

**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 A**

Si consideri la struttura in figura 1 costituita da un pilastro in c.a. sottoposto ad un carico centrato  $F_d = 550$  kN, sul quale si attesta 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 angolari a lati uguali 60x6 accoppiati di acciaio di classe Fe 360 (resistenza di calcolo  $f_d = 235$  N/mm<sup>2</sup>) con interposto un fazzoletto di spessore  $s = 12$  mm e due imbottiture intermedie a interasse di 50 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 piatti accoppiati di acciaio classe Fe 360 con spessore  $t = 8$  mm e del collegamento dell'asta tesa nel nodo C (vedi figura 2) utilizzando n° 3 bulloni di classe 6.8 (resistenza di calcolo a taglio  $f_{d,v} = 255$  N/mm<sup>2</sup>).
- 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  $b = 25$  cm, altezza  $h = 40$  cm, copriferro di calcolo  $d' = 3$  cm, armature  $A_s = A_s' = 5 \phi 20$  (materiali: acciaio FeB 44 k, calcestruzzo Rck = 30 N/mm<sup>2</sup>).

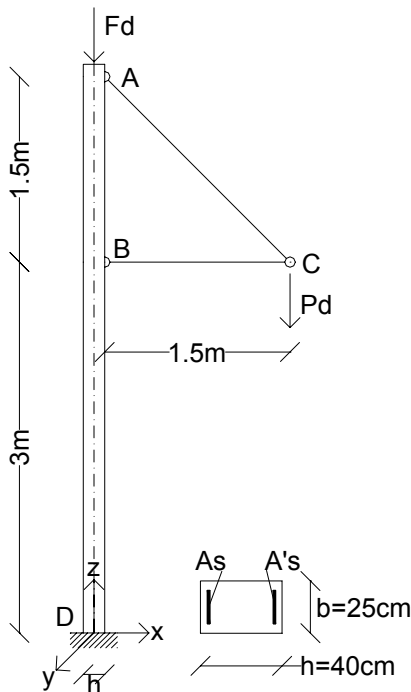


Fig. 1 Schema della struttura

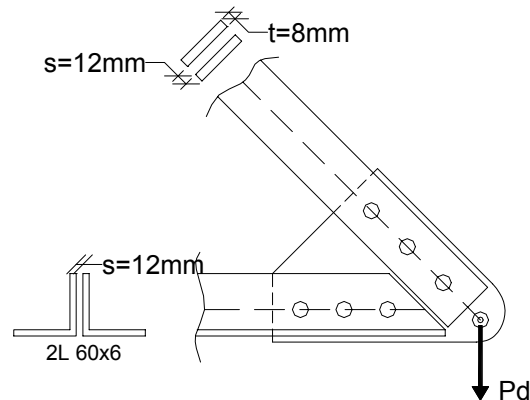
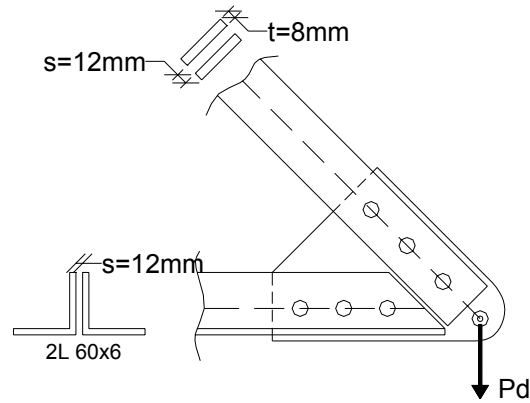
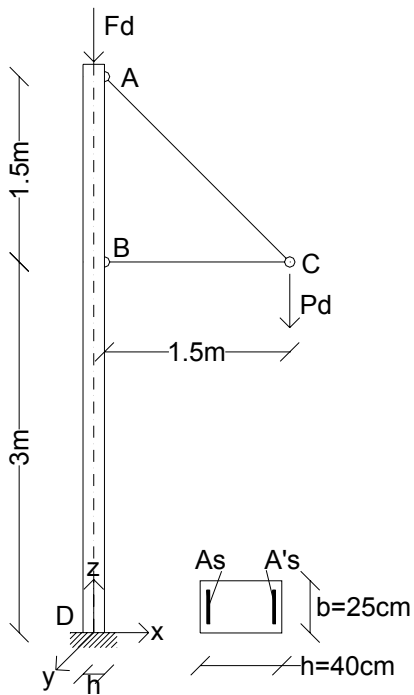
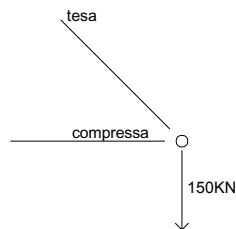
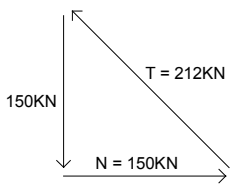


