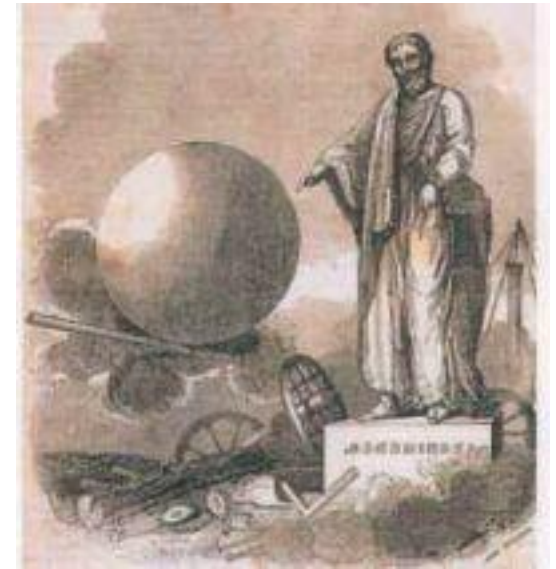
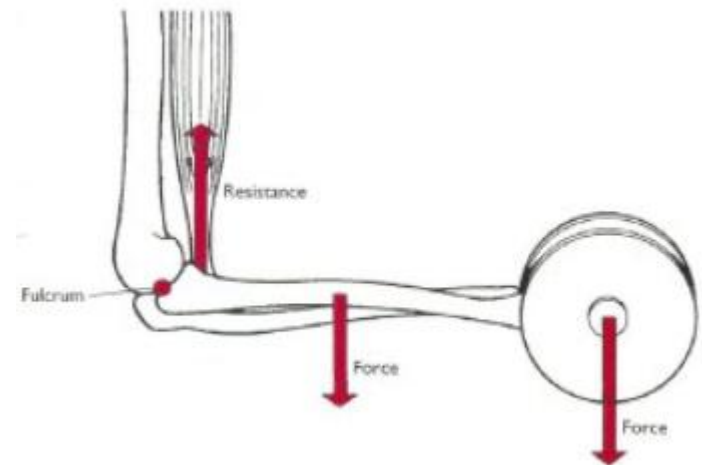


La Statica



Biomeccanica del movimento



Statica

- La statica studia le condizioni affinché un oggetto inizialmente fermo non si metta in movimento e mantenga nel tempo la sua posizione (stabilità dell'**equilibrio**).
- È necessario introdurre il concetto fisico di **forza**, una grandezza di cui è facile intuire il significato sulla base delle comuni esperienze del nostro vivere quotidiano. Se per questa ragione il termine forza è molto diffuso nel linguaggio di tutti i giorni, dal punto di vista fisico occorre riflettere sul fatto che la forza non è una proprietà dei corpi (come la massa, la temperatura, la resistenza elettrica, ecc.) ma una **azione** che si esercita tra corpi. Tale azione può esercitarsi tra corpi posti a *contatto* (es. forze di attrito, spinte, ecc.) o posti a *distanza* (forze gravitazionali, magnetiche, ecc).

Le forze possono provocare due diversi tipi di effetti sui corpi sui quali agiscono:

- effetto **statico**: se il corpo viene deformato
- effetto **dinamico**: se il corpo subisce una accelerazione

Possiamo definire la forza come una azione capace di deformare i corpi (effetto statico) o di variarne lo stato di quiete o di moto (effetto dinamico).

Equilibrio

Il mantenimento dell'equilibrio dipende dalle informazioni fornite da tre sistemi sensoriali:

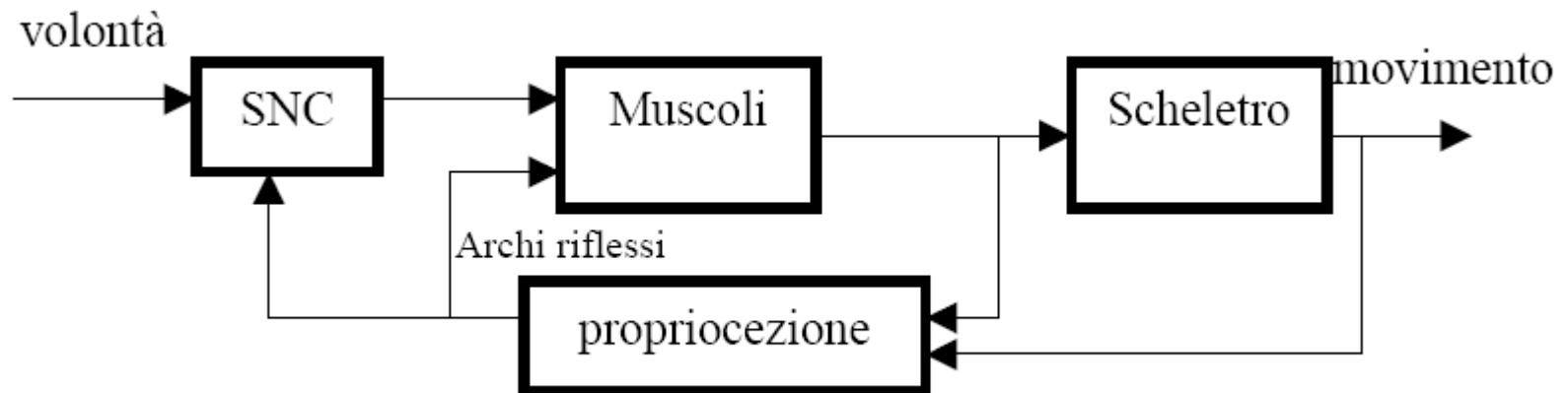
- Sistema Vestibolare (udito)
- Sistema Visivo
- Sistema Somato-sensoriale (o propriocettivo)

Questi tre sistemi generano informazioni utili alla localizzazione del corpo nello spazio e alla posizione di ogni segmento corporeo.

Il sistema propriocettivo fornisce un insieme di informazioni atte ad "autolocalizzare" il proprio corpo e la sua posizione nello spazio (angoli alle articolazioni, tensioni muscolari, carico sullo scheletro).

- A loro si affianca il sistema nervoso centrale, che genera le sequenze di attivazioni muscolari adeguate al mantenimento della postura desiderata, e il sistema muscolo-osteo-articolare, che esegue i comandi impartiti dal SNC.
- E' attraverso la loro integrazione in tempo reale che il corpo umano è in grado di attuare le strategie di compensazione per mantenere la stazione eretta.
- Ecco perché la posturografia è un ambito multidisciplinare che coinvolge la bioingegneria, la neurologia, l'otologia, l'oftalmologia, l'ortopedia, la terapia fisica e riabilitativa e le scienze motorie.

schema generico e semplificato del controllo motorio

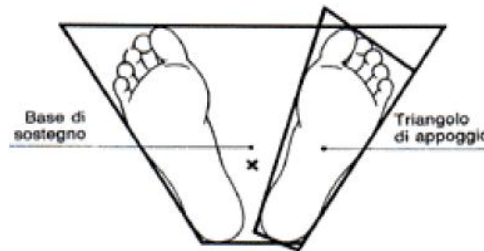


Parametri caratteristici della postura

- Per valutare l'entità e la bontà (o meno) di queste strategie, e anche per quantificare eventuali deficit dei sistemi sensoriali, è necessario stabilire dei parametri, definire delle grandezze quantificabili e confrontabili tra loro che siano legate al processo di stabilizzazione della postura.
- Dall'esame del movimento della proiezione del baricentro del paziente sul piano di appoggio e degli spostamenti del punto dove si realizza la contropinta del terreno si possono ricavare numerose informazioni indicative del livello di funzionalità globale e di ciascuno degli anelli di regolazione coinvolti nel processo del mantenimento dell'equilibrio in posizione ortostatica.

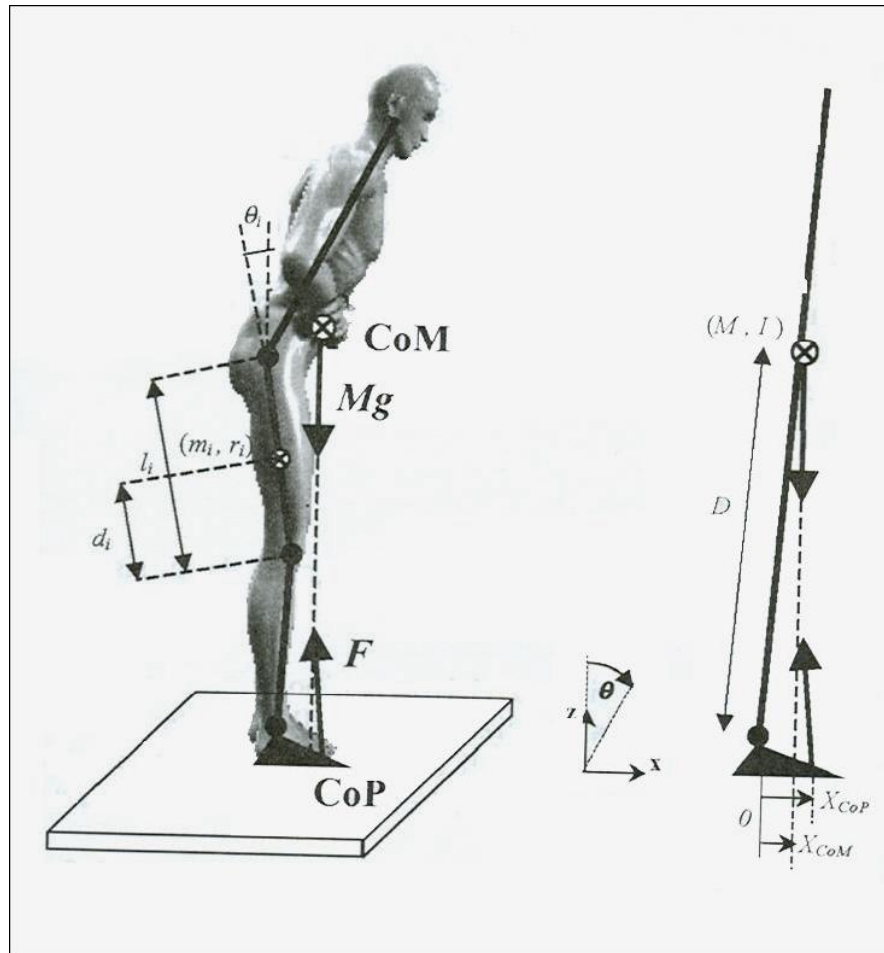
Tali grandezze sono:

- centro di massa (COM): è il centroide degli i elementi di massa che compongono il corpo (segmenti corporei). In stazione eretta è normalmente un punto del tronco all'altezza della zona lombare. La sua posizione determina il braccio di leva della forza di gravità (Mg) rispetto alle articolazioni (normalmente quella della caviglia) e il segno del corrispondente momento destabilizzante. In condizioni normali la proiezione del centro di massa sul suolo si mantiene all'interno di una superficie più piccola di 1cm^2 , inferiore all'1% della base d'appoggio effettivamente disponibile e compatibile con l'equilibrio eretto. La regolazione del corpo umano perciò è veramente molto fine.



- Centro di pressione (COP) (o centro di spinta): è il centroide delle pressioni applicate da ogni punto della superficie del piede in contatto con la base di appoggio. Si tratta del punto di applicazione della risultante delle forze scambiate tra piede e terreno (forza di reazione al suolo). In stazione eretta quieta si trova sotto uno dei piedi o nella superficie tra questi compresa. La sua posizione determina il braccio di leva della forza esterna di reazione (F) rispetto alle articolazioni (normalmente la caviglia) ed il segno del corrispondente momento reattivo. Il COP è in pratica il punto dove si realizza la controspinta del corpo umano per mantenere la stazione eretta (se ci incliniamo in avanti si sposterà verso le dita dei piedi, se ci incliniamo all'indietro si sposterà verso il tallone).

CoM e CoP



- Anche in condizioni di quiete, il corpo umano non è assolutamente fermo, ma attua un'oscillazione del COM continua con spostamenti lenti ($<1-2$ Hz) di piccola ampiezza (<2 cm). Anche il COP, in conseguenza di questi movimenti, viene a modificarsi di circa $\pm 1 \div 2$ cm in direzione antero-posteriore, e di circa $\pm 0,5 \div 1$ cm in direzione medio-laterale.
- Ma qual è la causa di queste continue oscillazioni?
Tra i maggiori responsabili possiamo annoverare:
 - la respirazione
 - la pompa cardiaca ed emodinamica
 - l'interazione con l'ambiente.

Capacità di equilibrio

L'uomo, in ogni situazione statica o dinamica, deve rapportarsi con un fattore che interviene e condiziona le posture ed i movimenti: la forza di gravità. Ogni nostra posizione ed ogni nostro gesto comporta l'intervento coordinato di gruppi muscolari che, grazie a contrazioni concentriche, statiche o eccentriche, ci permettono di contrastare la forza di gravità. Possiamo dunque definire la **capacità di equilibrio** come quella che ci consente, attraverso aggiustamenti riflessi, automatizzati o volontari di mantenere una posizione statica o di eseguire un movimento senza cadere anticipando o reagendo prontamente ai possibili fattori di squilibrio.

Secondo Terniss e Riveno, «l'equilibramento è un processo percettivo-motorio mediante il quale il corpo si mantiene in equilibrio. Tale processo non richiede solo un aggiustamento posturale anti-gravitario (devoluto all'apparato vestibolare) ma anche di una costante informazione sensoriale».

Tipi di equilibrio

Si possono distinguere due tipi di equilibrio:

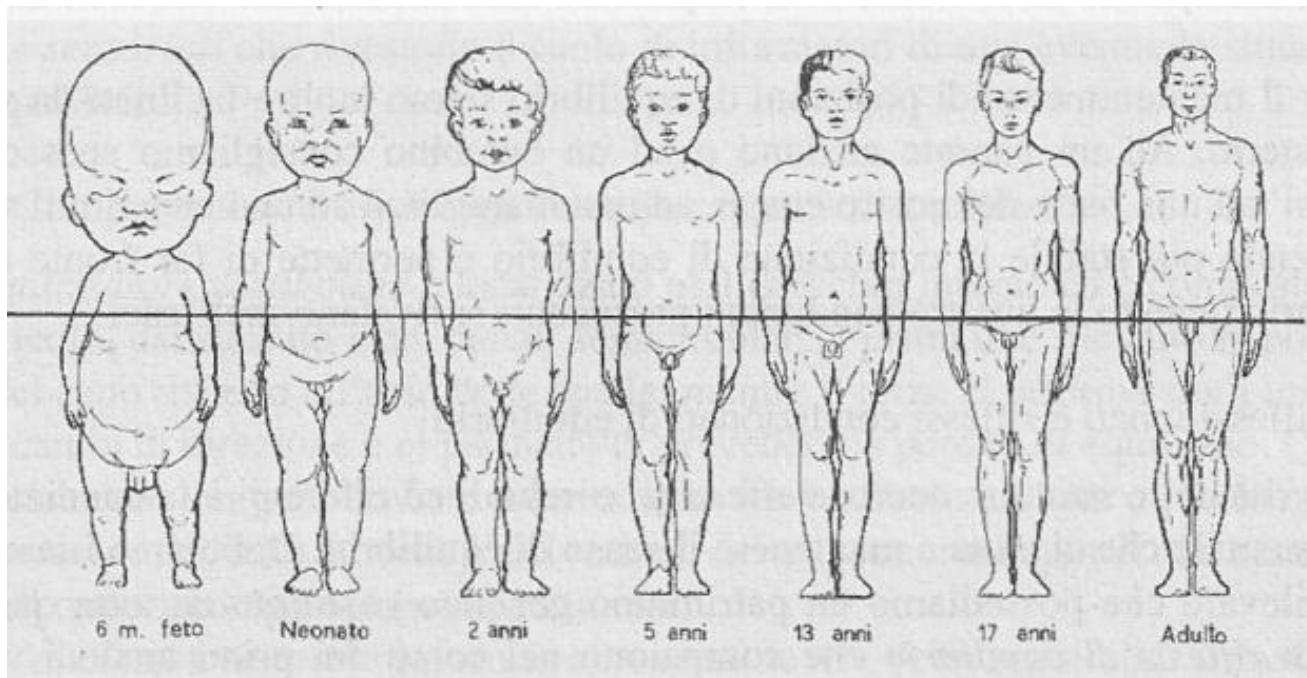
l'equilibrio statico ovvero la capacità del corpo o di un suo segmento di mantenere una posizione statica

l'equilibrio dinamico o la capacità di mantenere, durante la gestualità e le traslocazioni, i segmenti corporei in una condizione di stabilità. Una particolare situazione di equilibrio dinamico la ritroviamo quando riusciamo a mantenere il controllo e la padronanza del nostro corpo in *situazione di volo*.

La *condizione fisica fondamentale* affinché un corpo possa rimanere in equilibrio è che la proiezione a terra del suo baricentro cada all' interno del poligono di appoggio.

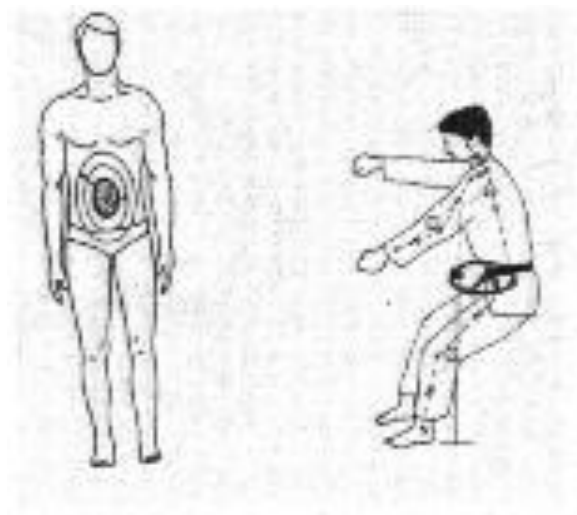
I fattori che determinano ed incidono su questa condizione e che quindi rendono la posizione ed i movimenti più o meno stabili sono i seguenti:

- La *posizione del baricentro* del nostro corpo:
il baricentro o centro di gravità è il punto in cui passa la retta di azione del peso complessivo di un corpo e nell'uomo adulto di costituzione e proporzioni medie ed in stazione eretta si trova all'incirca al 57% dell'altezza totale (55% nella donna) che coincide con la prima o seconda vertebra sacrale o di poco al di sotto dell'ombelico. La sua posizione varia a seconda dell'età come si può notare dalla figura.



Poiché il corpo in moto è formato da segmenti mobili tra loro, il Baricentro del corpo risulta anch'esso mobile e può, nel corso dell'esecuzione di alcuni gesti sportivi, venirsi a trovare fuori dal corpo dell'atleta

Nella figurazione espressa da Dal Monte, le posizioni che il G. dell'atleta può occupare sono comprese in una superficie pseudo-ellissoidale che si può espandere concentricamente a se stessa (UOVO di Dal Monte)



- Un corpo sarà tanto più stabile quanto più il **baricentro è basso**. Nello sci, sport di scivolamento che mette a dura prova la capacità di equilibrio dinamico, il maestro consiglia ai suoi allievi che stanno apprendendo di piegare le ginocchia e di flettere leggermente il busto in avanti procurando in questo modo l'abbassamento del baricentro e ricreando una condizione di equilibrio più stabile. L'ubicazione del baricentro cambia anche in dipendenza dai reciproci rapporti dei segmenti corporei.
- *La dimensione e l'orientamento della base di appoggio*, che quanto più è ampia ed orientata verso la direzione del possibile squilibrio tanto più ci consente un mantenimento della condizione fondamentale. Possiamo notarlo quando, in piedi su un mezzo pubblico, siamo costretti ad operare una serie di aggiustamenti preventivi che ci portano per prima cosa ad allargare le gambe aumentando la larghezza tra i due appoggi plantari ma soprattutto a disporci trasversalmente rispetto alla direzione di marcia. Una disposizione frontale risulterebbe infatti poco compatibile e poco efficace al mantenimento dell'equilibrio nelle frequenti fermate e ripartenze. Se poi il mezzo dovesse curvare, ci risulterebbe automatico e naturale lo spostamento di un piede verso l'interno della curva.

- *L'allineamento, la posizione ed i movimenti delle parti del corpo.* Abbiamo stabilità quando i segmenti corporei ed il loro allineamento sono vicini alla linea di proiezione del baricentro. Sono pertanto consigliate all'allievo in condizioni di equilibrio precarie, variazioni minime di allineamento tra le parti ed in special modo degli arti in quanto i movimenti molto ampi allontanano le parti dalla linea di proiezione.
- *La linea di proiezione del baricentro a terra.* Quanto più è centrata e tanto più siamo stabili, quanto più si avvicina ai limiti del poligono di appoggio tanto più siamo in condizioni di equilibrio precario. Negli sport di scivolamento gli adattamenti posturali volontari sono improntati al *mantenimento* di questa situazione.
- Per il mantenimento di posizioni di equilibrio siamo inoltre facilitati da *vincoli esterni*. Ad un parente anziano o ad un bambino consigliamo spesso di 'tenersi' ad una parte del nostro corpo, ad una maniglia o ad uno staggio. Il vincolo rende più stabile la condizione di equilibrio e permette di far fronte allo squilibrio quando le quattro condizioni precedenti si rivelano inefficaci.

