

Università degli Studi di Ferrara - Dipartimento di Architettura
Corso di laurea in Design del Prodotto Industriale
Materiali per prodotto industriale - A.A. 2014-2015
Professori : C. Alessandri ; F. Mollica

VINCOLI e ESERCITAZIONI

Studente : Bonilauri Mirco
Matricola : 115839

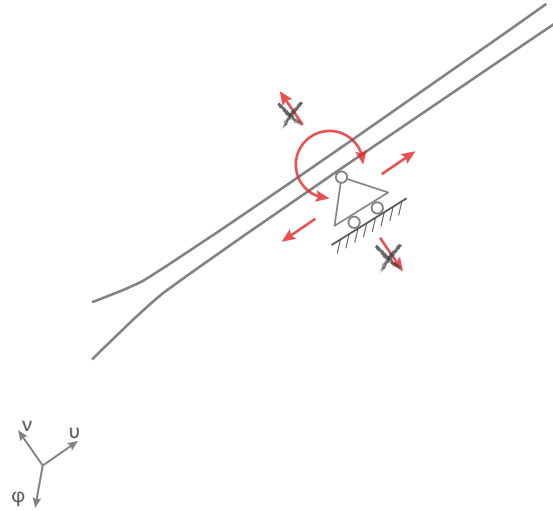
DA

Dipartimento di Architettura Università di Ferrara



Università degli Studi di Ferrara

► VINCOLO ESTERNO SEMPLICE - SCALMO DI GONDOLA - carrello/appoggio

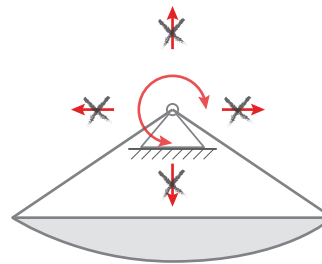


traslazioni sull'asse	$v = 0$
traslazioni sull'asse	$u \neq 0$
rotazioni attorno all'asse	$\varphi \neq 0$

Osservando il sistema da un punto di vista bidimensionale, lo scalmo o forcola di una gondola risulta essere un semplice appoggio grazie al quale al remo rimane la possibilità di ruotare e traslare sulla direzione "u"

- 1 grado di libertà su 3

► VINCOLO ESTERNO DOPPIO - AGGANCIO AMACA - cerniera

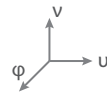
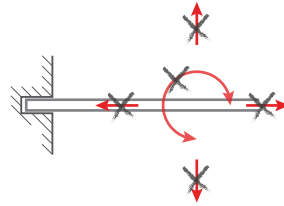


traslazioni sull'asse	$v = 0$
traslazioni sull'asse	$u = 0$
rotazioni attorno all'asse	$\varphi \neq 0$

Preso singolarmente l'aggancio che vincola prima la catena, poi il telo dell'amaca alla trave curvata in legno, è una cerniera semplice che permette la rotazione ma non movimenti orizzontali o verticali.

- 2 gradi di libertà su 3

► VINCOLO TRIPLO - SALDATURA - incastro

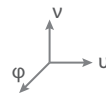
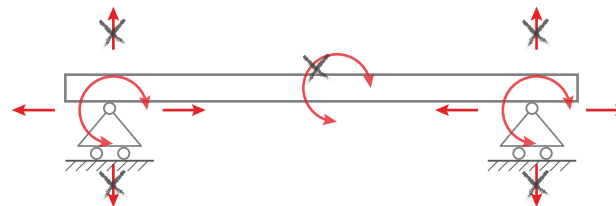


traslazioni sull'asse	$v = 0$
traslazioni sull'asse	$u = 0$
rotazioni attorno all'asse	$\varphi = 0$

Una saldatura può essere considerata un incastro tra due parti

- 3 gradi di libertà su 3

► DOPPIO VINCOLO ESTERNO SEMPLICE - TAVOLO CON CAVALLETTI - duplice appoggio/carrello

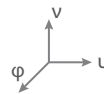
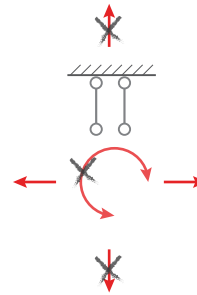
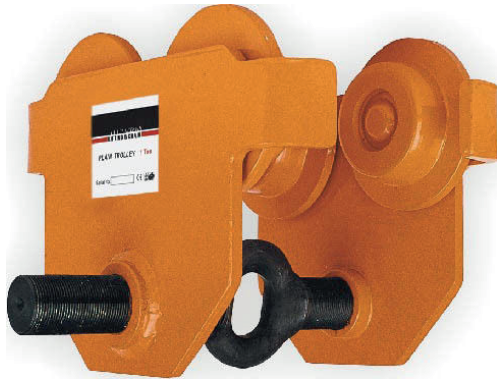


traslazioni sull'asse	$v = 0$
traslazioni sull'asse	$u \neq 0$
rotazioni attorno all'asse	$\varphi = 0$

Le reazioni vincolari che avvengono nei punti di contatto tra i cavalletti e il piano del tavolo producono due vincoli semplici unilaterali che impediscono solamente i movimenti sull'asse verticale, ma che come conseguenza, sottraendo al pianale 2 gradi di libertà, impediscono oltre che la traslazione verticale anche la rotazione, lasciando solamente la possibilità di scostamenti sull'asse orizzontale se si escludono gli attriti.

- 2 gradi di libertà su 3

► VINCOLO DOPPIO - CARRELLO MANUALE PER PARANCO - doppio pendolo

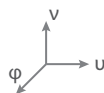
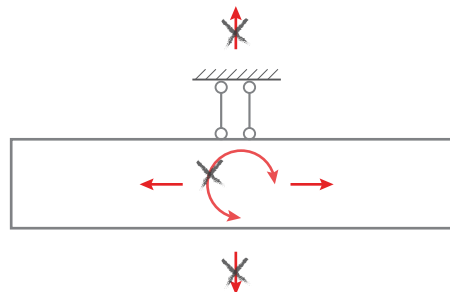


traslazioni sull'asse	$v = 0$
traslazioni sull'asse	$u \neq 0$
rotazioni attorno all'asse	$\varphi = 0$

Nel caso di un paranco che scorre su un binario la reazione vincolare che si sviluppa osservando il complesso è quella di un doppio pendolo.

- 2 gradi di libertà su 3

► VINCOLO ESTERNO DOPPIO - LAMPADARIO - doppio pendolo

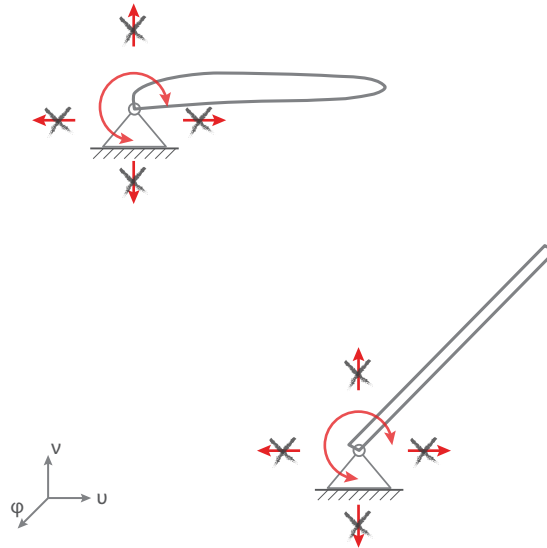


traslazioni sull'asse	$v = 0$
traslazioni sull'asse	$u \neq 0$
rotazioni attorno all'asse	$\varphi = 0$

Ipotizzando che i fili che sostengono il corpo illuminante siano "rigidi" possiamo immaginare il sistema esattamente come un doppio pendolo dove non possono avvenire né rotazioni né spostamenti verticali ma solo traslazioni orizzontali.

- 2 grado di libertà su 3

► VINCOLO DOPPIO INTERNO - MANIGLIA / PC PORTATILE - cerniere

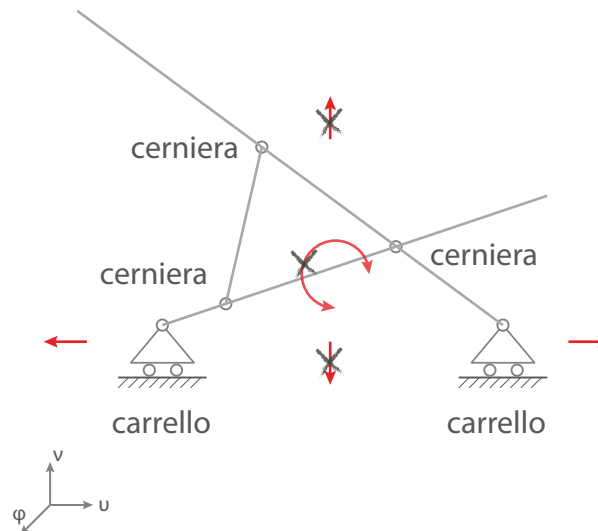


traslazioni sull'asse	$v = 0$
traslazioni sull'asse	$u = 0$
rotazioni attorno all'asse	$\varphi \neq 0$

Sia nel sistema di una maniglia come in quello di apertura di un pc portatile i vincoli sono sempre cerniere interne all'oggetto. La maniglia rispetto alla porta e lo schermo rispetto alla base del pc possono ruotare ma non possono compiere traslazioni di nessun tipo.

- 2 gradi di libertà su 3

► VINCOLI INTERNI E ESTERNI - SEDIA DA MARE - carrelli e cerniere

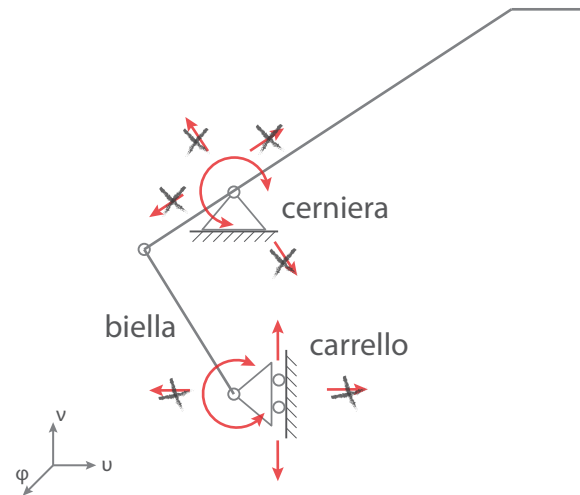


traslazioni sull'asse	$v = 0$
traslazioni sull'asse	$u \neq 0$
rotazioni attorno all'asse	$\varphi = 0$

Visto lateralmente si possono considerare gli appoggi al suolo come 2 carrelli mentre gli altri vincoli sono esclusivamente delle cerniere. In questo modo nel suo complesso la struttura risultata stabile e l'unico movimento permesso rimane la traslazione laterale.

