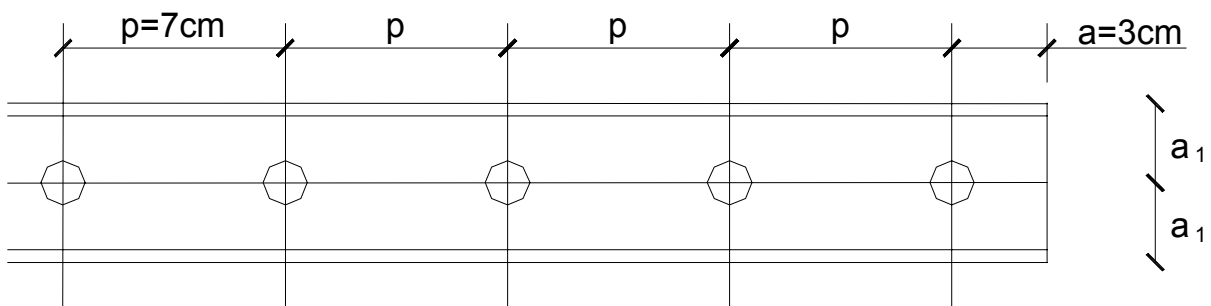
Provo con il C40 $A = 6.21 \text{cm}^2$ $t = 0.5 \text{cm}$

$$6.21 - 0.5 * 1.5 = 5.46 \text{cm}^2 < 5.53 \text{cm}^2$$

Provo con il C50 $A = 7.12 \text{cm}^2$ $t = 0.5 \text{cm}$

$$7.12 - 0.5 * 1.5 = 6.37 \text{cm}^2 > 5.53 \text{cm}^2 \quad \text{verificato}$$

Quindi per l'asta tesa è possibile adottare 2C50



$$1.5d \leq a \leq 3d$$

$$a_1 = 25 \text{mm}$$

$$1.5d \leq a_1 \leq 3d$$

$$\frac{a_1}{d} = \frac{25}{14} = 1.785 \text{ OK}$$

$$3d \leq p \leq 10d$$

$$a = 2d = 28 \Rightarrow a = 30 \text{mm} = 3 \text{cm}$$

$$\frac{p}{t} \leq \begin{cases} 15 \text{ el. comp.} \\ 25 \text{ el. tesi} \end{cases}$$

$$p = 5d = 70 \text{mm} = 7 \text{cm}$$

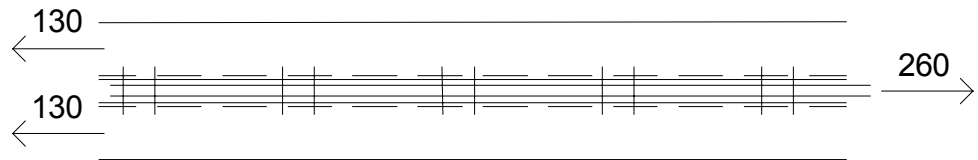
$$\frac{a}{t}, \frac{a_1}{t} \leq 6$$

Verifica a strappo:

$$\sigma = \frac{T/2}{(A_{\text{prof}} - t * d)} = \frac{260/2}{7.12 - 0.5 * 1.5} = 6.37 < 23.5 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Rifollamento:

$$\frac{a}{d} = 2.14 < 2.5 = \alpha$$



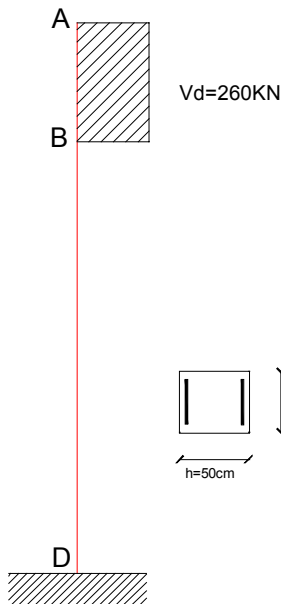
sul fazzoletto :

$$\frac{T/5}{1.4 * 1} = 37.14 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} \rightarrow \frac{37.14}{23.5} = 1.58 < \alpha$$

sul profilo :

$$\frac{T/2 * 5}{1.4 * 0.50} = 37.14 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} \rightarrow \frac{37.14}{23.5} = 1.58 < \alpha$$

4) progetto delle armature a taglio del pilastro nel tratto AB:



$$R_{ck} = 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{cd} = 15.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{ctd} = 1.14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{acciaio FeB44K} \rightarrow f_{yd} = 374 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\epsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = 1.82 \text{‰}$$

Verifica bielle compresse di cls. :

$$V_u = 0.30 * f_{cd} * b_w * d = 0.30 * 15.6 * 400 * 470 = 878840 \text{N} = 879.84 \text{KN} > V_d = 260 \text{KN}$$

Taglio assorbito dal cls. :

$$V_{cu} = 0.60 f_{ctd} * b_w * d * \delta = 0.60 * 1.14 * 400 * 470 = 128592 \text{N} = 128.6 \text{KN}$$

Taglio da assorbire con le staffe :

