

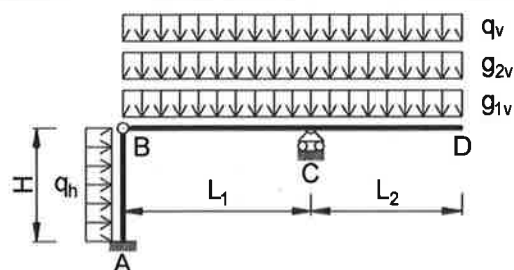
**ESONERO ACCIAIO 16.12.2019 | compito A**

nome:	cognome:	matricola:
-------	----------	------------

**ACCIAIO**

È assegnato lo schema statico a lato, con:

- vincoli: spostamenti nodali fuori dal piano impediti
- $L_1=6,00$  m,  $L_2=2,00$  m,  $H=4,00$  m
- carichi caratteristici:  
 permanenti:  $g_{1v}=15,00$  kNm<sup>-1</sup>,  $g_{2v}=10,00$  kNm<sup>-1</sup>  
 variabili:  $q_v=10,00$  kNm<sup>-1</sup>,  $q_h=12,00$  kNm<sup>-1</sup>
- materiale: acciaio S235
- destinazione d'uso: residenza

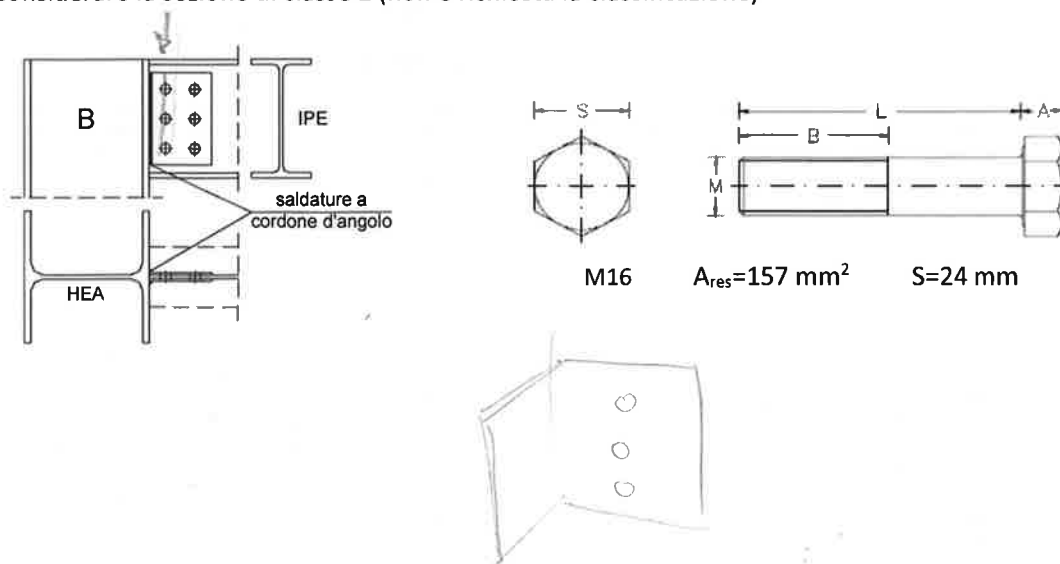


**Quesiti:**

1. Risolvere lo schema statico esplicitando reazioni vincolari e diagrammi delle sollecitazioni allo SLU;
2. Dimensionare e verificare allo SLU (resistenza e stabilità) l'asta AB utilizzando un profilato HEA;
3. Dimensionare e verificare allo SLU l'asta BD utilizzando un profilato IPE;
4. Progettare l'unione bullonata in B, come solo indicativamente mostrato nella seguente figura, utilizzando due piatti e bulloni M16 di classe 5.6 (non è richiesto il progetto delle saldature).

