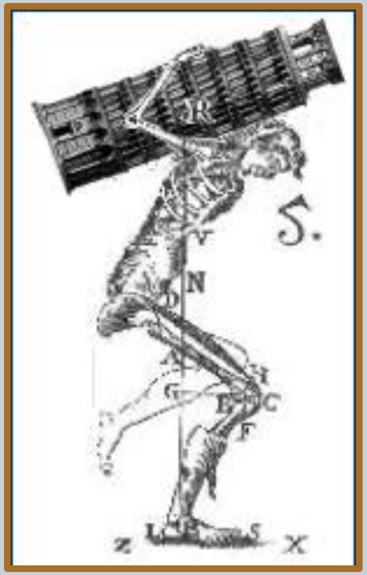
Meccanica Applicata al sistema muscolo-scheletrico

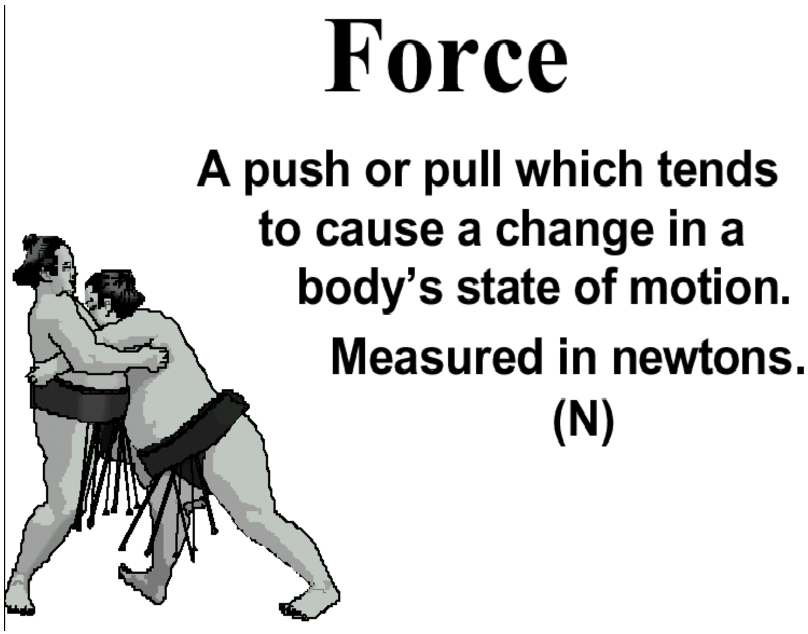
Elementi di Statica

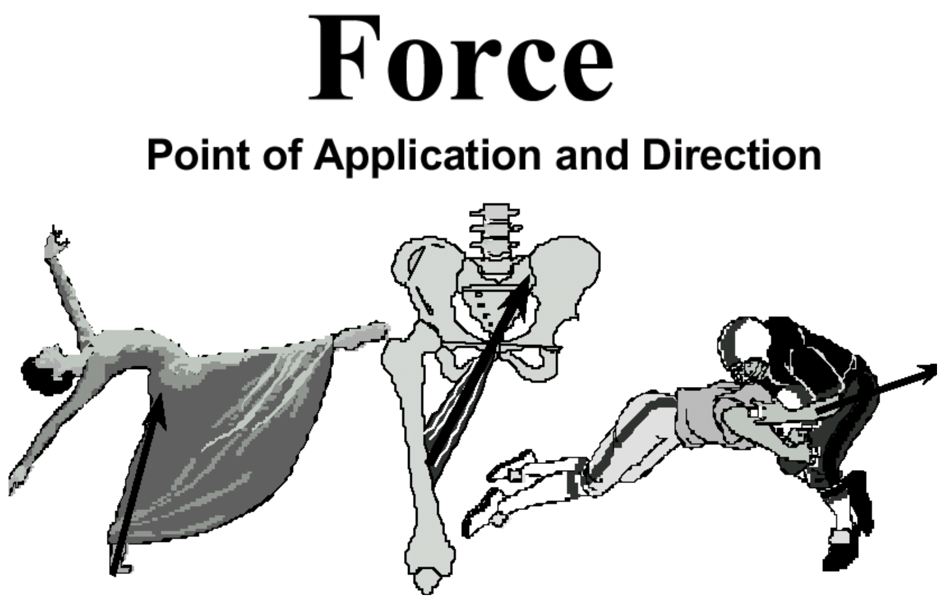


Definizione di forza

La *forza* è un vettore applicato caratterizzato da:

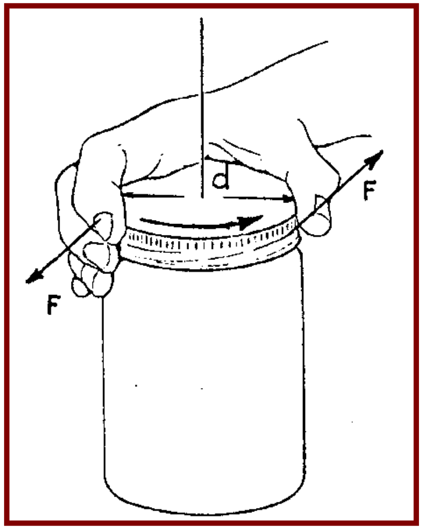
- punto di applicazione
- direzione
- verso
- modulo





Definizione di Momento

Il *momento* (polare) è un vettore *libero* definito come



$$\boldsymbol{M}_A = AP \wedge \boldsymbol{F}$$

(momento rispetto al polo A della forza $\boldsymbol{F}$ applicata nel punto P)

Legge di trasporto del momento

$$\boldsymbol{M}_B = \boldsymbol{M}_A + BA \wedge \boldsymbol{R}$$

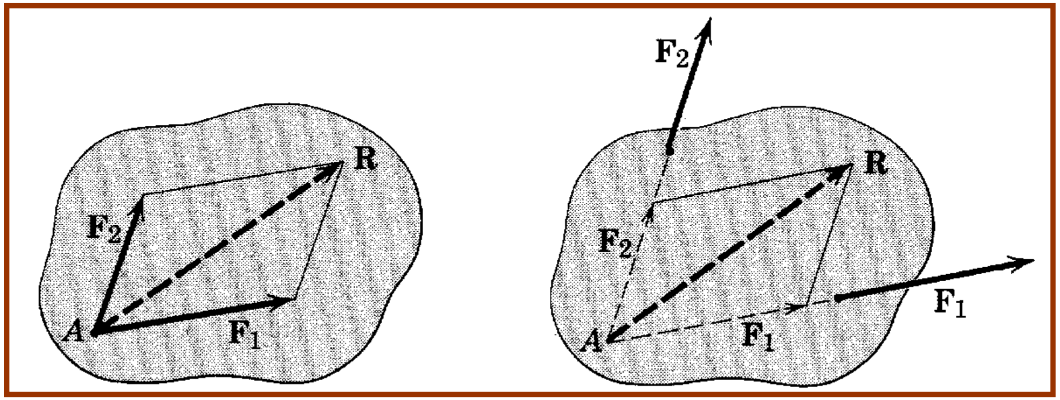
Definizione di Momento assiale

Grandezza scalare, componente del momento rispetto ad un asse *r*. Sia A ϵ asse e **r** il suo versore, allora vale

$$M_r = \boldsymbol{M}_A \cdot \boldsymbol{r}$$

Definizione di sistemi equivalenti

Due sistemi di vettori si dicono equivalenti se hanno la stessa risultante e lo stesso momento risultante rispetto ad un polo arbitrario.



Due forze applicate in un punto sono *equivalenti* alla loro risultante sempre applicata nello stesso punto.

Due forze non applicate nello stesso punto sono equivalenti alla loro risultante applicata nel punto in cui si intersecano le loro rette di azione.

Sistemi equivalenti

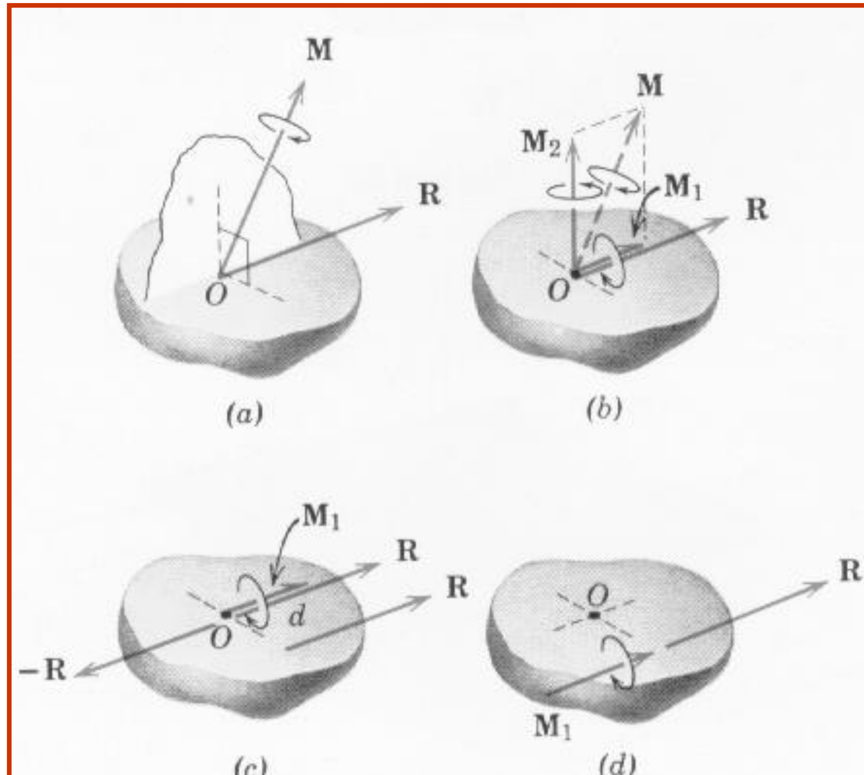
Un generico sistema di forze Σ è equivalente alla sua risultante applicata in un punto Ω scelto a piacere e al momento risultante del sistema Σ rispetto a quel punto:

$$\Sigma \rightarrow \Sigma eq = \left\{\left(\Omega, \mathbf{R}^{\Sigma}\right), \mathbf{M}_{\Omega}{}^{\Sigma}\right\}$$

Oppure è equivalente alla risultante applicata su una retta (asse centrale, ac) e ad un momento parallelo alla risultante

$$\Sigma eq^{+} = \left\{\left(\mathrm{ac}, \mathbf{R}^{\Sigma}\right), \mathbf{M}_{//}{}^{\Sigma}\right\}$$

Osserva che $\mathbf{M}_{//}$ non varia con il polo ed è nullo per sistemi piani, vettori paralleli o incidenti in un punto

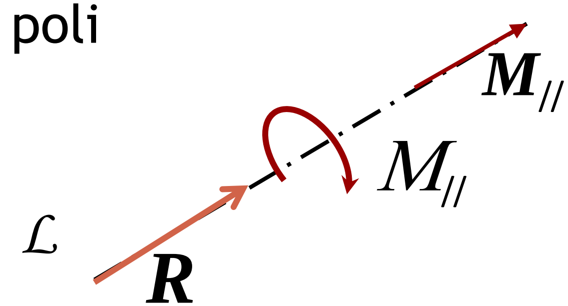


Sistema di forze

Ne segue che qualsiasi sistema di forze può essere rappresentato come un sistema ad elica, in analogia a quanto fatto per le velocità.

$$\boldsymbol{M}_{\mathbf{A}} \cdot \boldsymbol{R} = \boldsymbol{M}_{\mathbf{B}} \cdot \boldsymbol{R} = \boldsymbol{M}_{//} \cdot \boldsymbol{R} = m_0 \boldsymbol{R}$$

$$\boldsymbol{M}_{\mathbf{P}} = \begin{cases} \boldsymbol{M}_{//} & \text{è lo stesso per tutti i poli} \\ \boldsymbol{M}_{\perp} & \text{dipende dal polo} \end{cases}$$



L'asse dell'elica è l'asse centrale, la posizione di un suo punto si ottiene come segue

$$se\ K \in ac \rightarrow \mathbf{M}_K \wedge \mathbf{R} = \mathbf{0}$$

Supponendo nota R e momento del sistema rispetto al polo A

$$(\mathbf{M}_A + KA \wedge \mathbf{R}) \wedge \mathbf{R} = \mathbf{0} \rightarrow \infty \text{ soluzioni per K}$$

Ad esempio, si può scegliere K tale che

$$\boxed{\begin{aligned} KA \cdot \mathbf{R} &= 0 \\ AK &= \frac{-\mathbf{M}_A \wedge \mathbf{R}}{\mathbf{R} \cdot \mathbf{R}} \end{aligned}}$$

$$\boxed{\begin{aligned} OK \cdot \mathbf{R} &= 0 \\ OK &= \frac{\boldsymbol{R} \wedge (\boldsymbol{M}_{\mathbf{A}} - \boldsymbol{R} \wedge OA)}{|R|^2} \end{aligned}}$$

(trovare espressione corrispondente per ISA)

Sistemi equivalenti: asse centrale

Nel caso si cerchi il sistema equivalente più semplice occorre individuarne l'asse centrale.