Fig. 2 Dettaglio del Nodo C

1) Soluzione del problema statico:



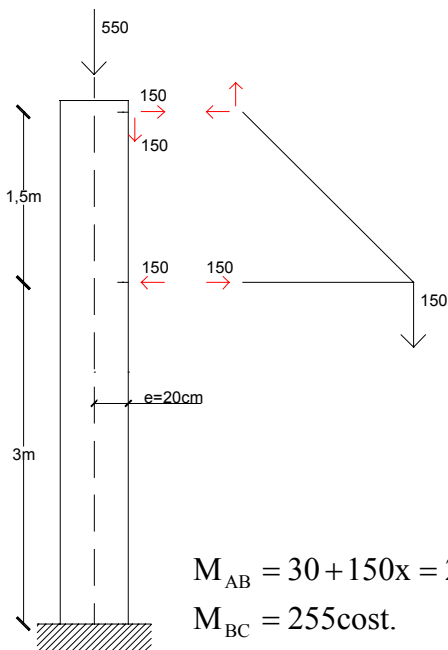
Equilibrio nodo C:



$$N = 150$$

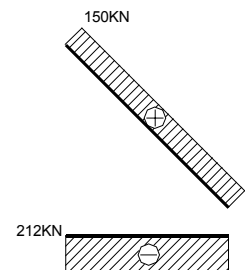
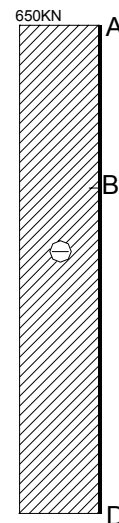
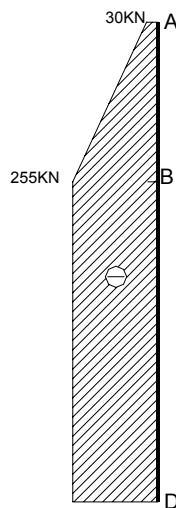
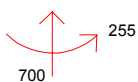
$$T = \frac{150}{\cos 45^\circ} = 212$$

Reazioni vincolari:

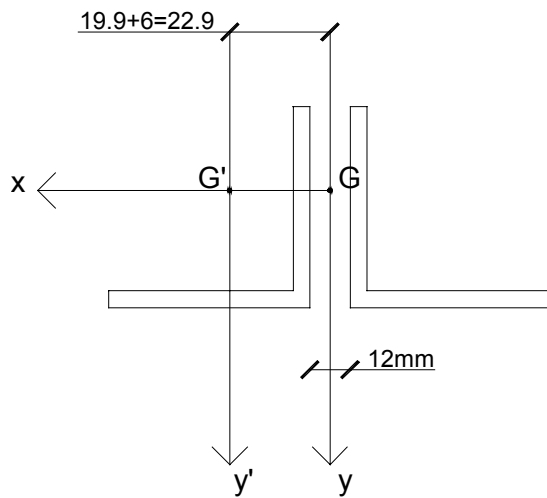


$$M_{AB} = 30 + 150x = 255$$

$$M_{BC} = 255 \cos t.$$



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



$$l_0 = \beta * l = 150\text{cm}$$

$$i = 50\text{cm}$$

$$N = 150\text{KN}$$

Dal sagomariosi ricavano i seguenti dati :

$$A = 6.91\text{cm}^2$$

$$I_x = I_y = 22.8\text{cm}^4$$

$$\rho_x = \rho_y = 1.82\text{cm}$$

$$\rho_n = 1.17\text{cm} = \rho_{\min}$$

$$e_y = 1.69$$

Verifica di stabilità nel piano xz:

$$\rho_x = 1.82\text{cm} \rightarrow \lambda_x = \frac{l_0}{\rho_x} = \frac{150}{1.82} = 82$$

$$\lambda_x = 82 \rightarrow \omega = 1.66$$

Verifica di stabilità nel piano xy :

Calcolo del momento d'inerzia dei profili accoppiati :

$$I_y = 2I_{y'} + 2Ad^2 = 2 * 22.8 + 2 * 6.91 * (2.29)^2 = 118.1\text{cm}^4$$

$$\rho_y \sqrt{\frac{I_y}{2A}} = \sqrt{\frac{118.1}{2 * 6.91}} = 2.92\text{cm} \rightarrow \lambda_y = \frac{l_0}{\rho_y} = \frac{150}{2.92} = 51.3$$

$$\lambda_1 = \frac{i}{\rho_{\min}} = \frac{50}{1.17} = 42.7$$

$$\lambda_{\text{eq}} = \sqrt{\lambda_{y_1}^2 + \lambda_1^2} = \sqrt{51.3^2 + 42.7^2} = 66.7$$

$$\lambda_{\text{eq}} < \lambda_x \Rightarrow \omega = 1.66$$

$$\sigma = \frac{\omega N}{2 * A} = \frac{1.66 * 150 * 10^3}{2 * 691} = 180 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_d = 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