Equazioni cardinali statica

Le equazioni cardinali della statica di un corpo rigido sono due:

- *equilibrio alla traslazione: risultante delle forze esterne uguale a zero*
- *equilibrio alla rotazione: momento risultante uguale a zero.*

In formule:

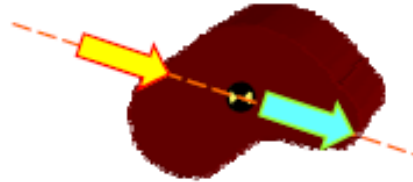
- $R=0$ $M=0$

dove per risultante (R) si intende la somma vettoriale di tutte le forze agenti sul corpo e per momento (M) il momento risultante di tutte le forze calcolate rispetto ad un punto.

Effetto della forza

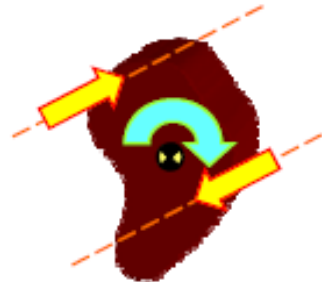
L'effetto di:

Una forza la cui linea di azione passa attraverso il centro di massa



È un'accelerazione lineare
identica per tutti i punti
 $F=ma$

Una coppia di forze



È un'accelerazione angolare
attorno al centro di massa
 $M=I\alpha$

Una forza la cui linea di azione non passa attraverso il centro di massa

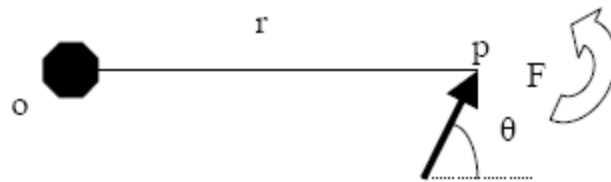


È un'accelerazione lineare e
un'accelerazione angolare
 $F=ma, M=I\alpha$

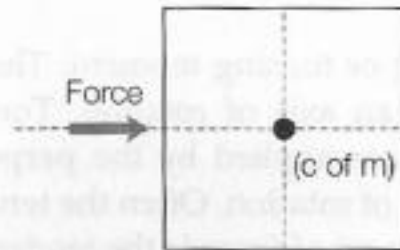
Momento

Si definisce *momento* (M) di una coppia il prodotto della forza F per il braccio d : $M=F.d$

- Nel Sistema Internazionale il momento si misura in N.m.
- Il momento può anche essere definito con riferimento ad una sola forza rispetto ad un punto O .
- Si definisce momento (M) di una forza (F) rispetto ad un punto (O) il prodotto della forza per la distanza (d) dal punto alla retta di azione della forza.

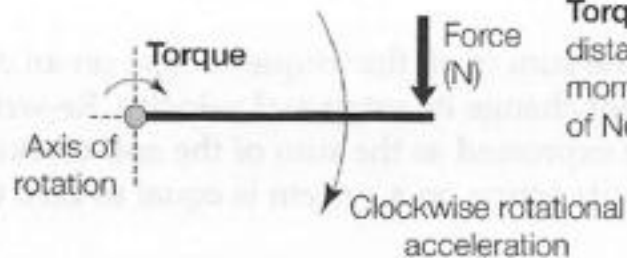
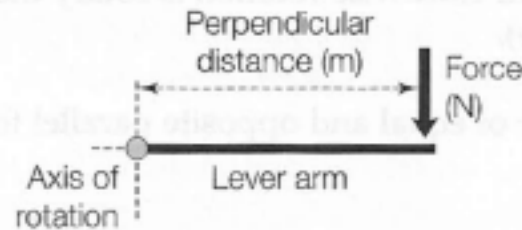
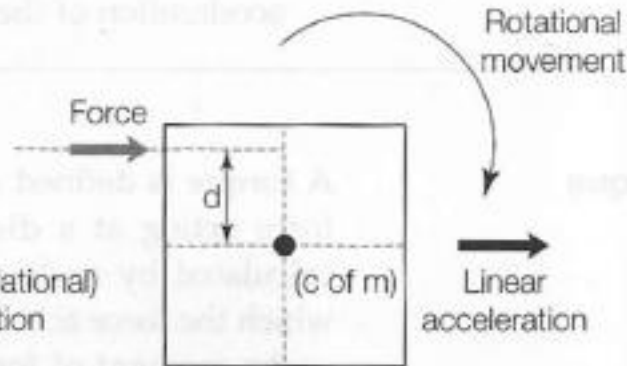


(a) Force through center of mass (c of m)



Linear (translational) acceleration

(b) Force at a perpendicular distance from the center of mass



Torque = force (N) $\times$ perpendicular distance (m) creates a twisting moment. It is measured in the units of Newton meters (Nm)

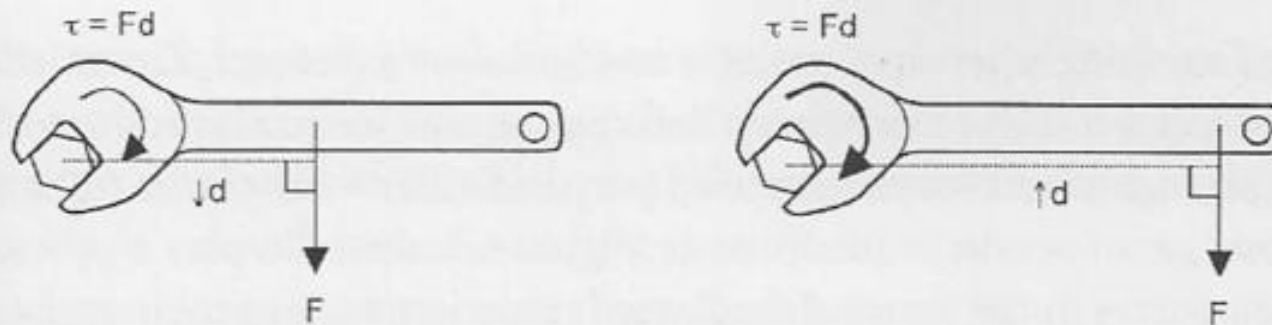
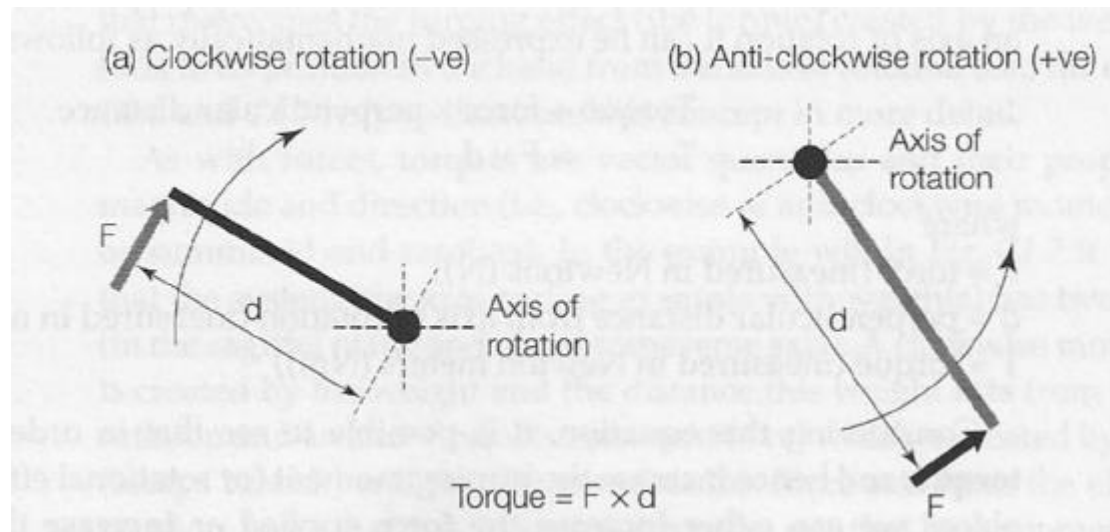
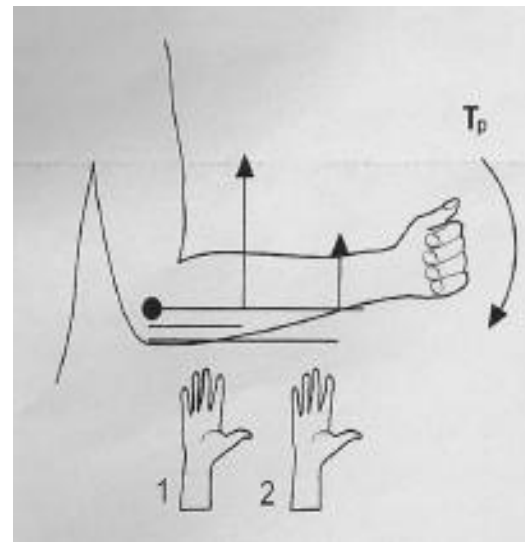


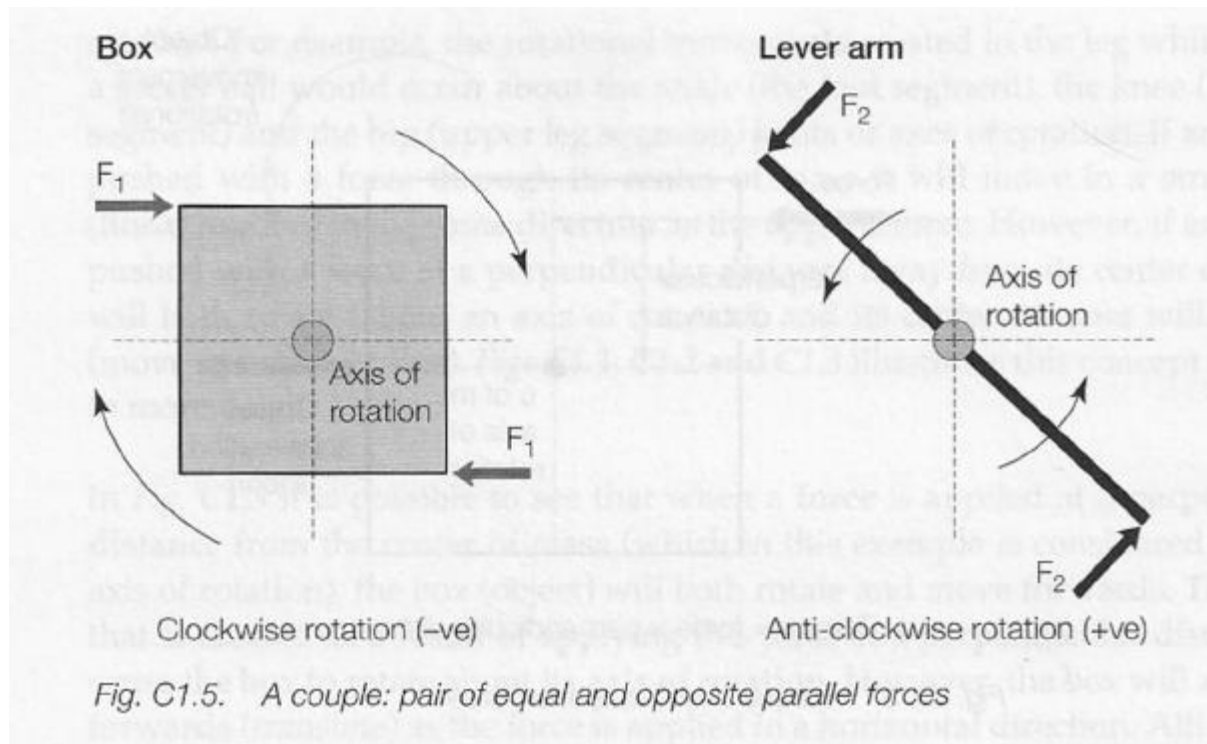
FIG. 6.2 A torque is created when a force (F) is applied at a distance (d) from the centre of rotation of an object (the nut in this instance). Since the torque (τ) is equal to the force multiplied by the distance, an increase in the distance over which force is applied, called the moment arm, will increase distance.

- L'intensità della forza e del braccio sono ugualmente importanti per determinare l'intensità del momento e per massimizzare la performance in molte attività. Per aumentare il momento posso aumentare la F applicata o aumentare il suo braccio.
- Un terapista può opporre resistenza con una mano per valutare manualmente la F isometrica degli estensori del gomito
- Posizionando il braccio + distalmente il terapista aumenta il braccio del momento e diminuisce la F che deve esercitare per bilanciare il momento creato dal paziente e dalla gravità.

E' molto più semplice aumentare il braccio del momento che la forza da esercitare



Coppia di forze



Momento torcente o momento di una forza

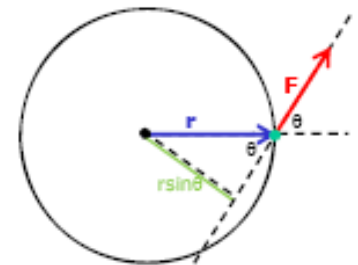
La capacità di una forza di causare una rotazione cresce con la distanza tra l'asse di rotazione e con la forza.

Il momento torcente tiene conto di questi due fattori

$$\mathbf{M} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}$$

$$M = F \sin \theta \cdot r$$

$$M = F \cdot r \sin \theta$$



Per convenzione, se un momento torcente agisce da solo, allora

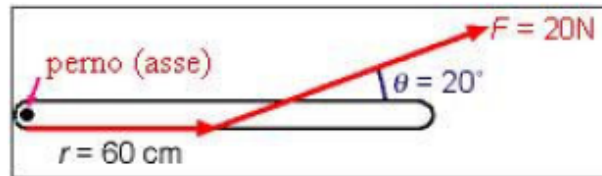
$M > 0$ se il momento torcente causa un'accelerazione angolare antioraria

$M < 0$ se il momento torcente causa un'accelerazione angolare oraria

Es. dalla forza al momento

Esempio 1

Supponete di spingere una porta con una forza di 20 newton nella direzione mostrata dalla figura. Qual è il modulo del momento M ?



$$\theta = 20^\circ \quad r = 60\text{ cm} = 0.6\text{ m} \quad F = 20\text{ newton}$$
$$M = r F \sin(\theta) = 0.6 \times 20 \times \sin(20^\circ) = 4.1\text{ newton metro}$$

Esempio 2

Nel precedente esempio, cosa accade se $\theta = 90^\circ$? E' più facile o più difficile aprire la porta?

$$M = r F \sin(\theta) \rightarrow M = 12\text{ newton metro}$$

La porta si apre più facilmente! Infatti 12 newton metro è maggiore del precedente 4.1 newton metro, cioè con la stessa forza ma con un angolo diverso sviluppo un momento maggiore.

Esempio 3

Nell'esempio 1 (con $\theta = 20^\circ$), cosa accade se $r = 10\text{ cm}$? E' più facile o più difficile aprire la porta?

$$M = r F \sin(\theta) \rightarrow M = 0.68\text{ newton metro}$$

La porta si apre più difficilmente!

Es. dal momento alla forza

Esempio 1

Per aprire la porta si applica una forza tangenziale F a una distanza r dall'asse di rotazione. Se il minimo momento torcente necessario ad aprire la porta è $3,1 \text{ Nm}$, quale forza dovrai applicare se r è $0,35\text{m}$ oppure $0,94\text{m}$?

$$F = \frac{M}{r} = \frac{3,1\text{Nm}}{0,35\text{m}} = 8,9\text{N}$$

$$F = \frac{M}{r} = \frac{3,1\text{Nm}}{0,94\text{m}} = 3,3\text{N}$$

Come pensavamo la forza richiesta è minore se viene applicata più lontana dai cardini

Es. momento in funzione dell'angolo

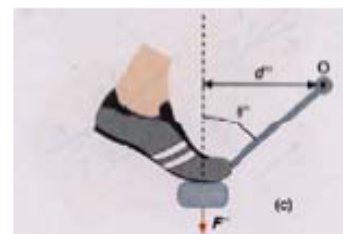
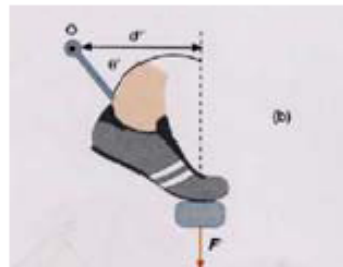
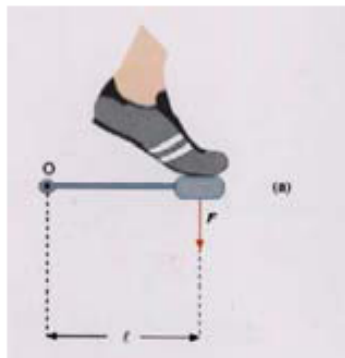
Esempio 2

Consideriamo la forza applicata al pedale da una persona in bicicletta, la pedivella all'estremità della quale è disposto il pedale, ruota intorno al punto O. Se consideriamo $l=30\text{cm}$ e nelle tre situazioni in figura: $F = 200\text{N}$, $F' = 120\text{N}$, $F'' = 50\text{N}$ e $\theta' = 40^\circ$, $\theta'' = 60^\circ$, si ottengono i seguenti valori del momento:

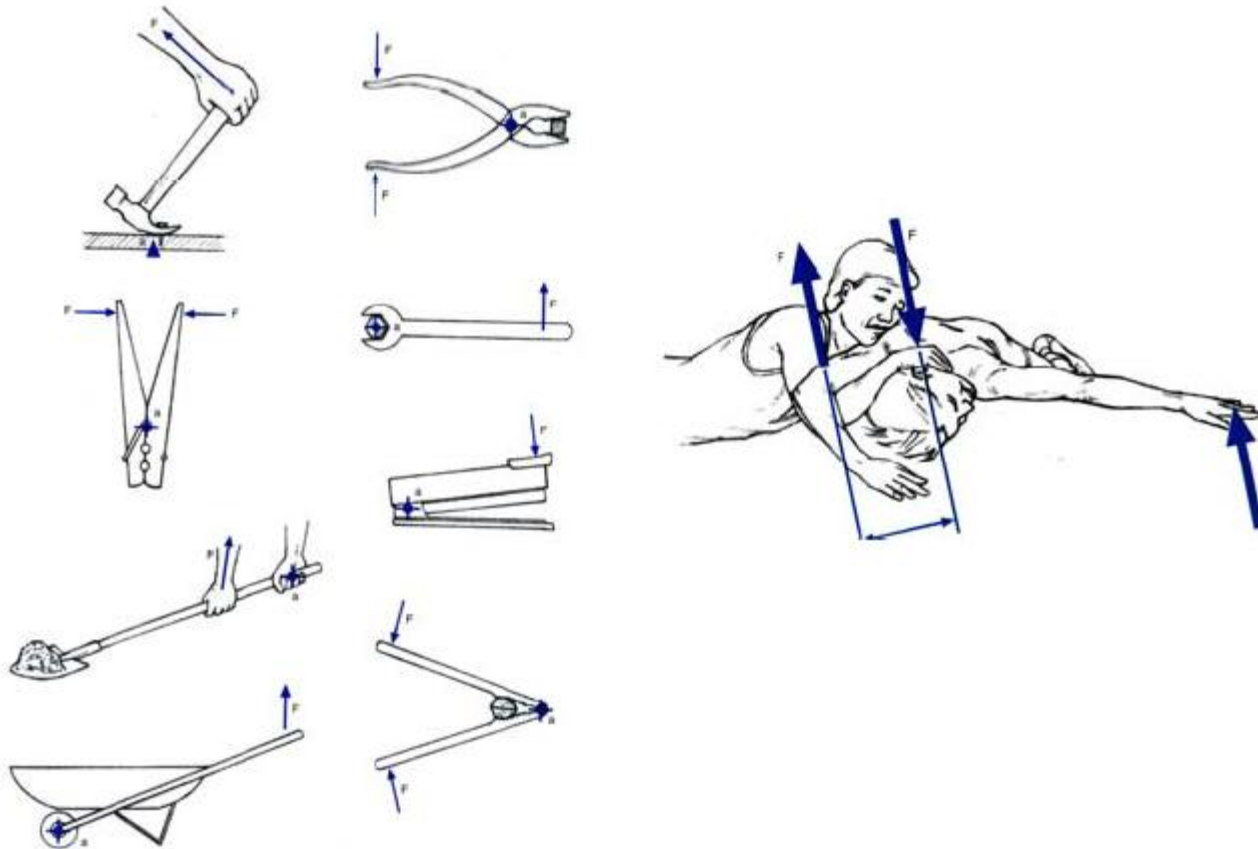
$$M = F \cdot l = 200\text{N} \cdot 0.3\text{m} = 60\text{Nm}$$

$$M' = F' \cdot l \cdot \sin \theta' = 120\text{N} \cdot 0.3\text{m} \sin 40^\circ = 23\text{Nm}$$

$$M'' = F'' \cdot l \cdot \sin \theta'' = 50\text{N} \cdot 0.3\text{m} \sin 60^\circ = 13\text{Nm}$$