(Problema analogo a quello dell'asse di istantanea rotazione)

$$se\ K\ \in ac \rightarrow\ \mathbf{M}_K \wedge \mathbf{R} = \mathbf{0}$$

Supponendo nota R e momento del sistema rispetto al polo A

$$(\mathbf{M}_A + KA \wedge \mathbf{R}) \wedge \mathbf{R} = \mathbf{0}\ \rightarrow\ \infty\ \text{soluzioni per K}$$

scelto K tale che

$$KA \cdot \mathbf{R} = \mathbf{0}$$

$$AK = \frac{-\mathbf{M}_A \wedge \mathbf{R}}{\mathbf{R} \cdot \mathbf{R}}$$

(trovare espressione corrispondente per ISA)

Equilibrio di un corpo

Equazioni cardinali della statica (necessarie e sufficienti per l'equilibrio

$$\sum_{\boldsymbol{i}=\boldsymbol{1}}^{\boldsymbol{n}} \boldsymbol{F}_{\boldsymbol{i}} = \boldsymbol{R} = 0 \qquad \sum_{i=1}^{n} AP_i \wedge \boldsymbol{F}_{\boldsymbol{i}} = \boldsymbol{M}_A = 0$$

- Problema piano

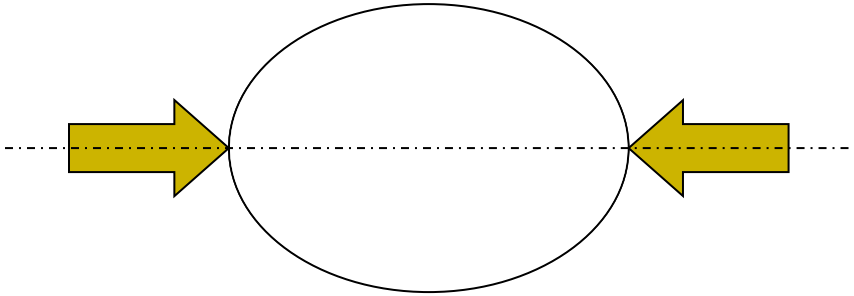
$$R_x = 0,\ R_y = 0,\ M_z = 0$$

- Problema 3D

$$R_x = 0,\ R_y = 0,\ R_z = 0$$

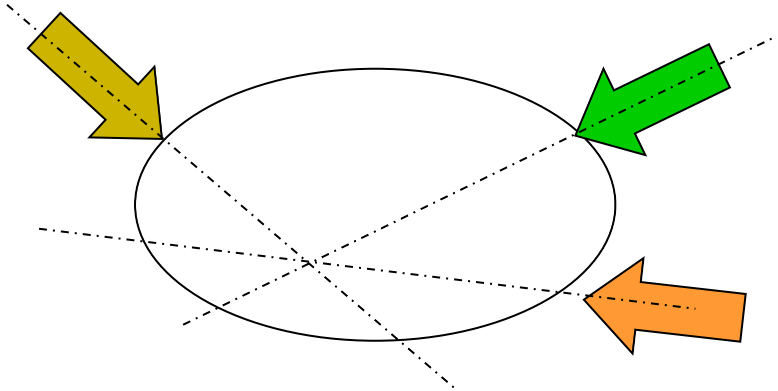
$$M_x = 0,\ M_y = 0,\ M_z = 0$$

Equilibrio di un corpo soggetto a due forze



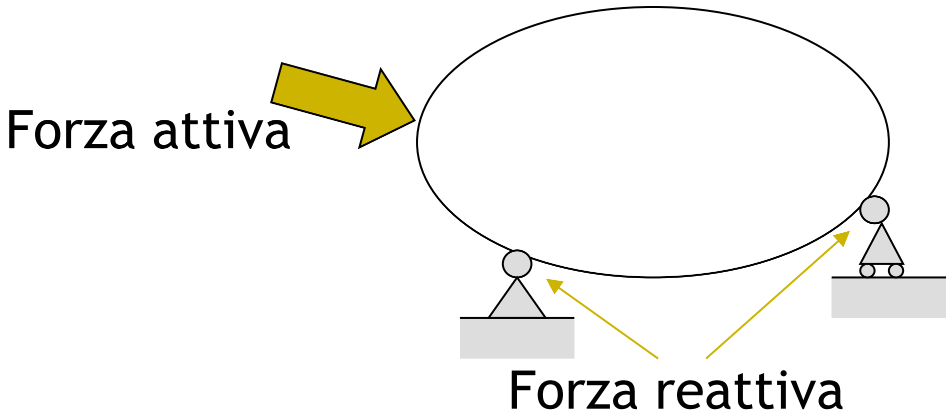
Le forze sono una coppia a braccio nullo
(uguali ed opposte, sulla stessa retta)

Equilibrio di un corpo soggetto a tre forze



Le forze devono necessariamente essere complanari ed
avere rette di azione parallele o concorrenti in un punto

Equilibrio di un corpo vincolato



Forze esterne :
attive
reattive

Approccio cambia tra

- Corpi non labili (gdl$\leq$0)

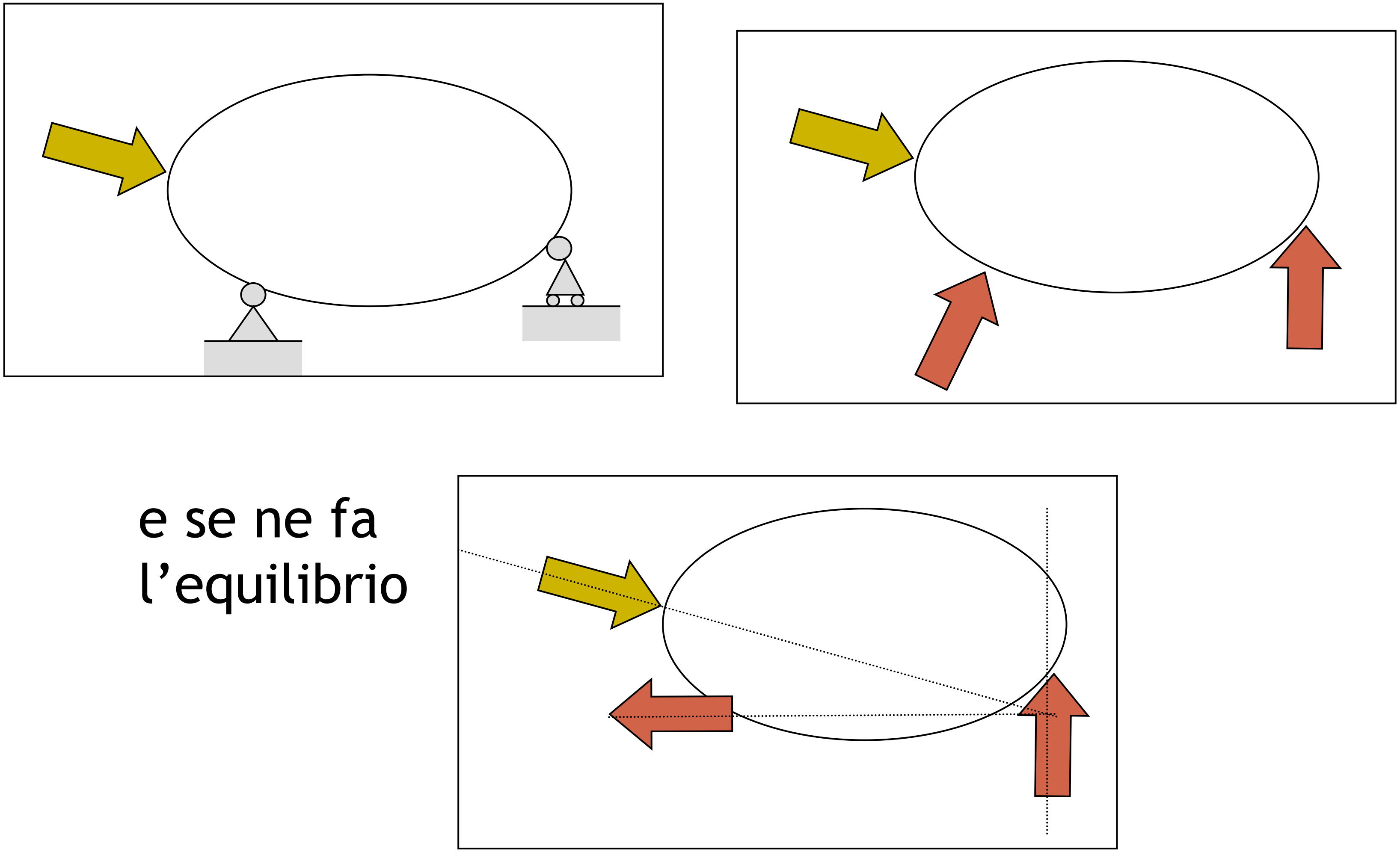
Le reazioni vincolari sono sufficienti ad assicurare l'equilibrio di qualsiasi sistema di forze attive applicate

- Corpi labili (0 < gdl)

Le reazioni vincolari non sono sufficienti ad assicurare l'equilibrio, le forze attive applicate devono essere assegnate per l'equilibrio

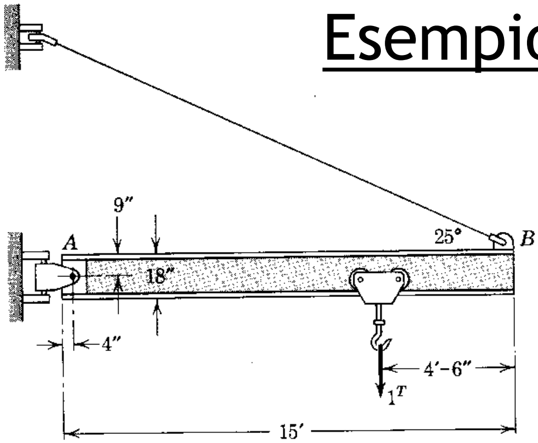
Diagramma di corpo libero

Si rappresentano sul corpo tutte le forze (attive e reattive) che agiscono su di esso