**Nota 1:** per determinare il carico di progetto assumere come "dominante" il carico verticale

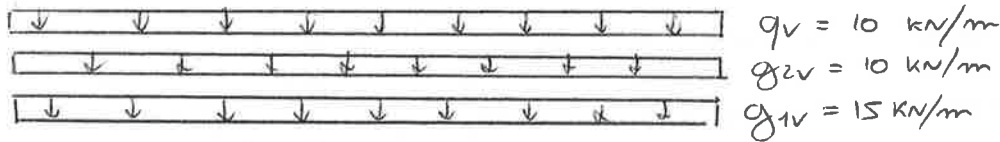
**Nota 2:** considerare la sezione di classe 1 (non è richiesta la classificazione)



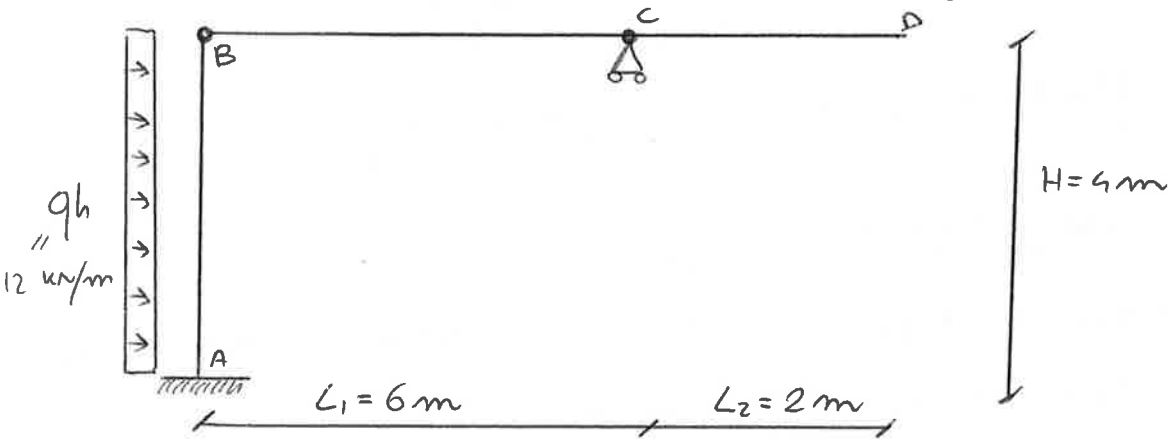
**Modalità di valutazione (da leggere con attenzione):**

- Se la risposta al quesito n. 1 risulta errata, la prova è insufficiente (senza esaminare le risposte agli altri quesiti).
- La prova è superata solo se le risposte a tutti i quesiti risultano almeno sufficienti.
- L'insufficienza in tutti i quesiti determina la non ammissione alla prova scritta successiva.

# COMPITO A



$q_v = 10 \text{ kN/m}$   
 $q_{zv} = 10 \text{ kN/m}$   
 $q_{1v} = 15 \text{ kN/m}$

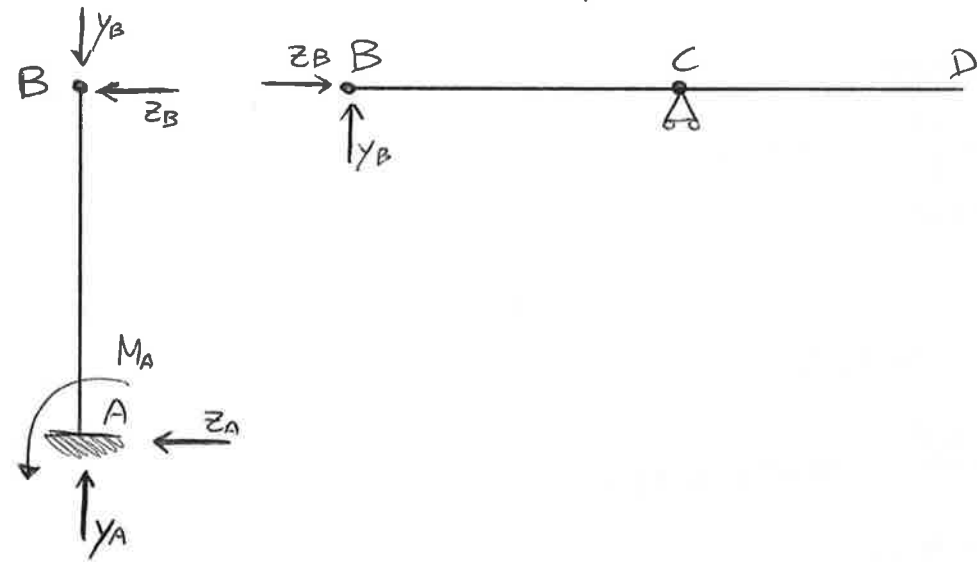


## PUNTO 1

$GDL = AB + BD = 3 + 3 = 6$

$GDV = 3(\text{NODO A}) + 2(\text{NODO B}) + 1(\text{NODO C}) = 6 \Rightarrow 6 - 6 = 0 \Rightarrow \text{ISOSTATICA}$