Uso dei momenti torcenti



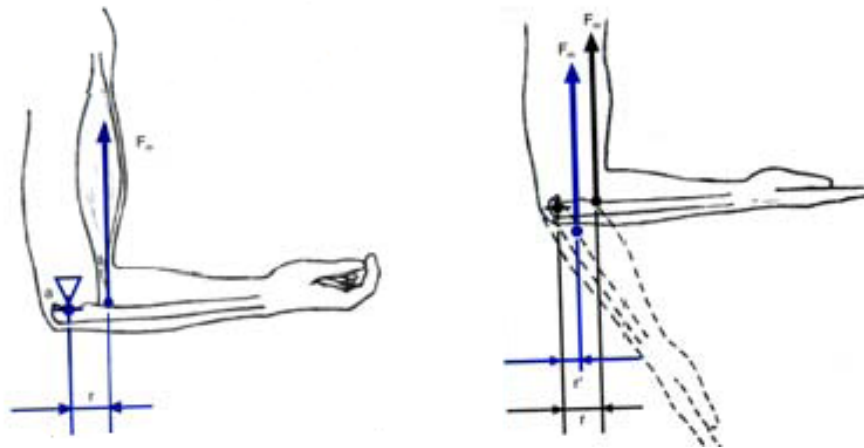
Momento muscolare

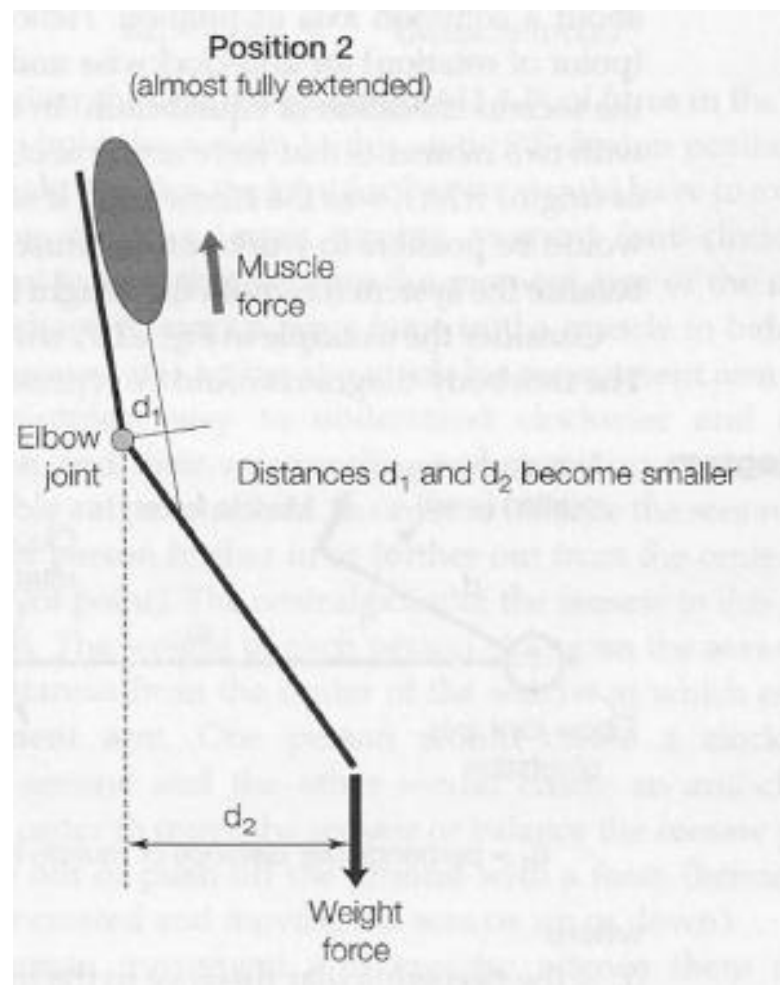
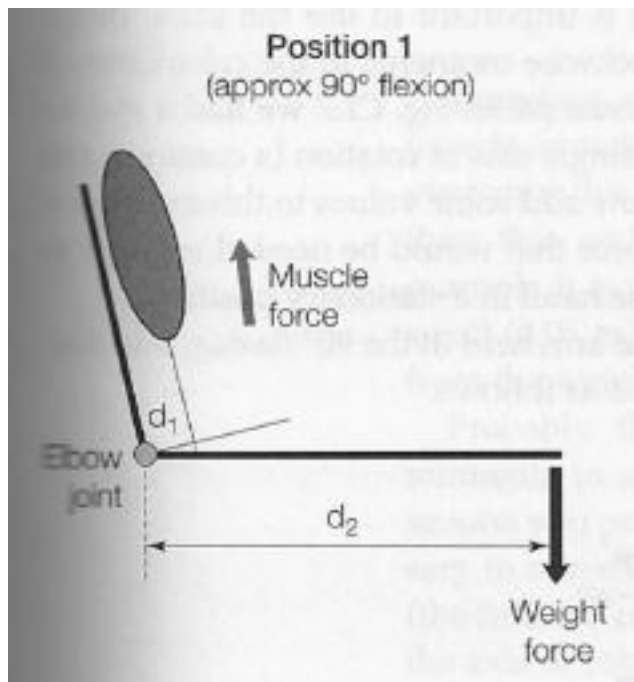
Abbiamo visto esempi di forze esterne che agiscono sul corpo o su di un oggetto. Per quanto riguarda l'interno del corpo, quale è la **causa della rotazione dei nostri arti?**

I muscoli esercitano una forza. La linea di azione di una forza muscolare è lungo la linea congiungente i punti di inserzione. La linea di azione è lontana dal centro articolare, quindi generano un **momento torcente**.

Esempio del bicipite

Il momento cambia a seconda dell'angolo di flessione





Forze e momenti in equilibrio

Una **forza netta nulla** garantisce che non ci sia cambiamento sul **movimento lineare** di un oggetto, ma non mette vincoli sul movimento angolare di un oggetto. Il **momento torcente nullo** che agisce su di un oggetto deve essere nullo per garantire che non ci siano **movimenti angolari**

$$\sum F = 0 \quad \text{Forze esterne nette}$$

$$\sum M = 0 \quad \text{Momento netto}$$

Un oggetto è in equilibrio statico se la somma delle forze esterne è uguale a zero e la somma dei momenti torcenti esterni (rispetto ad un asse) è uguale a zero

*.....datemi un punto di appoggio e
vi solleverò il mondo.....*



Archimede III sec

Leve

Tra le macchine semplici, in biomeccanica assumono fondamentale importanza le leve. Esse costituiscono il complesso delle catene cinematiche su cui si fonda la possibilità di movimento dell'uomo. Le forze dovute alla contrazione muscolare, infatti, vengono trasmesse alle diverse parti dei segmenti ossei attraverso un sistema di leve che ne modifica l'intensità e la direzione.

- Le leve del corpo umano risultano il più delle volte particolarmente svantaggiose (V molto minore di uno), in quanto i muscoli scheletrici, inserendosi in prossimità dell'articolazione, hanno un braccio di leva molto corto. Ciò comporta una notevole amplificazione degli sforzi muscolari rispetto alle resistenze da vincere (peso proprio, carichi esterni, inerzie, attriti, ecc) a fronte, però, di una maggiore ampiezza e velocità di movimento: minimi cambiamenti della lunghezza muscolare determinano, infatti, escursioni significative all'estremità della leva ossea.

- In definitiva, il risultato dell'azione muscolare sulle catene articolari si traduce nel mantenimento di una posizione di equilibrio (compensando tempestivamente le numerose possibili azioni destabilizzanti), ovvero, nella realizzazione di un movimento che può caratterizzarsi non soltanto per l'entità della forza dinamica che esprime, ma anche per il valore estetico o per la perfezione stilistica del gesto.

LEVA

Una leva è una macchina semplice che trasforma il movimento composta da **due bracci solidali fra loro incernierati per un'estremità a un fulcro**.

I bracci di una leva sono indicati con i termini di **braccio-potenza (P)** e **braccio-resistenza (R)**; il primo è il braccio al quale bisogna applicare una forza per equilibrare la forza resistiva applicata al braccio della resistenza.



Condizione di equilibrio: la **somma dei momenti** delle forze ad essa applicate deve essere uguale a **zero**. Poiché nella leva l'asse di rotazione è fisso e sono applicate solo due forze, è sufficiente uguagliare i moduli dei momenti:

$$F_P b_P = F_R b_R$$

leva

In base al rapporto tra forza resistiva e forza applicata le leve si distinguono in:

vantaggiose se la **forza applicata** richiesta è **minore** della **forza resistiva** ($b_p > b_r$);

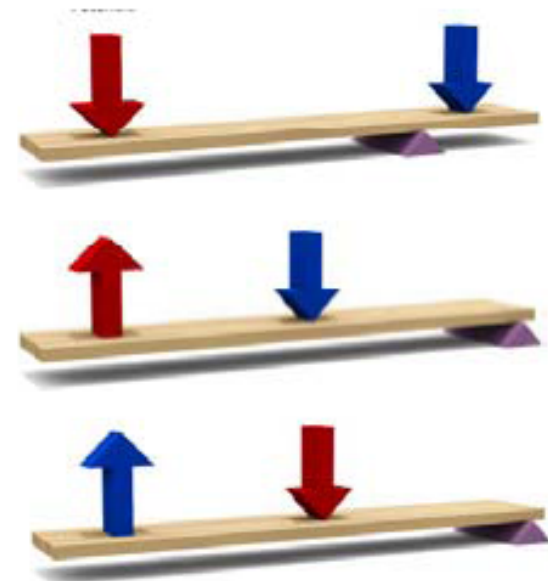
svantaggiose se la **forza applicata** richiesta è **maggiore** della **forza resistiva** ($b_p < b_r$);

indifferenti se la **forza applicata** richiesta è **uguale** alla **forza resistiva** ($b_p = b_r$);

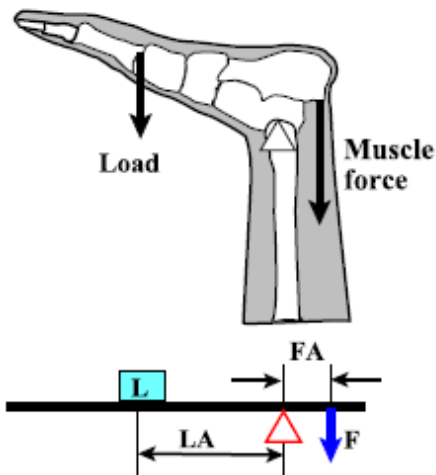
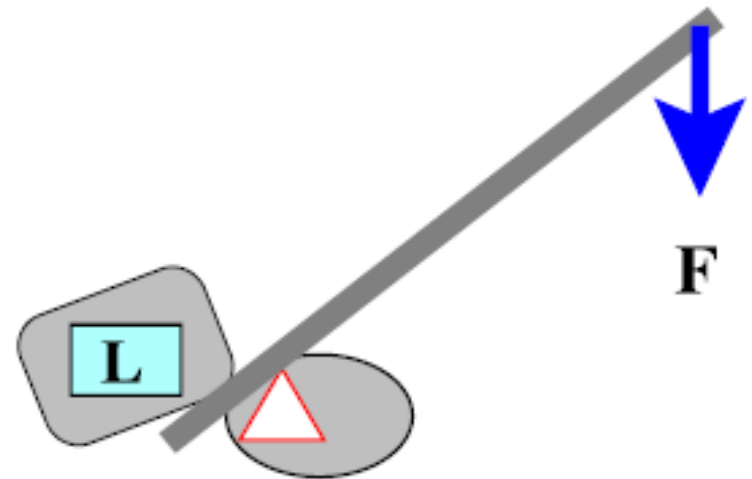
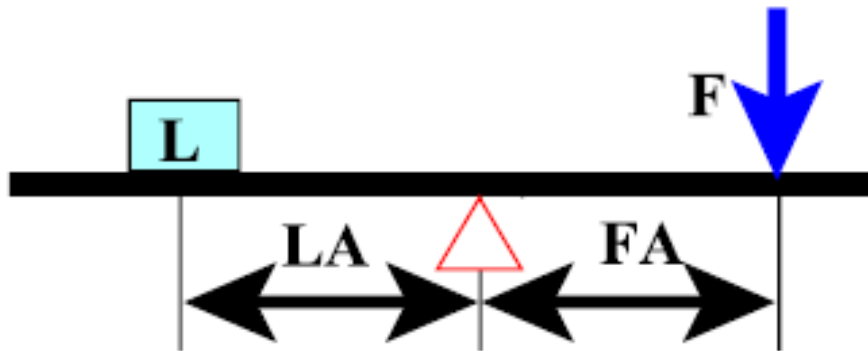
leve di primo genere: il **fulcro** si trova tra le due forze (possono essere *vantaggiose*, *svantaggiose* o *indifferenti*)

leve di secondo genere: la **forza resistiva** si trova tra **fulcro** e **forza applicata** (o potenza) (sono sempre *vantaggiose*)

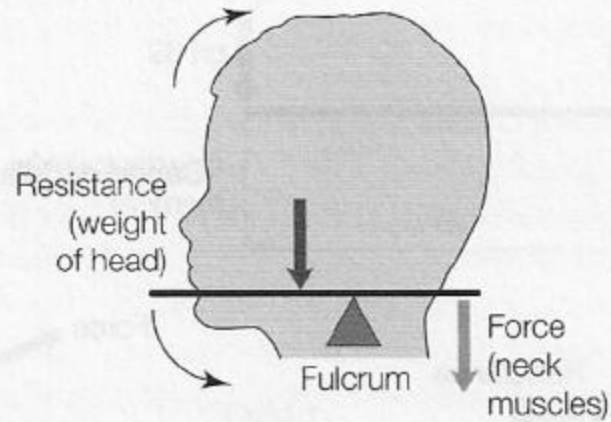
leve di terzo genere: la **forza applicata** (potenza) si trova tra **fulcro** e **forza resistiva** (sono sempre *svantaggiose*)



Leva di primo genere



Head movement



Throwing a ball

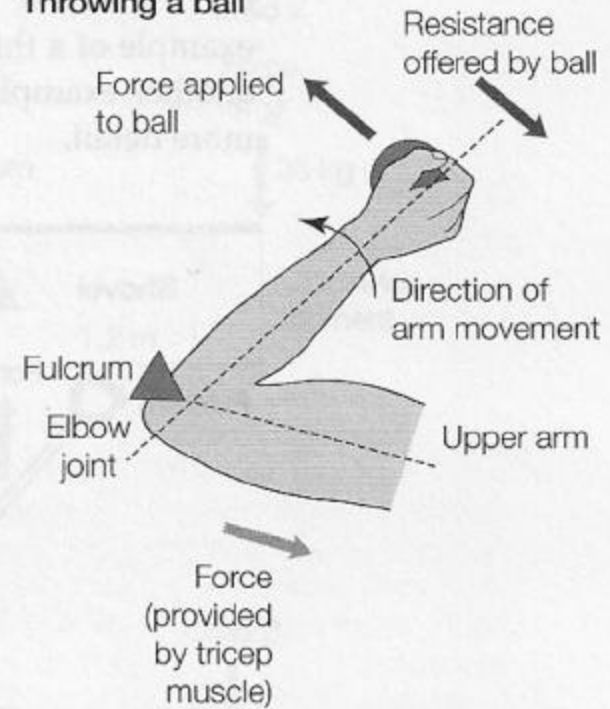
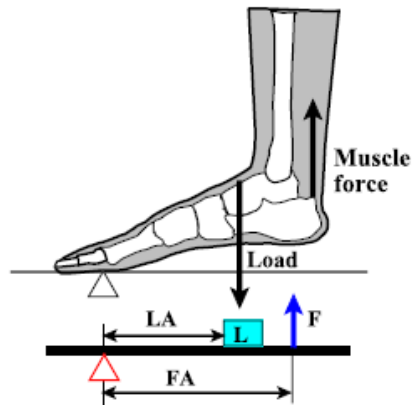
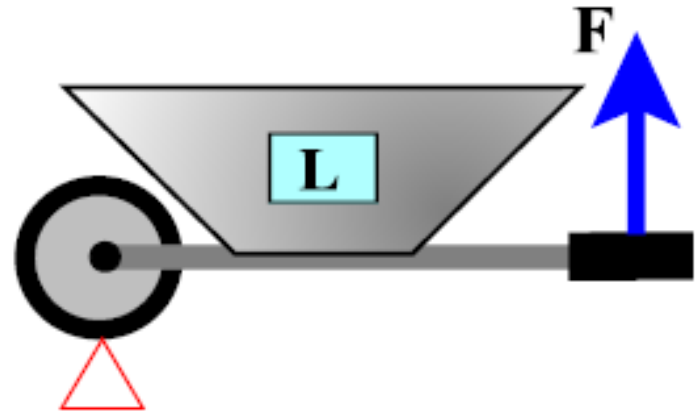
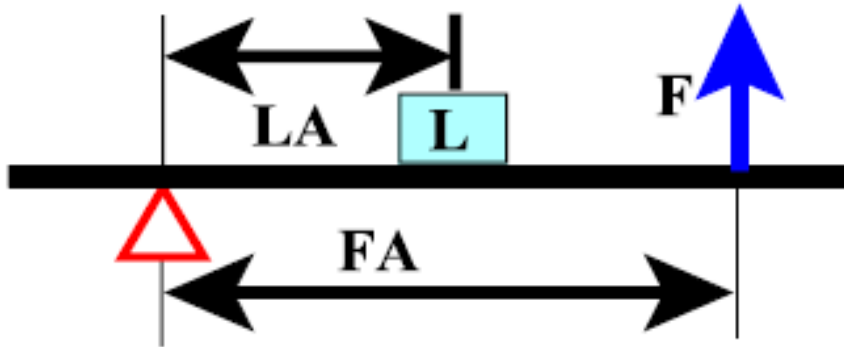
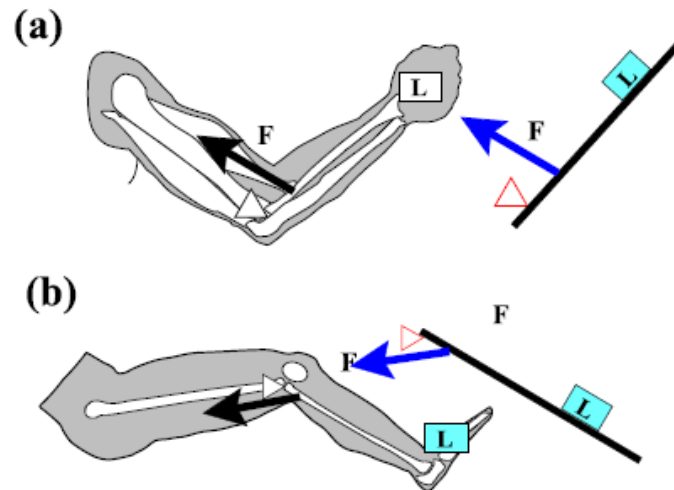
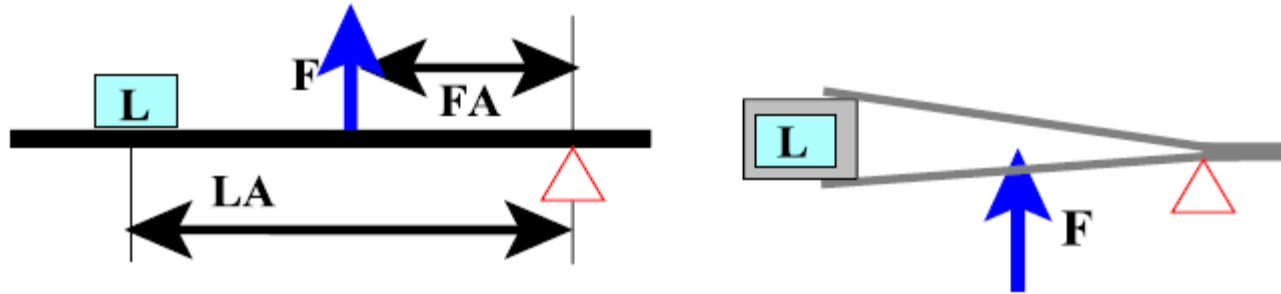


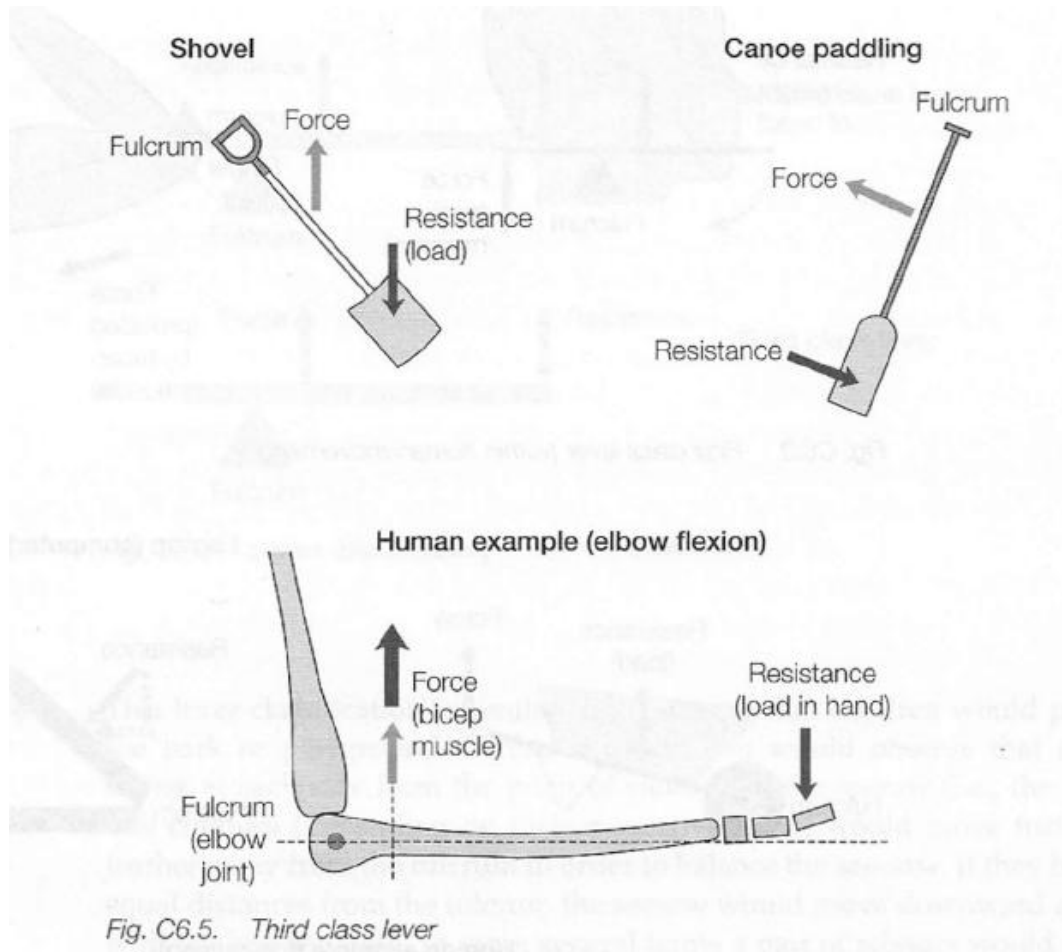
Fig. C6.3. First class lever (within human movement)

Leva di secondo genere



Leva di terzo genere





- Tutto l'apparato locomotore è basato su un sistema di leve.
- Questa situazione determina che, tutte le volte che c'è movimento, si produce una leva che può essere di primo, di secondo o di terzo tipo.