- 8 (-2-2-2-1-1) gradi di libertà su 9 (3 x 3 segmenti)

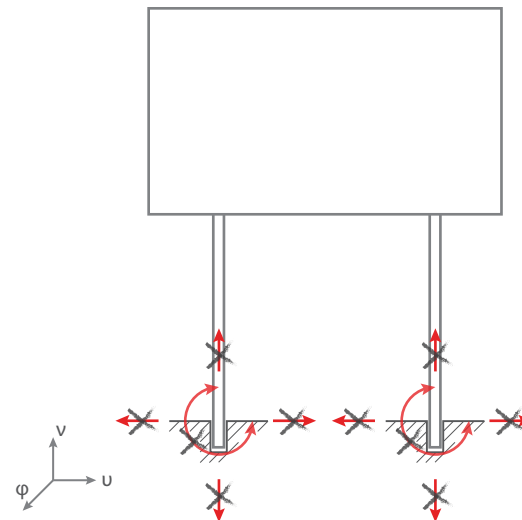
► VINCOLI INTERNI - LAMPADA - biella e carrello



traslazioni sull'asse	$v = 0$
traslazioni sull'asse	$u = 0$
rotazioni attorno all'asse	$\varphi \neq 0$

Il sistema che permette alla fonte luminosa della lampada di cambiare posizione è composto da una biella, un carrello e una cerniera che insieme ne permettono uno spostamento controllato, più precisamente una rotazione attorno la cerniera.

► VINCOLI ESTERNI - CARTELLO STRADALE - doppio incastro

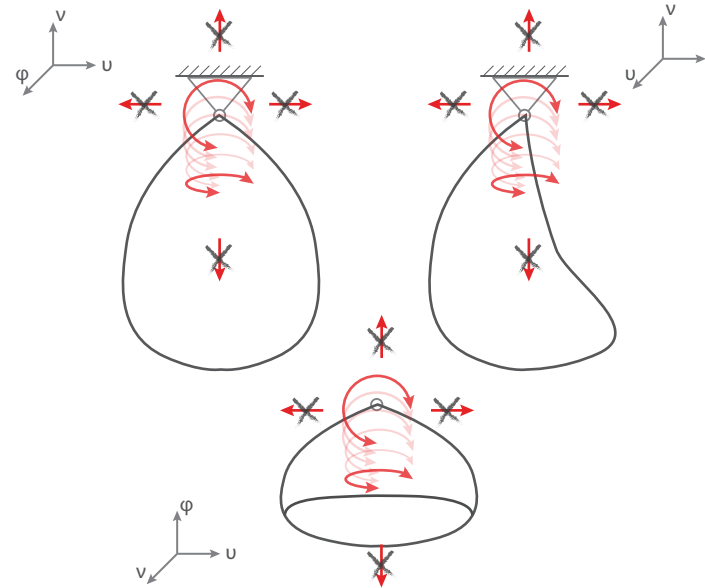


traslazioni sull'asse	$v = 0$
traslazioni sull'asse	$u = 0$
rotazioni attorno all'asse	$\varphi = 0$

Considerando questo cartello una struttura unica la sua stabilità è garantita dai due pali metallici che, vincolati al suolo mediante incastro, ne impediscono ogni tipo di movimento.

- 6 gradi di libertà su 3
cartello vincolato iperstaticamente

► VINCOLO SPAZIALE - DONDOLO PENSILE - cerniera sferica

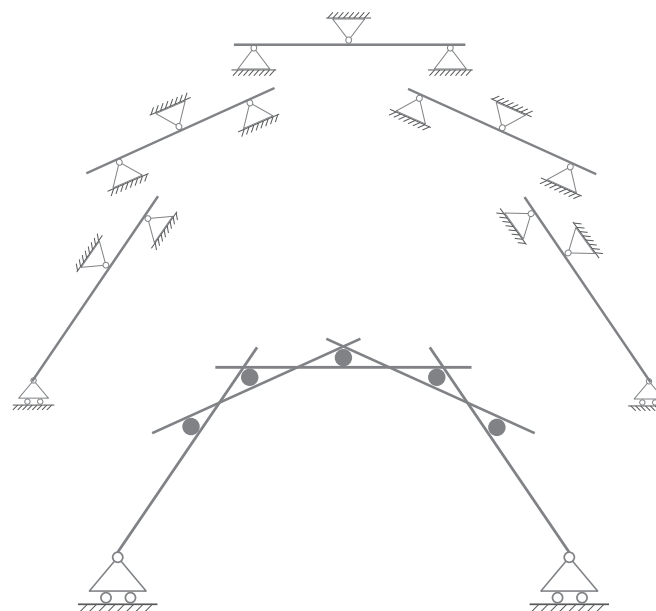
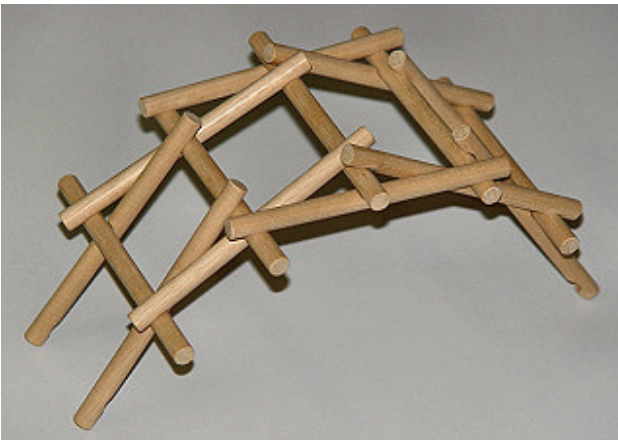


traslazioni sull'asse	$v = 0$
traslazioni sull'asse	$u = 0$
rotazioni attorno all'asse	$\varphi \neq 0$

Il vincolo che tiene sospesa e in posizione la seduta impedisce le traslazioni verticali e orizzontali in tutti e 3 i piani, ma permette la rotazione su tutti gli assi passanti per il vincolo.

- 6 gradi di libertà su 9 (3 per piano)

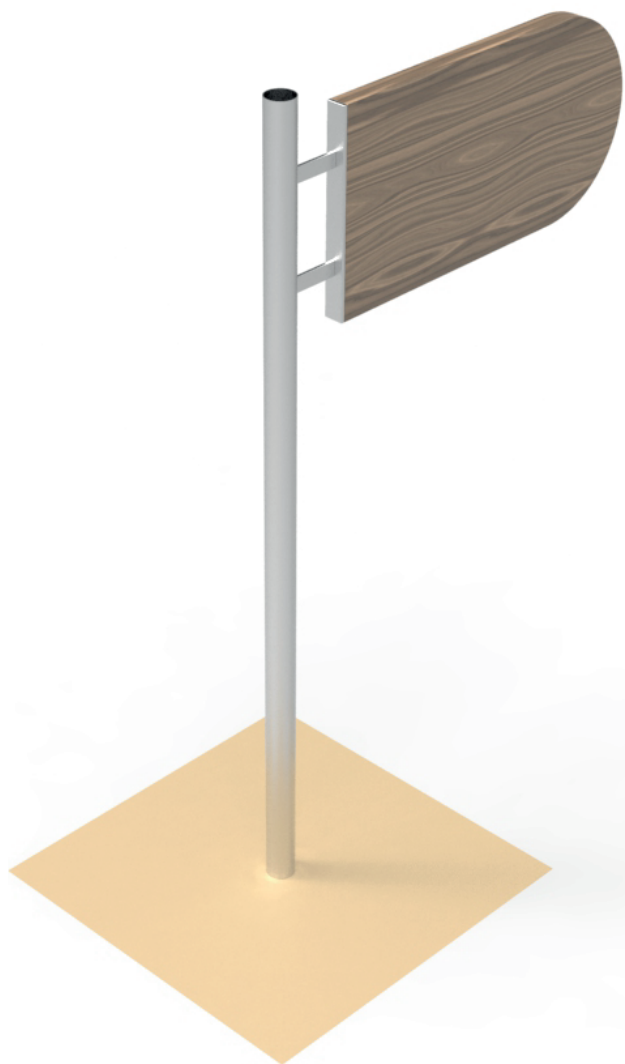
► - VINCOLO ESTERNO SEMPLICE



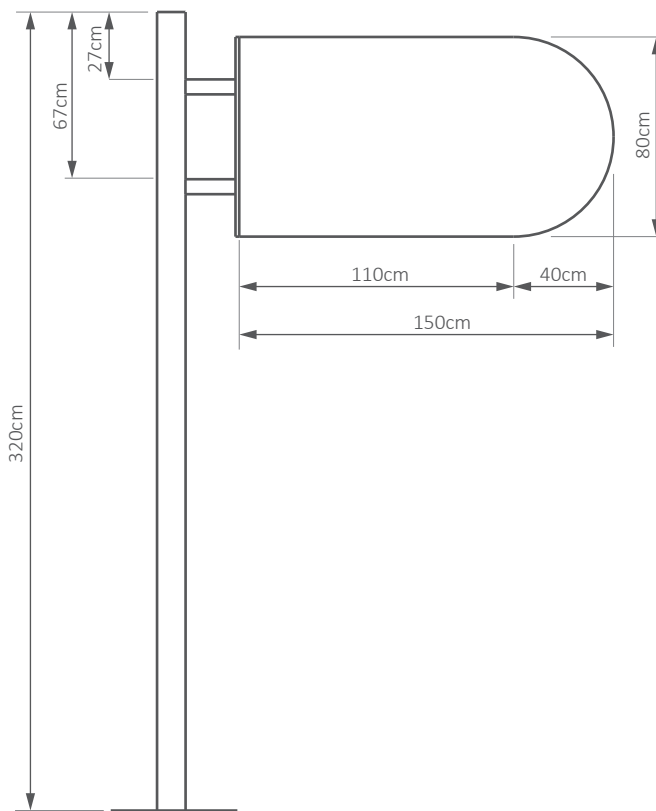
traslazioni sull'asse	$v = 0$
traslazioni sull'asse	$u \neq 0$
rotazioni attorno all'asse	$\varphi \neq 0$

Questo interessante caso di stabilità vede ogni listello incernierato in tre punti a parte i due terminali che presi singolarmente rimangono vincolati alla struttura iperstaticamente date le due cerniere ma appoggiati al suolo e dunque vincolati simbolicamente da due carrelli.