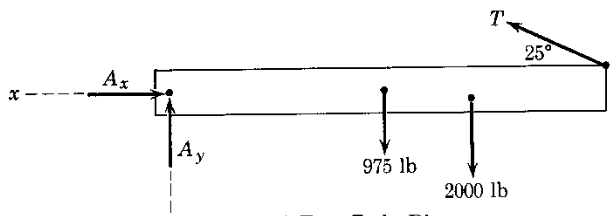


e se ne fa l'equilibrio

Esempio

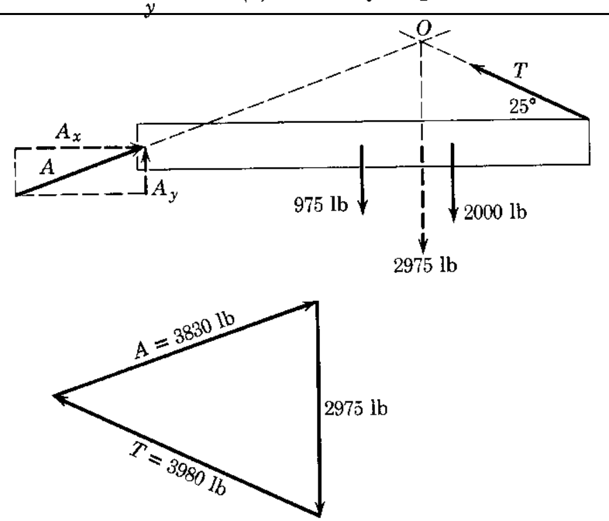


Dati del problema.
? Trovare le reazioni nella fune e nel vincolo A



(a) Free-Body Diagram

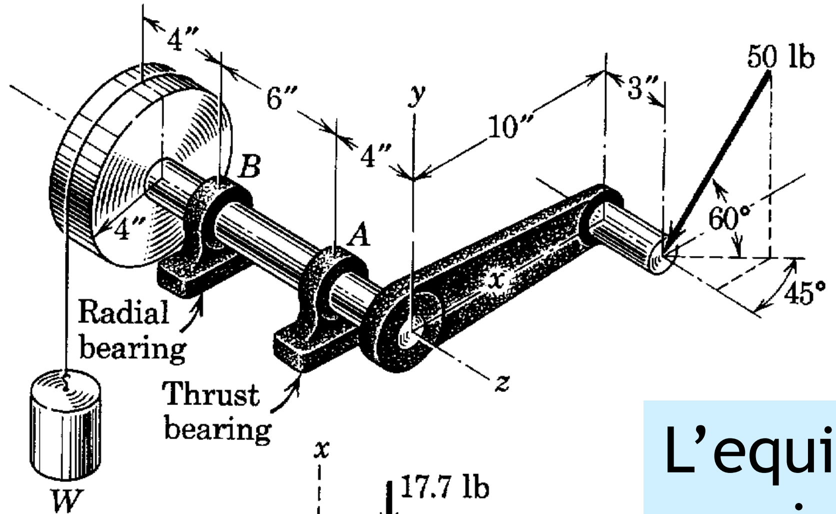
Schema di corpo libero.
Oss.: la tensione nella fune è parallela alla fune stessa.

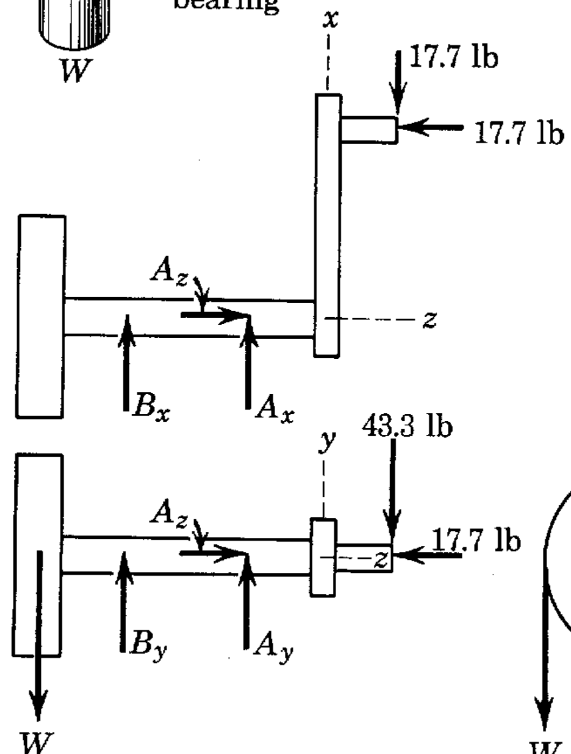


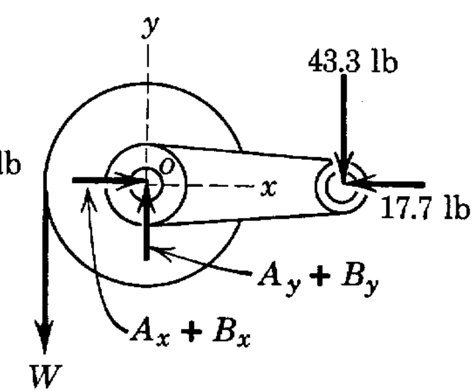
(b) Graphical Solution

1) Si sostituiscono le due forze note (975 e 200) con la loro risultante sull’asse centrale (2975 per O).

2) L’equilibrio della trave è dato da tre forze: la reazione in A, l’azione della fune T e (2975 per O), che devono essere concorrenti in un punto e formare un poligono chiuso.



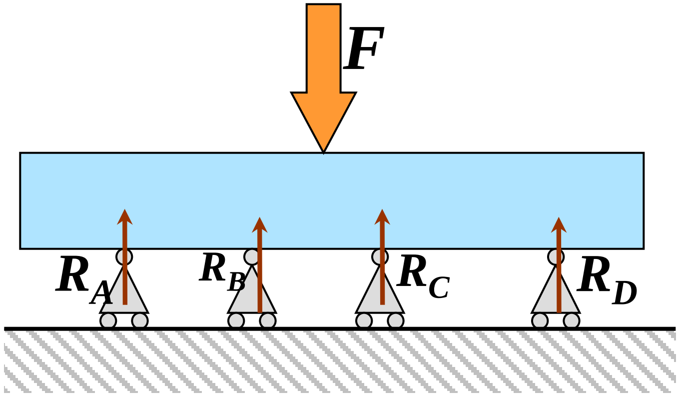




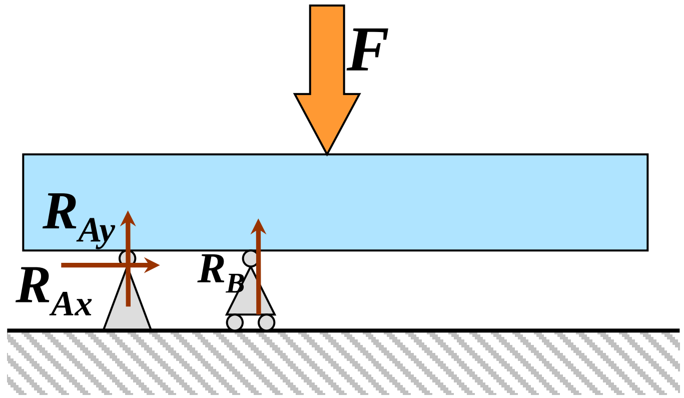
L'equilibrio di un corpo nello spazio si studia facendo l'equilibrio sui piani di riferimento

Problemi isostatici - iperstatici

Un problema si dice iperstatico – isostatico –ipostatico in base al numero delle incognite (*ni*) che compaiono nelle equazioni di equilibrio (*ne*) rispetto al numero di tali equazioni.

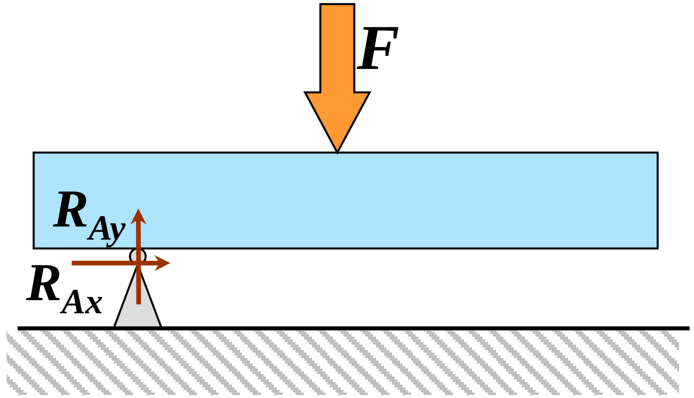


ni>ne iper-statico
(oss. 1gdl)



ni=ne iso-statico

ni<ne ipo-statico
(labile)



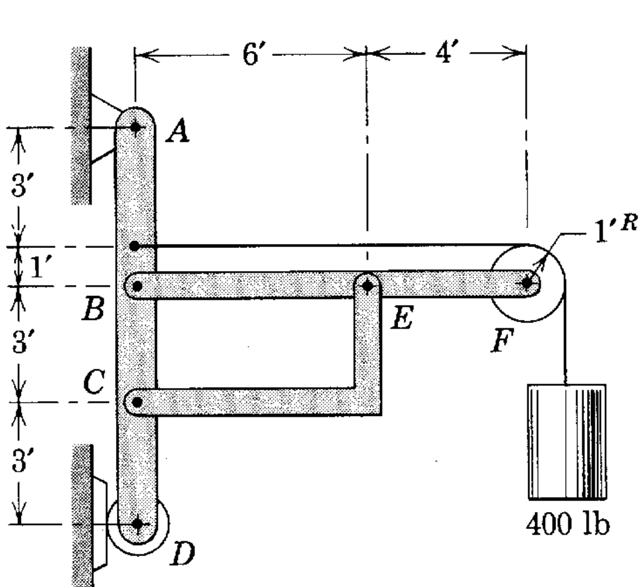
Equilibrio di un sistema di corpi

Equazioni cardinali della statica

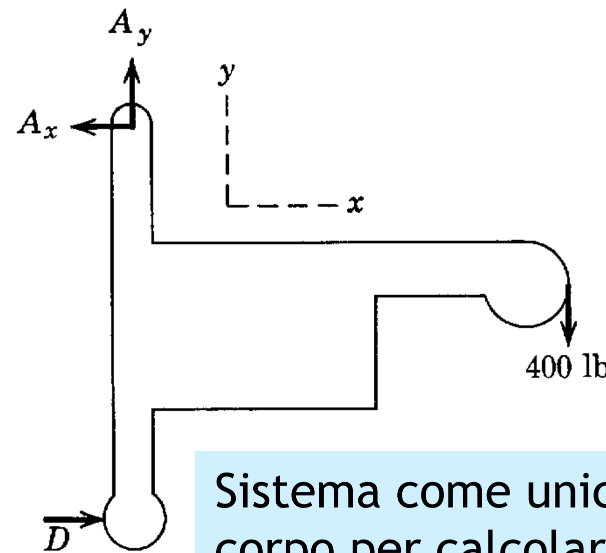
$$\sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{F_i} = \boldsymbol{R} = 0 \qquad \sum_{i=1}^{n} AP_i \wedge \boldsymbol{F_i} = \boldsymbol{M}_A = 0$$

Le equazioni cardinali della statica rimangono valide per tutto il sistema (assimilato ad un solo corpo) ma non sono sufficienti a garantire l'equilibrio (sono solo necessarie).