Il **fulcro** della leva è dato dall'asse di rotazione (di solito l'articolazione, ma può anche essere un punto di appoggio o di presa);

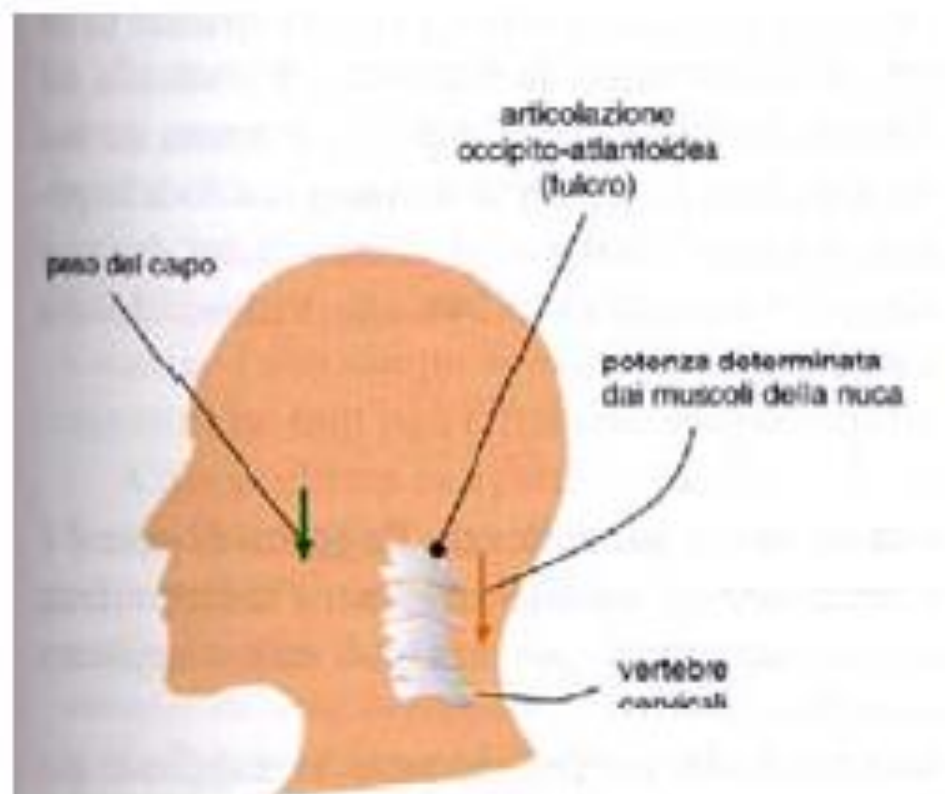
la **potenza** è data dal punto in cui viene applicata la forza (di solito l'origine o l'inserzione muscolare);

la **resistenza** è data dal punto in cui viene generata la resistenza stessa (un peso, lo spostamento di un segmento corporeo, la gravità, ecc.).

- Nel nostro corpo tutte le articolazioni, ossia le regioni di "snodo" tra le parti fisse, realizzano delle leve: quando sono in condizioni di equilibrio consentono il blocco dell'articolazione, in caso contrario ne consentono il movimento.
- I muscoli scheletrici (che rappresentano l'elemento attivo del movimento), inserendosi sulle ossa (che rappresentano l'elemento passivo del movimento), per mezzo della contrazione muscolare determinano il movimento. Questo è possibile grazie anche alle articolazioni che rappresentano l'elemento di congiunzione e perno delle ossa.

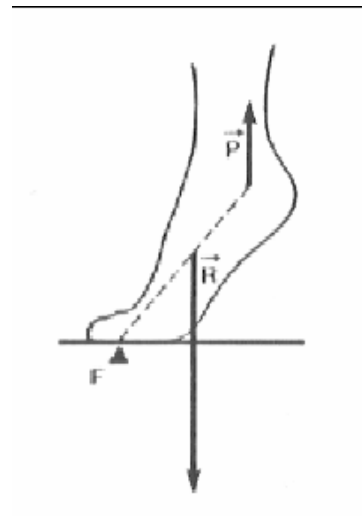
Leva di I genere

- Il caso dell'articolazione di appoggio della testa è un esempio di leva del primo tipo. Per bilanciare il **peso del capo**, applicato nel suo baricentro, ed evitare che la testa ciondoli in avanti, viene esercitata una **POTENZA** da parte dei muscoli nuchali, che si trovano dall'altro lato rispetto al **fulcro**.
- L'intensità della forza realizzata dal muscolo sarà tale da produrre un momento esattamente uguale a quello prodotto dalla **resistenza**.
- Si noti anche che l'insieme delle due forze tenderebbe a causare un abbassamento del sistema: il fulcro realizza anche una reazione vincolare che si oppone alla traslazione: per questo dopo un certo tempo l'articolazione è affaticata!



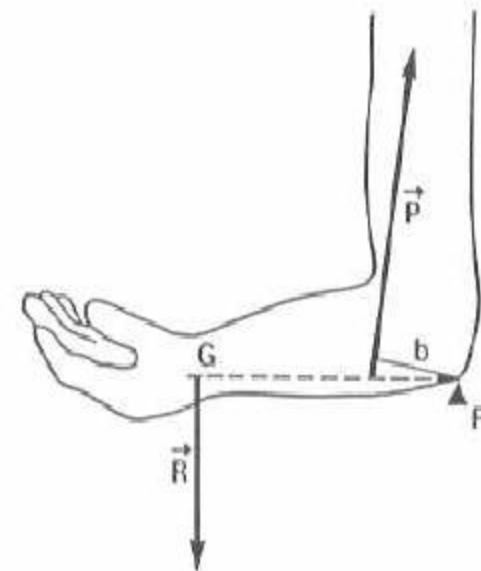
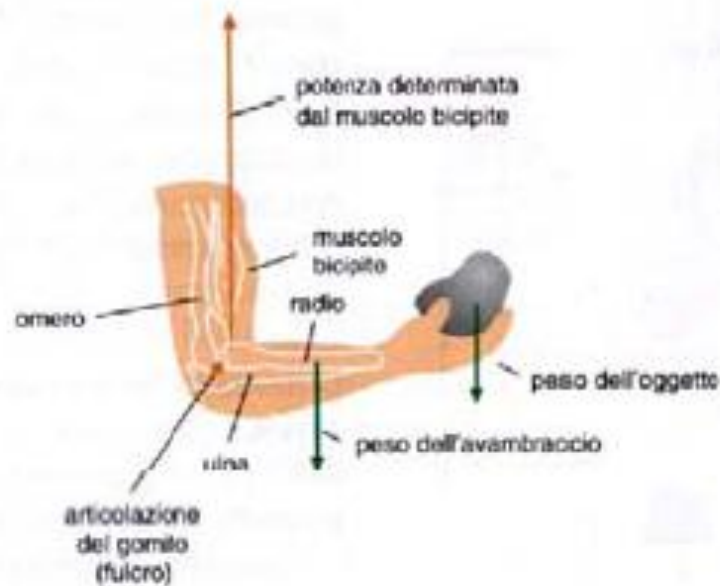
Leva di II genere

- Un esempio di leva del II genere è costituita dal piede: qui resistenza (peso) e potenza (muscolo) si trovano dalla medesima parte rispetto al fulcro, e la potenza ne è più lontana (maggior braccio).

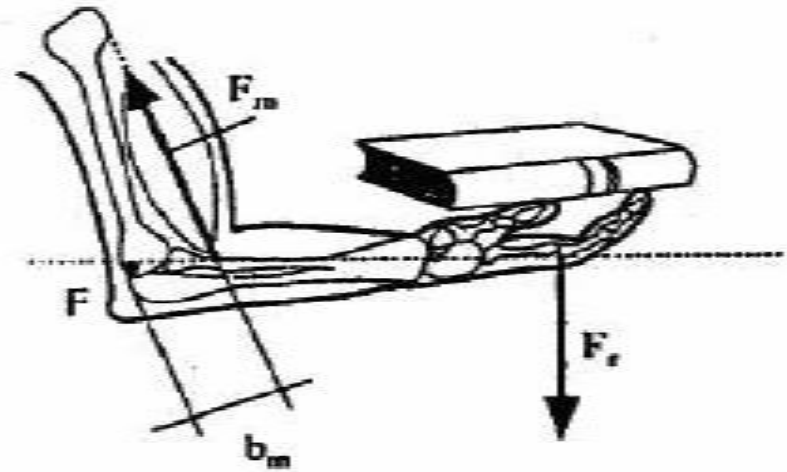
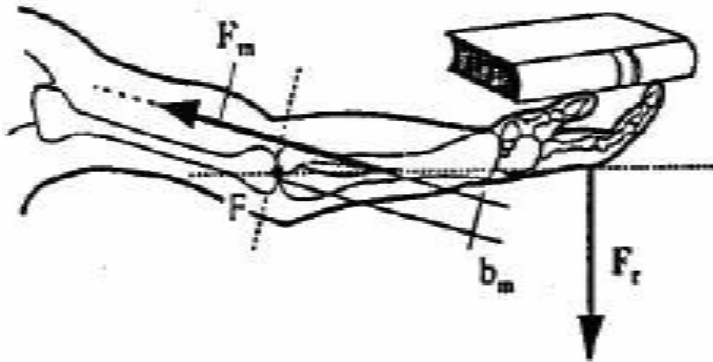


Leva di III genere

- Un esempio di leva di III genere è costituita dall'avambraccio, dove la potenza (tensione muscolare del bicipite) è molto vicina al fulcro (gomito), mentre la resistenza (peso del braccio, più eventuale peso sostenuto dalla mano) è più distale.

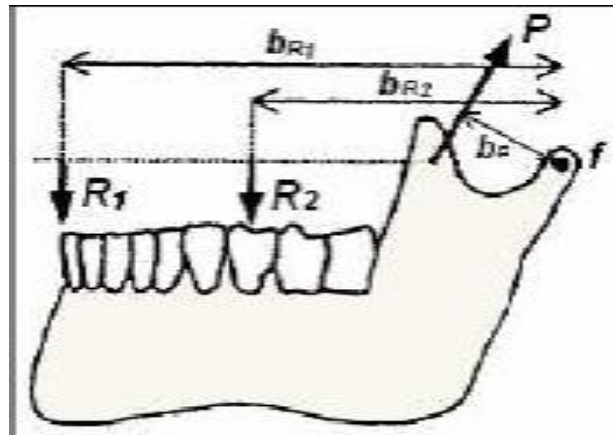


- L'articolazione del gomito col braccio disteso è più svantaggiosa dell'articolazione del gomito col braccio raccolto vicino al tronco poiché in questo caso si può aumentare il braccio della potenza (b_m) e diminuire quello della resistenza.



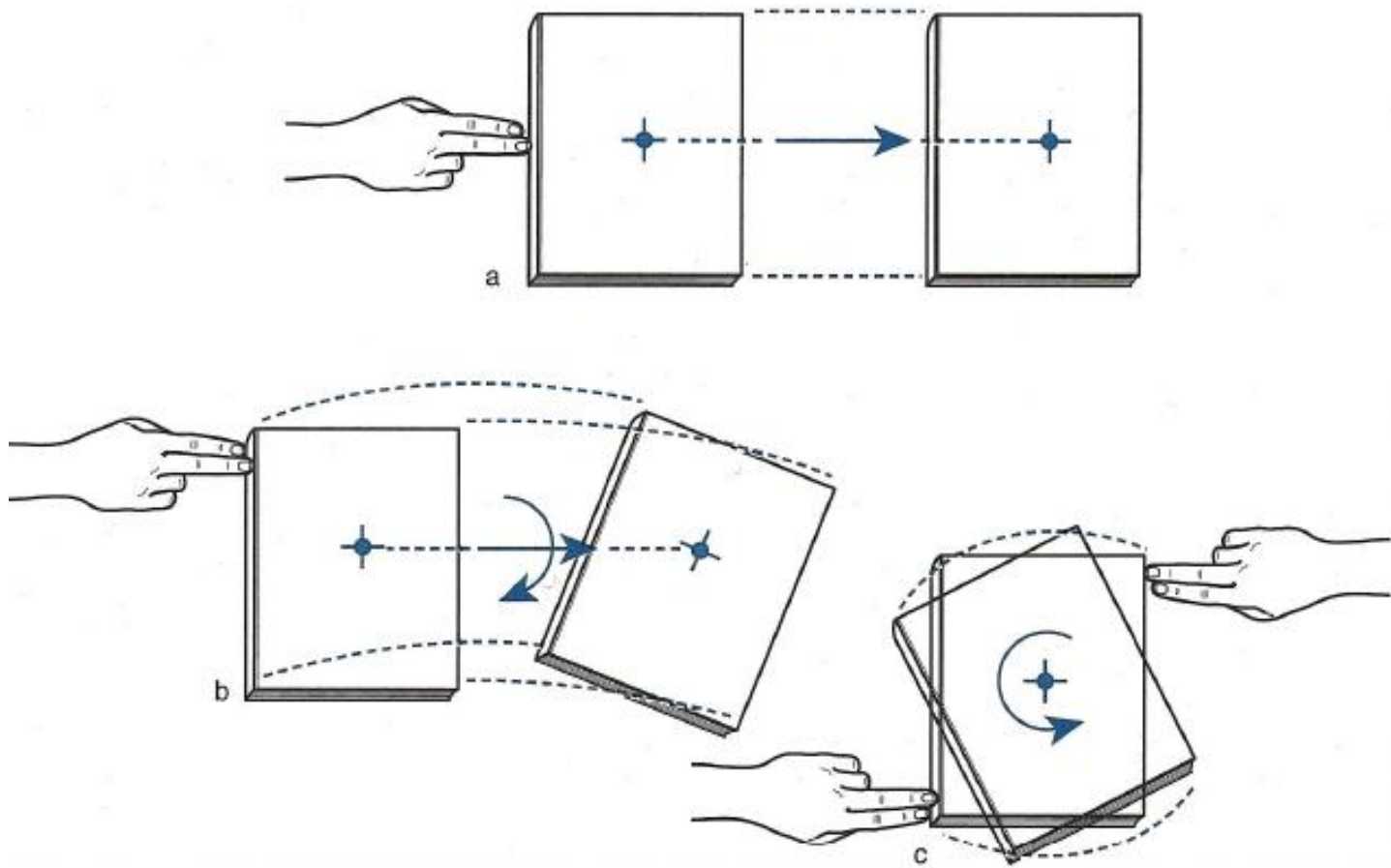
Mandibola

- Un altro esempio di leva inter-potente è rappresentato dalla mandibola



- A parità di potenza e di braccio b_P , il vantaggio di questa leva è maggiore in corrispondenza dei denti posteriori rispetto a quelli anteriori, essendo $R_1 < R_2$, cioè la forza esercitata in corrispondenza dei molari è maggiore rispetto a quella esercitata dagli incisivi e dai canini.

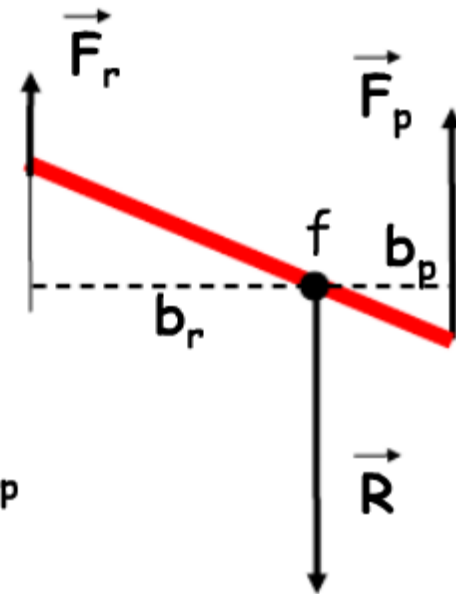
Effetti della forza



Leva

La **leva** è una macchina semplice caratterizzata all'equilibrio da un risultante nullo per i momenti delle forze applicate rispetto ad un asse di rotazione passante per un punto fisso detto fulcro:

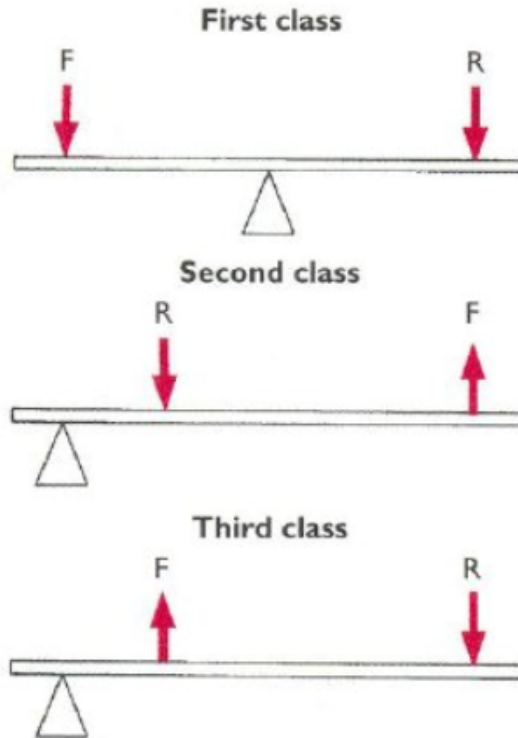
- ✓ forza attiva (F_p , **potenza**)
- ✓ forza passiva (F_r , **resistenza**)
- ✓ fulcro (f)



Per l'equilibrio rotazionale: $F_r b_r = F_p b_p$

Per l'equilibrio traslazionale: $F_r + F_p = R$

Classificazione delle leve

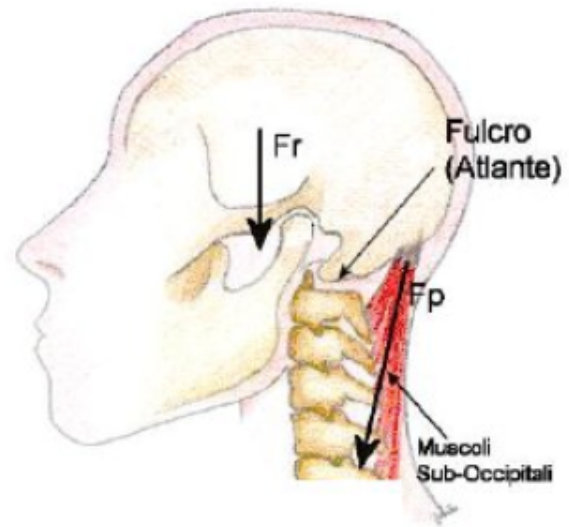


Leve di 1°, 2°, e 3° genere.

Le leve possono essere
vantaggiose o svantaggiose.

