Meccanica { Cinematica
Dinamica (forze)
Statica }

1

Forze statiche

Meccanica: effetti delle forze sul moto dei corpi

La meccanica è quella parte della fisica che si occupa degli effetti delle forze sul moto dei corpi. Essa è stata la prima ad essere stata applicata con successo ai sistemi viventi, in primo luogo per comprendere i principi che governano il moto degli animali.

Moto anim

I nostri attuali concetti di Meccanica sono stati formulati da Isacco Newton, la cui principale opera su questo argomento, « Principia Mathematica », fu pubblicata nel 1687. Peraltro, lo studio della meccanica comincia molto prima, e può essere individuato nei lavori dei filosofi greci del quarto secolo a.C. I greci antichi, interessati sia alle scienze che all'atletica, sono stati altresì i primi ad applicare principi fisici al movimento degli animali. Aristotele scrive: « L'animale che si muove, produce le variazioni di posizione spingendo contro ciò che gli sta sotto . . . I corridori corrono più rapidamente se fanno oscillare le braccia, poiché nell'estendere queste ultime ha luogo una specie di spinta fra le mani e i polsi ».

Sebbene alcuni concetti proposti dai filosofi Greci siano sbagliati, la loro ricerca di principi generali in natura segna l'inizio del pensiero scientifico.

Dopo il declino della Grecia antica, l'interesse per le scienze decade per un lungo tempo, finché il Rinascimento fa risorgere molte attività, incluse quelle scientifiche.

Durante tale periodo di rinascita, Leonardo da Vinci (1452-1519) effettua dettagliate osservazioni del moto animale e delle funzioni dei muscoli. Dopo Leonardo, centinaia di persone hanno contribuito alla nostra comprensione del moto animale in termini di principi meccanici. Gli studi sono stati aiutati dalle migliorate tecniche analitiche, e dallo sviluppo di strumenti, come la macchina fotografica e gli orologi elettronici.

Oggi lo studio del movimento umano fa parte delle discipline della Chinesiologia che se ne occupa principalmente in relazione alle attività atletiche, e della Biomeccanica che costituisce un vasto campo che concerne non solo il moto muscolare, ma anche il comportamento fisico delle ossa e di organi quali i polmoni e il cuore. Lo sviluppo delle protesi, come ad es. arti artificiali e cuori meccanici, costituisce una parte molto attiva nelle ricerche di biomeccanica.

La Meccanica, come ogni altro soggetto della scienza, comincia con un certo numero di concetti fondamentali e fornisce le regole mediante le quali tali concetti sono correlati fra loro. L'appendice 1 contiene un sommario dei concetti fondamentali della meccanica; esso va visto come una rassegna, piuttosto che come una trattazione approfondita di questo argomento. Qui noi cominceremo la nostra esposizione della meccanica esaminando le forze statiche che agiscono sul corpo umano. Discuteremo dapprima la stabilità e l'equilibrio del corpo umano, quindi calcoleremo le forze esercitate dai muscoli scheletrici sulle varie parti del corpo stesso.

EQUILIBRIO E STABILITA'

La terra esercita una forza di attrazione sulla massa di qualunque oggetto; in effetti ogni elemento comunque piccolo di massa dell'oggetto è attratto dalla terra. La somma di tutte queste forze costituisce il peso totale del corpo. Questo peso può essere considerato come una singola forza applicata in un punto ben preciso detto centro di massa o più esattamente baricentro.

Come sottolineato nell'appendice 1, un corpo è in equilibrio statico se la somma vettoriale sia delle forze che dei momenti agenti su di esso è nulla.