Si studiano i vari elementi del sistema e si scrivono per ciascuno le equazioni cardinali

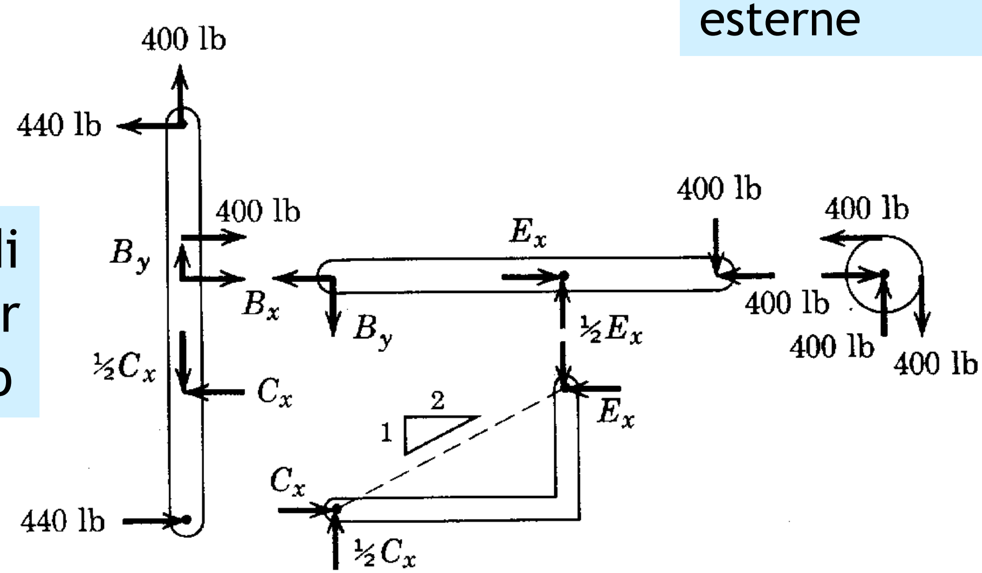


(a)



Sistema come unico corpo per calcolare le reazioni vincolari esterne

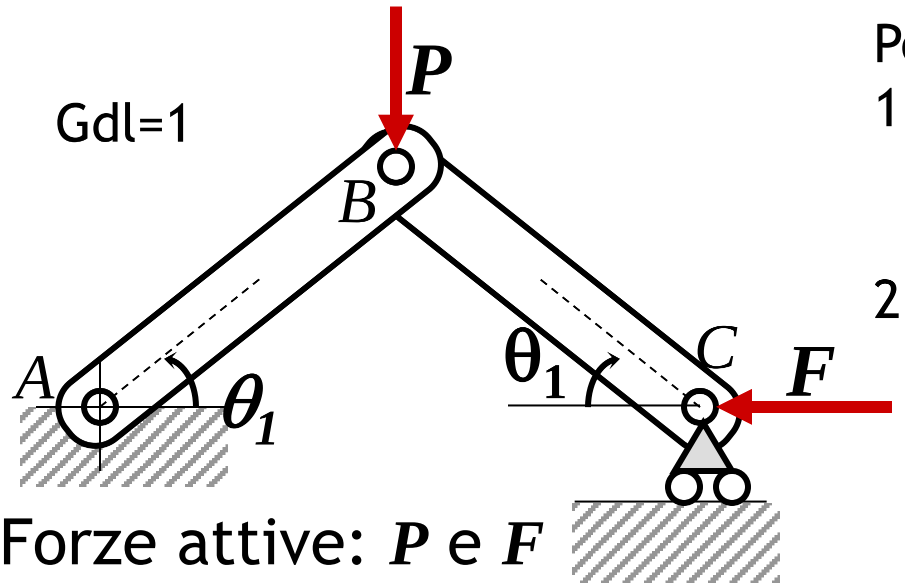
Diagramma di corpo libero per ciascun elemento



Principio dei lavori virtuali

Ipotesi: sistema di corpi rigidi (gdl>0), vincoli lisci o di puro rotolamento, indipendenti dal tempo, bilaterali

CNS affinché una configurazione sia di equilibrio per un sistema è che il lavoro virtuale delle forze attive sia uguale a 0 per ogni spostamento che allontana il sistema da tale configurazione.



Forze attive: ***P*** e ***F***

Possibili analisi:

1) Data la configurazione e dato ***P*** trovare ***F*** per l'equilibrio;
2) Dati e dato ***P*** ed ***F*** trovare la configurazione all'equilibrio

$$\delta L^{(a)} = \boldsymbol{P}\cdot\delta\boldsymbol{B} + \boldsymbol{F}\cdot\delta\boldsymbol{C} = 0$$

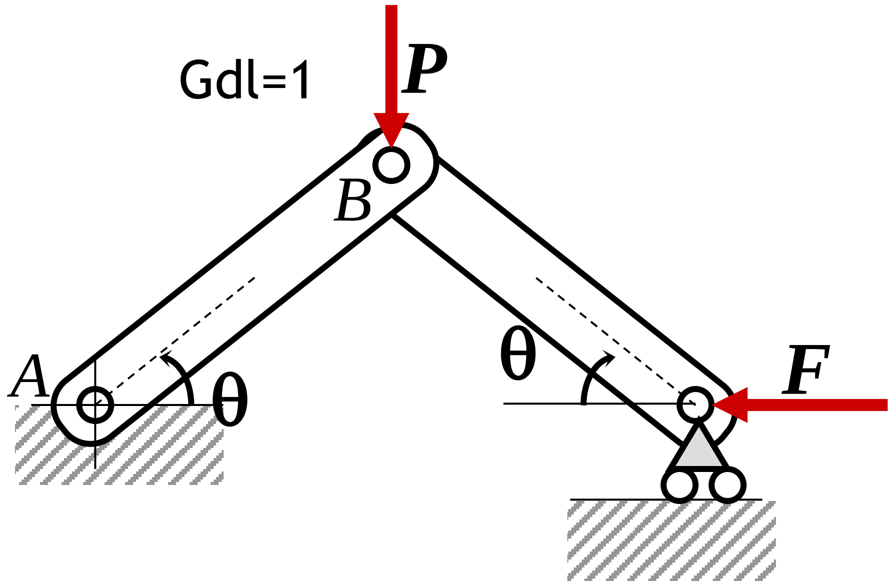
Dalla cinematica

$$\delta\boldsymbol{B} = \delta\theta\boldsymbol{k}\wedge AB = \overline{AB}(-\sin\theta\,\boldsymbol{i} + \cos\theta\,\boldsymbol{j})\delta\theta$$

$$\delta\boldsymbol{C} = \delta\boldsymbol{B} - \delta\theta\boldsymbol{k}\wedge BC = -2\,\overline{AB}\sin\theta\,\boldsymbol{i}\,\delta\theta$$

$$\boldsymbol{P}\cdot\delta\boldsymbol{B} + \boldsymbol{F}\cdot\delta\boldsymbol{C} = (-P\,\overline{AB}\cos\theta + 2\,F\,\overline{AB}\sin\theta)\delta\theta = 0$$

Gdl=1



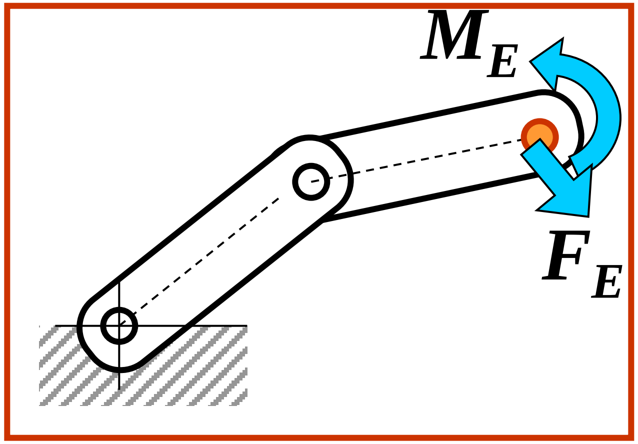
$$\boxed{F = \frac{P\cos\theta}{\sin\theta}}$$

Caso 2)

$$\boxed{\theta = \arctan\left(\frac{P}{F}\right)}$$

Sistema a 2 bracci con forza e momento applicate all'EE (vd sist equivalenti).

Il lavoro virtuale di queste azioni è



$$\delta L_E = \boldsymbol{F}_E \cdot \delta \boldsymbol{E} + \boldsymbol{M}_E \cdot \delta \boldsymbol{\varepsilon}$$

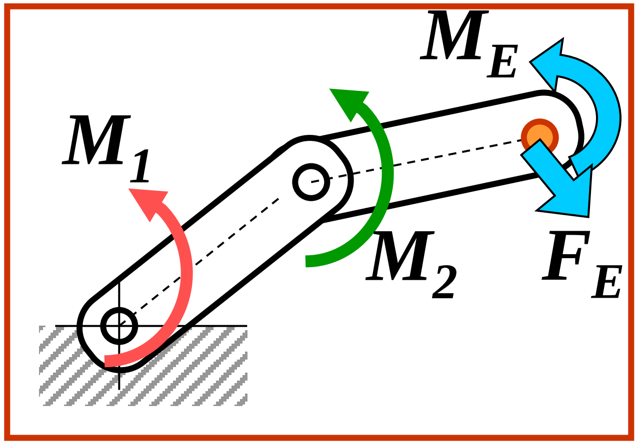
Si osserva che

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{v}_E \\ \boldsymbol{\omega}_E \end{bmatrix} = \boldsymbol{J} \ \dot{\boldsymbol{q}} \quad \Rightarrow \quad \begin{bmatrix} \delta \boldsymbol{E} \\ \delta \boldsymbol{\varepsilon} \end{bmatrix} = \boldsymbol{J} \ \delta \boldsymbol{q}$$

quindi

$$\delta L_E = \begin{bmatrix} \delta \boldsymbol{E} \\ \delta \boldsymbol{\varepsilon} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \boldsymbol{F}_E \\ \boldsymbol{M}_E \end{bmatrix} = [\boldsymbol{J} \ \delta \boldsymbol{q}]^T \begin{bmatrix} \boldsymbol{F}_E \\ \boldsymbol{M}_E \end{bmatrix} = [\delta \boldsymbol{q}]^T \boldsymbol{J}^T \begin{bmatrix} \boldsymbol{F}_E \\ \boldsymbol{M}_E \end{bmatrix}$$

Il sistema è tenuto in equilibrio da azioni che producono le coppie agenti. cali che

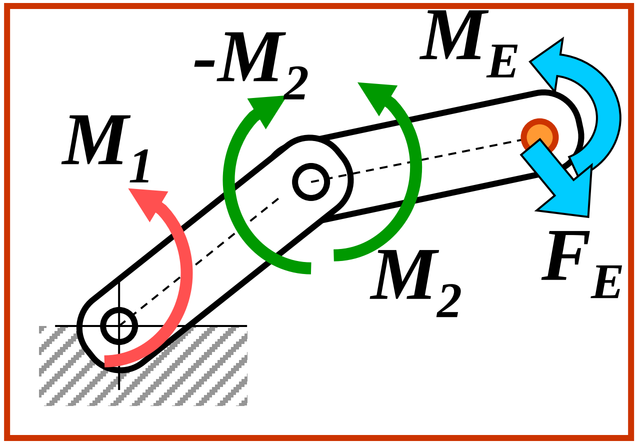


$$\delta L_E + \delta L_m = 0$$

In base allo schema della figura in alto (M1 su corpo 1 e M2 su corpo 2)

$$\delta L_m = \boldsymbol{M}_1 \cdot \delta\boldsymbol{\varepsilon}_1 + \boldsymbol{M}_2 \cdot \delta\boldsymbol{\varepsilon}_2 = \boldsymbol{M}_1 \cdot \delta\theta_1 \boldsymbol{k_0} + \boldsymbol{M}_2 \cdot (\delta\theta_1 \boldsymbol{k_0} + \delta\theta_2 \boldsymbol{k_1})$$

Ma gli attuatori ai giunti esercitano delle azioni interne, ossia:



$$\begin{aligned}\delta L_m &= \boldsymbol{M}_1 \cdot \delta\boldsymbol{\varepsilon}_1 + \boldsymbol{M}_2 \cdot \delta\boldsymbol{\varepsilon}_2 - \boldsymbol{M}_2 \cdot \delta\boldsymbol{\varepsilon}_1 \\ &= \boldsymbol{M}_1 \cdot \delta\theta_1 \boldsymbol{k_0} + \boldsymbol{M}_2 \cdot \delta\theta_2 \boldsymbol{k_1} \\ &= M_1\,\delta\theta_1 + M_2\,\delta\theta_2 \\ &= \begin{bmatrix}\delta\theta_1 \\ \delta\theta_2\end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \end{bmatrix}\end{aligned}$$