Es di leva di I genere

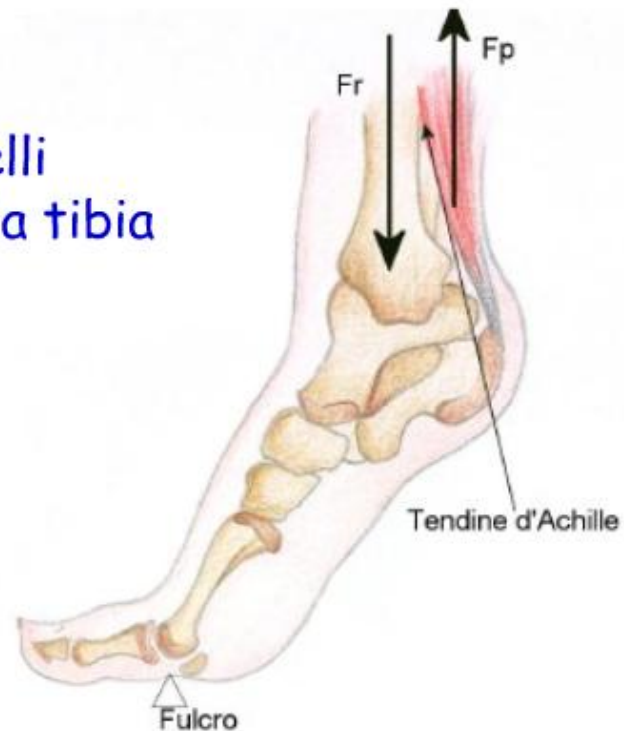
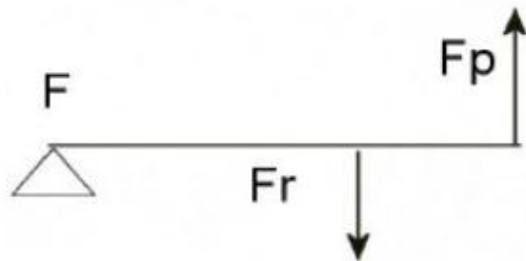
- Forza di potenza: sistema dei muscoli splenici e sub-occipitali
- Forza di resistenza: peso del cranio
- Fulcro: atlante



All'equilibrio, il braccio della resistenza è circa 3-4 volte **più grande** di quello della forza attiva esercitata dai muscoli per mantenere il capo in stazione eretta. La leva è dunque **svantaggiosa**.

Leva di II genere

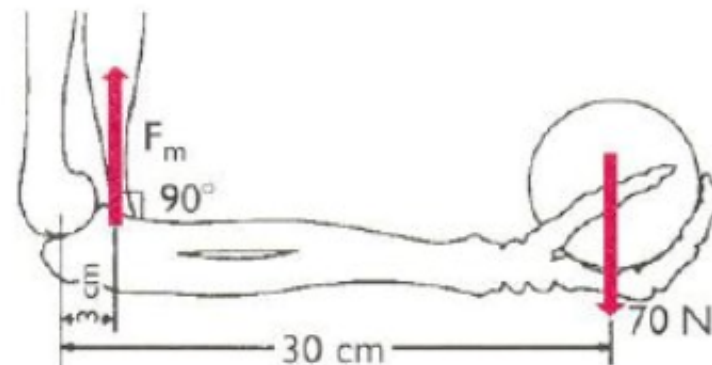
- Forza di potenza: muscoli gemelli
- Forza di resistenza: spinta della tibia sul tarso
- Fulcro: metatarso



All'equilibrio, il braccio della forza di potenza è **maggiore** di quello della forza di resistenza: tale leva è **vantaggiosa**

Esempio di leva del terzo genere nel corpo umano

- Forza di potenza: forza espressa dal bicipite
- Forza di resistenza: peso dell'avambraccio e mano, più eventuale carico
- Fulcro: articolazione del gomito



All'equilibrio, il braccio della forza di potenza è **minore** di quello della forza di resistenza: la leva è **svantaggiosa**

Es. bambino sull'altalena

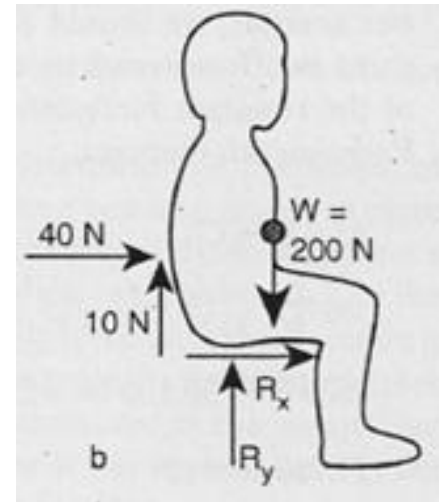


Es. bambino sull'altalena (1)

Un bambino di 20 kg è seduto sull'altalena e sua madre sta esercitando una forza orizzontale verso destra di 40 N e verticale in alto di 10 N. Il bambino non si muove ed è in uno stato di equilibrio statico. Quale forza sta esercitando l'altalena sul bimbo?

Soluzione

1° passo: diagramma di corpo libero del bambino rappresentando tutte le forze che agiscono su di lui.



Es. bambino sull'altalena (2)

2° passo: Calcolo del peso o forza di gravità del bambino:

$$W = mg = (20\text{kg}) (-10\text{m/s}^2) = -200\text{N}$$

3° passo: $\Sigma F = 0 \rightarrow$

- $\Sigma F_x = 0$ componente orizzontale delle forze esterne
- $\Sigma F_y = 0$ componente verticale delle forze esterne

Es. bambino sull'altalena (3)

- $\Sigma F_x = R_x + 40 \text{ N} = 0$ $\Sigma F_y = R_y + 10 \text{ N} + (-200 \text{ N}) = 0$
- $R_x = -40 \text{ N}$ $R_y = +190 \text{ N}$

N.B. Il segno negativo della componente orizzontale indica che la forza è diretta a sinistra; il segno positivo nella componente verticale indica che la forza è diretta verso l'alto

4° passo: determinare R e la sua direzione

- Il modulo di R = $\sqrt{R_x^2 + R_y^2}$ (teorema di Pitagora)
 $R = \sqrt{(-40 \text{ N})^2 + (190 \text{ N})^2} = 194 \text{ N}$
- Direzione di R = $\tan \theta = 190 \text{ N} / -40 \text{ N} = -4,75$
 $\theta = \arctan(-4,75) = -78^\circ$
- La forza risultante esercitata dall'altalena sul bimbo è diretta indietro e in alto con un angolo di 102° sull'orizzonte.

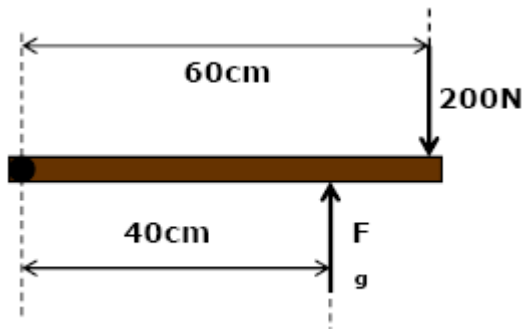
Sintesi

- 1°) disegnare il diagramma del corpo libero con tutte le forze esterne che agiscono nel sistema (NON DIMENTICARE IL PESO)
- 2°) se le forze sono collineari allora occorre una sola equazione d'equilibrio altrimenti scrivere le equazioni per la componente orizzontale e quella verticale (attenzione ai segni delle forze)
- 3°) risolvere le equazioni usando l'algebra
- 4°) usare il Th di Pitagora per determinare il modulo della R
- 5°) usare la funzione arctan per determinare la direzione della forza R (l'angolo che fa con l'orizzonte)

Es.

Luca sta spingendo su di una porta con una forza orizzontale di 200N. Il braccio del momento della forza rispetto alla cerniera è di 60 cm. Giovanni sta spingendo nella direzione opposta dall'altra parte della porta. Il braccio del momento è di 40 cm. Determinare l'entità della forza di Giovanni se la porta è in equilibrio statico.

Calcoliamo i momenti torcenti rispetto alla cerniera



$$\sum M = -F_L r_L + F_G r_G = 0$$

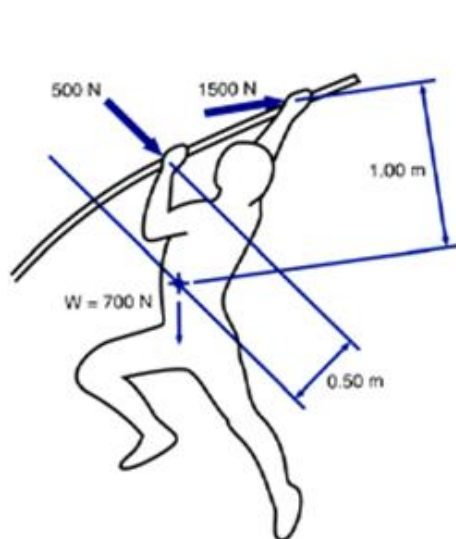
$$\sum M = -(200N)(60cm) + F_G(40cm) = 0$$

$$F_G = (200N)(60cm) / (40cm) = 300N$$

Osservazione: la forza di Giovanni è nel verso opposto a quello di Luca, la forza è giustamente maggiore perché il braccio della forza è minore.

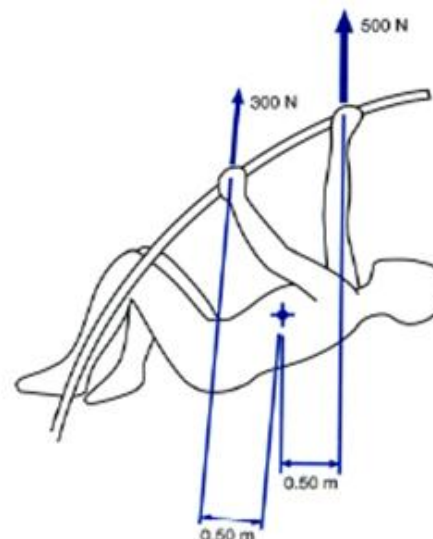
Es: salto con l'asta

Calcolare il momento netto che agisce sull'atleta rispetto al suo centro di gravità nei due istanti



$$\begin{aligned}\Sigma \mathbf{M} &= \Sigma (\mathbf{r} \times \mathbf{F}) = \\ &= -(500\text{N})(0,50\text{m}) - (1500\text{N})(1,00\text{m}) = \\ &= -250\text{Nm} - 1500\text{Nm} = -1750\text{Nm}\end{aligned}$$

Il momento tende a ruotare il saltatore in senso orario all'indietro

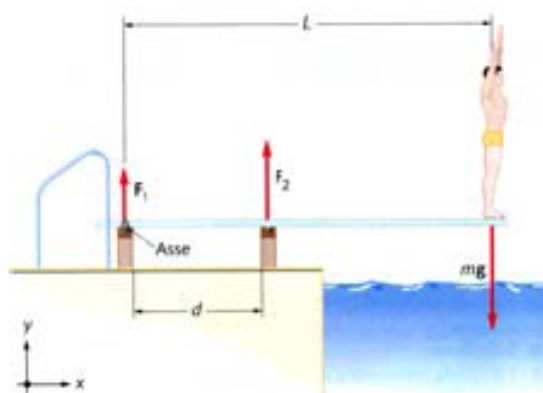


$$\begin{aligned}\Sigma \mathbf{M} &= \Sigma (\mathbf{r} \times \mathbf{F}) = \\ &= -(300\text{N})(0,50\text{m}) + (500\text{N})(0,50\text{m}) = \\ &= -150\text{Nm} + 250\text{Nm} = 100\text{Nm}\end{aligned}$$

Il momento tende a ruotare il saltatore in senso antiorario in avanti

Esempio 7 Trampolino

Un trampolino di 5,00m di massa trascurabile, è sostenuto da due piccoli pilastri. Un pilastro è all'estremo sinistro e l'altro è 1,50m più avanti. Trova le forze esercitate dai pilastri quando un tuffatore di 90Kg si trova fermo sull'estremo destro della tavola.



Uguagliamo a zero la somma delle componenti y delle forze

$$\sum F_y = F_{1y} + F_{2y} - mg = 0$$

Calcoliamo il momento torcente di ciascuna forza e uguagliamo a zero la somma dei momenti torcenti

$$M_1 = F_{1y}(0)$$

$$M_2 = F_{2y}(d)$$

$$M_3 = -mg(L)$$

$$\sum M = F_{1y}(0) + F_{2y}(d) + -mg(L)$$

Ricaviamo F_2 dall'eq dei momenti e successivamente ricaviamo F_1 dall'eq delle forze

$$F_{2y} = \frac{mg(L)}{d} = \frac{(90\text{Kg})(9,81\text{m/s}^2)(5,00\text{m})}{(1,50\text{m})} = 2940\text{N}$$

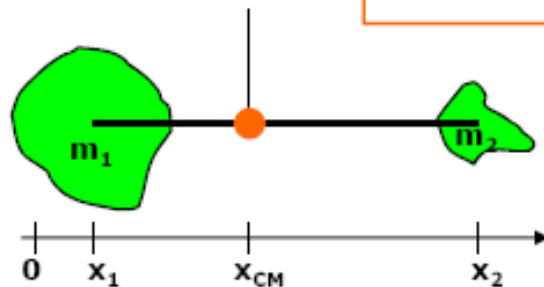
$$F_{1y} = -F_{2y} + mg = -2060\text{N}$$

Centro di massa

Il centro di massa è il **punto su cui si può considerare concentrata l'intera massa del corpo** $\Rightarrow$ il corpo è in equilibrio (è bilanciato) se viene sospeso ad un filo che passa per quel punto: **è il punto di equilibrio in un campo gravitazionale uniforme**

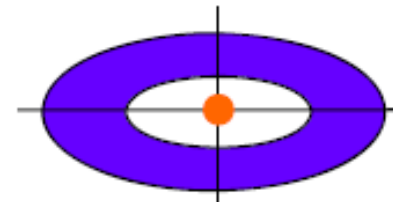
La posizione del centro di massa di un sistema di oggetti

$$X_{CM} = \frac{x_1 m_1 + x_2 m_2}{m_1 + m_2} = \frac{x_1 m_1 + x_2 m_2}{M}$$



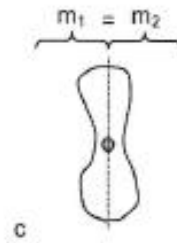
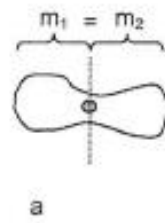
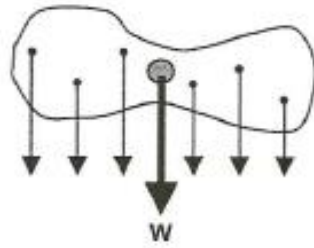
A mano a mano che una massa diventa più grande dell'altra, il centro di massa si sposta vicino alla massa maggiore

Il centro di massa può anche essere localizzato fuori dall'oggetto stesso



Il centro di massa

- E' una cosa fissa? Il vostro CM è "incollato" all'ombelico? No! La posizione del CM dipende dalla forma dell'oggetto. Se tale forma cambia, il CM si sposterà. Questo è un punto molto importante quando si parla di sport.
- **Due punti importanti riguardo il CM**
 1. Il Centro di Massa di un oggetto **NON deve per forza essere collocato all'interno dell'oggetto fisico**. Un esempio di questo può essere un anello: il CM di un anello è collocato al centro del foro circolare dentro l'anello, ma non c'è "anello" là, cioè non c'è alcun materiale in quella posizione.
 2. La posizione del CM non è fissa. Se l'oggetto cambia forma, allora il CM si sposterà.

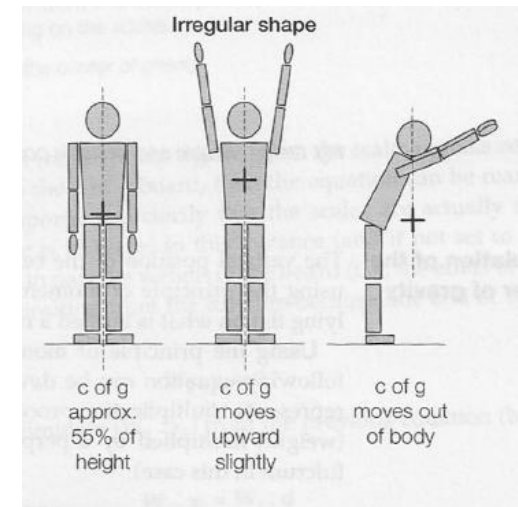
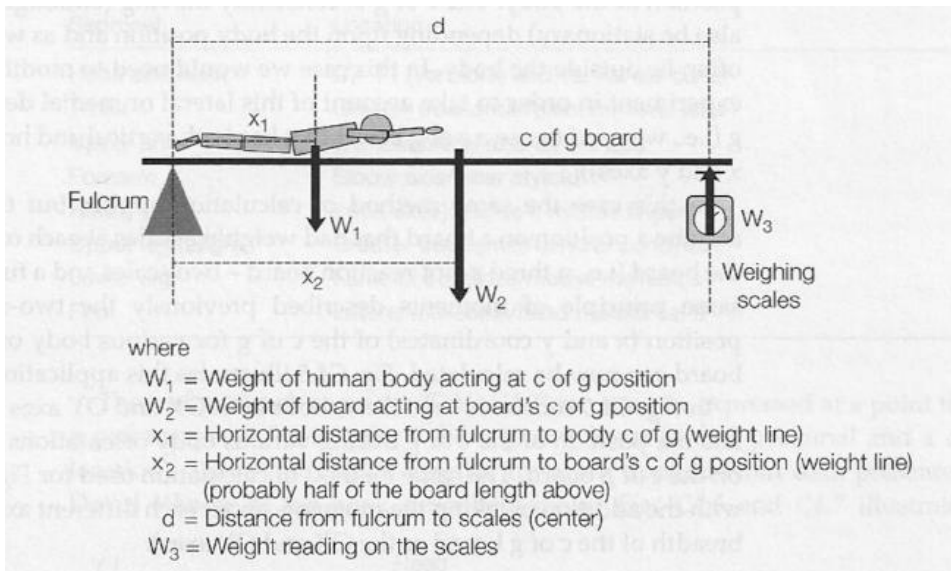
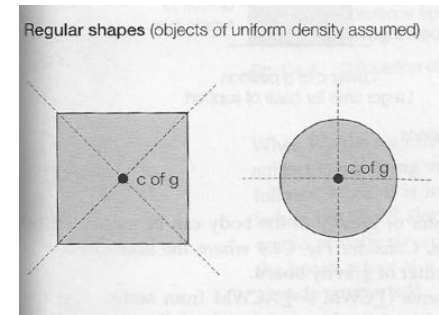


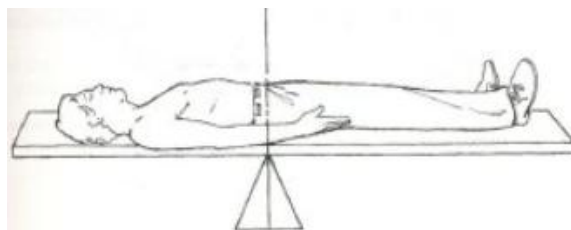
Determinazione di G

Il baricentro di oggetti aventi forme geometriche

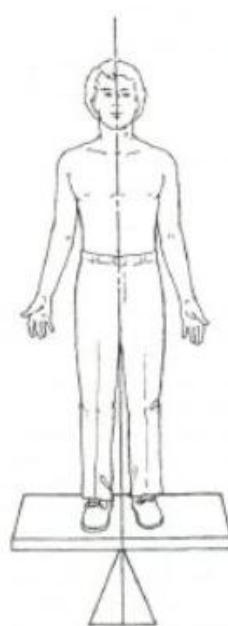
2 metodi per determinare G:

- Metodo di laboratorio
- Metodo segmentale: usa dati antropometrici e scompone matematicamente il corpo in segmenti di cui calcola il G





Top and bottom portions balanced



Right and left portions balanced



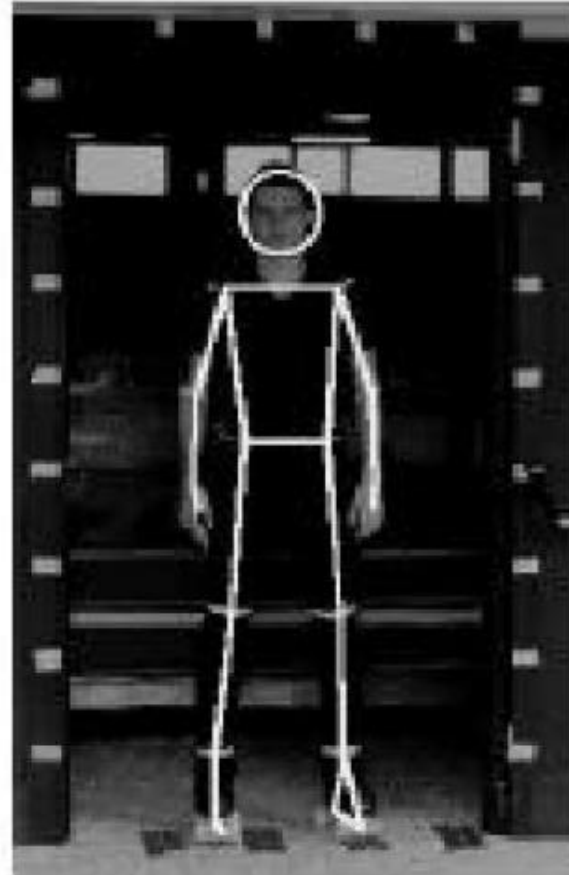
Front and back portions balanced

Posizione del *Baricentro* per il corpo umano nella posizione anatomica di riferimento.

L'ubicazione del *Baricentro* del corpo umano dipende dalla particolare posizione che si sta considerando.