Un corpo è in equilibrio statico quando le somme vettoriali sia delle forze che dei momenti agenti su di esso è nulla

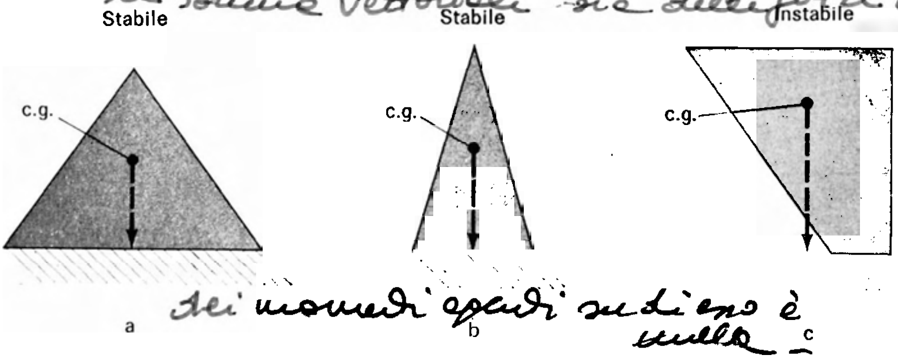


FIG. 1-1. Statica dei corpi.

2 Equilibrio Instabile → un corpo spostato tende ad allontanarsi sempre più –
3 Equilibrio Indifferente → tutte le posizioni in equilibrio

Se il corpo non è sostenuto, la forza di gravità gli imprime un accelerazione, ed il corpo non è in equilibrio.

Affinché un corpo sia in equilibrio stabile esso deve essere sostenuto in maniera opportuna.

La posizione del baricentro relativamente alla base di appoggio determina se il corpo è in equilibrio stabile o no. Un corpo è in equilibrio stabile, sotto l'azione della gravità, se il suo baricentro si trova verticalmente al di sopra della base di appoggio (Fig. 1-1).

Più ampia è la base su cui il corpo poggia, più esso è stabile, cioè è più difficile rovesciarlo. Se il corpo dalla base larga di Fig. 1-1a, viene spostato come indica la Fig. 1-2a, il momento prodotto dal suo peso tende

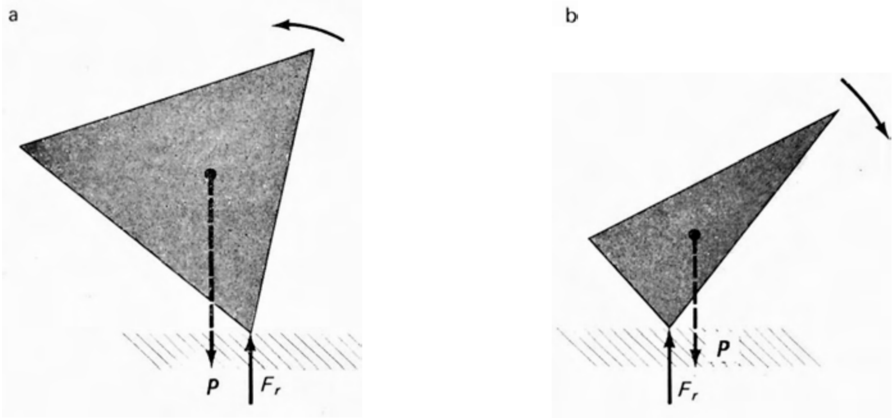


FIG. 1-2 – *a*) Il momento torcente prodotto dal peso riporta il corpo nella sua posizione iniziale. *b*) Il momento prodotto dal peso fa cadere il corpo.

a riportarlo nella sua posizione originaria. (Fr indica la forza di reazione esercitata sul corpo dalla superficie su cui esso è poggiato). Lo stesso spostamento angolare effettuato su un corpo di base più piccola genera un momento che ribalta il corpo (Fig. 1-2b). Considerazioni analoghe mostrano che un corpo è tanto più stabile quanto più il suo baricentro è vicino alla base d'appoggio.