Ottenuto

$$\delta L_m = \begin{bmatrix} \delta\theta_1 \\ \delta\theta_2 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \end{bmatrix}$$ generalizzando $$\delta L_m = \delta \boldsymbol{q}^T \ \boldsymbol{\tau}$$

$\boldsymbol{\tau}$ vettore coppie ai giunti

Quindi, complessivamente il PLV per il manipolatore ci dà

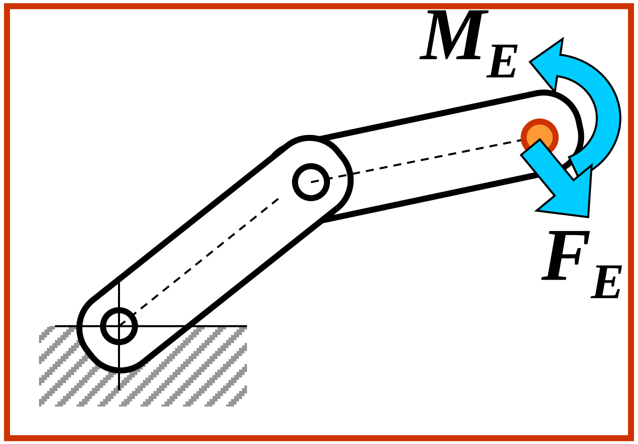
$$\delta L_E + \delta L_m = 0$$

$$[\delta \boldsymbol{q}]^T \boldsymbol{J}^T \begin{bmatrix} \boldsymbol{F}_E \\ \boldsymbol{M}_E \end{bmatrix} + [\delta \boldsymbol{q}]^T \boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{0}$$

$$\boldsymbol{J}^T \begin{bmatrix} \boldsymbol{F}_E \\ \boldsymbol{M}_E \end{bmatrix} + \boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{0} \Rightarrow \boxed{\boldsymbol{\tau} = -\boldsymbol{J}^T \begin{bmatrix} \boldsymbol{F}_E \\ \boldsymbol{M}_E \end{bmatrix} = -\boldsymbol{J}^T \boldsymbol{\gamma}}$$

Le coppie ai giunti sono calcolate in funzione dei carichi all’E.E. e dello jacobiano geometrico.

Esempio



Le azioni sull'EE –in componenti nel rif.globale

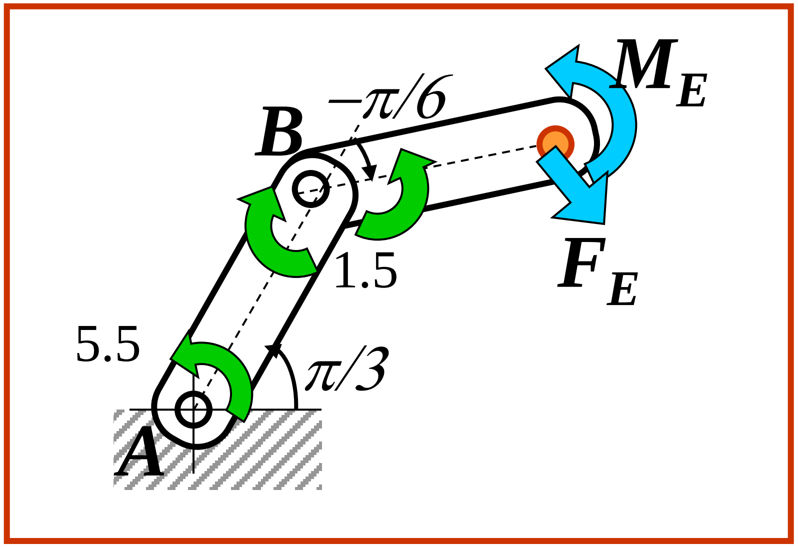
$$F_E = [10 \quad -15 \quad 0]^T \qquad M_E = [0 \quad 0 \quad 3]^T$$

$$\gamma = [10 \quad -15 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 3]^T$$

$$J \begin{bmatrix} -a2\cdot\sin(\theta1+\theta2) - a1\cdot\sin(\theta1) & -a2\cdot\sin(\theta1+\theta2) \\ a2\cdot\cos(\theta1+\theta2) + a1\cdot\cos(\theta1) & a2\cdot\cos(\theta1+\theta2) \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.34151 & -0.125 \\ 0.34151 & 0.21651 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Si è valutato lo jacobiano per a1=a2=0.25 m e nella configurazione $\theta_1=\pi/3$ $\theta2=-\pi/6$.

$$\begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} -0.34151 & -0.125 \\ 0.34151 & 0.21651 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 10 \\ -15 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 3 \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} -5.53766 \\ -1.4976 \end{bmatrix}$$



Oppure si può calcolare $\boldsymbol{\tau}$ dalle equazioni cardinali (momento assiale giunto in A e giunto in B).

Verifica con eq. cardinali

momento dovuto a $\boldsymbol{M_E}$ e $\boldsymbol{F_E}$ rispetto a B e A

$$\boldsymbol{M}_B = BE \wedge \boldsymbol{F}_E + \boldsymbol{M}_E$$

Interessa solo la componente z di $\boldsymbol{M_B}$ +

$$M_{Bz} = -10 \cdot 0.25 \cdot \sin(\pi/6) - 15 \cdot 0.25 \cdot \cos(\pi/6) + 3$$
$$= -1.4976$$

analogamente

$$\boldsymbol{M}_A = AE \wedge \boldsymbol{F}_E + \boldsymbol{M}_E$$

$$M_{Az} = -10 \cdot \left[0.25 \cdot \sin(\pi/3) + 0.25 \cdot \sin(\pi/6)\right] +$$
$$-15 \cdot 0.25 \cdot \left[0.25 \cdot \cos(\pi/3) + 0.25 \cdot \cos(\pi/6)\right] + 3$$
$$= -5.5376$$

Il PLV indaga l’equilibrio richiedendo la cinematica del sistema e le forze attive ma non quelle reattive.

Il PLV si scrive per sistemi labili e fornisce tante equazioni quanti sono i gdl.

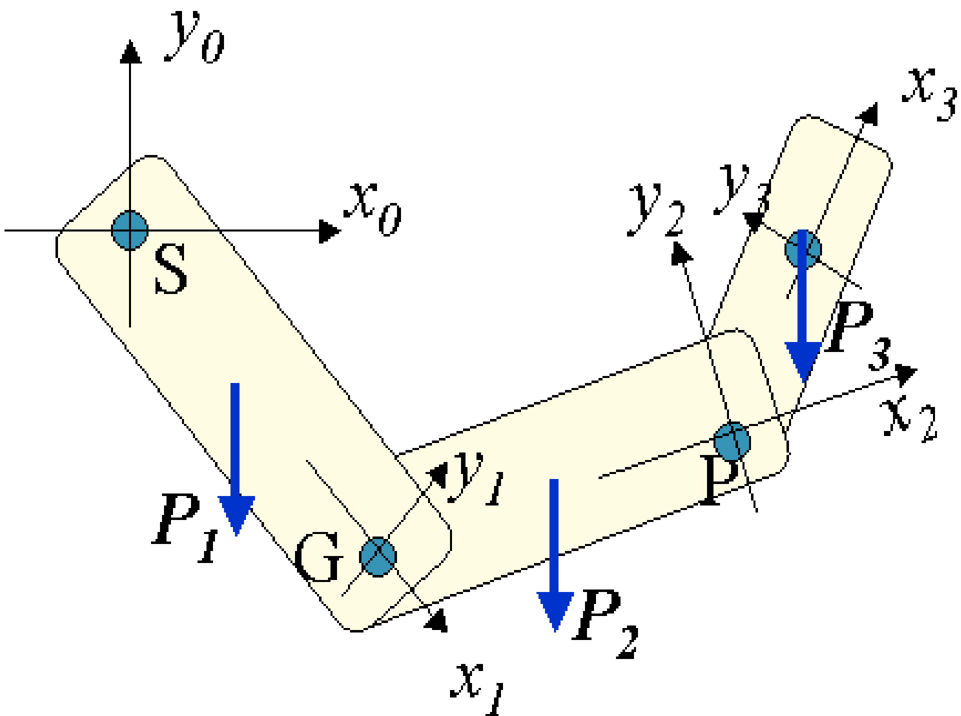
<u>Osservazione1</u>

Le azioni sull’end effector si costruiscono con i sistemi equivalenti per riportare tutte le forze sull’EE ad una risultante in E (origine della terna locale) + momento rispetto ad E.

<u>Osservazione2</u>

Cosa accade se ci sono forze su altri link?

Esempio con forze su più link



Dati:
Massa braccio (1) = 3.2 mt/100
Massa avambraccio (2)= 1.7 mt/100
Massa mano (3)= 0.9 mt/100
mt=massa totale persona

Si risolve analizzando 3 sistemi

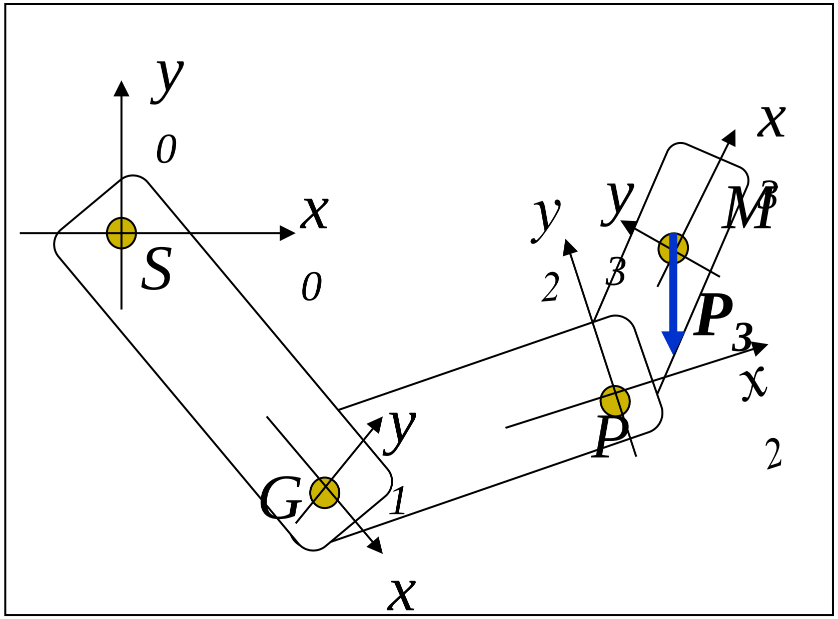
1) Braccio completo – carichi sulla mano

Carico nel riferimento glob

$$\gamma_1^{\,T} = \begin{bmatrix} 0 & -P_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{p_0} = \overrightarrow{SM}, \boldsymbol{o_0} = \overrightarrow{SS},$$