Studio la trave separatamente



### ASTA BD

- traslazione orizzontale  $z_B = 0$

- Rotazione (polo B)  $y_C L_1 - p_v (L_1 + L_2) \frac{L_1 + L_2}{2} = 0$

$y_C = p_v \frac{(L_1 + L_2)^2}{2L_1}$

- traslazione verticale  $y_B + y_C - p_v (L_1 + L_2) = 0$

$y_B = p_v (L_1 + L_2) - p_v \frac{(L_1 + L_2)^2}{2L_1}$

$y_B = \frac{2p_v L_1^2 + 2p_v L_1 L_2 - p_v L_1^2 - p_v L_2^2 - 2p_v L_1 L_2}{2L_1} =$

$y_B = p_v \frac{L_1^2 - L_2^2}{2L_1}$

# ASTA AB

traslazione orizzontale  $-Z_A - Z_B + p_h H = 0$   $Z_A = +p_h H$

traslazione verticale  $Y_A - Y_B = 0$   $Y_A = p_v \frac{L_1^2 - L_2^2}{2L_1}$

Rotazione (Polo A)  $M_A + Z_B H - p_h \frac{H^2}{2} = 0$   $M_A = p_h \frac{H^2}{2}$

## CALCOLO COMBINAZIONE FONDAMENTALE (SLU)

$p_v = 1,3 q_{1v} + 1,5 q_{2v} + 1,5 q_v = 1,3 \cdot 15 + 1,5 \cdot 10 + 1,5 \cdot 10 = 49,5 \text{ KN/m}$

$p_h = 0,7 \cdot 1,5 q_h = 0,7 \cdot 1,5 \cdot 12 = 12,6 \text{ KN/m}$

### REAZIONI

$Z_B = 0$   
 $Y_C = 264 \text{ KN}$   
 $Y_B = 132 \text{ KN}$   
 $M_A = 100,8 \text{ KNm}$   
 $Y_A = 132 \text{ KN}$   
 $Z_A = 50,4 \text{ KN}$