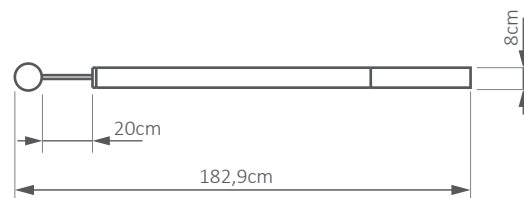
► ESERCITAZIONE 1 - CARTELLONE PUBBLICITARIO - analisi statica e verifiche di stabilità e resistenza



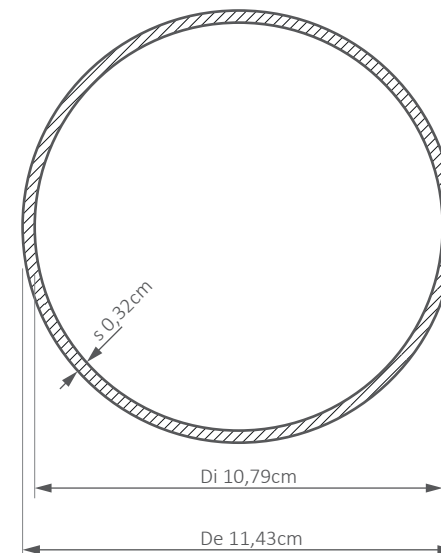
- 1_ Palo in tubolare metallico
- 2_ Staffe metalliche
- 3_ Piastra metallica di ancoraggio pannello
- 4_ Pannello in legno



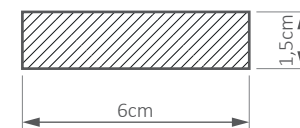
scala 1 : 30



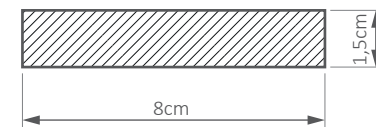
Sezione del tubolare UNI 7811



Sezione della staffe metalliche UNI 7344



Sezione della piastra di ancoraggio pannello UNI 7344



scala 1 : 2

1.1 Scomposizione in parti e calcolo volumi, masse e baricentri relativi

Come prima cosa scomponiamo la nostra figura in parti più semplici che potremmo così trattare singolarmente all'occorrenza. Successivamente, dopo aver stabilito un punto di riferimento, in questo caso **K**, andremo a ricavare i baricentri delle diverse parti, la loro posizione rispetto a questo punto e a calcolare volumi e pesi relativi che serviranno poi per verificare la stabilità o l'instabilità di questo oggetto.

Dati:

$$\varphi \text{ Fe360} = 7,85 \text{ Kg/dm}^3$$

$$\varphi \text{ Legno betulla} = 0,66 \text{ Kg/dm}^3$$

$$u = 4/3 \cdot r/\pi$$

Coordinate **x**; **y** dei baricentri relativi

$$G_1 (0; 160)$$

$$G_2 (15,7; 290)$$

$$G_3 (15,7; 250)$$

$$G_4 (26,5; 270)$$

$$G_5 (83; 270)$$

$$G_6 (154,7; 270)$$

Volumi e pesi delle parti

①

$$V_1 = A_{\text{sez}} \cdot h = \left[\left(5,72^2 \cdot \pi \right) - \left(5,4^2 \cdot \pi \right) \right] \cdot 320 = 3584 \text{ cm}^3$$

$$P_1 = V_1 \cdot \rho_{\text{Fe}} = 28,1 \text{ kg}$$

② ③

$$V_2 = V_3 = 6 \cdot 20 \cdot 1,5 = 180 \text{ cm}^3$$

$$P_2 = P_3 = V_{2-3} \cdot \rho_{\text{Fe}} = 1,4 \text{ kg}$$

④

$$V_4 = 8 \cdot 80 \cdot 1,5 = 960 \text{ cm}^3$$

$$P_4 = V_4 \cdot \rho_{\text{Fe}} = 7,5 \text{ kg}$$

⑤

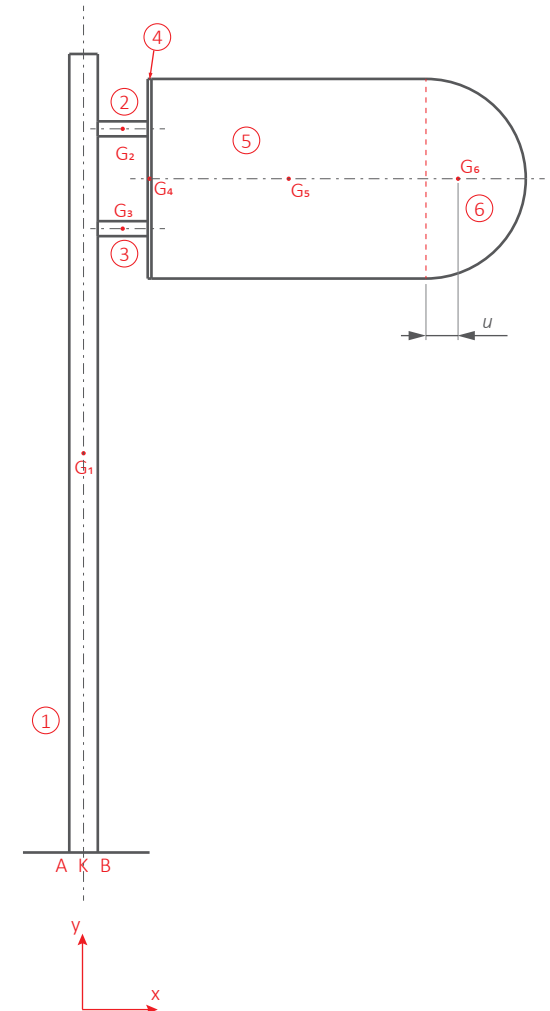
$$V_5 = 110 \cdot 80 \cdot 8 = 70400 \text{ cm}^3$$

$$P_5 = V_5 \cdot \rho_{\text{legno}} = 46,5 \text{ kg}$$

⑥

$$V_6 = \frac{40^2 \cdot \pi}{2} \cdot 8 = 20106 \text{ cm}^3$$

$$P_6 = V_6 \cdot \rho_{\text{legno}} = 13,3 \text{ kg}$$



1.2 Calcolo momento ribaltante

In questa configurazione supponiamo che il cartello in esame sia appoggiato al terreno e sprovvisto di base, il che rende facilmete intuibile che sia predisposto a ribaltamento (il baricentro generale **Gt** cade fuori dall'area di base) e che il punto **B** della nostra figura vada a costituire il perno intorno al quale andrà a ruotare.

Calcoliamo dunque il Momento ribaltante (**Mr**) sommando o sottraendo tutti i momenti negativi o positivi prodotti dalle singole parti rispetto a **B**.

Ogni singolo momento dunque, verrà misurato moltiplicando il peso di ogni parte per il relativo braccio costituito dalla distanza del suo baricentro rispetto al punto **B** sull'asse orizzontale (**x**)

Calcolo massa totale **mt** e coordinate baricentro generale **Gt**

$$mt = \text{MASSA TOTALE} = 98,2 \text{ kg}$$

$$x_{G_T} = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \cdot x_i)}{mt} = 62,7 \text{ cm}$$

$$y_{G_T} = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \cdot y_i)}{mt} = 238,5 \text{ cm}$$

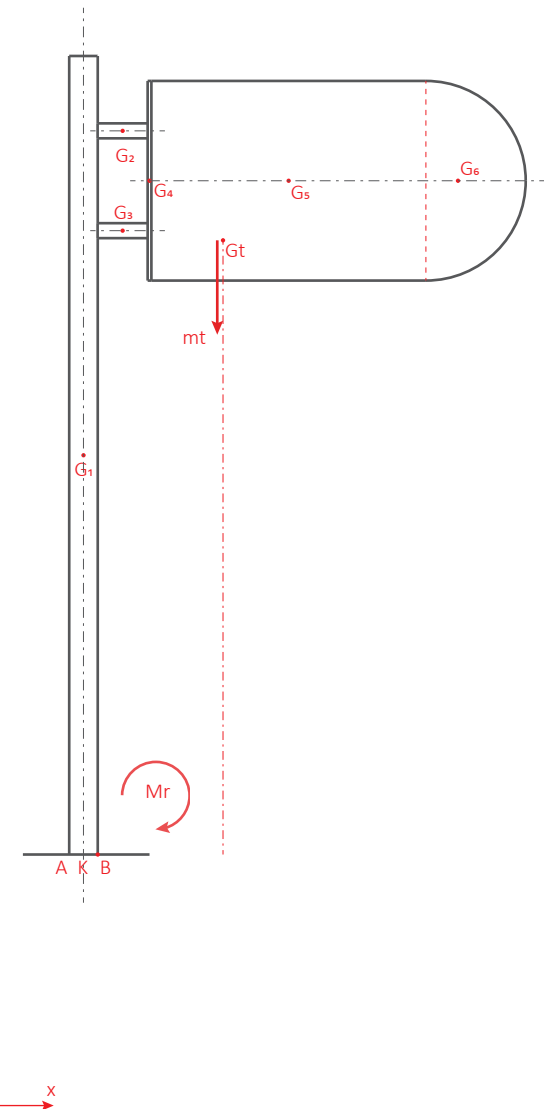
Calcolo **Mr** rispetto a punto **B**

Il momento risultante ruoterà in senso orario rispetto all'asse z (perpendicolare e uscente dal piano xy) dunque avrà segno negativo.