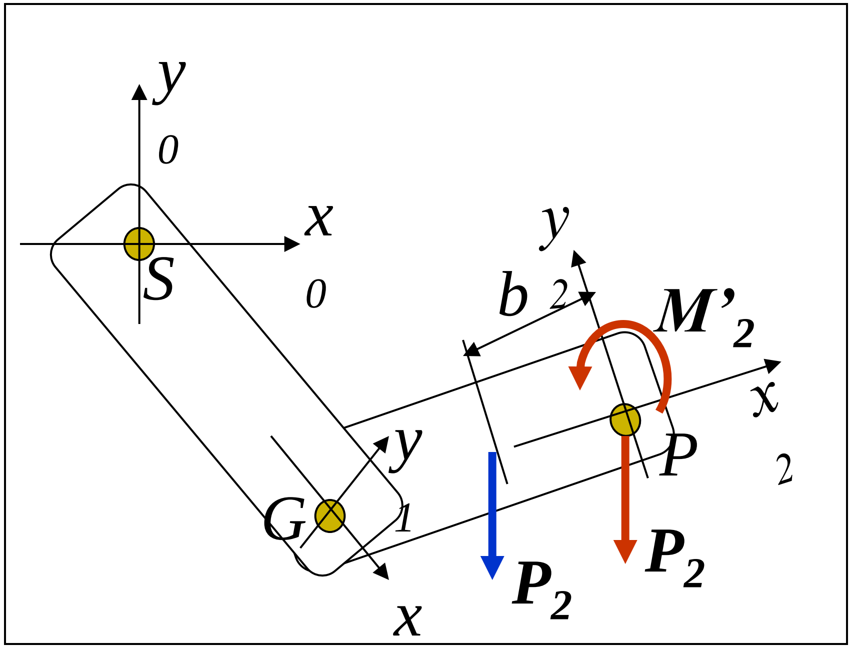
$$\boldsymbol{o_1} = \overrightarrow{SG}, \boldsymbol{o_2} = \overrightarrow{SP}$$



$$\boldsymbol{J} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{k}_0 \wedge (\boldsymbol{p0} - \boldsymbol{o}_0) & \boldsymbol{k}_1 \wedge (\boldsymbol{p0} - \boldsymbol{o}_1) & \boldsymbol{k}_2 \wedge (\boldsymbol{p0} - \boldsymbol{o}_2) \\ \boldsymbol{k}_0 & \boldsymbol{k}_1 & \boldsymbol{k}_2 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{\tau}_1 = -\boldsymbol{J}^{\mathrm{T}} \boldsymbol{\gamma}_1 \Longrightarrow \boldsymbol{\tau}_1 = \begin{bmatrix} M_{1-spalla} \\ M_{1-gomito} \\ M_{1-polso} \end{bmatrix}$$

2) Carichi avambraccio (due alternative)



Alternativa 1:

Sottosistema senza mano, carichi sul polso (sistema equivalente $\mathbf{P}_2$, $\mathbf{M'}_2$)

$$\gamma'^{\,T}_2 = \begin{bmatrix} 0 & -P_2 & 0 & 0 & 0 & M'_2 \end{bmatrix}$$

$$M'_2 = b\cos(\theta_1 + \theta_2)$$

$$\boldsymbol{J}'_2 = \begin{bmatrix} \boldsymbol{k}_0 \wedge (\boldsymbol{p0} - \boldsymbol{o}_0) & \boldsymbol{k}_1 \wedge (\boldsymbol{p0} - \boldsymbol{o}_1) \\ \boldsymbol{k}_0 & \boldsymbol{k}_1 \end{bmatrix}$$

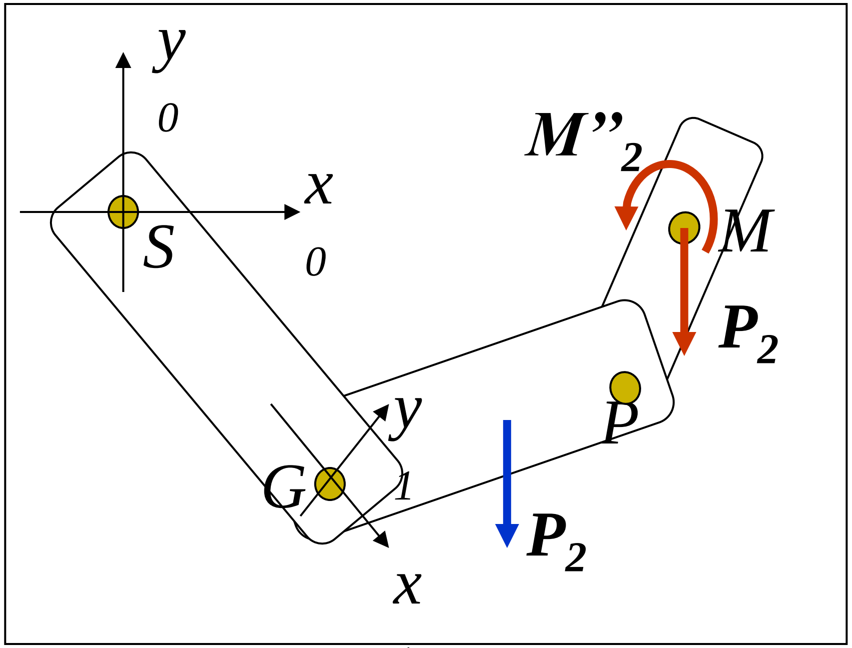
ma ora

$$\boldsymbol{p}_0 = \overrightarrow{SP} \quad \boldsymbol{o}_0 = \overrightarrow{SS} \quad \boldsymbol{o}_1 = \overrightarrow{SG}$$

quindi J'_2 va ricalcolato

$$\boldsymbol{\tau}_2 = -\boldsymbol{J}'^{\,\mathrm{T}}_2\, \boldsymbol{\gamma}'_2 \Rightarrow \boxed{\boldsymbol{\tau}_2 = \begin{bmatrix} M_{2-spalla} \\ M_{2-gomito} \end{bmatrix}}$$

Alternativa 2:
con mano, carichi in (sistema equivalente $\boldsymbol{P_2, M''_2}$)



Come se mano e avambraccio fossero un unico pezzo

$$\gamma'^{T}_2 = \begin{bmatrix} 0 & -P_2 & 0 & 0 & 0 & M''_2 \end{bmatrix}$$

$$M''_2 = b\cos(\theta_1+\theta_2) + \\ + a_3\cos(\theta_1+\theta_2+\theta_3)$$

$$a_3 = \overline{PM}$$

$$J''_2 = \begin{bmatrix} \boldsymbol{k}_0 \wedge (\boldsymbol{p0} - \boldsymbol{o}_0) & \boldsymbol{k}_1 \wedge (\boldsymbol{p0} - \boldsymbol{o}_1) \\ \boldsymbol{k}_0 & \boldsymbol{k}_1 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{p_0} = \overrightarrow{SM},\ \boldsymbol{o_0} = \overrightarrow{SS},$$
$$\boldsymbol{o_1} = \overrightarrow{SG}$$

quindi J''_2 è sottomatrice di J

$$\tau_2 = -J''^{\mathrm{T}}_2\,\gamma''_2 \Rightarrow \boxed{\tau_2 = \begin{bmatrix} M_{2-spalla} \\ M_{2-gomito} \end{bmatrix}}$$

Osservazione: con la seconda alternativa, utilizzando sistema equivalente in *M*, si può anche tenere tutto lo jacobiano, avendo cura poi di tenere utilizzarne solo gli elementi importanti (il primo ed secondo, il terzo è relativo alla coppia al polso che non c'è).

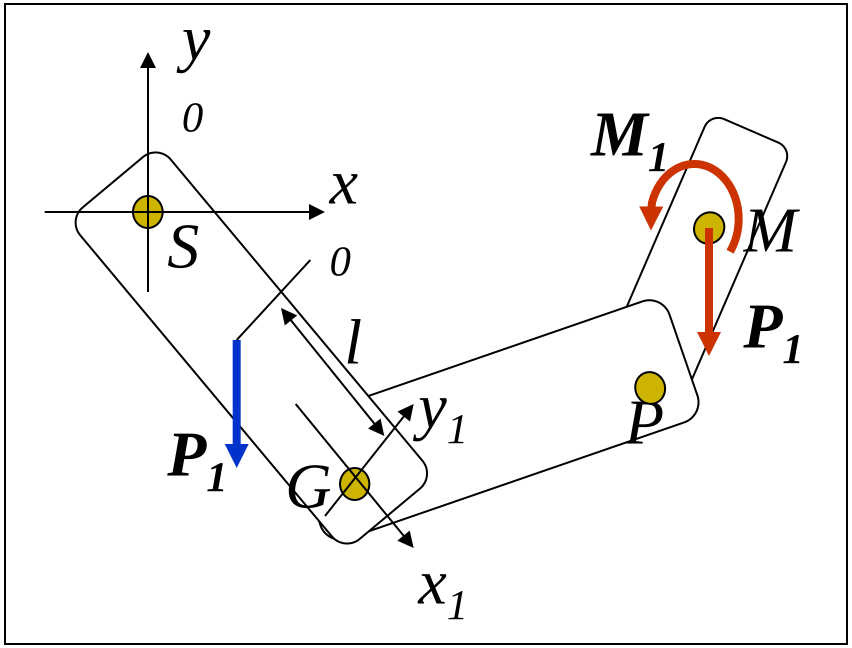
$$\boldsymbol{\tau}_2' = -\boldsymbol{J}^{\mathrm{T}}\,\boldsymbol{\gamma}''_2 \qquad \boldsymbol{\tau}_2' = \begin{bmatrix} M_{2-spalla} \\ M_{2-gomito} \\ \cancel{M_{2-polso}} \end{bmatrix}$$

Se Q_2 è il punto di applicazione della forza $\boldsymbol{P}_2$ su avambraccio per calcolare il sistema equivalente nel polso o nella mano occorre determinare le componenti nel riferimento globale della risultante (che è sempre $\boldsymbol{P}_2$) e del momento di $\boldsymbol{P}_2$ rispetto al polso o a M.

3) Carichi braccio

Seguendo la alternativa 2:

con mano, carichi in (sistema equivalente $\boldsymbol{P_1}, \boldsymbol{M_1}$*)*



$$\gamma'^{\,T}_3 = \begin{bmatrix} 0 & -P_1 & 0 & 0 & 0 & M_1 \end{bmatrix}$$

$$M_1 = l\cos(\theta_1) + a_2\cos(\theta_1+\theta_2) + \\ + a_3\cos(\theta_1+\theta_2+\theta_3)$$

$$a_2 = \overline{GP}$$

$$\boldsymbol{\tau}_3 = -\boldsymbol{J}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{\gamma}_3 \qquad \boldsymbol{\tau}_3 = \begin{bmatrix} M_{3-spalla} \\ \cancel{M_{3-gomito}} \\ \cancel{M_{3-polso}} \end{bmatrix}$$

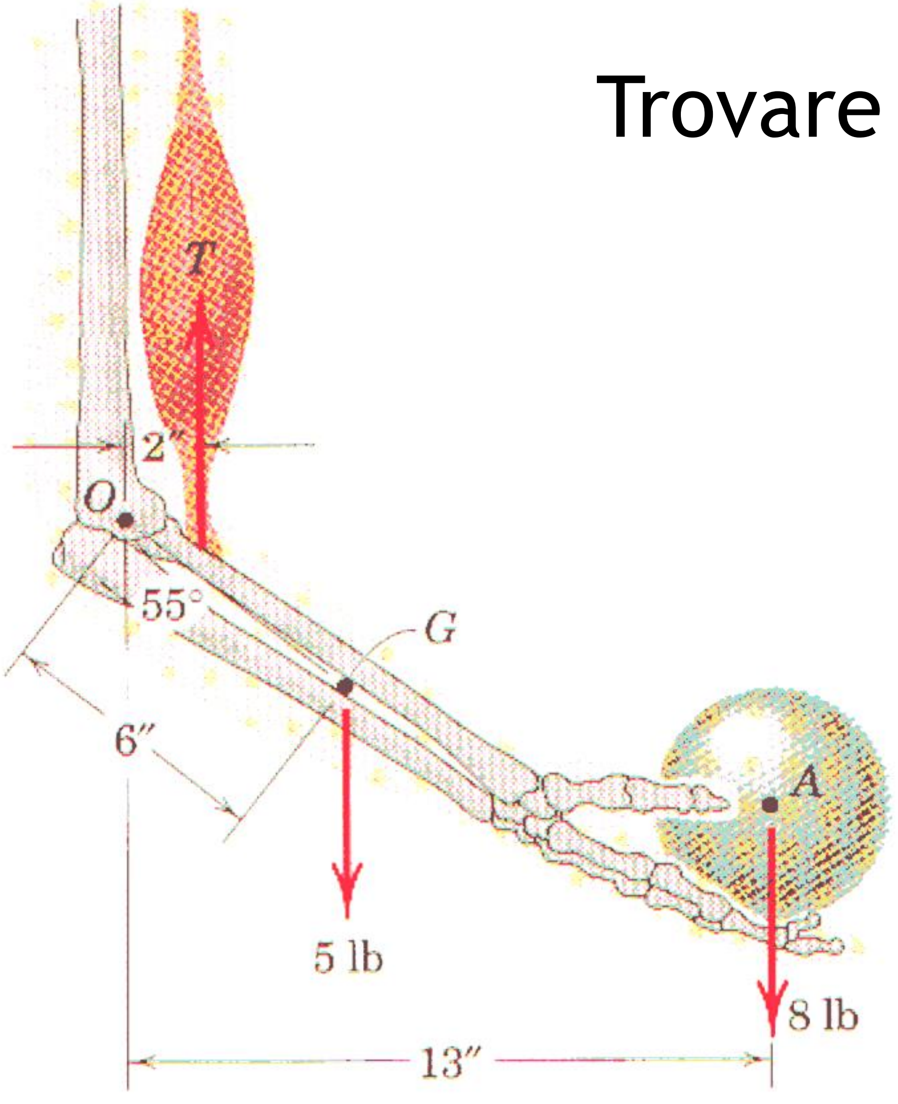
Coppie totali ai giunti
-spalla: M1s+M2s+M3s
-gomito: M1g+M2g
-polso: M1p