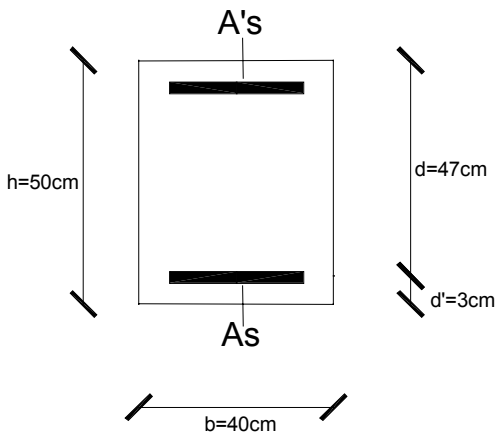
$$V_{su} = V_d - V_{cu} = 260 - 128.6 = 131.4 \text{KN} > \frac{V_d}{2} = 130 \text{KN}$$

$$\left(\frac{A_{sw}}{s} \right) = \frac{V_{su}}{0.9 * d * f_{yd}} = \frac{131400}{0.9 * 470 * 374} = 0.831 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}} = 8.31 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$$

$$1 \text{ staffa } \phi 12 \text{ a } 2 \text{ braccia}/25\text{cm} = 2 * 4 * 1.13 = 9.04 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$1 \text{ staffa } \phi 10 \text{ a } 2 \text{ braccia}/16.7\text{cm} = 2 * \frac{100}{16.7} * 0.79 = 9.46 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

5) Verifica a pressoflessione della sezione di base del pilastro:



$$\delta = \frac{d'}{d} = \frac{3}{47} = 0.064$$

$$\bar{f}_{cd} = 0.85 f_{cd} = 0.85 * 15.6 = 13.26 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{yd} = \frac{430}{115} = 374 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\epsilon_{yd} = \frac{\rho_{yd}}{E} = \frac{974}{205 * 10^3} = 1.82 \text{‰}$$

$$\alpha_u = \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{yd}} = 1.92 \quad \alpha_1 = \frac{\epsilon_{sl}}{\epsilon_{yd}} = \frac{10}{1.82} = 5.50$$

$$A_s = A'_s = 5\phi 20 = 5 * 3.14 = 15.7 \text{cm}^2$$

$$\mu_s = \mu'_s = \frac{A_s f_{yd}}{b d \bar{f}_{cd}} = \frac{1570 * 374}{400 * 470 * 13.26} = 0.236$$

$$N_d = P_d = 150 \text{KN}$$

$$M_d = P_d (1.50 + 0.25) = 150 * 1.75 = 262.5 \text{KN} - \text{m}$$

$$n_d = \frac{N_d}{b d \bar{f}_{cd}} = \frac{150000}{400 * 470 * 13.26} = 0.060$$

Valore adimensionale di n al confine tra le regioni 2 e 3

$$K = 0.259 \rightarrow \epsilon'_s = \epsilon_{cu} \frac{K - \delta}{K} = 3.5 \text{‰} \frac{0.259 - 0.064}{0.259} = 2.64 \text{‰} > \epsilon_{yd}$$

L'acciaio compresso è snervato quindi

$$n_{2,3} = 0.207 + \mu'_s - \mu_s = 0.207$$

Rottura certamente in campo 3

Ipotesi acciaio compresso snervato :

$$N_u = 0.81 * 1.326 * 47 * 40 * K - 15.7 * 37.4 + 15.7 * 37.4 = 150 \text{KN}$$

$$K = \frac{150}{0.81 * 1.326 * 47 * 40} = 0.074$$

$$\varepsilon'_s = 10\text{‰} * \frac{0.074 - 0.064}{1 - 0.074} = 0.1\text{‰} < \varepsilon_{yd} \quad \text{non verificato}$$

L'acciaio compresso è in campo elastico

$$K = 0.617 \left[0.8 + n_d + \mu'_s * \alpha_l + \mu_s - \sqrt{(0.8 + n_d + \mu'_s * \alpha_l + \mu_s)^2 - 3.2(n_d + \mu'_s * \alpha_l * \delta + \mu_s)} \right]$$

$$K = 0.617 \left[0.8 + 0.0602 + 0.236 * 5.50 + 0.236 - \sqrt{(2.394)^2 - 3.2(0.060 + 0.236 * 5.5 * 0.064 + 0.236)} \right]$$

$$K = 0.166 \rightarrow y_c = Kd = 0.166 * 47 = 7.802 \text{cm}$$

Verifica pressoflessione :

$$\varepsilon'_s = 0.01 * \frac{0.167 - 0.064}{1 - 0.167} = 0.00123 = 1.23\text{‰} < 1.82\text{‰}$$

$$N_u = 0.81 * 1.326 * 0.167 * 47 * 40 - 15.71 * 37.4 + 15.71 * 1.23 * 20500 = 146 \text{KN} \cong 150 \text{KN}$$

$$M_u = 0.81 * \overline{f_{cd}} * K * d * b * \left(\frac{h}{2} - 0.416Kd \right) + A'_s * \varepsilon'_s * E * \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A'_s * f_{yd} * \left(\frac{h}{2} - d' \right)$$

$$M_u = 0.81 * 1.326 * 0.167 * 47 * 40 * (25 - 0.416 * 47 * 0.167) + 15.71 * 1.23 * 10^{-3} * 20500 * 22 + 15.71 * 37.4 * 22 = 289 \text{KN} * \text{m} > 262 \text{KN} * \text{m}$$