$$M_R = \sum_{i=1}^n \left(m_i \left(x_{G_i} (-x_B - x_K) \right) \right) =$$

$$= 28,1 \cdot (-5,72) + (1,4 + 1,4) \dots$$

$$= 5599,15 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

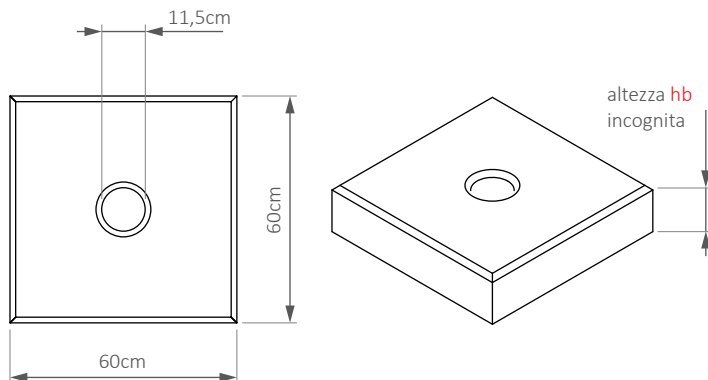


1.3 Costruzione della base

Poniamo ora che si voglia equilibrare questa struttura con una base quadrata in calcestruzzo di lato 60 cm nella quale il palo portante sia posizionato e incastrato al centro. Finché il momento stabilizzante **MS** della base non compenserà quello ribaltante **Mr** non avremo equilibrio. Ciò significa che sarà necessario dimensionare adeguatamente l'altezza di questa base affinché il suo peso possa stabilizzare il sistema facendo ricadere il baricentro generale all'interno dell'area di base considerato anche la variazione del perno di rotazione che non sarà più il punto **B** ma si sposterà sullo spigolo più a destra della nuova base (**S**).

Dati:

φ calcestruzzo = 2,4 Kg/dm³



Calcolo momento ribaltante **Mrs** del cartello rispetto a spigolo **S**

$$M_{RS} = m_t \cdot (x_{GT} - x_S) = 98,2 \cdot (62,7 - 30) = 3211,1 \text{ Kg cm}$$

Come si può notare già spostato il perno di rotazione il momento ribaltante è diminuito di intensità ma abbiamo ancora instabilità. Per compensare sarà necessario che il momento positivo stabilizzante della base sia uguale o maggiore di quello ribaltante **MS ≥ Mrs**

$$M_S = m_{BASE} \cdot 30$$

$$M_S \geq 3211,1$$

$$m_{BASE} = \rho_{CALCESTRUZZO} \cdot V_{BASE}$$

$$m_B \geq \frac{3211,1}{30} \Rightarrow m_B \geq 107,0 \text{ Kg}$$

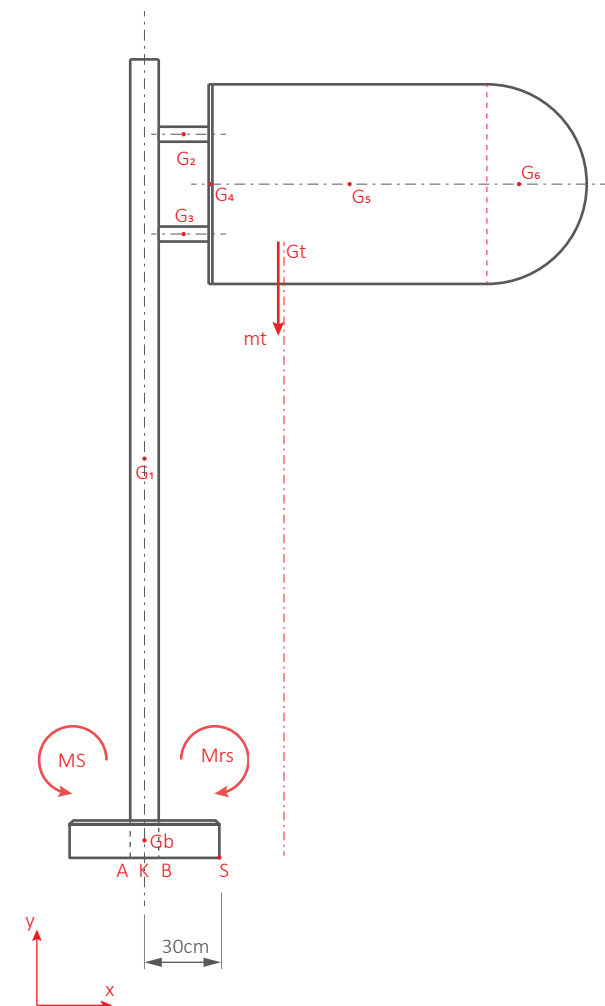
$$V_B = V_{PARALLELEPIPEDO} - V_{FORO PER PALO}$$

$$\begin{aligned} &\Downarrow \\ &[(60 \cdot 60 \cdot h_b) - (5,72^2 \cdot \pi \cdot h_b)] \cdot \rho_c \geq 107 \\ &(3600 h_b - 102,8 h_b) \cdot \rho_c \geq 107,0 \end{aligned}$$

$$\Downarrow \\ h_b \geq 12,75 \text{ cm}$$

Per sicurezza e garantire più stabilità pongo l'altezza della base **hb** = 15 cm per un peso complessivo di:

$$m_B = (60 \cdot 60 \cdot 15) - (5,72^2 \cdot \pi \cdot 15) \rho_c = 133,3 \text{ Kg}$$



1.4 Verifica palo a presso-flessione

In questa condizione di stabilità il palo che regge il pannello, supposto vincolato tramite incastro alla base, sarà sollecitato solamente a compressione e flessione.

Questi due tipi di sollecitazione creeranno esclusivamente tensioni σ normali all'asse verticale del tubolare e sarà necessario confrontarle con le σ ammissibili relative al materiale.

Dati:

σ ammissibili Fe360 = 1600 Kg/cm²



Calcolo σ_c compressione

$$\sigma_c = \frac{mt}{A_{PALO}} = 8,8 \text{ kg/cm}^2$$

Calcolo σ_f flessione

$$\sigma_f = \frac{M_F \cdot y_z}{I} = \text{TENSIONI NORMALI MASSIME DATE DA FLESSIONE POSITIVE E NEGATIVE}$$

$$I_{xy} = I = \frac{\pi \cdot r_e^4}{4} = \frac{\pi \cdot r_i^4}{4} = 172,9 \text{ cm}^4$$

$$M_F = 6159,7 = \text{MOMENTO FLETTENTE CALCOLATO SU ASSE VERTICALE DEL PALO PASSANTE PER "K"}$$

$$\sigma_f = \frac{6159,7 \cdot 5,72}{172,9} = \begin{matrix} +203,8 \text{ kg/cm}^2 \\ -203,8 \text{ kg/cm}^2 \end{matrix}$$

Calcolo σ_t massime totali sommando la compressione data dalla forza peso di tutta la struttura con la compressione data dalla flessione.

$$\sigma_t = \sigma_c + \sigma_f \text{ (di compressione)} = 212,6 \text{ Kg/cm}^2$$

Date queste tensioni un materiale come l'Fe360 potrebbe essere adeguato siccome le σ ammissibili di questo materiale raggiungono i 1600 Kg/cm²

Diagramma tensioni normali al piano della sezione del tubolare UNI 7811

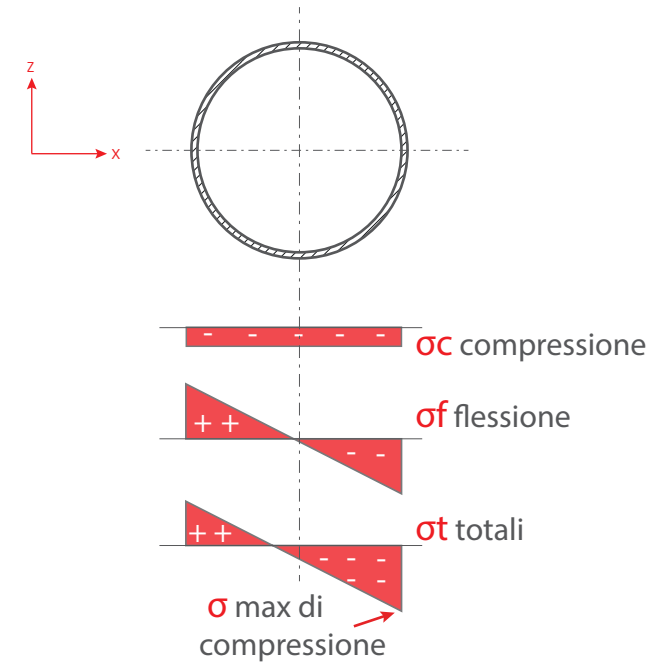
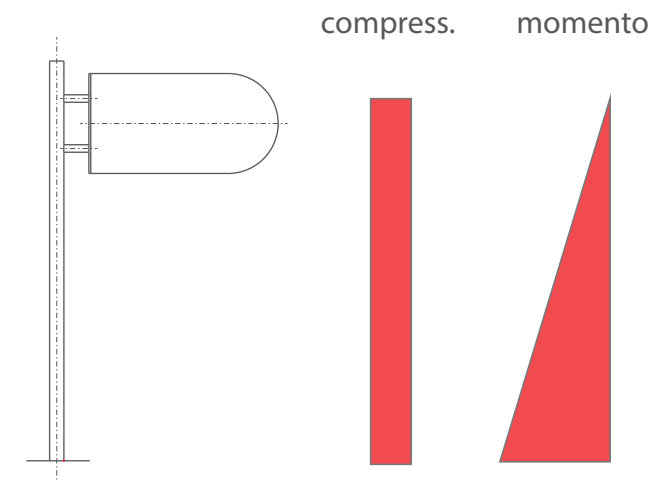


Diagramma sul piano xy di compressione e momento

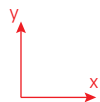
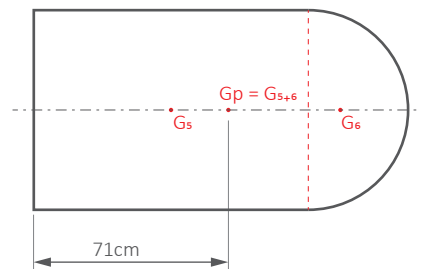


1.5 Ipotesi spinta del vento sul pannello, calcolo del momento ribaltante associato e verifica stabilità

Supponendo che questo cartello venga collocato all'aperto e ipotizzando un vento che soffia perpendicolarmente al piano del pannello in legno, dovrò calcolare il nuovo momento ribaltante **Mrv** su spigolo **F** per verificare la stabilità del sistema e trovare le nuove tensioni sia normali di flessione che trasversali di torsione che si andranno a produrre all'interno del tubolare cavo supponendolo incastrato alla base senza possibilità di ruotare.