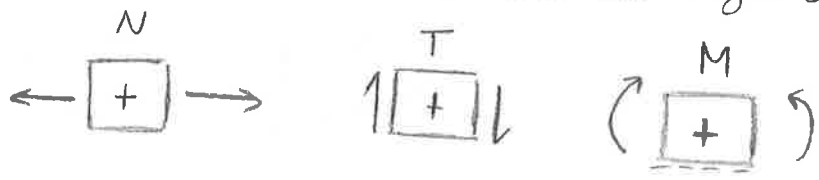
### DIAGRAMMA DELLE SOLLECITAZIONI

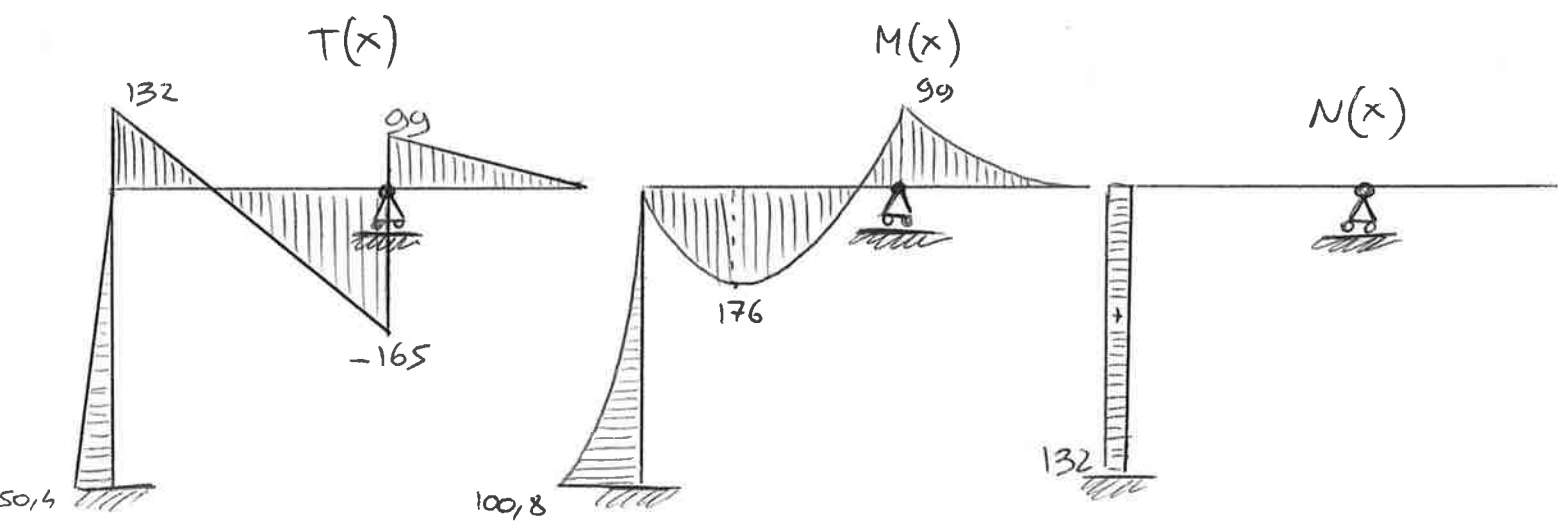
$(AB) \quad M(x) = -M_A + Z_A x - p_h \frac{x^2}{2} \quad 0 \leq x < H$   
 $T(x) = +Z_A - p_h x \quad 0 \leq x < H$   
 $N(x) = -Y_A \quad 0 \leq x < H$

$(BD) \quad M(x) = \begin{cases} Y_B x - p_v \frac{x^2}{2} & 0 \leq x < L_1 \\ -p_v \frac{(L_1 + L_2 - x)^2}{2} & 0 \leq x < L_1 + L_2 \end{cases}$   
 $T(x) = \begin{cases} Y_B - p_v x & 0 \leq x < L_1 \\ +p_v (L_1 + L_2 - x) & 0 \leq x < L_1 + L_2 \end{cases}$   
 $N(x) = 0 \quad 0 \leq x < L_1 + L_2$

TAGLIO NULLO  $Y_B - p_v x = 0 \quad x = \frac{Y_B}{p_v} = 2,6 \text{ m}$

Le espressioni analitiche e i diagrammi di taglio sono ricavate in accordo alle convenzioni di seguito indicate





## PUNTO 2

Caratteristiche del materiale

ACCIAIO S235

$$f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$f_{tk} = 360 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,05} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 223,8 \text{ MPa}$$

### DIMENSIONAMENTO COLONNA

$$\chi = \chi_0 = 0,5 \quad H_p \text{ preliminare}$$

$$N_{ed} = 132 \text{ kN}$$

$$A_{min} = \frac{N_{ed}}{\chi_0 f_{yd}} = \frac{132 \cdot 1000}{0,5 \cdot 223,8} = 1179,62 \text{ mm}^2 = 11,79 \text{ cm}^2$$

Scelgo HEA 120

$$A = 25,34 \text{ cm}^2$$

$$b = 120 \text{ mm}$$

$$h = 114 \text{ mm}$$

$$a = 5 \text{ mm}$$

$$e = 8 \text{ mm}$$

$$r = 12 \text{ mm}$$

$$J_x = 606,2 \text{ cm}^4$$

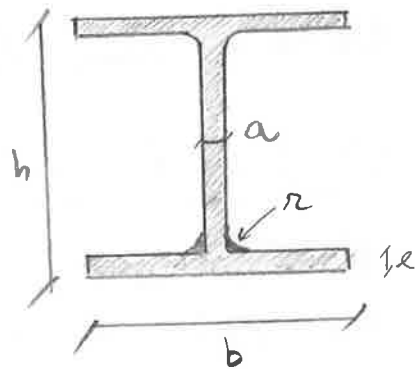
$$J_y = 230,9 \text{ cm}^4$$

$$W_x = 106,3 \text{ cm}^3$$

$$W_{x,pl} = 119,49 \text{ cm}^3$$

$$r_x = 4,89 \text{ cm}$$

$$r_y = 3,02 \text{ cm}$$



## VERIFICA A COMPRESSIONE

$$N_{c,rd} = \frac{A_{fyk}}{\gamma_{M0}} = 25,34 \cdot \frac{235}{1,05} = 567,133 \text{ kN} > N_{ed} = 132 \checkmark$$