Occorre conoscere le masse e le posizioni dei singoli segmenti corporei per poter identificare il baricentro dell'intero atleta.

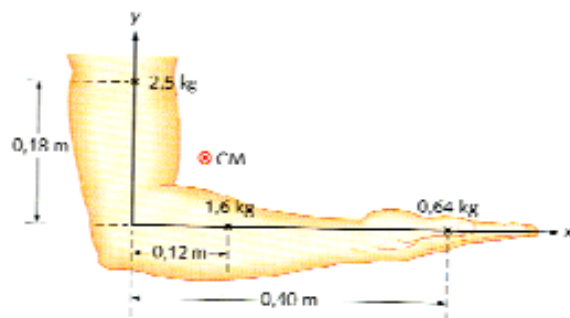
I dati disponibili in letteratura al proposito provengono o da misure di segmenti anatomici reali, oppure da calcoli di solidi geometrici adattati.



Determinazione di G con metodo segmentale

Esempio 8 centro di massa di un braccio

Il braccio di una persona è mantenuto con la parte superiore verticale e con l'avambraccio e la mano orizzontale. Trova il centro di massa del braccio in questa configurazione, conoscendo i seguenti dati: la parte superiore del braccio ha una massa di 2,5Kg e il centro di massa 18cm al di sopra del gomito; l'avambraccio ha una massa di 1,6Kg e il centro di massa 12cm a destra del gomito; la mano ha una massa di 0,64kg e il centro di massa 40cm a destra del gomito



$$X_{CM} = \frac{(2,5kg)(0) + (1,6kg)(12cm) + (0,64kg)(40cm)}{2,5kg + 1,6kg + 0,64kg} = 9,5cm$$

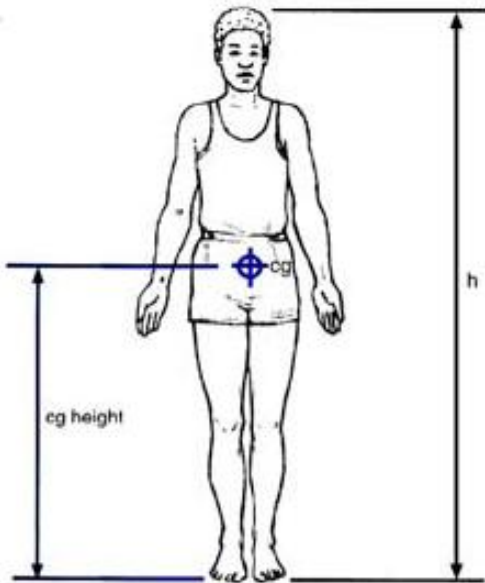
$$Y_{CM} = \frac{(2,5kg)(18cm) + (1,6kg)(0) + (0,64kg)(0)}{2,5kg + 1,6kg + 0,64kg} = 9,5cm$$

Osservazione

Come spesso succede, il centro di massa è in una posizione al di fuori dell'oggetto

Centro di massa del corpo umano

Nella posizione eretta il centro di massa è posizionato al 55-57% dell'altezza



CG nel salto in alto

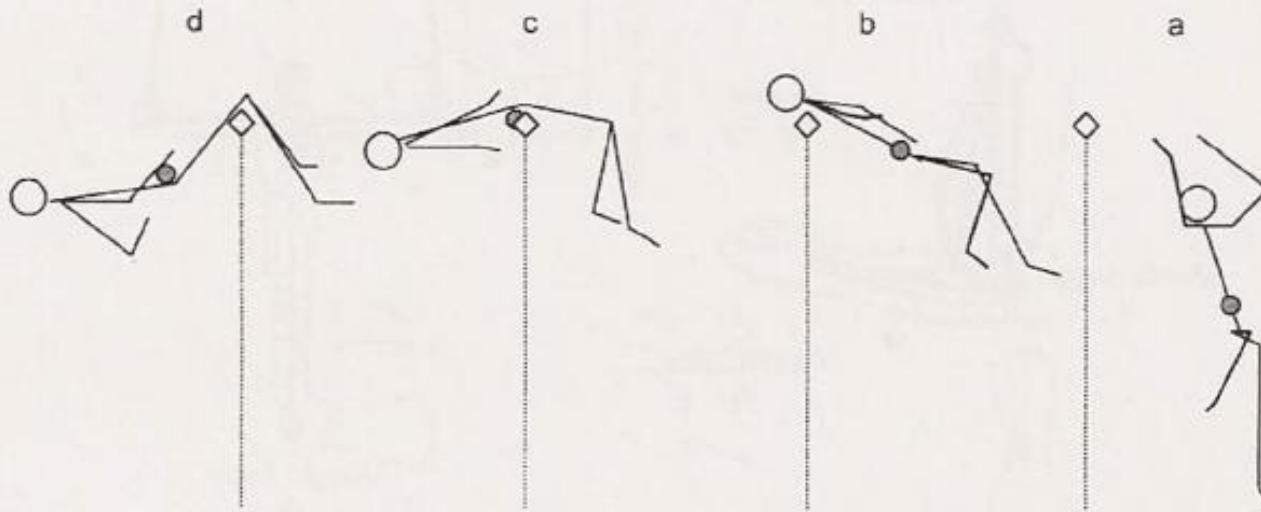
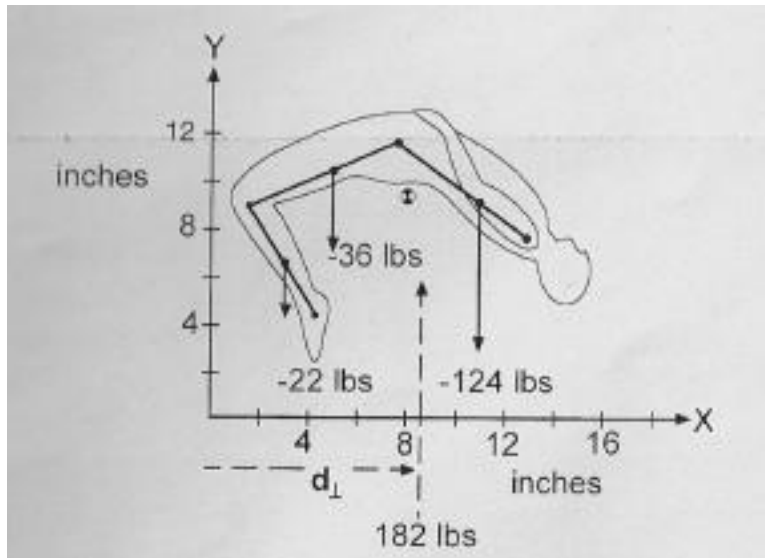


FIG. 6.5 The Fosbury flop technique. The jumper applies a large force down into the ground in order to attain a high vertical velocity at take off (a) while the centre of mass of the body is raised (notice the arms and one leg are lifted high). The arms are then moved down the body as the head is extended over the bar (b) while the centre of mass continues to rise. At the peak of trajectory (c) the centre of mass is slightly below the top of the bar, but the segment of the body crossing the bar is higher; the legs and head remain below the level of the bar. Finally, as the centre of mass falls, the legs are the last to be moved over the bar (d). By manipulating the body about its own centre of mass, a jumper can jump over a bar which is greater than the height of the centre of mass at its highest.

Determinazione del CG



Segment Centers of Gravity (X,Y)

Shank/feet (3.2,6.6)

Thighs (5.0,10.5)

Head/Arms/Trunk (11.0,9.0)

$$\Sigma T_o = 0$$

$$182 (d_1) - 22(3.2) - 36(5) - 124(11) = 0$$

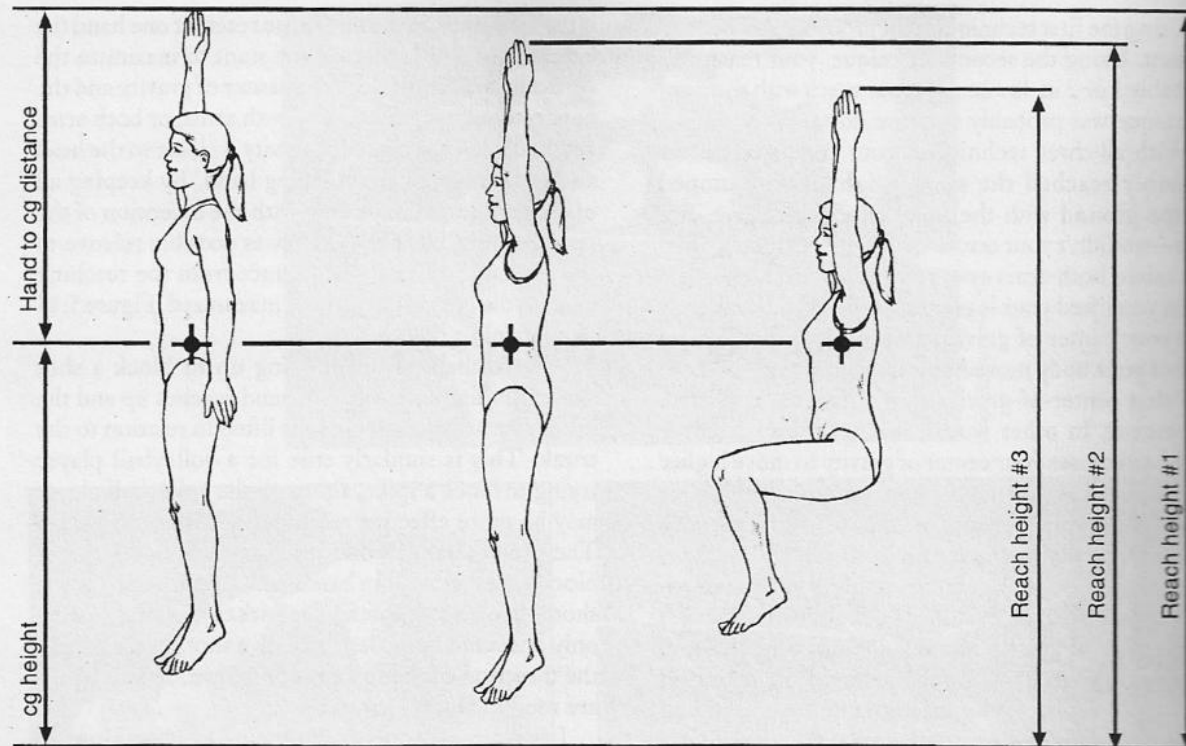
$$d_1 = 8.9 \text{ in}$$

$$\Sigma T_o = 0$$

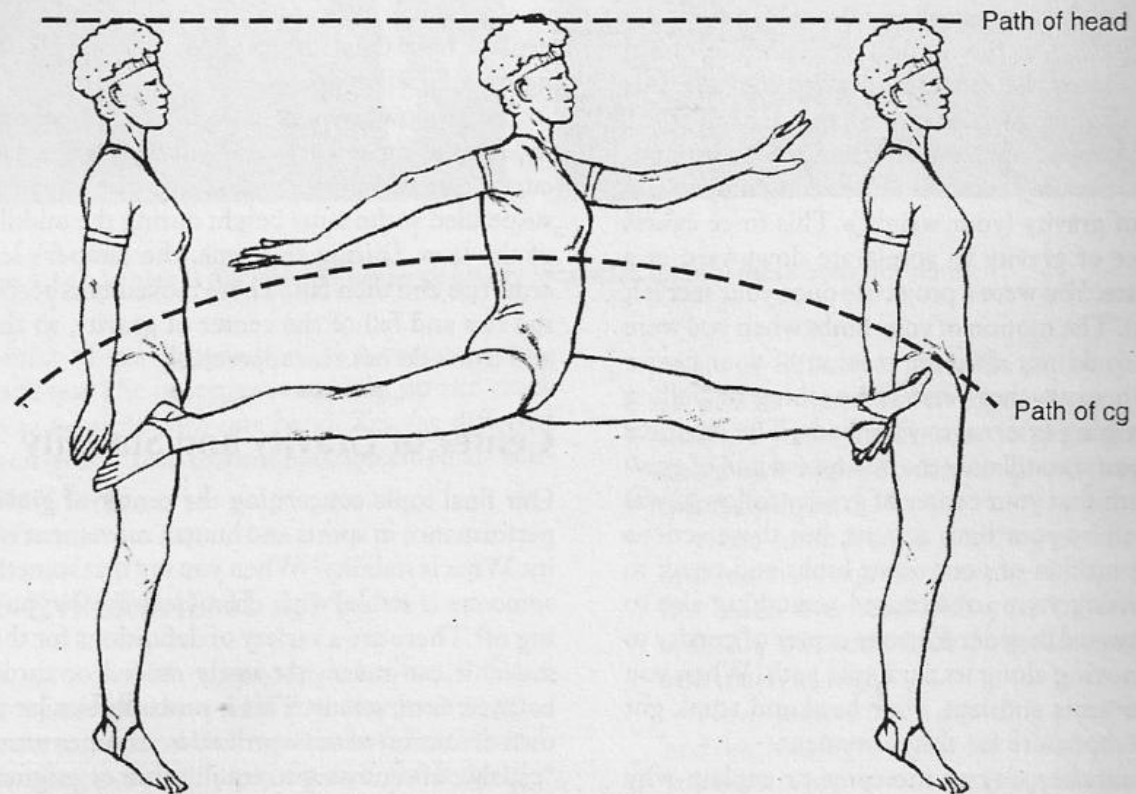
$$182 (d_1) - 22(6.6) - 36(10.5) - 124(9.0) = 0$$

$$d_1 = 9.0 \text{ in}$$

Centers of Gravity (8.9,9.0)



■ **Figure 5.15** Three different vertical jump techniques result in three different reach heights, but the height of the center of gravity (cg) above the ground may be similar.

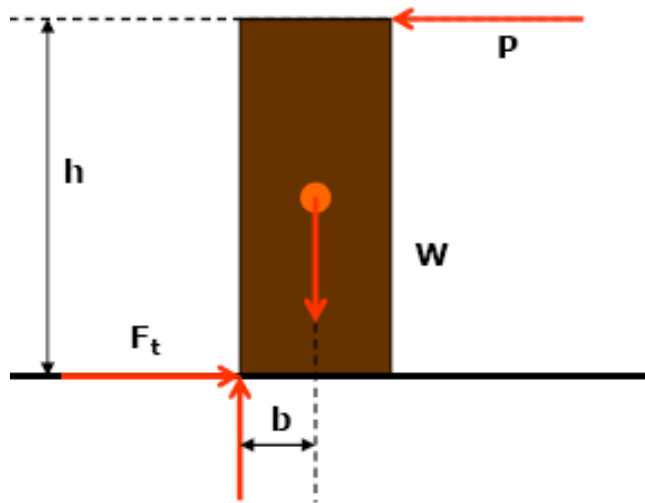


■ Figure 5.16 During a leap, the jumper's head stays at the same level but the center of gravity follows a parabolic path.

Centro di massa e stabilità

La stabilità è la capacità di un oggetto di ritornare all'equilibrio o sulla sua posizione originale dopo essere stato spostato

La stabilità di un oggetto dipende da l'altezza del centro di massa, dalla dimensione della base di supporto e dal peso dell'oggetto



$$\sum T_a = 0$$

$$h \times P - b \times W = 0$$

$$h \times P = b \times W$$

La proiezione del centro di massa deve cadere all'interno della base di supporto

La condizione di equilibrio per un corpo appoggiato può essere turbata dall'azione di una forza orizzontale applicata ad una certa altezza.

Se indichiamo con:

- P il peso del corpo (applicato sul baricentro G)
- O il punto di possibile rotazione
- F un'azione orizzontale destabilizzante applicata al baricentro
- h l'altezza del baricentro
- d la distanza tra il peso e il punto O .

Il peso del corpo esercita una azione stabilizzante nei confronti dell'equilibrio data dal momento:

- $M_s = P \times d$ (momento stabilizzante).

La forza F esercita una azione destabilizzante il cui momento vale:

- $M_d = F \times h$ (momento destabilizzante).

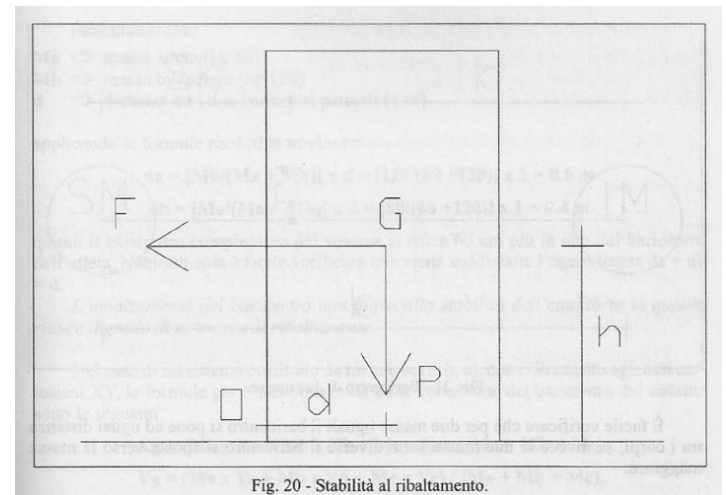
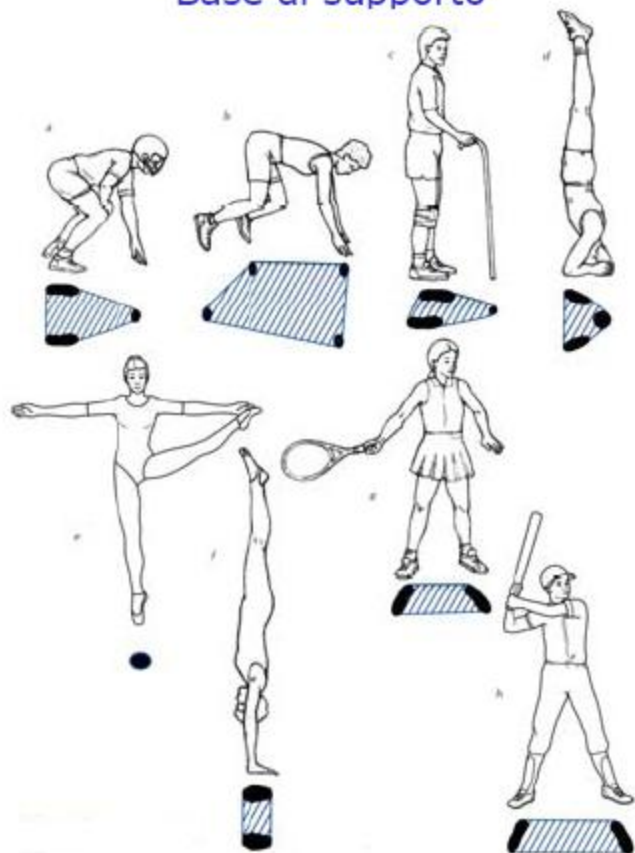


Fig. 20 - Stabilità al ribaltamento.

- Ci sarà equilibrio alla rotazione se il momento stabilizzante è superiore (al limite uguale) al momento destabilizzante.
- Si definisce grado di stabilità al ribaltamento il rapporto tra i due momenti:
- $g.s. = M_s/M_d$
- La condizione di equilibrio alla rotazione sarà espressa dalla disuguaglianza:
- $M_s/M_d > 1$ (al limite uguale)
- tanto più il grado di stabilità supera l'unità tanto maggiore sarà la stabilità dell'equilibrio al ribaltamento del corpo.