Dati:

$q_v = \text{pressione vento} = 100 \text{ Kg/cm}^2$



Calcolo forza vento **Fv** che suppongo applicata al baricentro della superficie del pannello (parte 5 + 6)

$$A_p = \text{SUPERFICIE PANNELLO} = (110 \cdot 80) + \frac{40^2 \pi}{2} = 11313 \text{ cm}^2$$

$$F_v = A_p \cdot q_v = 113,1 \text{ kg}$$

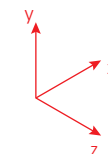
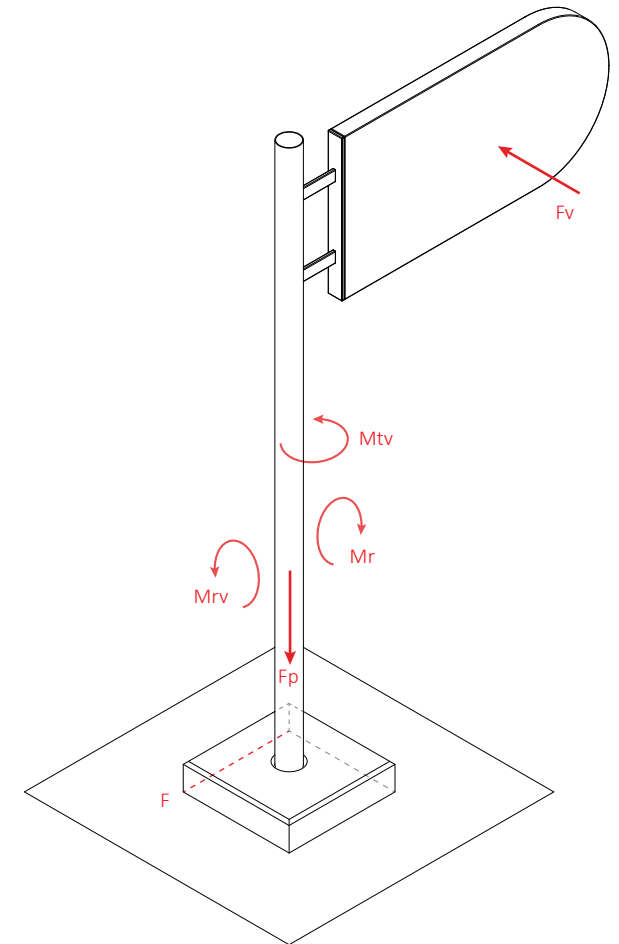
Calcolo momento prodotto dal vento **Mrv** considerando come braccio la distanza sull'asse **y** di **Gp** dato lo spigolo **F** come perno.

$$M_{RV} = F_v \cdot y_{Gp} = 113,1 \cdot 270 = 30537,0 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_S = 133,30 \cdot 30 = 3999,0 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

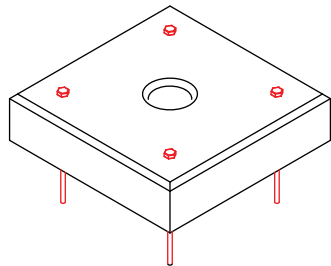
$$M_S < M_{RV} \Rightarrow \text{INSTABILITÀ}$$

Dato che il momento stabilizzante prodotto dalla base **MS** risulta minore di **Mrv** dovrò ancorare la base al suolo se non voglio che l'intero cartello si ribalti in queste condizioni di carico.



1.6 Verifica palo a compressione-duplice flessione-torsione e snellezza

Una volta garantita la stabilità grazie a dei tasselli che andranno a vincolare la base al suolo si dovrà calcolare se il palo tubolare di sostegno del cartello sia adeguatamente dimensionato per sostenere il carico composto da: semplice pressione data dal peso stesso della struttura, tensioni di flessione date sia da M_r che da M_{rv} , il tutto combinato per mezzo della formula di Henchy Von Mises con le tensioni tangenziali di torsione date dal vento.



Dato che la compressione data dal peso sarà invariata, calcolo le nuove σ_v a compressione e trazione date dalla flessione causata dal vento

$$\sigma_v = \frac{M \cdot \frac{y}{2}}{I} = \frac{30534 \cdot 5,72}{172,9} =$$

$$\rightarrow +1010,2 \text{ Kg/cm}^2$$

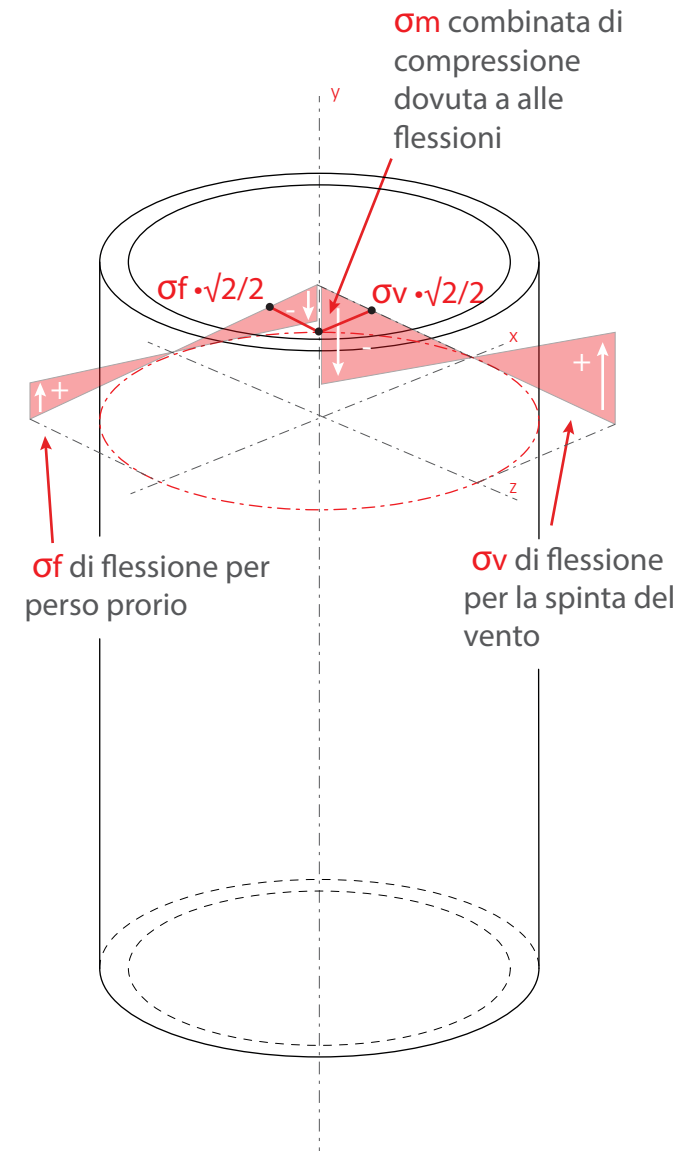
$$\rightarrow -1010,2 \text{ Kg/cm}^2$$

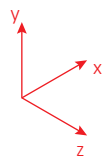
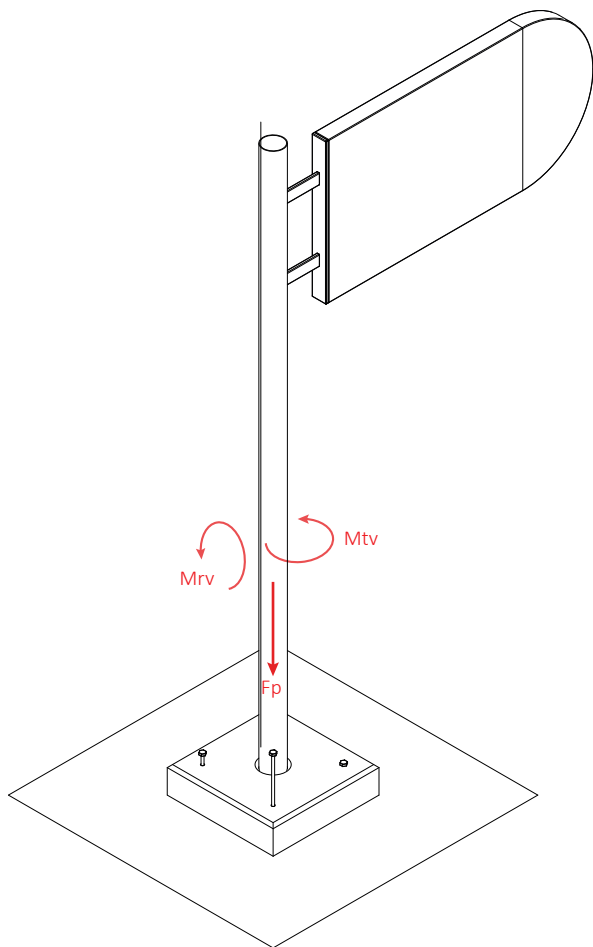
Calcolo σ_m combinando a 45° le tensioni di compressione date dalle due flessioni, cioè nel punto dove insieme potrebbero creare le maggiori sollecitazioni.

$$\sigma_v \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + \sigma_f \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \sigma_{\text{COMPOSTE DI FLESSIONE}}$$

$$\sigma_m = 858,4 \text{ Kg/cm}^2$$

Dato che il risultato è minore delle σ_v massime, utilizzerò solamente queste ultime quando si faranno i calcoli di resistenza.