Qualche semplice equilibrio

Lez.6
d. 32

RIPASSO DI MECCANICA

ESERCIZIO 1

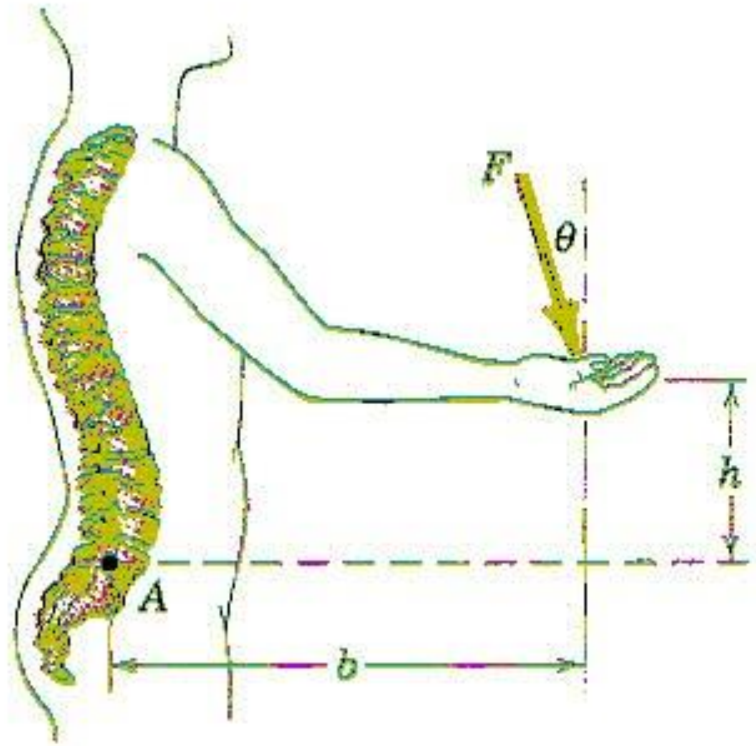


Trovare T

1lb=0.4536 kg

1in.=25.4 mm

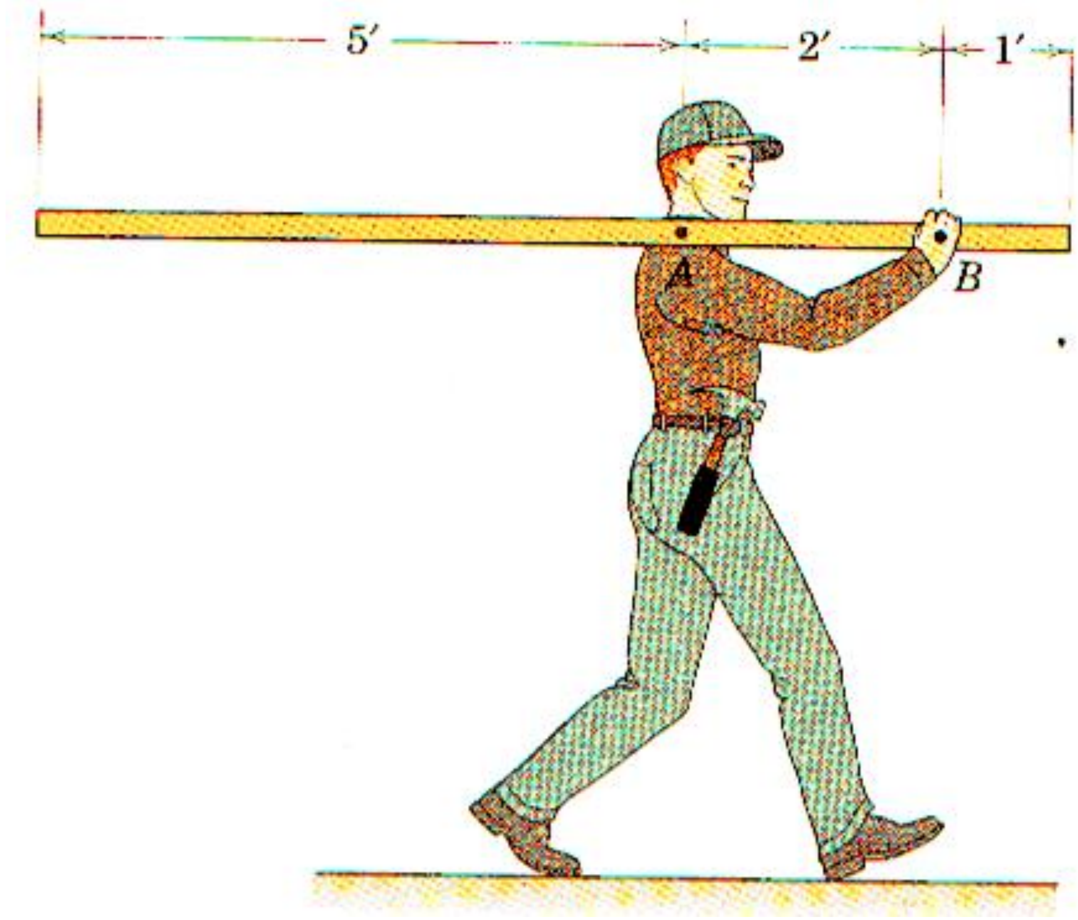
ESERCIZIO 2



Problem 2/40

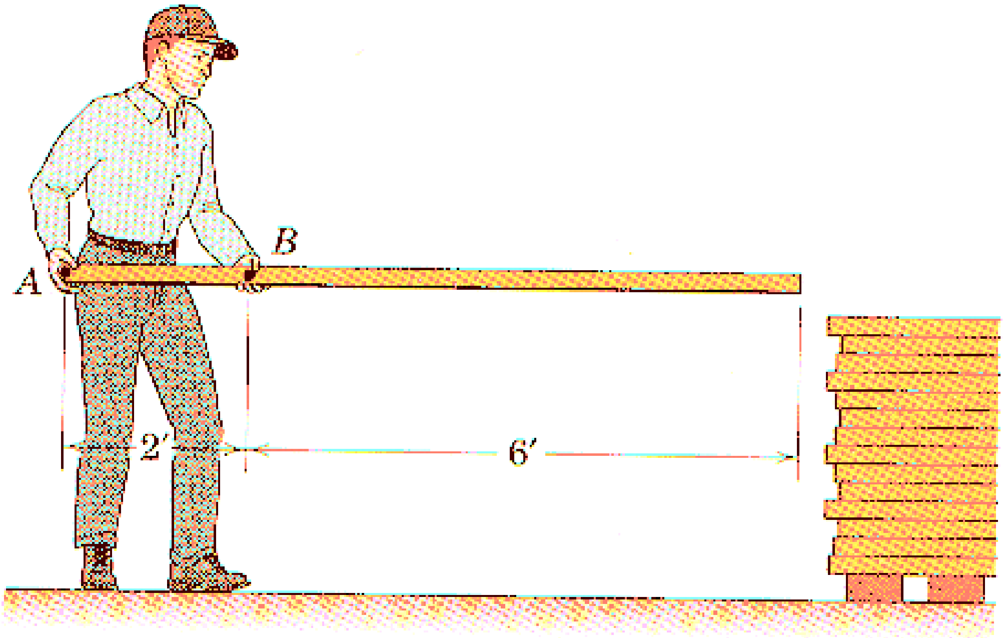
Trovare il momento sulla vertebra lombare A

ESERCIZIO 3



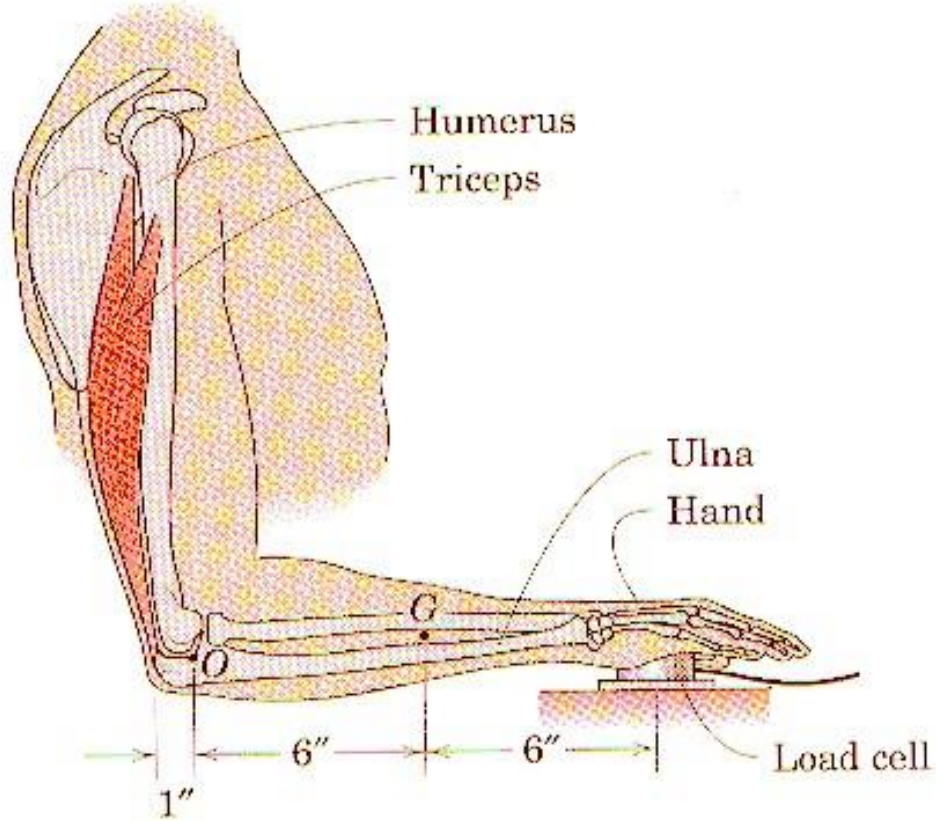
L’asta omogenea pesa 60 N;
quanto si scarica sulla spalla in A?