CONSIDERAZIONI SULL'EQUILIBRIO DEL CORPO UMANO

Il baricentro, o centro di gravità (c.g.) di una persona in stazione eretta con le braccia lungo i fianchi è all'incirca posto al 56 % dell'altezza della persona, misurata dalla pianta dei piedi (Fig. 1-3) . Il baricentro si sposta se la persona si sposta o si curva. Il mantenimento dell'equilibrio

centro gravità ~ 56% dell'altezza della persona c'è sempre tendenza a riportare baricentro al di sopra dei piedi spostando busto e allargando braccia

richiede che il baricentro rimanga direttamente al di sopra dei piedi. Quando il baricentro viene spostato al di fuori della base d'appoggio fornita dai piedi, si cade.

Quando si trasporta un carico sbilanciato, il corpo tende a compensare lo squilibrio, curvandosi e aprendo le braccia in modo da riportare il baricentro al di sopra dei piedi. Ad es. quando una persona porta un peso con una mano, l'altro braccio viene allontanato dal corpo, ed il tronco

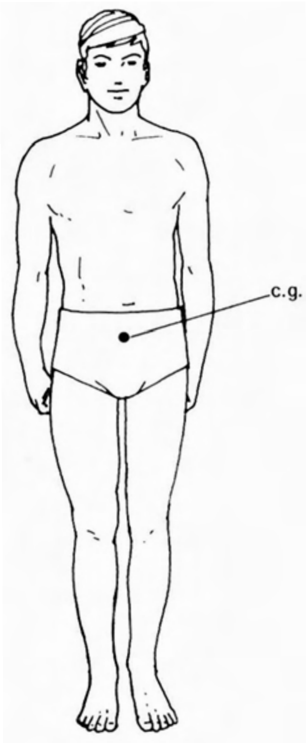


Fig. 1-3. Centro di gravità di un uomo.

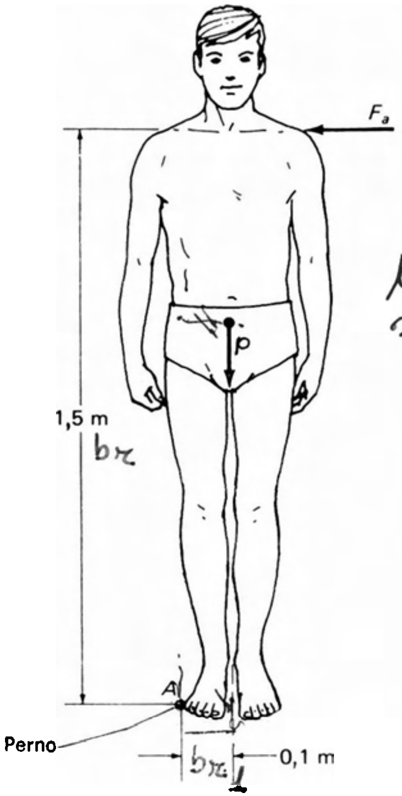
Fig. 1-4. Trasporto di un peso.

si curva dalla parte opposta al carico (Fig. 1-4). Questa tendenza del corpo a compensare distribuzioni non bilanciate di carichi causa spesso problemi per coloro che hanno perduto un braccio, giacché l'incurvamento continuo del tronco, che tende a compensare lo squilibrio può provocare una deviazione permanente della colonna vertebrale.

È spesso raccomandato che gli amputati portino arti artificiali, anche quando non sono in grado di usarli, allo scopo di stabilire una distribuzione del peso.

STABILITA' DEL CORPO UMANO SOTTO L'AZIONE DI UNA FORZA ESTERNA

Il corpo può, naturalmente, essere soggetto a forze diverse dalla forza peso, che è verticale. Calcoliamo il valore della forza applicata alla spalla che potrebbe far cadere un soggetto in posizione di attenti.



Momento T = $F \times b_1$
se $F_e \times b_2 >$
$P \times b_{21}$ = cad

Fig. 1-5. Applicazione di una forza al soggetto in posizione eretta.