Calcolo le τ tangenziali date dalla torsione con la formula di Bredt

$$\tau = \frac{M_{tv}}{Z \cdot \Omega \cdot s}$$

$$\begin{aligned} M_{tv} &= F_v \cdot b_v = \\ &= 113,1 (71 + 1,5 + 20 + 5,72) = \\ &= 11.108,7 \text{ Kg} \cdot \text{cm} \end{aligned}$$

$$\Omega = r_m^2 \cdot \pi = 97,1 \text{ cm}^2$$

$$\tau = \frac{111087}{Z \cdot 97,1 \cdot 0,32} = 178,9 \text{ Kg/cm}^2$$

Ora non rimane che combinare le tensioni massime normali e tangenziali,

σ_c compressione per peso

σ_v per flessione vento

tensioni

normali

τ per torsione vento

tensioni

tangenziali

con la formula di Henchy Von Mises

$$\begin{aligned} \sigma_{\tau\sigma} &= \sqrt{(\sigma_c + \sigma_v)^2 + 3(\tau)^2} = \\ &= \sqrt{(8,8 + 1010,2)^2 + 3(178,9)^2} = \\ &= 1065,1 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Diagramma tensioni normali al piano della sezione del tubolare UNI 7811

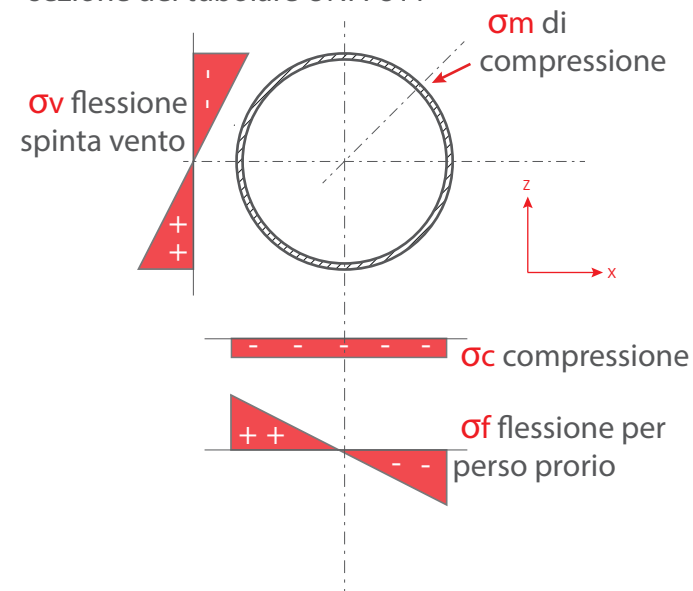
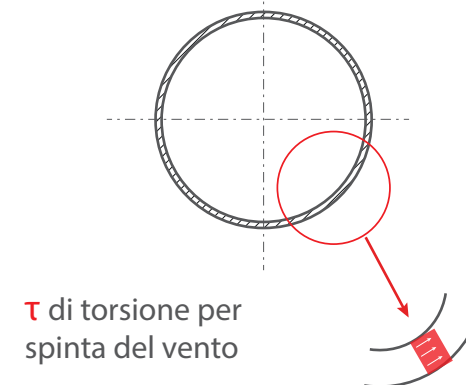


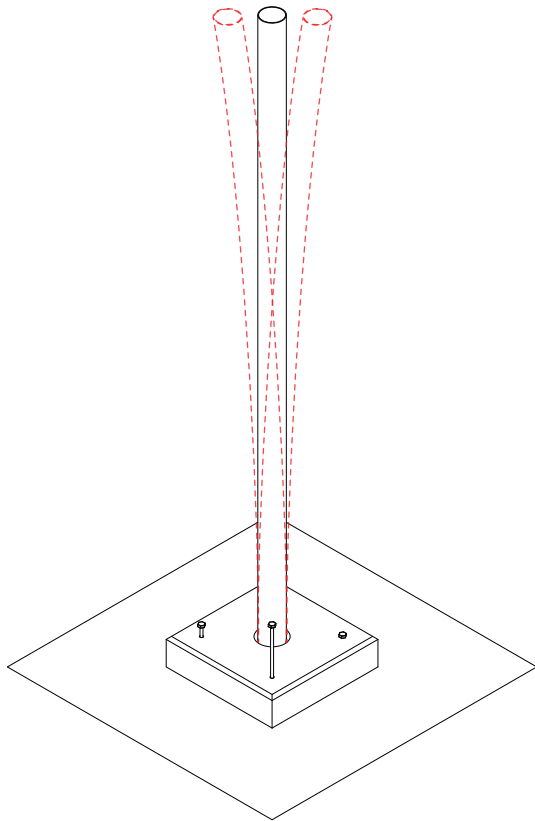
Diagramma tensioni tangenziali al piano della sezione del tubolare UNI 7811



1.7 Verifica eventuale snellezza

Occorre verificare infine se il palo portante della struttura possa essere soggetto a inflessione data da snellezza e in tal caso utilizzare coefficiente di sicurezza per essere certi della sua robustezza.

$$L_0 = 2L$$



Calcolo termine λ

$$\lambda = \frac{l_0}{e_{\min}} ; l_0 = 2l = 540 \text{ cm}$$

$$e_{\min} = \sqrt{\frac{I}{A \cdot \pi^2}} = 3,9 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{540}{3,9} = 138,5$$

$$\lambda > 100$$

$$\omega_{\text{PER } \lambda 139} = 2,61$$

Occorre dunque utilizzare un coeff. di sicurezza moltiplicando sia il peso che genera compressione, sia la forza del vento dato che λ risulta superiore a 100. Infine occorre ricalcolare le tensioni totali σ_{tot_2} con formula di Henchy Von Mises.

$$\sigma_{c_2} = \frac{mt \cdot 2,61}{A_{\text{SEZ TUBO}}} = 22,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{v_2} = \frac{M \cdot \frac{Y}{2}}{I} \cdot \frac{1}{\left(1 - \nu \cdot \frac{P}{P_{\text{CRITICO EULERIANO}}}\right)}$$

$$\nu = 1,5$$

$$P_{\text{CR}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A}{\lambda^2} \quad \text{TENSIONE CRITICA EULERIANA}$$

$$= 12014,5 \text{ kg}$$

$$\sigma_{v_2} = 1024,5 \text{ kg/cm}^2$$

Infine occorre ricalcolare le tensioni totali σ_{tot_2} con formula di Henchy Von Mises.

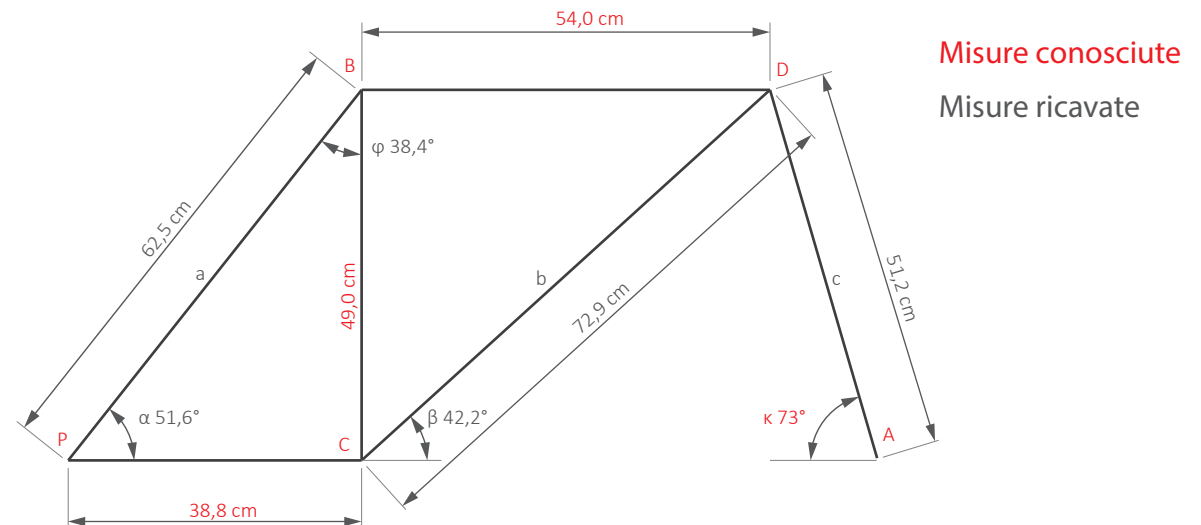
$$\sigma_{\text{TOT}_2} = 1092,3 \text{ kg/cm}^2$$

LE TENSIONI MASSIME TOTALI σ_t SONO MINORI DELLE TENSIONI AMMISSIBILI σ_{am} DELL' Fe 360

OK

► ESERCITAZIONE 2 -TELAIO BICICLETTA - ipotesi dei vincoli e verifiche di stabilità, resistenza e snellezza

Per prima cosa andiamo a ricavare, conoscendo alcune misure note di telai standard di bicicletta da uomo, tutte le lunghezze incognite e gli angoli che dividono i diversi tubolari che lo compongono. Considero l'insieme su un piano bidimensione e l'attacco forcella anteriore semplificato.



Calcolo lunghezza segmento b e angolo β

$$\text{SEG. } b = \sqrt{49^2 + 54^2} = 72,9 \text{ cm}$$

$$b \sin \beta = 49,0$$

$$\beta = \sin^{-1} \frac{49}{72,9} = 42,2^\circ$$

Calcolo lunghezza segmento a, c e angoli α e φ

$$\text{SEG. } a = \sqrt{38,8^2 + 49^2} = 62,5 \text{ cm}$$

$$\alpha = 51,6^\circ$$

$$\varphi = 180^\circ - 51,6^\circ - 90^\circ = 38,4^\circ$$

$$\text{SEG. } c = \frac{49,0}{\sin 73^\circ} = 51,3 \text{ cm}$$



2.1 Ipotesi vincoli, carichi e reazioni vincolari

In secondo luogo vado a ipotizzare la tipologia di vincoli che collegano i tubolari e suppongo determinati carichi su sella e manubrio.

Proseguo dunque con una verifica statica della geometria e determino le reazioni vincolari R_P e R_A agenti nei rispettivi punti P e A considerando già equilibrate tutte le forze sull'asse orizzontale dato che suppongo i due carichi entrambi paralleli all'asse verticale y .