## VERIFICA DI STABILITA'

Nel piano del dissegno  $\beta = 2$

Perpendicolare al piano del dissegno  $\beta = 0,7$

## Verifica di instabilita' mx

$$\beta_x = 2$$

$$L_{0x} = \beta_x L = 2 \cdot 4 = 8 \text{ m}$$

$$\lambda_{cr} = \pi \sqrt{\frac{E_s}{\rho_{yk}}} = 93,91$$

$$\lambda_x = \frac{L_{0x}}{\rho_x} = \frac{8 \cdot 100}{4,89} = 163 < 200 \checkmark$$

$$\bar{\lambda}_x = \frac{\lambda_x}{\lambda_{cr}} = 1,74 > 0,2 \quad \text{instabilita' non trascurabile}$$

SEZ. LAMINATE

$$\frac{h}{b} = 0,95 \leq 1,2 \quad t_f \leq 100 \quad \gamma \Rightarrow \text{CURVA b} \quad \alpha = 0,34$$

$$\Phi_x = 0,5 \left( 1 + \alpha (\bar{\lambda}_x - 0,2) + \bar{\lambda}_x^2 \right) = 2,27$$

$$\chi_{\min} = \min \left\{ \left( \Phi_x + \sqrt{\Phi_x^2 - \bar{\lambda}_x^2} \right)^{-1}, 1 \right\} = 0,26$$

$$N_{b,rd} = \chi_{\min} \frac{A_{fyk}}{\gamma_{M1}} = 0,26 \frac{2534 \cdot 235}{1,05} = 147 > 132 = N_{ed} \checkmark$$

## Verifica di instabilita' my

$$\beta_y = 0,7$$

$$L_{0y} = \beta_y L = 0,7 \cdot 4 = 2,8 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{0y}}{\rho_y} = \frac{2,8 \cdot 100}{3,02} = 92,7 \leq 200$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{cr}} = 0,98 > 0,2 \quad \text{instabilita' non trascurabile}$$

$$\frac{h}{b} = 0,95 \leq 1,2 \quad \epsilon_f \leq 100 \quad \Rightarrow \text{CURVA C} \quad \alpha = 0,40$$

$$\Phi_y = 0,5 \left[ \left( 1 + \alpha (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2 \right) \right] = 1,1713$$

$$\chi = \min \left[ \left( \Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2} \right)^{-1}, 1 \right] = 0,55$$

$$N_{b,rd} = \chi_{\min} \frac{A f_{yk}}{\gamma_{M1}} = 312 \text{ kN} > 132 = N_{ed} \quad \checkmark$$

### PUNTO 3

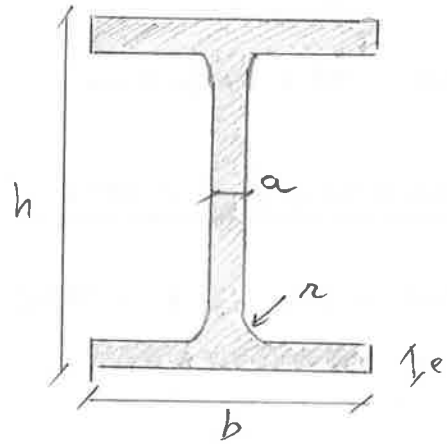
L'asta è soggetta a flessione e taglio

$$M_{ed} = 176 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$W_{pl,min} = \frac{M_{ed}}{f_{yd}} = \frac{176 \cdot 10^6}{223,8} = 786,4 \text{ cm}^3$$