Le dimensioni assunte per il soggetto sono mostrate in Fig. 1-5. In assenza di forza il soggetto è in equilibrio stabile, dato che il suo baricentro è al di sopra dei piedi, che costituiscono la base di appoggio. La forza applicata, F_a, tende a rovesciare il corpo. Quando il soggetto cade, ciò avviene per rotazione intorno al punto A, nell'ipotesi che non vi sia slittamento. Il momento sinistrorso T_a relativo a tale punto e prodotto dalla forza applicata è

$$T_a = F_a \times 1{,}5\text{m} \tag{1.1}$$

Il momento opposto T_p dovuto al peso della persona è

$$T_p = P \times 0{,}1\text{m} \tag{1-2}$$

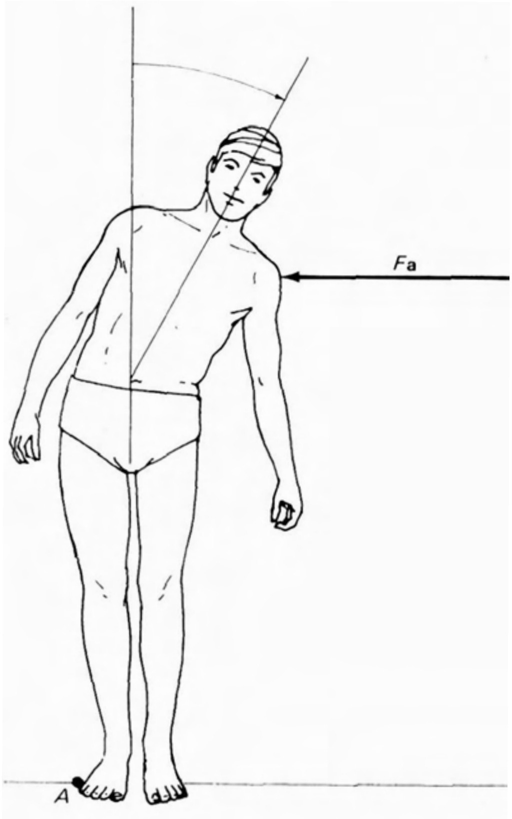


FIG. 1-6. Movimento di compensazione per una spinta laterale.

Assumendo che la massa della persona è 70 kg, il suo peso P è

$$P = mg = 70 \times 9{,}8 = 686 \text{ newton (N)} \tag{1-3}$$

(Nella 1-3 g è l'accelerazione di gravità che vale 9,8 m/sec²). Il momento equilibrante prodotto dal peso è pertanto 68,6 Newton·metro (N·m). Il soggetto è al limite della caduta quando i due momenti opposti sono esattamente uguali, e cioè quando $T_a = T_p$, ossia: limite della cad

$$F_a \times 1{,}5\text{m} = 68{,}6 \text{ N}\cdot\text{m} \tag{1-4}$$

Pertanto la forza richiesta per far cadere un soggetto in posizione eretta risulta:

$$F_a = \frac{68,6}{1.5} = 45,7 \text{ N } (4,5 \text{ Kgp}) \qquad (1\text{-}5)$$