Posizioni e loro base di supporto

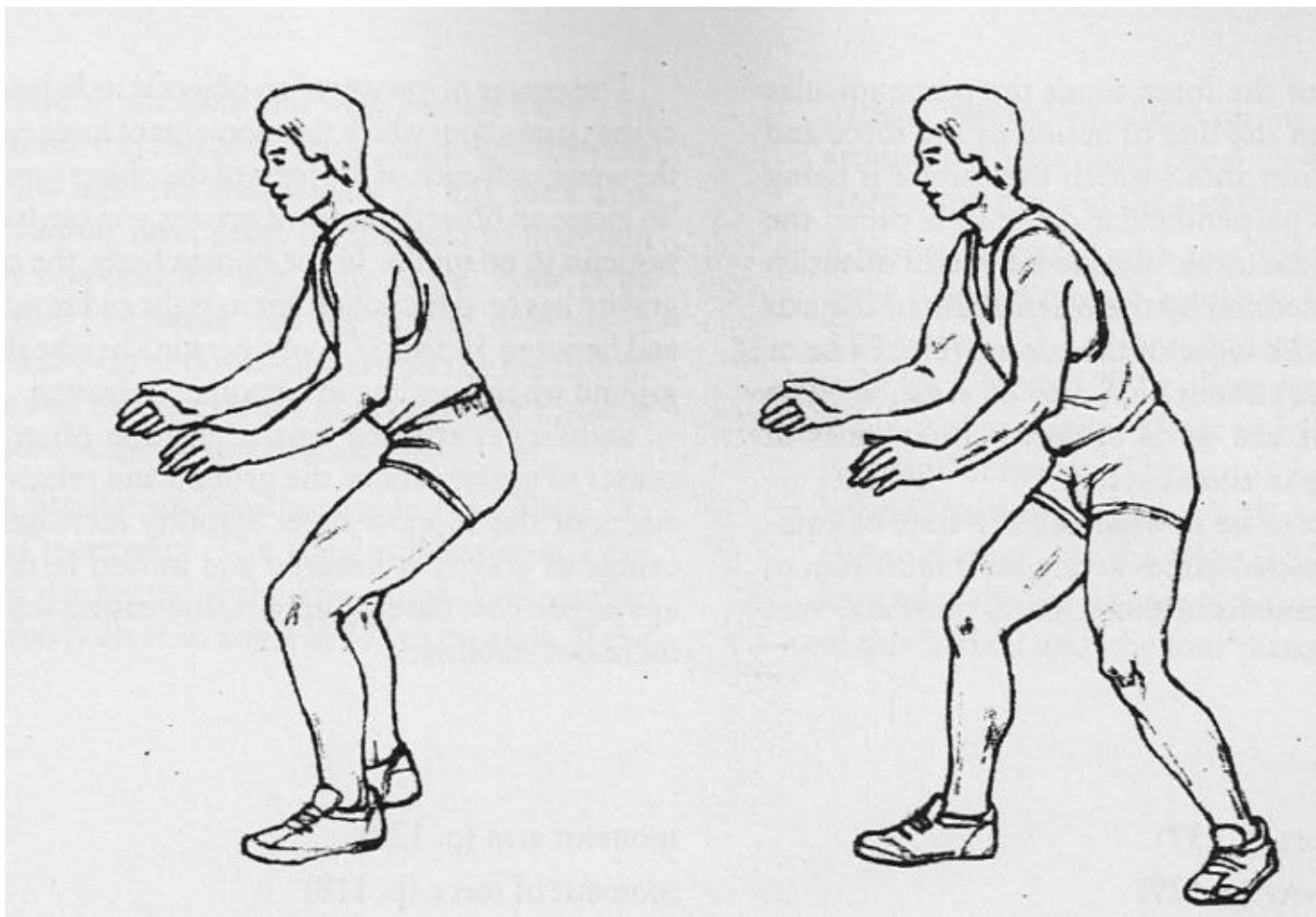
Base di supporto



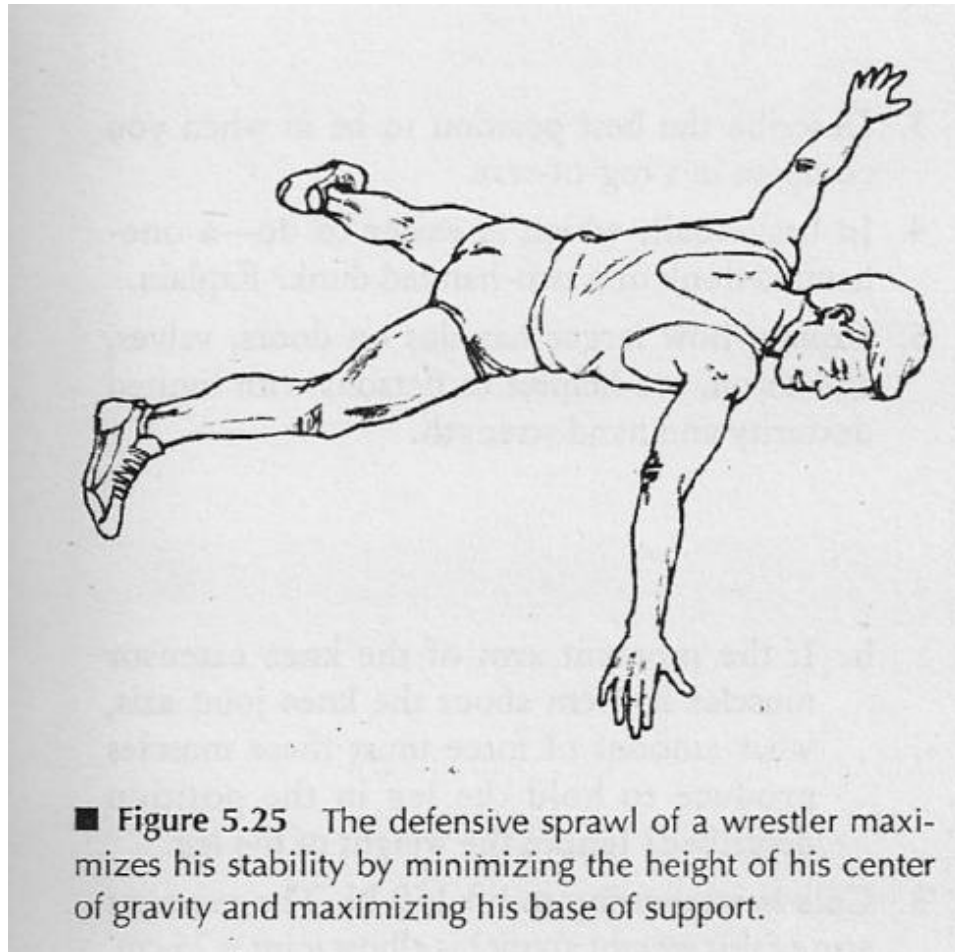
In *geometria*, il **baricentro** (a volte chiamato centroide) di una figura è l'intersezione di tutti i piani che dividono la figura in due parti identiche

In *fisica* il **baricentro** può coincidere con il **centro di massa** di un corpo, e anche con il suo **centro di gravità**, il che porta spesso a ritenere questi tre termini intercambiabili. **baricentro = centro di massa** di un corpo se questo ha densità uniforme, oppure la distribuzione della materia del corpo deve avere alcune proprietà, come ad esempio proprietà di simmetria **baricentro = centro di gravità**, se il baricentro coincide con il centro di massa del corpo, che deve inoltre essere in un campo gravitazionale uniforme. [ovvero per i punti del sistema l'accelerazione di gravità assume sempre lo stesso valore (modulo e verso) (questo è normalmente verificato per corpi "piccoli" cioè aventi dimensioni trascurabili rispetto alle distanze di interazione)]

Compromesso fra stabilità e mobilità

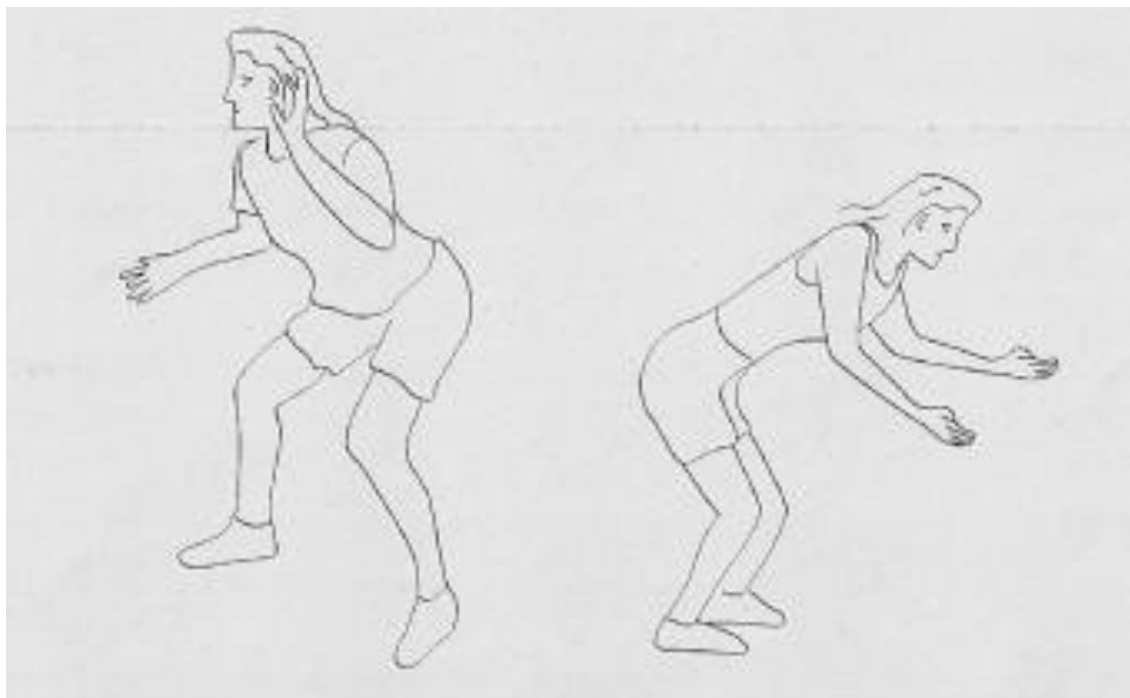


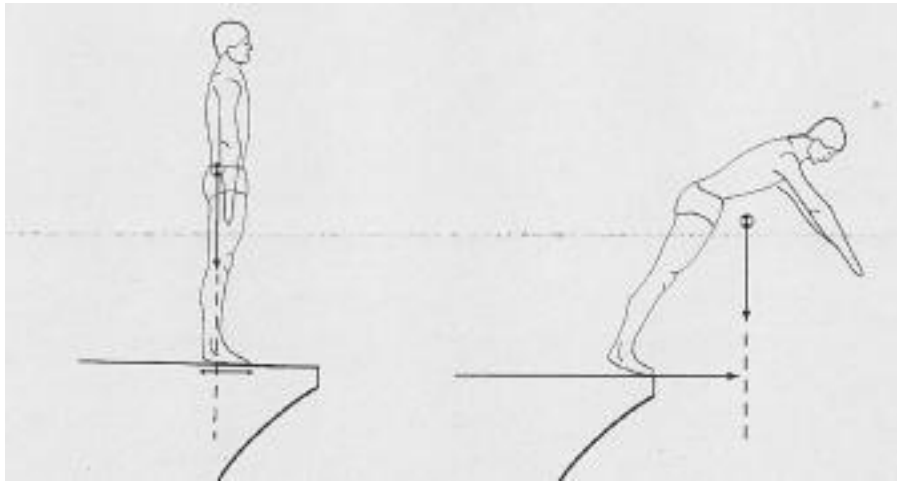
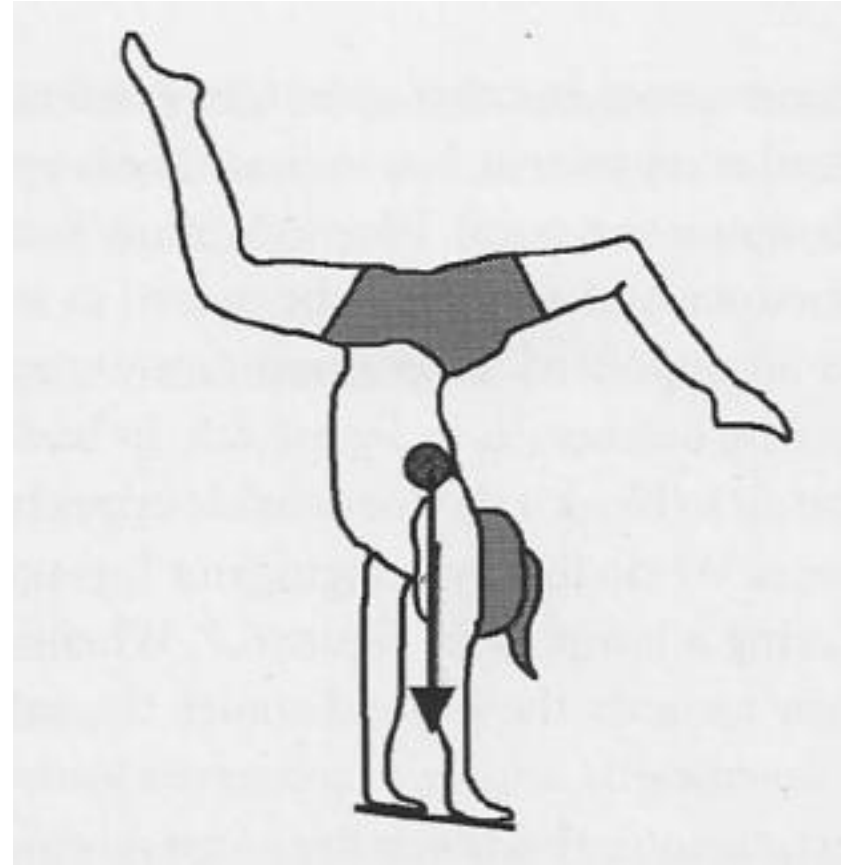
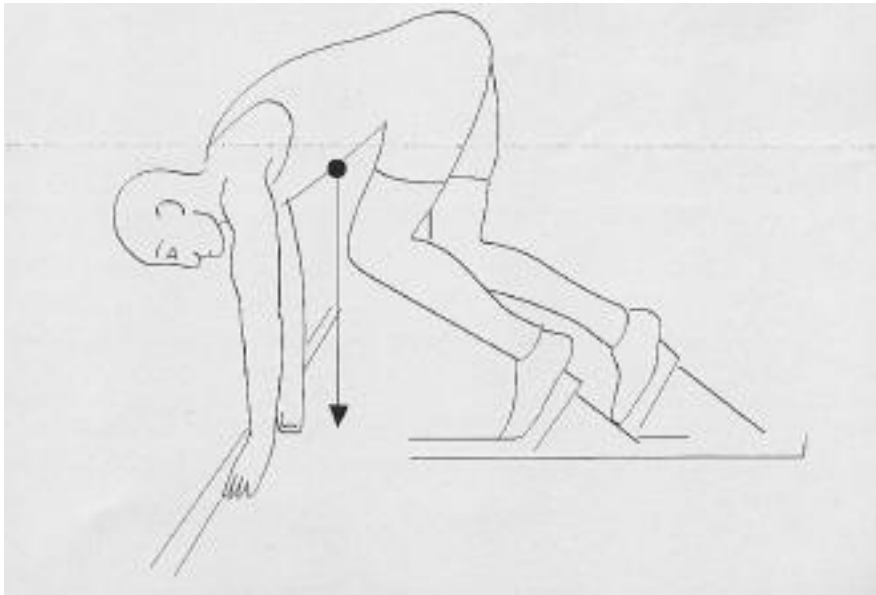
Massima stabilità

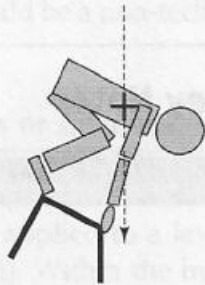


■ **Figure 5.25** The defensive sprawl of a wrestler maximizes his stability by minimizing the height of his center of gravity and maximizing his base of support.

Pallacanestro e pallavolo

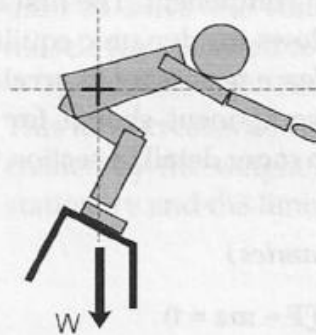






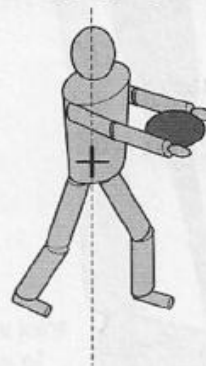
Similarly swimmer's c of g is just outside base of support. Swimmer is unstable and can easily move into the dive start

Dive start in swimming



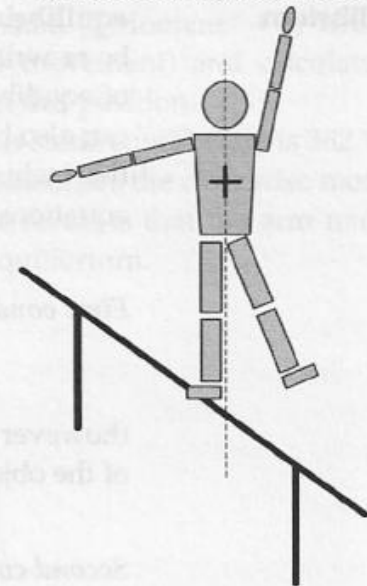
c of g stays within base of support (stable) but athlete is easily able to move from this stable position into the dive. Hence small amount of stability

Rugby player



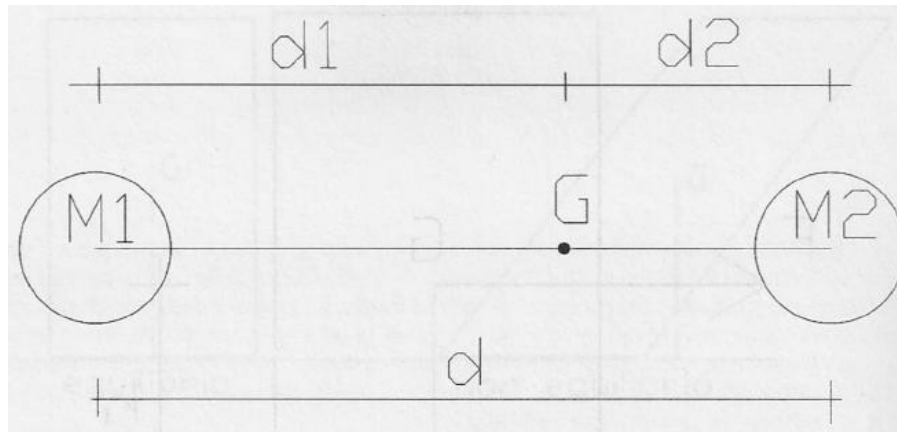
Rugby player has large base of support and is in a stable position. In this case it would be difficult to tackle this player

Gymnast during beam exercise



Athlete is balanced but stability is small so athlete can easily move from one position to next

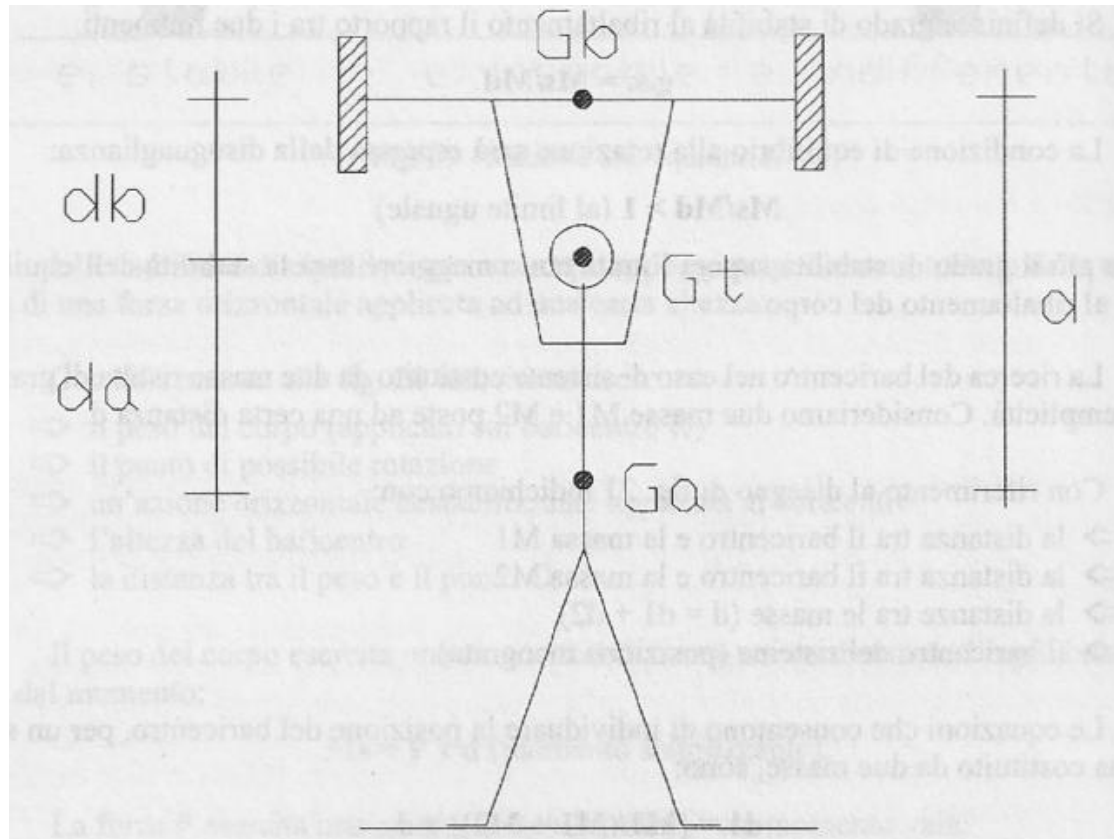
- La ricerca del baricentro nel caso di sistema costituito da due masse risulta di grande semplicità.
- Consideriamo due masse M_1 e M_2 poste ad una certa distanza d .
- d_1 la distanza tra il baricentro e la massa M_1
- d_2 la distanza tra il baricentro e la massa M_2
- d la distanze tra le masse ($d = d_1 + d_2$)
- G il baricentro del sistema (posizione incognita).



Le equazioni che consentono di individuare la posizione del baricentro, per un sistema costituito da due masse, sono:

- $d_1 = [M_2 / (M_1 + M_2)] \times d$
- $d_2 = [M_1 / (M_1 + M_2)] \times d$
- È facile verificare che per due masse uguali il baricentro si pone ad ugual distanza tra i corpi, se invece le due masse sono diverse il baricentro si sposta verso la massa maggiore.