Scelgo IPE 330

$$\begin{aligned} A &= 62,61 \text{ cm}^2 & r &= 18 \text{ mm} \\ b &= 160 \text{ mm} & J_x &= 11,77 \text{ cm}^4 \\ h &= 330 \text{ mm} & J_y &= 788,1 \text{ cm}^4 \\ a &= 7,5 \text{ mm} & W_{x,pl} &= 804,33 \text{ cm}^3 \\ e &= 11,5 \text{ mm} \end{aligned}$$



### VERIFICA A TAGLIO

$$V_{ed} = 165 \text{ kN}$$

$$V_{rd} = A_v \frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \gamma_{m0}} = 3081,25 \frac{235}{\sqrt{3} \cdot 1,05} = 398 \text{ kN} > 165 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$A_v = A - 2be + (a + 2r)e = 3081,25 \text{ mm}^2$$

### VERIFICA A FLESSIONE

$$V_{ed,MAX} = 165 < 0,5 V_{ed} = 109 \quad \checkmark \quad \text{Si può trascurare l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione}$$

$$M_{pl,rd} = W_{x,pl} \frac{f_{yk}}{\gamma_{m0}} = 180 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_{ed} = 176 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \checkmark$$

## PUNTO 4

BULLONI M16 classe 5.6

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

$$S = 24 \text{ mm} \quad S_0 = 24 + 1 = 25 \text{ mm}$$

$$f_{tb} = 500 \text{ MPa} \quad \text{tab. 11.3. XIII.b}$$

$$f_{yb} = 300 \text{ MPa}$$

2 piatti  $\rightarrow$  2 nv

### DIMENSIONAMENTO DEI BULLONI

$$V_{ed} = 132 \text{ kN}$$

$$n_b = \frac{\gamma_{M2} V_{ed} 1,2}{n_v d_v f_{tb} A_{res}} \rightarrow 20\% \text{ a causa del momento parasita} = \frac{1,25 \cdot 132 \cdot 1,2 \cdot 1000}{2 \cdot 0,6 \cdot 500 \cdot 157} = 2,1$$

$\downarrow$  classe 5.6

$\Rightarrow$  SCELGO  $n_b = 4$  bulloni

### DIMENSIONAMENTO PIATTO

$$h_{MAX} = h_{IPE} - 2r - 2e = 330 - 2 \cdot 18 - 2 \cdot 11,5 = 271 \text{ mm} = 27 \text{ cm}$$

$\Rightarrow$  SCELGO  $h = 25 \text{ cm}$

limitazioni geometriche della normativa

$$e_{MIN} = e_{1MIN} = e_{2MIN} = 1,2 d_0 = 37,5 \text{ mm}$$

$$e_{MAX} = e_{1MAX} = e_{2MAX} = 4t + 40 \text{ mm} = 72 \text{ mm}$$

scego  $t \geq a = 7,5 \text{ mm} \quad t = 8 \text{ mm} = 0,8 \text{ cm}$  ogni piatto