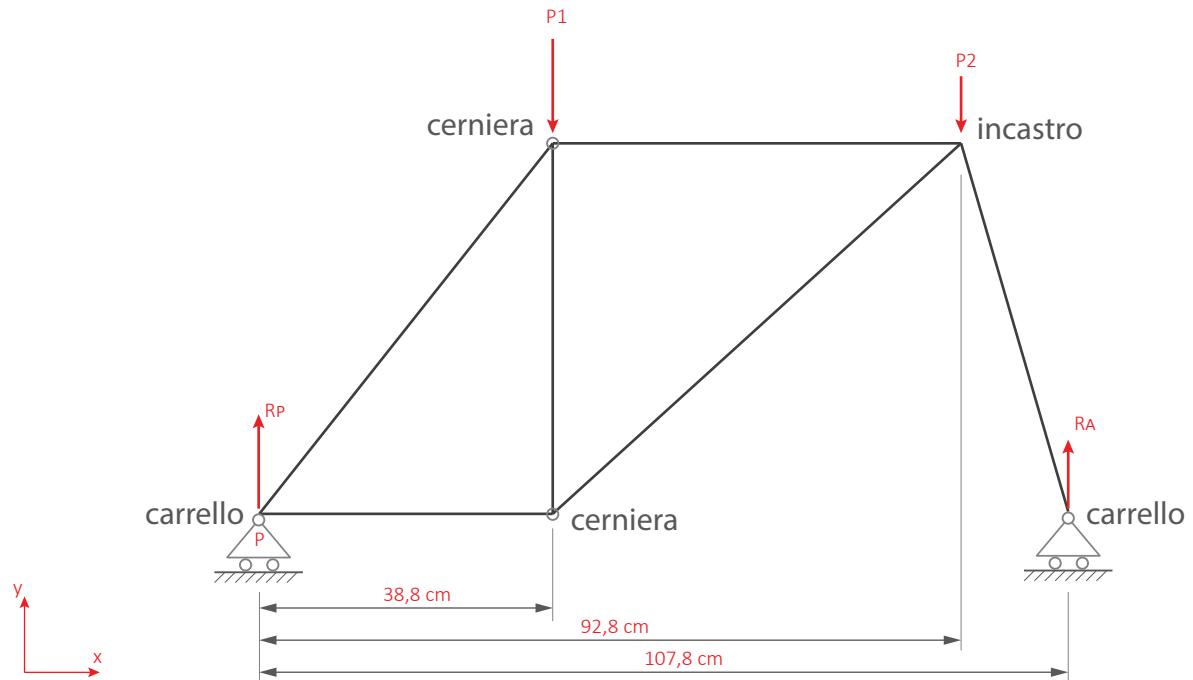
($\Sigma F_x = 0$).

Dati:

punto P = rif. cartesiano

P_1 = peso su sella = 240 Kg

P_2 = peso su manubrio = 120 Kg



Calcolo valori R_A e R_P

$$\bullet R_P + R_A - P_1 - P_2 = 0$$

$$R_P + R_A = 360 \text{ Kg}$$

$$\bullet R_P \cdot 0 - P_1 \cdot 38,8 - P_2 \cdot 92,8 + R_A \cdot 107,8 = 0$$

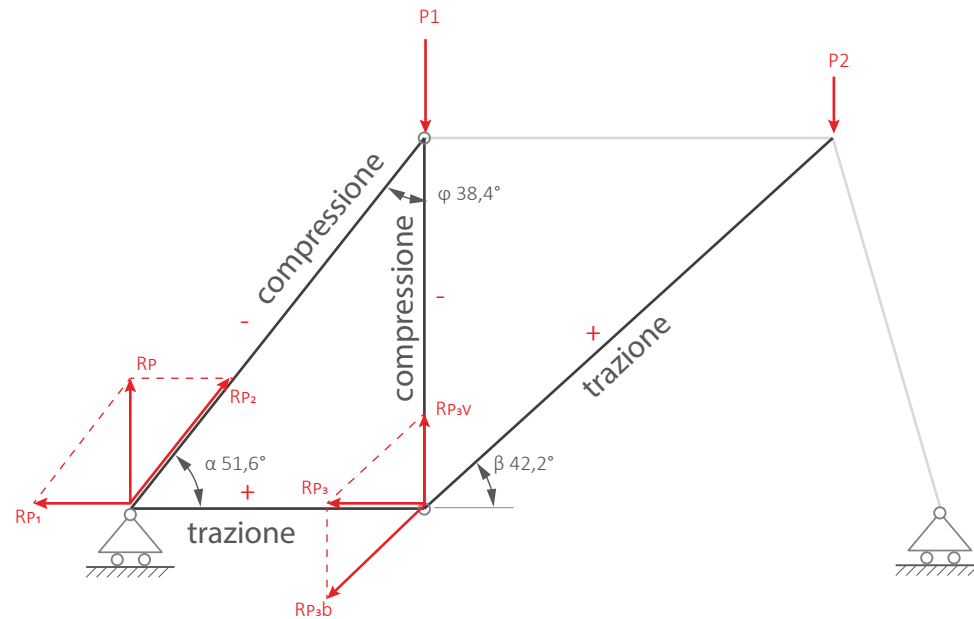
$$R_A = 189,7 \text{ Kg}$$

\Downarrow

$$R_P = 360 - R_A = 170,3 \text{ Kg}$$

2.2 Distribuzione forze e tipo di sollecitazioni (triangolo posteriore più tirante diagonale)

Ora prendiamo in considerazione il triangolo posteriore e il tubolare diagonale che collega il mozzo centrale con il canotto del manubrio. Ipotizzando, come già detto, i tre vertici incernierati, otterrò solamente sollecitazioni di trazione o compressione sulle diverse aste.



Calcolo valori R_{P1} e R_{P2}

$$R_{P2} = \Delta \text{eu } \alpha = R_P \Rightarrow R_{P2} = 217,3 \text{ Kg}$$

$$R_{P1} = R_{P2} \cos \alpha = 135 \text{ Kg}$$

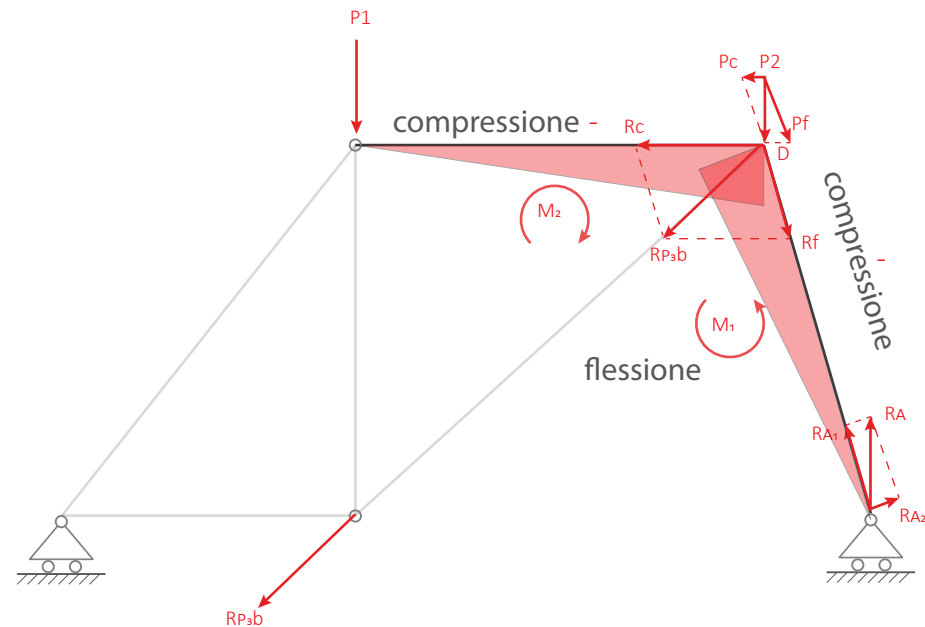
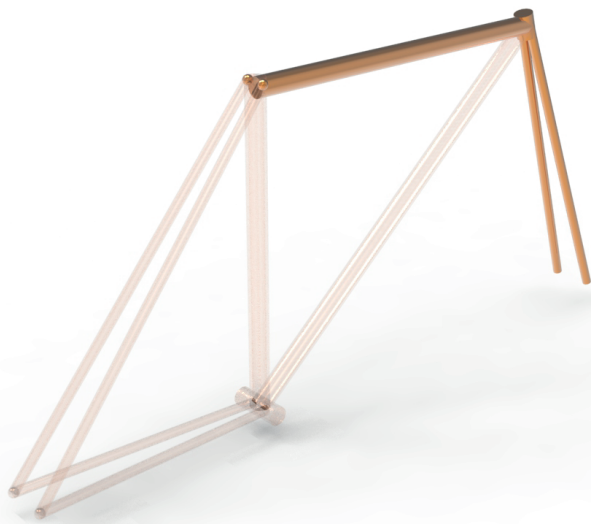
Considerato che $R_{P1} = R_{P3}$ calcolo valori R_{P3v} e R_{P3b}

$$R_{P3b} \cdot \cos \beta = R_{P3} \Rightarrow R_{P3b} = 182,2 \text{ Kg}$$

$$R_{P3v} = R_{P3b} \cdot \sin \beta = 122,4 \text{ Kg}$$



2.3 Distribuzione forze e tipo di sollecitazioni (forcella e tubolare orizzontale)



Calcolo valori RA_1 e RA_2

$$RA_1 = RA \cdot \sin 73^\circ = 181,4 \text{ kg}$$

$$RA_2 = RA \cdot \cos 73^\circ = 55,5 \text{ kg}$$

RA_2 sarà quella che genera un momento positivo sulla forcina.

Calcolo valore M_1

$$M_1 = RA_2 \cdot c = 2852,7 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

M_1 trasmetterà poi le tensioni al canotto orizzontale generando un momento di uguale intensità M_2

Traslando RP_{3b} al punto D riuscirò a ricavare le forze uguali e contrarie che sommate alle componenti di P_2 contrastano le reazioni vincolari.

$$R_F = \frac{RP_{3b} \cdot \cos 73^\circ}{\cos 17^\circ} = 55,7 \text{ kg}$$

$$P_F = \frac{P_2}{\cos 17^\circ} = 125,5 \text{ kg}$$

$$P_F + R_F = RA_1 \Rightarrow \text{OK}$$

Il sistema è verificato.