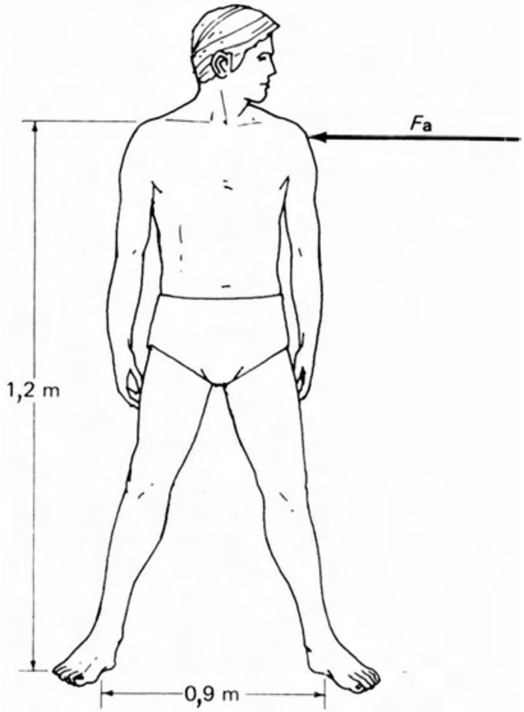
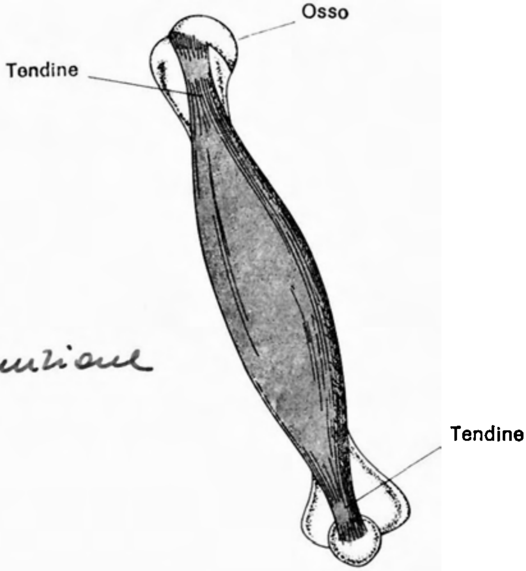


FIG. 1-7. A gambe divaricate la stabilità aumenta.

In realtà il soggetto può resistere anche ad una forza maggiore senza perdere l'equilibrio, curvando il tronco nella direzione opposta a quella della forza applicata (Fig. 1-6). Ciò allontana il baricentro dal punto di rotazione *A*, aumentando il momento equilibrante prodotto dal peso del corpo. La stabilità rispetto a forze che tendono a rovesciare è altresì aumentata allargando le gambe, come mostrato in Fig. 1-7 e discusso nel problema 1-1.

I MUSCOLI SCHELETRICI

I muscoli scheletrici, che producono i movimenti dello scheletro, consistono di molte migliaia di fibre parallele impacchettate entro una guaina flessibile, che si restringe nel tendine da ambo le parti (Fig. 1-8). Alcuni, tuttavia, sono muniti di due o tre tendini: questi muscoli sono rispettivamente denominati bicipiti e tricipiti. In genere le due ossa collegate



I muscoli hanno funzione
di trazione

FIG. 1-8. Schematizzazione di un muscolo.

dal muscolo possono muoversi l'una rispetto all'altra intorno all'articolazione nella quale sono collegati.

Questa disposizione di muscoli ed ossa fu sottolineata da Leonardo da Vinci, che scrisse: « I muscoli cominciano e finiscono sempre su ossa che si toccano l'un l'altro, e non accade mai che comincino e finiscano sullo stesso osso . . . ». Egli afferma altresì: « La funzione dei muscoli è di tirare e non di spingere, con l'eccezione del membro genitale e della lingua ».

L'osservazione del Leonardo da Vinci concernente l'azione di trazione dei muscoli è corretta. Quando le fibre muscolari ricevono un eccitamento tramite le terminazioni nervose loro connesse, esse si con-

La forza di contrazione è data, istante per ist
dal n° di singole fibre che si contraggono nel muscol

traggono. Ne risulta un accorciamento del muscolo ed una corrispondente forza di trazione sulle due ossa cui il muscolo stesso è collegato. Esiste una notevole variabilità della forza traente che può essere esercitata da un muscolo. La forza di contrazione è determinata, istante per istante, dal numero di singole fibre che si contraggono nel muscolo. Quando una singola fibra riceve un eccitamento, essa tende a contrarsi al massimo delle sue possibilità.