ESERCIZIO 4



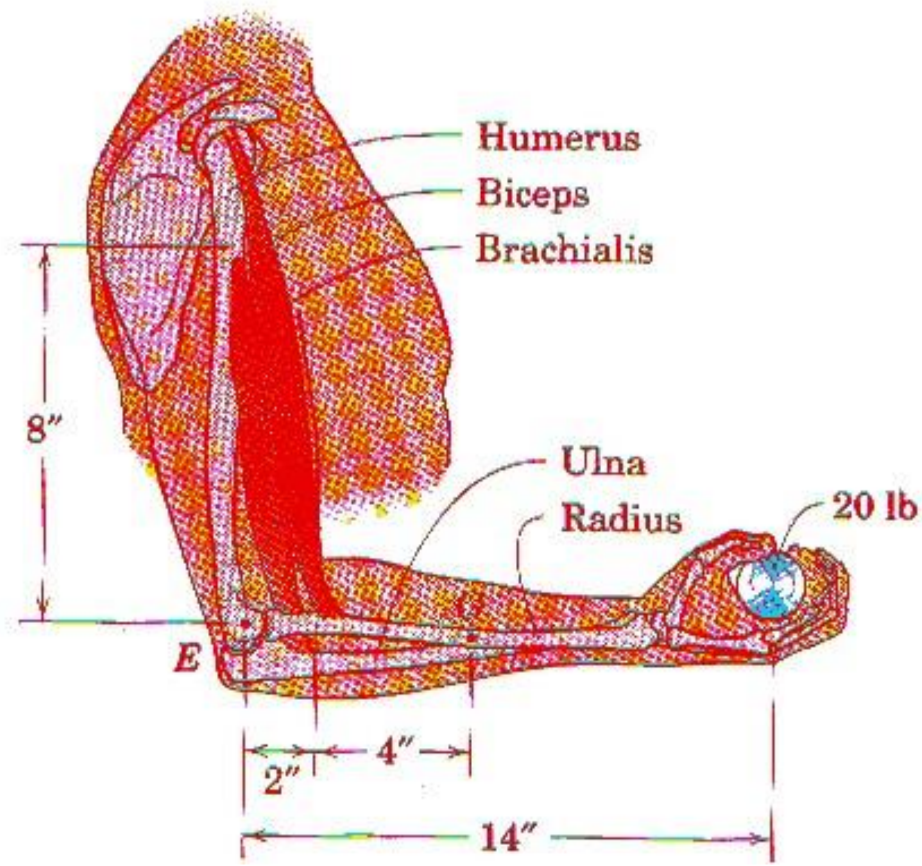
Stessa asta, quali sono le azioni sulle mani?

ESERCIZIO 5



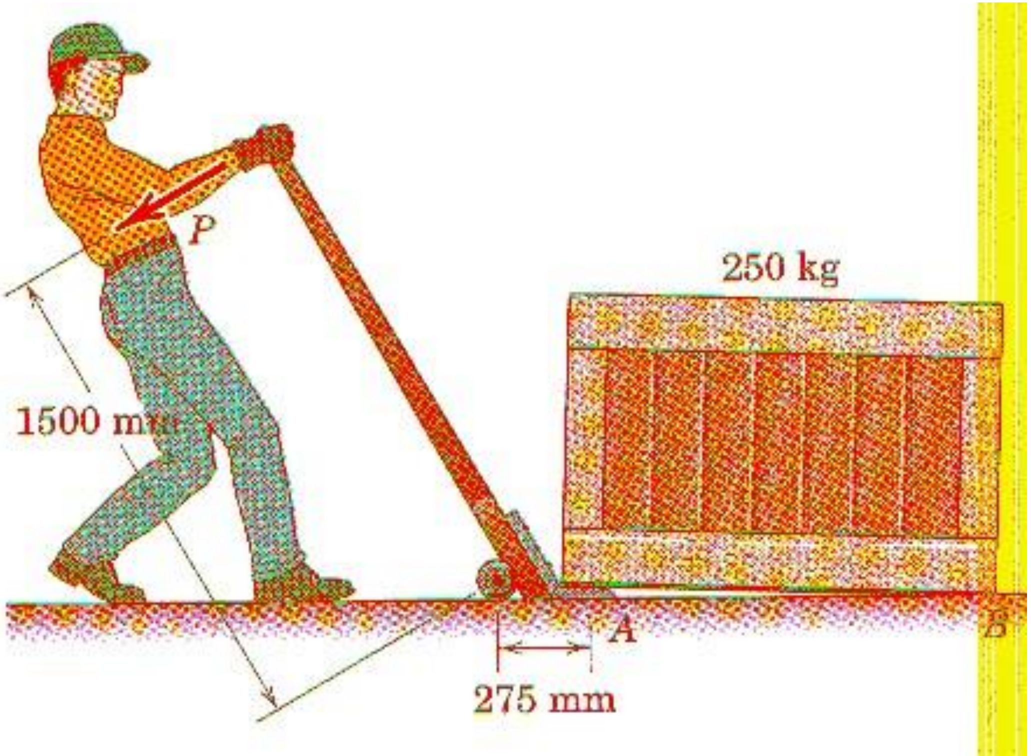
Sistema di misura della forza del tricipite. Si chiede al paziente di spingere con la mano su una cella di carico. Sapendo che la forza misurata è 35 lb e che l’avambraccio pesa 3.2 lb, determinare la forza sviluppata dal tricipite.

ESERCIZIO 6



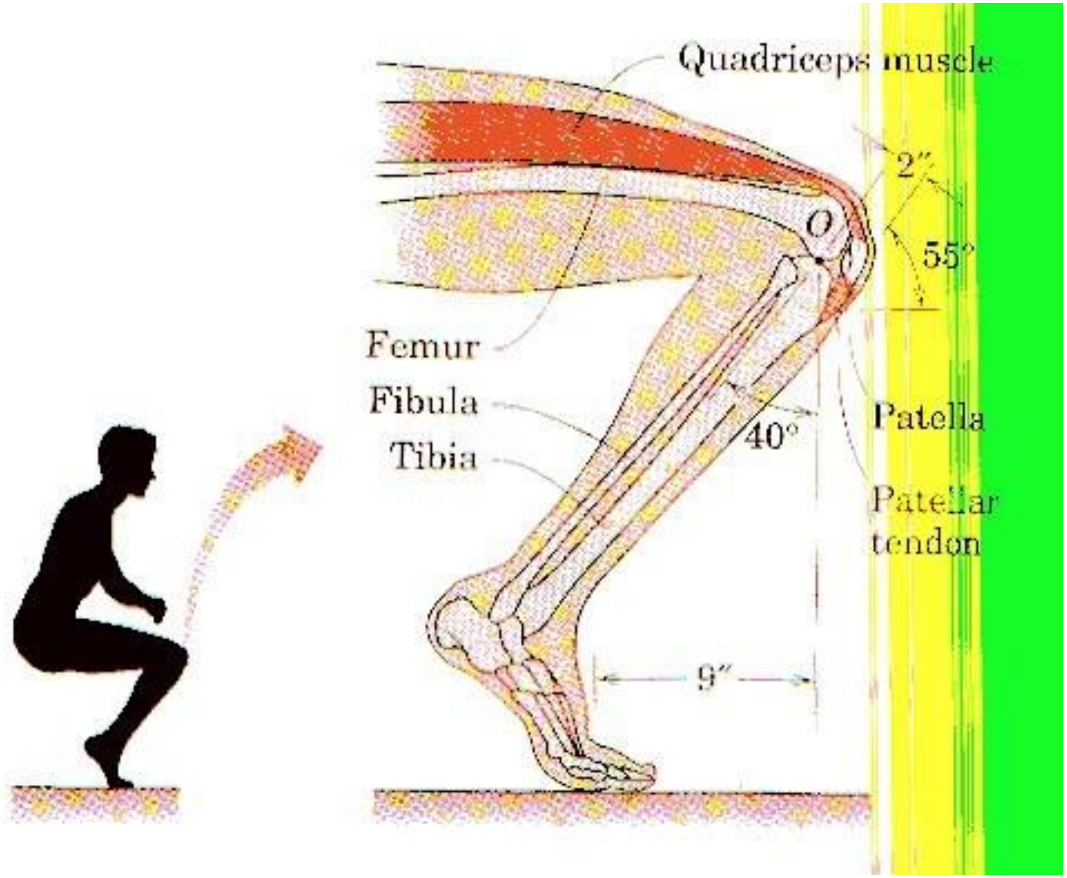
Calcolare le azioni dei muscoli e la reazione del gomito. Oltre al peso nella mano, considerare anche il peso proprio dell’avambraccio 3.2 lb.

ESERCIZIO 7



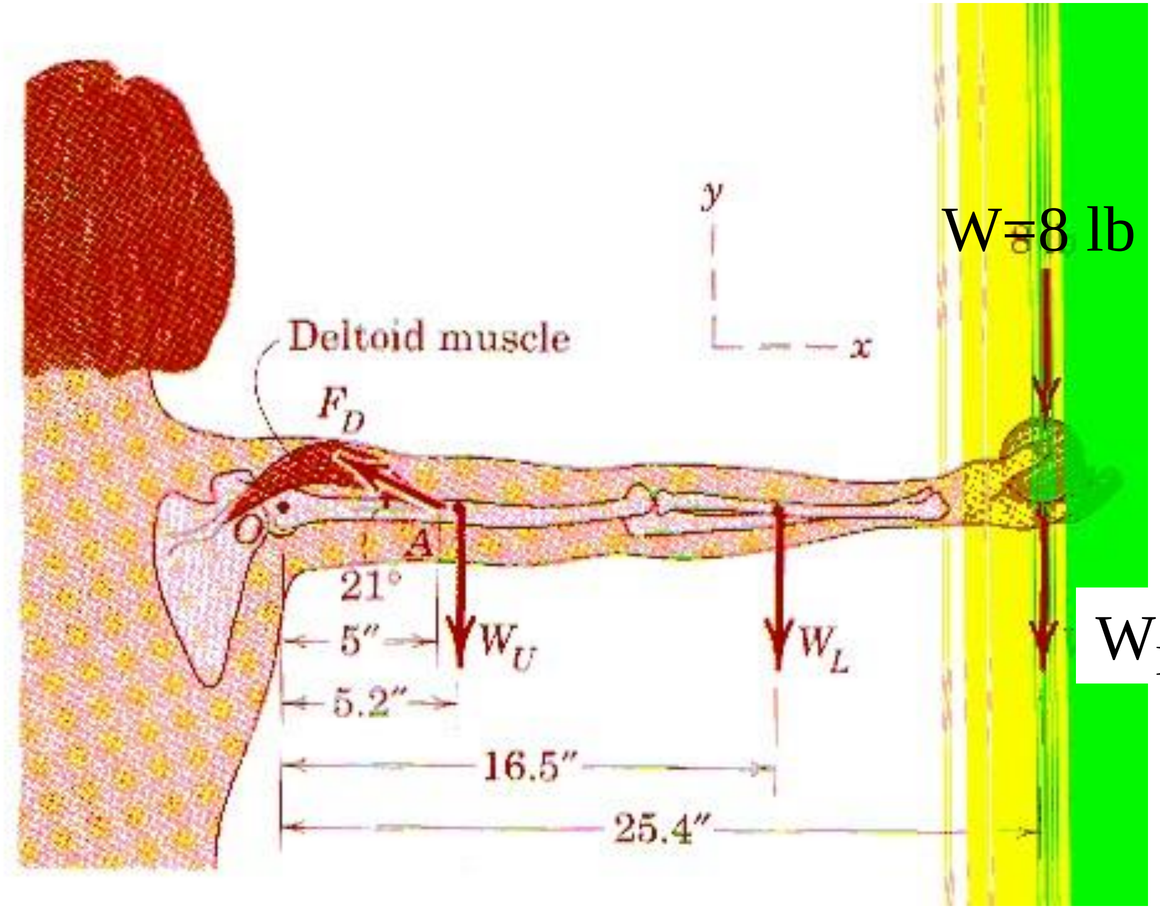
Quale forza P sta esercitando la persona in figura?

ESERCIZIO 8



Tutto il peso W della persona si scarica sulle punte dei piedi. Quale azione passa per il tendine rotuleo?

ESERCIZIO 8



W_L=2.4 lb

W_U=4.1 lb

W_H=0.9 lb

Calcolare la forza esercitata dal deltoide.