Calcolo valori PC e RC

$$RC = 188,2 \text{ kg}$$

$$PC = P_F \cdot \sin 17^\circ = 36,7 \text{ kg}$$

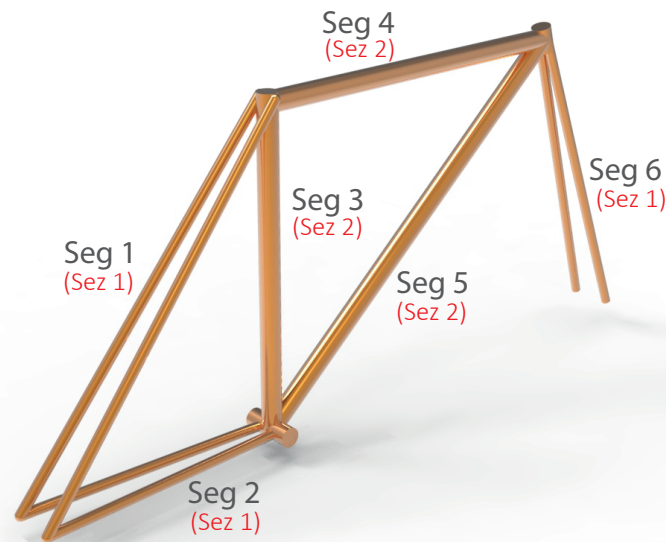
2.4 Calcolo tensioni e verifiche

Ora ipotizzo due sezioni: una per i tubolari con diametro maggiore e una per quelli che formano forcina e triangolo posteriore con diametro minore e verifichiamo se le tensioni generate dalle forze applicate sono inferiori a quelle ammissibili date da materiale.

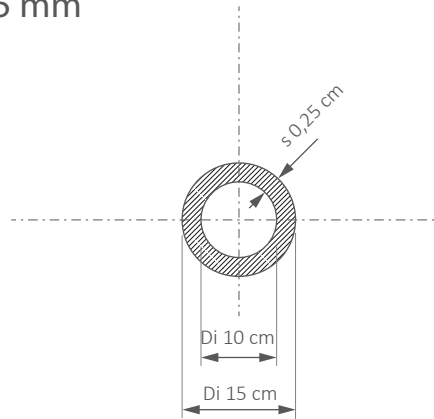
Dati:

σ amm. Al 6060 T6 UNI 9006/1 = 1250 Kg/cm²

$E = 66000 \text{ Kg/cm}^2$



Sez 1 Scala 1:1
misure D 15 mm
s : 2,5 mm



Per prima cosa verifico a snellezza i segmenti che hanno sezione del tipo 1 sollecitati a compressione

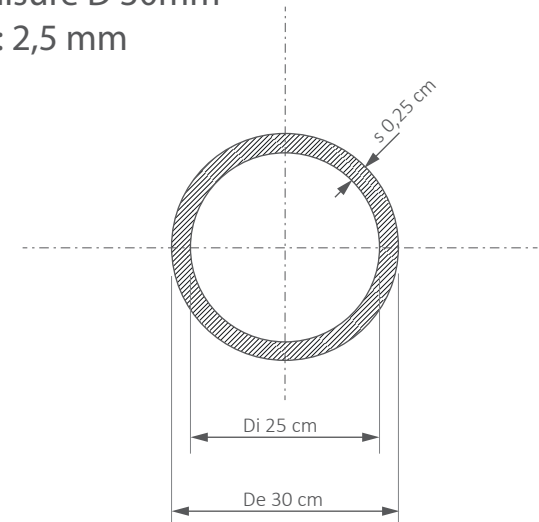
SEZIONE TIPO "1"

$$I_{xy} = \frac{\pi \cdot 0,75^4}{4} - \frac{\pi \cdot 0,5^4}{4} = 0,2 \text{ cm}^4$$

$$A_{SEZ1} = 0,98 \text{ cm}^2$$

$$e_{min} = \sqrt{\frac{0,2}{0,98}} = 0,145 \text{ cm}$$

Sez 2 Scala 1:1
misure D 30mm
s : 2,5 mm



$$\lambda_{SEG.1} = \frac{l_0 = l}{e_{min}} = \frac{62,5}{0,145} = 138,9$$

È SNELLO

$$\omega \text{ PER } 139 = 2,61$$

$$\lambda_{SEG.6} = \frac{l_0 = 2P}{0,145} = \frac{51,2 \cdot 2}{0,145} = 228$$

È SNELLO

$$\omega \text{ PER } 228 = 6,41$$

2.4 Calcolo tensioni e verifiche

Verifico a snellezza anche i segmenti che hanno sezione del tipo 2 sollecitati a compressione

SEZIONE TIPO "2"

$$I_{xy} = \left(\frac{\pi \cdot 1,5^4}{4} \right) - \left(\frac{\pi \cdot 1,25^4}{4} \right) = 2,05 \text{ cm}^4$$

$$A_{\text{sez}2} = 2,2 \text{ cm}^2$$

$$e_{\min} = \sqrt{\frac{2,05}{2,2}} = 0,97 \text{ cm}$$

$$\lambda_{\text{SEG}4} = \frac{5410}{0,97} = 55,7 \text{ OK}$$

↑
NON È SNEUO

Di conseguenza anche il Seg 3 non sarà soggetto a snellezza dato che più corto del seg 1.

Calcolo tensioni su Seg. 1 (di compressione) e su Seg. 2 (trazione) tenendo in considerazione che il carico sarà dimezzato dato che si suddividerà tra i due tubolari.

VERIFICHE SEGMENTI CON SEZ "1"

- SEG. 1

$$\sigma_c = \frac{\frac{217,3}{2} \cdot 2,61}{0,98} = 289,3 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}$$

- SEG. 2

$$\sigma = \frac{135}{2} \cdot \frac{1}{0,98} = 68,8 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}$$

Calcolo tensioni su Seg. 6 (di compressione) tenendo anche qua in considerazione che il carico sarà dimezzato tra i due tubolari della forcella, ma vi andranno aggiunte le tensioni normali date da momento flettente.

- SEG. 6

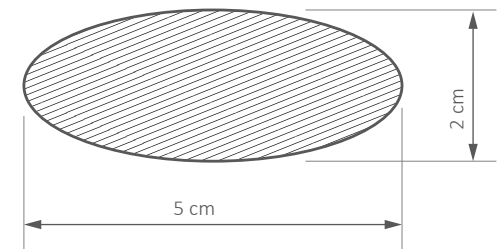
$$\sigma_{\text{COMPRESS.}} = \frac{R_{A1/2} \cdot w_{228}}{A_{\text{SEZ}1}} = 593,2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_F = \frac{\frac{M_1}{2} \cdot \frac{y}{2}}{I} \cdot \frac{1}{\left(1 - \nu \cdot \frac{P}{P_{cr}}\right)} =$$

$$= > 5000 \text{ kg/cm}^2$$

NON VERIFICATO

Riprovo a calcolare le tensioni pensando di sostituire il tubolare della forcella con sez. 1 D1,5 cavo con un segmento a sezione ellittica pieno per migliorare la resistenza a flessione avendo maggior momento d'inerzia sul semiasse più lungo ed essendo composto da più alluminio.



2.4 Calcolo tensioni e verifiche

SEG. 6 SEZIONE ELLITTICA

$$I_y = \frac{\pi \cdot 2 \cdot 3^3}{64} = 12,3 \text{ cm}^4$$

$$A_{\text{SEZ}} = \pi \cdot 1,25 = 7,8 \text{ cm}^2$$

$$e_{\text{min}} = \sqrt{\frac{12,3}{7,8}} = 1,25 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{51,2 \cdot 2}{1,25} = 81,9 \text{ NON È SNELLO}$$

$$\sigma_{\text{WMP}} = \frac{181,4/2}{7,8} = 11,6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{FLESS}} = \frac{\frac{M_1}{2} \cdot \frac{Y}{2}}{I_y} = 289,8 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{TOT}} = 11,6 + 289,8 = 301,4 \text{ Kg/cm}^2$$

OK

Concludo verificando anche i segmenti con sez. 2

VERIFICHE SEGMENTI CON SEZ. 2"

• SEG. 3

$$\sigma_c = \frac{122,4}{2,2} = 55,6 \text{ Kg/cm}^2$$

OK

• SEG. 5

$$\sigma = \frac{182,2}{2,2} = 82,8 \text{ Kg/cm}^2$$

OK

• SEG. 4

$$\sigma_c = \frac{R_c + P_c}{2,2} = 102,2 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_F = \frac{2852,7 \cdot 1,5}{2,05} = 2139,5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_c + \sigma_F > \sigma_{\text{AMMISSIBILI}}$$

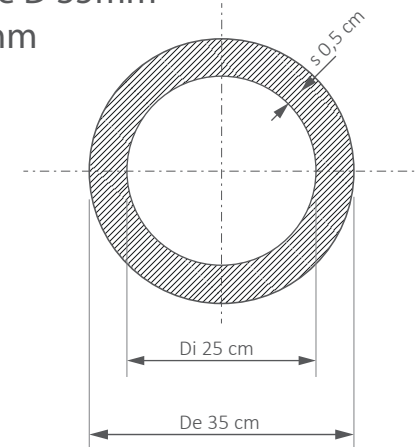
NON VERIFICATO

Ricalcolo il segmento 4 ipotizzando una nuova sezione con diametro esterno più ampio e quindi di spessore maggiore.

Nuova Sez 2 Scala 1:1

misure D 35mm

s : 5 mm



SEG. 4 NUOVA SEZIONE

$$I_{xy} = 5,44 \text{ cm}^4$$

$$A_{\text{SEZ}} = 4,7 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_c = 47,9 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_F = 917,7 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{TOT}} = 965,6 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$$

LE TENSIONI MASSIME PRESENTI IN OGNI SEGMENTO (ADEGUATAMENTE RIDIMENSIONATO) SONO MINORI DELLE TENSIONI AMMISSIBILI σ_{am} DELL'AI 6060

↓
OK