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

Progetto bulloni:

$$A_b = \frac{T}{n_r * n_b * f_{d,v}} = \frac{212000}{2 * 3 * 255} = 138 \text{mm}^2 \rightarrow \text{bullone} \quad d = 16 \text{mm}$$

$$A_{res} = 157 \text{mm}^2$$

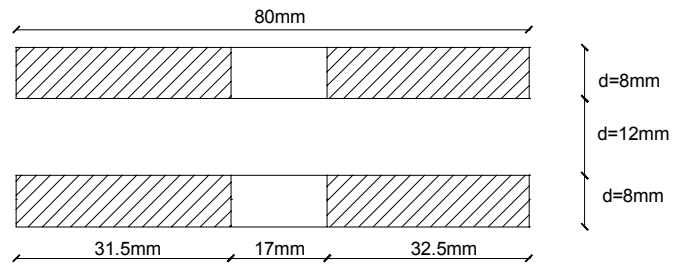
Si adottano pertanto 3 bulloni  $d=16\text{mm}$   $\longrightarrow$  diametro del foro  $d_f = d + 1\text{mm} = 17\text{mm}$

Progetto asta tesa:

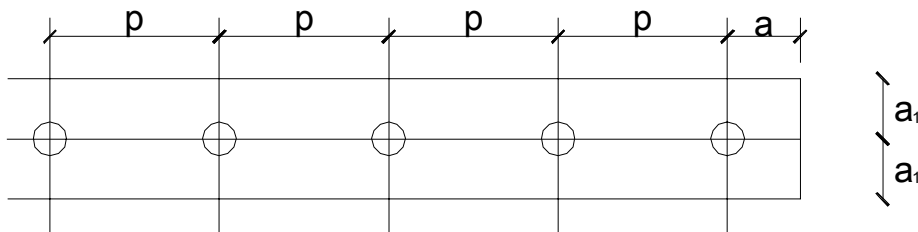
$$A_{nette}^{str.nec.} = \frac{T}{f_d} = \frac{212000}{235} = 902 \text{mm}^2$$

$$2(b - d_f)t \geq A_{nette}^{str.nec.}$$

$$b \geq \frac{A_{nette}^{str.nec.}}{2t} + d_f = \frac{902}{2 * 8} + 17 = 73 \text{mm} \rightarrow 80 \text{mm}$$



Si adottano pertanto 2 piatti  $80 * 8$



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

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

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

$$a_1 = 4 \text{cm} \rightarrow \frac{a_1}{d} = 2.5$$

$$a = 2d = 3.2 \text{cm} \rightarrow 3.5 \text{cm}$$

$$p = 5d = 8 \text{cm}$$

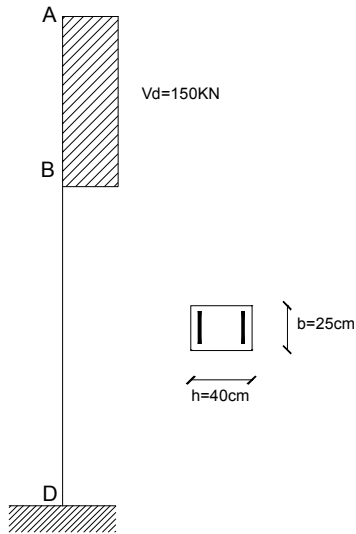
Verifica a strappo:

$$\sigma = \frac{N/2}{(b - d_1) * t} = \frac{150000/2}{(80 - 17) * 8} = 149 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Rifollamento fazzoletto (più gravosa):

$$\sigma_{rif} = \frac{T/3}{d * 12} = \frac{21000/3}{16 * 12} = 368 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq \alpha * f_d \quad \alpha = \frac{a}{b} = 2.187 \quad \alpha f_d = 235 * 2.18 = 512 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

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



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

$$f_{cd} = \frac{f_{ch}}{\gamma_c} = \frac{0.83 * R_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0.83 * 30}{1.6} = 15.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{ctd} = \frac{0.7 * 0.27 * \sqrt[3]{R_{ck}^2}}{\gamma_c} = \frac{0.7 * 0.27 * \sqrt[3]{30^2}}{1.6} = 1.14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

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

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

Verifica bielle compresse di cls.:

$$V_u = 0.30 * f_{cd} * b_w * d = 0.30 * 15.6 * 250 * 370 = 432900 \text{ N} = 432.9 \text{ kN} > V_d = 150 \text{ kN}$$

Taglio assorbito dal cls.:

$$V_{cu} = 0.60 f_{ctd} * b_w * d * \delta = 0.60 * 1.14 * 250 * 370 = 63270 \text{ N} = 63.3 \text{ kN}$$