Applichiamo le formule appena viste al caso di un pesista che, al termine dell'esercizio di slancio, ha portato il bilanciere nella posizione di massima altezza



Indichiamo con:

- M_a massa atleta (kg 80)
- M_b massa bilanciere (kg 120)
- d distanza tra i due baricentri parziali (1 m)

Applicando le formule risolutive troviamo:

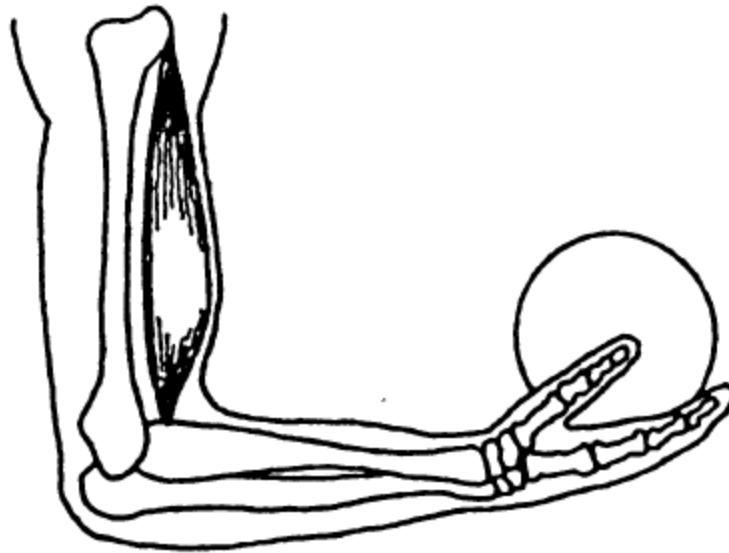
$$d_a = [M_b / (M_a + M_b)] \times d = [120 / (80 + 120)] \times 1 = 0.6 \text{ m}$$

$$d_b = [M_a / (M_a + M_b)] \times d = [80 / (80 + 120)] \times 1 = 0.4 \text{ m}$$

- quindi il baricentro complessivo del sistema si trova 60 cm più in alto del baricentro dell'atleta.
Naturalmente è facile verificare che viene soddisfatta l'uguaglianza $d_a + d_b = d$.
- *L'innalzamento del baricentro non giova alla stabilità dell'equilibrio in quanto riduce il grado di sicurezza al ribaltamento.*

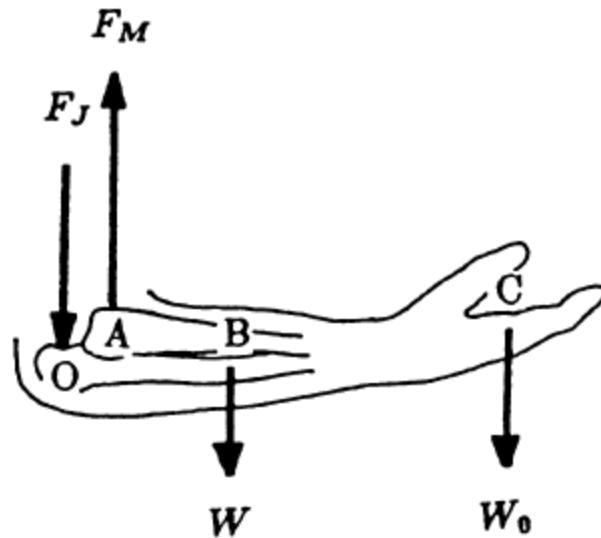
Problema di biomeccanica

gomito flesso ad angolo retto + oggetto posto sulla mano



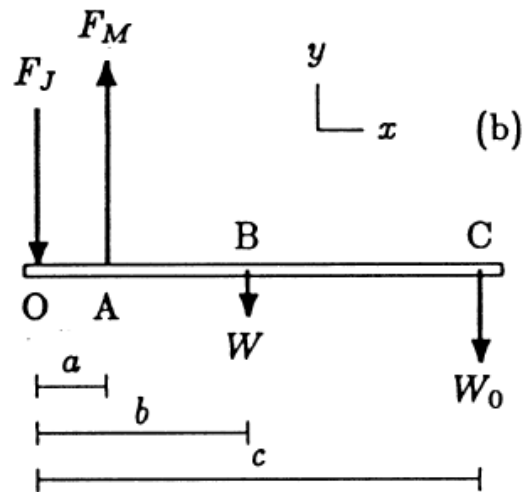
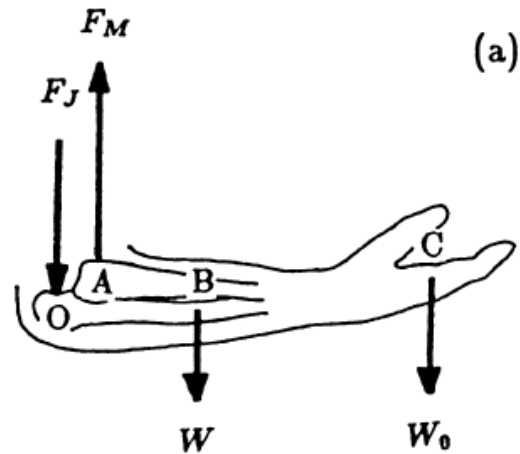
Quale modello per descrivere il sistema?

Scelta di un modello in base ad ipotesi



Forze in gioco:

- Peso oggetto W_0 Peso braccio W
- Azioni dei muscoli F_M
- Reazione vincolare F_J



Dati: $a = 4 \text{ cm}$, $b = 15 \text{ cm}$, $c = 35 \text{ cm}$ $W = 20 \text{ N}$, $W_0 = 80 \text{ N}$

Biomeccanica del gomito

Articolazioni omero-ulnare e omero-radiale

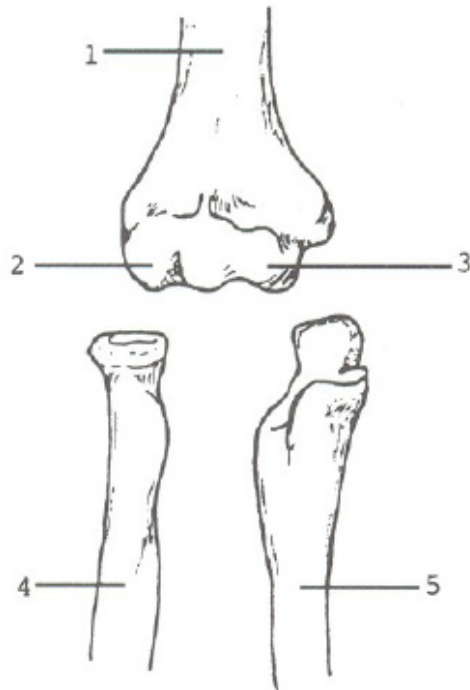
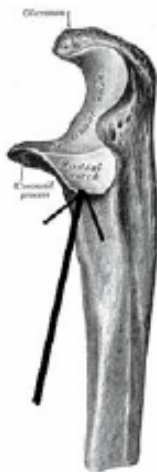


Figure 5.2 Bones of the elbow:
(1) humerus, (2) capitulum,
(3) trochlea, (4) radius, (5) ulna.

- L'articolazione del Gomito è composta di 3 distinte articolazioni.
- L'articolazione *omero-ulnare* è una cerniera cilindrica formata dall'articolazione tra la Troclea a forma di bobina (spoletta) dell'Omero distale e la *fossa trocleale* concava dell'Ulna prossimale.
- La struttura dell'articolazione *omero-ulnare* è tale da consentire rotazioni uniassiali, limitando i movimenti intorno all'articolazione del Gomito alla
 - Flessione (avvicinamento dell'Avambraccio al Braccio superiore) e
 - all'Estensione (allontanamento dell'Avambraccio dal Braccio superiore).
- L'articolazione *omero-radiale* è anch'essa una cerniera cilindrica formata tra il *Capitulum* o *Capitellum* dell'Omero distale e la testa del Radio.

Articolazione *radio-ulnare*



- L'articolazione *radio-ulnare* prossimale è un'articolazione a perno-anello formata dalla testa del Radio e dall'Incavo radiale dell'Ulna prossimale. Questa articolazione permette al Radio e all'Ulna di subire rotazione relativa intorno all'asse longitudinale di uno o dell'altro osso, dando luogo alla
 - pronazione (movimento effettuato mentre si rivolge il palmo dall'alto al basso) o
 - supinazione (movimento effettuato mentre si rivolge il palmo dal basso all'alto).

Muscoli del Gomito: *biceps brachii* e *brachialis*



Figure 5.3 Muscles of the elbow:
(1) *biceps*, (2) *brachioradialis*,
(3) *brachialis*, (4) *pronator teres*,
(5) *triceps brachii*, (6) *anconeus*,
(7) *supinator*.

- I Muscoli che coordinano e controllano il movimento dell'articolazione del Gomito sono illustrati in Figura.
- Il muscolo *biceps brachii* è il più potente flessore dell'articolazione del Gomito, particolarmente quando l'articolazione del Gomito è in posizione supina.
- Sul lato distale, il bicipite è attaccato alla prominenza del radio, e sul lato prossimale, esso ha inserzioni sulla cima del processo coracoide e sul labbro superiore della fossa glenoidea.
- Un altro importante flessore è il muscolo brachiale, che ha inserzioni alla metà inferiore della porzione anteriore dell'Omero e sul processo coronoide dell'Ulna.

Muscoli del Gomito: *triceps brachii* e *brachialis*

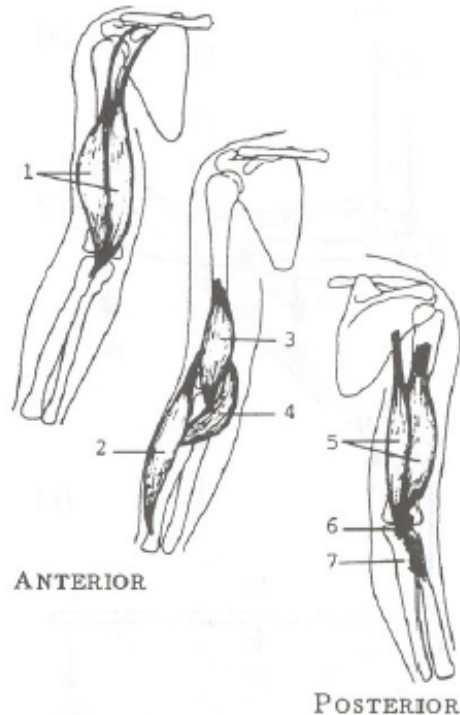


Figure 5.3 Muscles of the elbow:
(1) *biceps*, (2) *brachioradialis*,
(3) *brachialis*, (4) *pronator teres*,
(5) *triceps brachii*, (6) *anconeus*,
(7) *supinator*.

- Il muscolo più importante che controlla il movimento di estensione del Gomito è il muscolo *triceps brachii*.
- Esso ha inserzioni:
 - alla testa inferiore della cavità glenoidea della Scapola,
 - alla metà superiore della superficie posteriore dell'Omero,
 - ai due terzi inferiori della superficie posteriore dell'Omero, e
 - al processo *olecranon* (grande, spessa, curva prominenza, situata sulla parte superiore e posteriore dell'Avambraccio) dell'Ulna.

Statica del Gomito

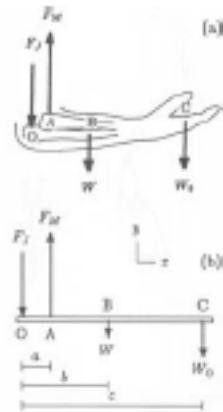
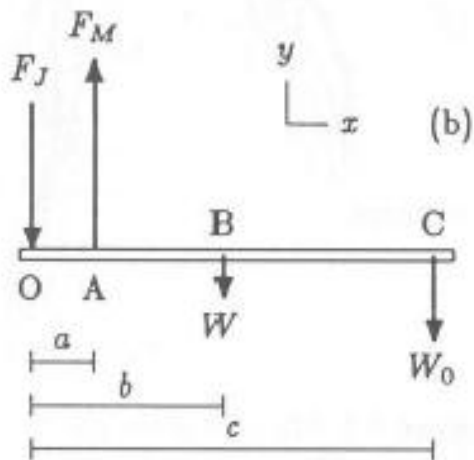
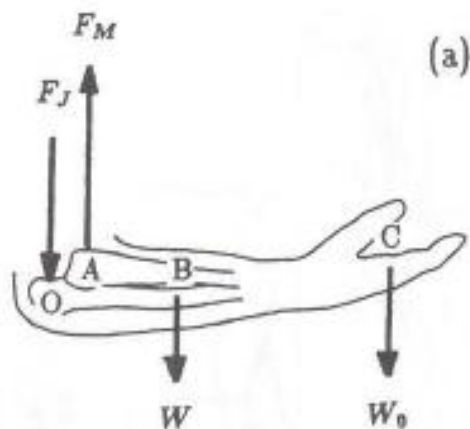


Figure 3.8 Forces acting on the forearm arm.

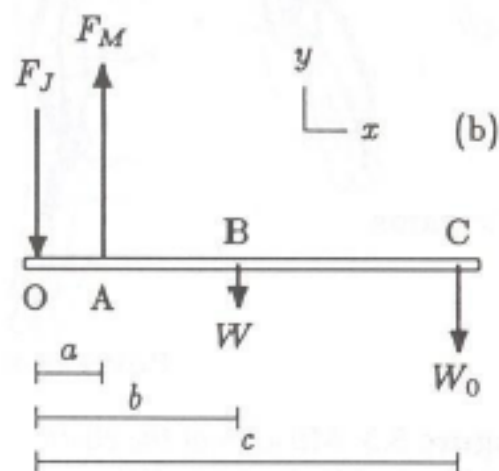
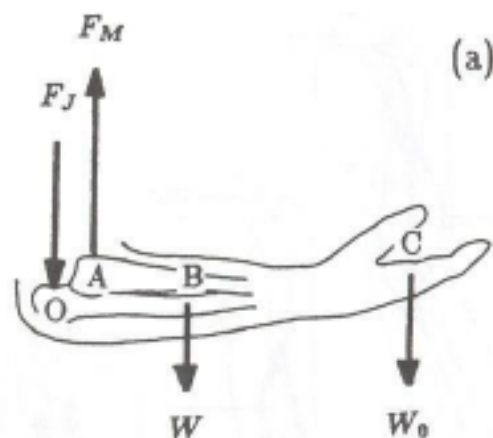
- Si consideri il Braccio mostrato nella Figura in alto. Il Gomito è flesso ad angolo retto e un oggetto è tenuto in mano.
- Le forze agenti sull'Avambraccio sono mostrate nella Fig. (a) in basso, e il diagramma di corpo libero dell'Avambraccio è mostrato nella Fig. (b) in basso.
- Questo modello assume che:
 - il Bicipite sia il flessore più importante e che
 - la linea d'azione della trazione nel Bicipite sia verticale.

Diagramma di corpo libero

- Il punto O designa l'asse di rotazione dell'articolazione del Gomito, che per semplicità di calcolo si assume fissa.
- Il punto A è l'inserzione del Bicipite sul Radio,
- B è il baricentro dell'Avambraccio, e
- C è il punto dell'Avambraccio che giace lungo una retta verticale passante per il baricentro del peso nella mano.
- Le distanze tra O e A , B e C sono indicate come a , b , c , rispettivamente;
- W_0 è il peso dell'oggetto tenuto in mano e
- W è il peso totale dell'Avambraccio;
- F_M è l'intensità della forza esercitata dal Bicipite sul Radio, e
- F_J è l'intensità della forza reattiva sull'articolazione del Gomito.
- Si noti che la retta d'azione della forza muscolare è stata assunta verticale. Le forze gravitazionali sono anch'esse verticali. Pertanto, per l'equilibrio dell'Avambraccio, la retta d'azione della forza reattiva sull'articolazione deve essere verticale (sistema di forze parallele).



Equazioni di bilancio e equilibrio

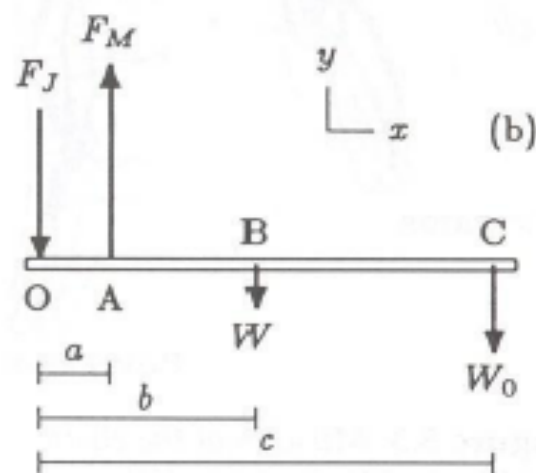
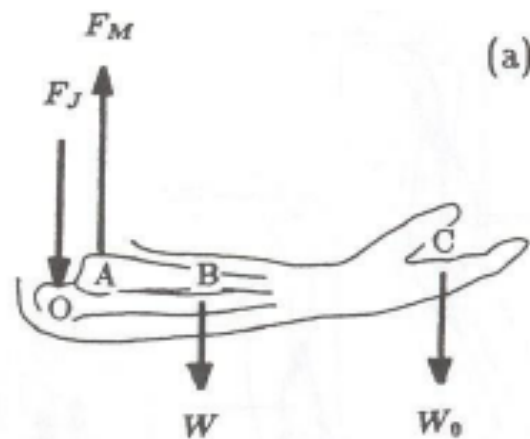


- Si ha un **sistema di forze parallele**, e le incognite sono le intensità delle forze F_M e F_J del muscolo e della forza reattiva sull'articolazione.
- Il bilancio dei momenti agenti sull'Avambraccio intorno all'articolazione del Gomito fornisce:
- Per l'equilibrio delle forze agenti sull'Avambraccio nella direzione y si ha:

$$\sum M_O = 0 \Rightarrow F_M = (bW + cW_0) / a \quad (i)$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow F_J = F_M - W - W_0 \quad (ii)$$

Calcolo delle intensità incognite delle forze

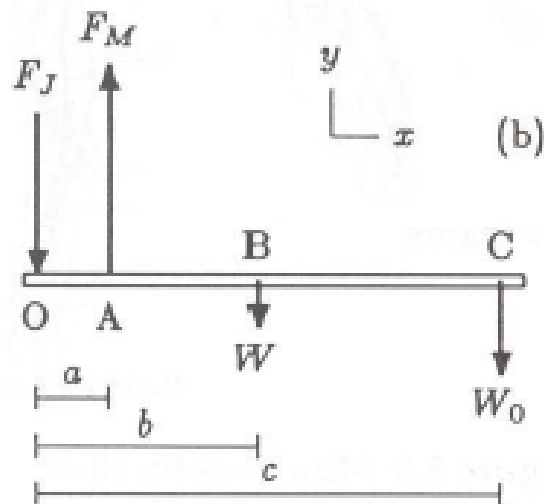
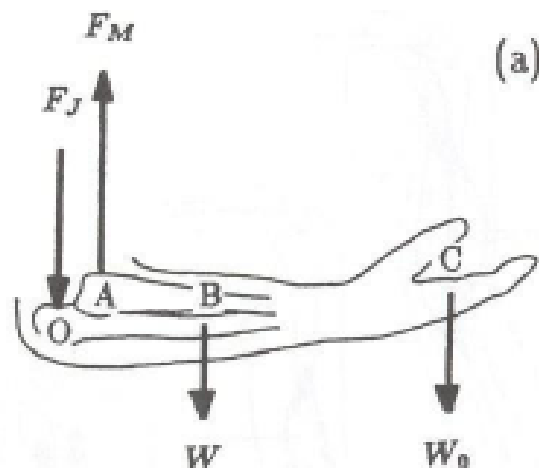


- Per assegnati valore dei parametri geometrici a , b , c , e pesi W e W_0 , le Eqq. (i) e (ii) possono essere risolte in funzione delle intensità delle forze muscolare e reattiva sull'articolazione.
- Per esempio, si assuma che questi parametri siano dati come segue:
 $a = 4 \text{ cm}$, $b = 15 \text{ cm}$, $c = 35 \text{ cm}$,
 $W = 20 \text{ N}$, $W_0 = 80 \text{ N}$.
- Allora dalle Eqq. (i) e (ii) si ottiene:

$$F_M = (0.15 \times 20 + 0.35 \times 80) = 775 \text{ N } (+y)$$

$$F_J = 775 - 20 - 80 = 675 \text{ N } (-y)$$

Vantaggio meccanico



- I risultati numerici indicano che la forza esercitata dal Muscolo è circa 10 volte maggiore del peso dell'oggetto tenuto nella posizione considerata.
- Relativamente all'asse dell'articolazione del Gomito, la lunghezza del braccio (di leva) della forza muscolare è molto più piccola della lunghezza c del braccio (di leva) sfruttato dal carico tenuto in mano.
- Minore è il braccio (di leva), maggiore è la tensione muscolare richiesta per bilanciare il momento (orario) del carico intorno all'articolazione del Gomito.
- Pertanto, durante il sollevamento, è svantaggioso aver un'inserzione muscolare vicina all'articolazione del Gomito.
- Tuttavia, più il muscolo è vicino all'articolazione, maggiore è l'intervallo di movimento della flessione-estensione del Gomito, e più rapidamente l'estremità distale dell'Avambraccio (la mano) può raggiungere il suo obiettivo di muoversi verso il Braccio superiore o la Spalla.