$$p_{1MIN} = 2,2 d_0 = 55 \text{ mm}$$

$$p_{2MIN} = 2,4 d_0 = 60 \text{ mm}$$

$$p_{MAX} = \min \{ 14t; 200 \text{ mm} \} = 112 \text{ mm}$$

Ne consegue quindi

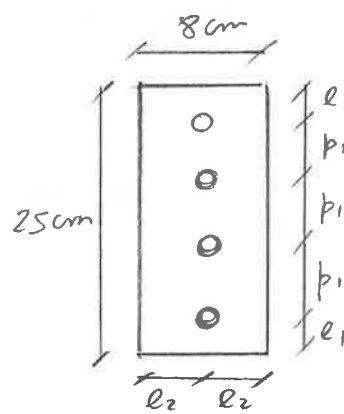
PIASTRA  $8 \times 25 \times 0,8$

$$n_b = 4$$

$$p_1 = 56 \text{ mm}$$

$$e_1 = 41 \text{ mm}$$

$$e_2 = 40 \text{ mm}$$



## VERIFICA DELLE LIMITAZIONI GEOMETRICHE

$$e_{\min} = 37,5 < e_1 = 41 < e_{\max} = 72 \quad \checkmark$$

$$e_{\min} = 37,5 < e_2 = 40 < e_{\max} = 72 \quad \checkmark$$

$$p_{\min} = 55 < p_1 = 56 < p_{\max} = 112 \quad \checkmark$$

$$h = 25 \text{ cm} < h_{\max} = 27 \text{ cm} \quad \checkmark$$

Essendo

$$t = 8 \text{ mm} \geq \frac{t_w}{2} = \frac{7,5}{2} = 3,75 \text{ mm}$$

l'elemento debole rispetto al rifollamento e l'anima della trave

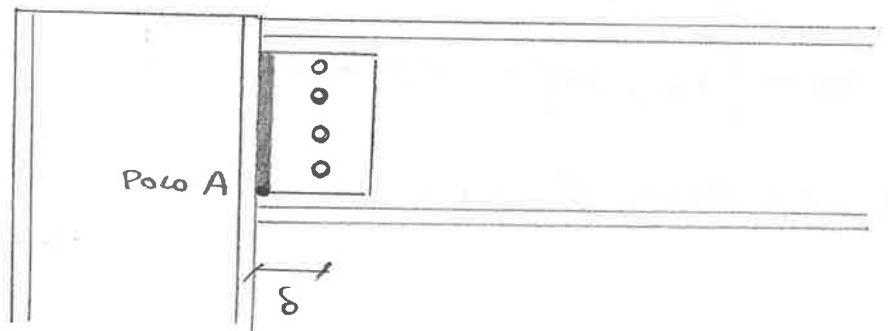
## MASSIME TENSIONI AGENTI

$$V_{ed} = 132 \text{ kN}$$

il momento parassita associato al taglio

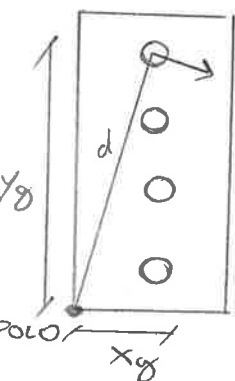
$$M_{par} = V_{ed} \frac{\delta}{2}$$

$$\delta = \frac{8}{2} + 0,8 = 4,8 \text{ cm}$$



$$M_{par} = 132 \cdot 0,048 = 6,336 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## DISTANZA DEL BULLONE + ESTERNO DAL POLO



$$x_g = e_2 = 40 \text{ mm} = 4 \text{ cm} = 0,04 \text{ m}$$

$$y_g = h_{\max} - e_1 = 20,9 \text{ cm} = 0,209 \text{ m}$$

$$d = \sqrt{x_g^2 + y_g^2} = \sqrt{0,04^2 + 0,209^2} = 0,212 \text{ m}$$

## VERIFICA A TRACIAMENTO BULLONE

$$F_{vedx} = \frac{V}{n b n_s} + \frac{M}{n_s \sum d_i^2} y_g = \frac{132}{4 \cdot 2} + \frac{6,336}{2 \cdot 0,212} 0,209 = 19,62 \text{ kN}$$

$$F_{vedy} = \frac{V}{n b n_s} + \frac{M}{n_s \sum d_i^2} x_g = \frac{132}{4 \cdot 2} + \frac{6,336}{2 \cdot 0,212} 0,04 = 17,09 \text{ kN}$$



$$F_{v,ed} = \sqrt{F_{vedx}^2 + F_{vedy}^2} = 26 \text{ kN}$$

$$F_{v,rd} = 0,6 \frac{R_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}} = 0,6 \frac{500 \cdot 157}{1,25} = 37,68 \text{ kN}$$

$$F_{v,rd} = 37,68 \text{ kN} > F_{ved} = 26 \quad \checkmark$$

### VERIFICA A RIFOLLAMENTO

$$F_{b,rd} = \frac{k \cdot \alpha \cdot R_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,546 \cdot 16 \cdot 7,5 \cdot 360}{1,25} = 50 \text{ kN}$$

$$d = \text{diametro vite} = 16 \text{ mm}$$

$$\alpha = \min \left\{ \frac{e_1}{3d_0}, \frac{R_{tb}}{R_{tk}}, 1 \right\} = \min \{ 0,546; 1,38; 1 \} = 0,546$$

$$k = \min \left\{ 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \{ 2,78; 2,5 \} = 2,5$$

$$t = \min \{ t_w; z_t \} = 7,5 \text{ mm}$$

$$F_{b,rd} = 50 > F_{v,ed} = 26 \quad \checkmark$$