Taglio da assorbire con le staffe:

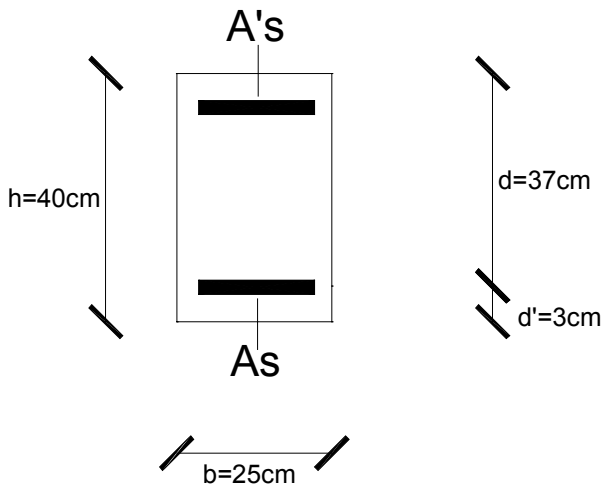
$$V_{su} = V_d - V_{cu} = 150 - 63.3 = 86.7 \text{ kN} > \frac{V_d}{2} = 75 \text{ kN}$$

$$\left( \frac{A_{sw}}{s} \right) \geq \frac{V_{su}}{0.9 * d * f_{yd}} = \frac{86700}{0.9 * 370 * 374} = 0.696 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}} = 6.96 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$$

$$1 \text{ staffa } \phi 10 \text{ a } 2 \text{ braccia} / 20 \text{ cm} = 2 * 5 * 0.79 = 7.9 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$1 \text{ staffa } \phi 10 \text{ a } 2 \text{ braccia} / 22.5 \text{ cm} = 2 * 0.79 * \frac{100}{22.5} = 7.02 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

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



$$\delta = \frac{d'}{d} = \frac{3}{37} = 0.081$$

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

$$\alpha_u \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{yd}} = 1.92$$

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

$$\mu_s = \mu'_s = \frac{A_s f_{yd}}{b d \bar{f}_{cd}} = \frac{1570 * 374}{250 * 370 * 13.26} = 0.479$$

$$N_d = F_d + P_d = 550 + 150 = 700KN$$

$$M_d = P_d (1.50 + 0.20) = 150 * 1.70 = 255KN - m$$

$$n_d = \frac{N_d}{b d \bar{f}_{cd}} = \frac{700000}{250 * 370 * 13.26} = 0.571$$

$$n_{max} = 0.8 \left( 1 + \frac{d'}{d} \right) + \mu_s + \mu'_s = 0.8 \left( 1 + \frac{3}{37} \right) + 2 * 0.479 = 1.823$$

$$n_0 = 0.8(1 + \delta) + \mu_s + \alpha_u \frac{\delta}{1 + \delta} + \mu'_s = 0.8(1 + 0.081) + 0.479 * 1.92 * \frac{0.081}{1 + 0.081} + 0.479 = 1.413$$

$$n_1 = 0.8 \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{yd}} + \mu'_s - \mu_s = 0.8 \frac{3.5\text{‰}}{3.5\text{‰} + 1.82\text{‰}} = 0.526$$

Rottura certamente in campo I

L'acciaio teso è sicuramente in campo elastico, mentre l'acciaio compresso è quasi sicuramente snervato

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

$$K = 0.617 \left[ 0.571 - 0.479 - 1.92 * 0.479 + \sqrt{(-0.828)^2 - 3.2 * 1.92 * 0.479} \right]$$

$$K = 0.665 \rightarrow y_c = Kd = 0.665 * 37 = 24.6cm$$

Verifica pressoflessione :

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu} \frac{1-k}{k} = 3.5 \frac{1-0.665}{0.665} = 1.763\text{‰} < \varepsilon_{yd}$$

$$\varepsilon'_s = \varepsilon_{cu} \frac{K-\delta}{K} = 3.5 \frac{0.665-0.081}{0.665} = 3.07\text{‰} > \varepsilon_{yd} \quad \text{ipotesi verificata}$$

$$M_u = 0.81 * b * y_c * \overline{f_{cd}} * \left( \frac{h}{2} - 0.416y_c \right) + A'_s * f_{yd} * \left( \frac{h}{2} - d' \right) + A'_s * E_s * \varepsilon_s * \left( \frac{h}{2} - d' \right)$$

$$M_u = 0.81 * 250 * 246 * 13.26 * (200 - 0.416 * 246) + 1520 * 374 * (200 - 30) + 1520 * 206 * 1.763 * (370 - 200) =$$

$$M_u = 261.3 * 10^6 \text{ N} - \text{mm} = 261.3 \text{KN} - \text{m} > M_d = 255 \text{KN} - \text{m}$$