Se è richiesta una maggior forza traente, un maggior numero di fibre è sollecitato a contrarsi. Gli esperimenti hanno mostrato che la massima forza che un muscolo è in grado di esercitare è proporzionale all'area della sua sezione trasversa. Dalle misure è stato stimato che esso può esercitare una forza per unità di superficie di circa 7×10^6 dyn/cm².

Per valutare le forze esercitate dai muscoli, le varie articolazioni del corpo possono essere utilmente analizzate in termini di leve. Una tale descrizione richiede alcune asserzioni semplificatrici. Noi assumeremo che i tendini sono connessi alle ossa in punti ben precisi, e che le articolazioni siano prive di attrito. Semplificazioni di vario tipo sono necessarie per studiare il comportamento di sistemi reali. Raramente le proprietà del sistema sono completamente note, ed anche se lo fossero, la considerazione di tutti i dettagli usualmente non è necessaria. I calcoli sono più spesso fatti su un modello che in effetti viene assunto come una buona rappresentazione della situazione reale.

LEVE

Una leva è una sbarra rigida libera di ruotare intorno ad un punto fisso chiamato fulcro. La posizione del fulcro è fissata in modo che non possa spostarsi rispetto alla sbarra. Le leve vengono usate per sollevare pesi in maniera comoda e per trasmettere movimenti da un punto all'altro.

Vi sono tre generi di leve (come mostrato in Fig. 1-9).

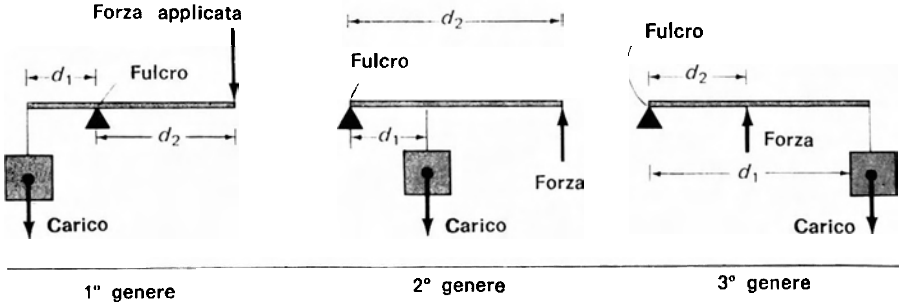


FIG. 1-9. I tre generi di leva.

Nelle leve di 1° genere il fulcro si trova tra la forza applicata e il carico. Il cosiddetto piede di porco è un esempio di leva di 1° genere. Nelle leve di 2° genere il fulcro è ad un'estremo della sbarra, la forza è applicata all'altro estremo, ed il carico in mezzo. Una carriola è un esempio di leva di questo tipo. Nelle leve di 3° genere il fulcro è ad un estremo ed il carico all'altro, la forza è applicata in mezzo. Come vedremo molti movimenti degli arti degli animali sono ottenuti mediante leve di terzo genere. Si può dimostrare, usando le condizioni di equilibrio (vedi appendice 1) che per tutti e tre i tipi di leva, la forza F necessaria a bilanciare il carico del peso P è data da:

FORZA

$$F = P \frac{d_1}{d_2} \tag{1-6}$$

dove d_1 e d_2 sono le lunghezze dei bracci di leva, come mostrato in Fig. 1-9 (vedi problema 1-2). Se d_1 è minore di d_2, la forza richiesta per bilanciare un carico è minore di questo. Il vantaggio meccanico della leva, M, è definito come:

VANTAGGIO MECCANICO

$$M = \frac{P}{F} = \frac{d_1}{d_2} \tag{1-7}$$

1 (I)
< 1 (III)
> 1 (II)

...eve I° g

A seconda della distanza dal fulcro, il vantaggio meccanico di una leva di 1° genere può essere maggiore o minore di 1. Con questo tipo di leva collocando il carico vicino al fulcro, può essere ottenuto un grande vantaggio meccanico.

...ve II° g.

In una leva di secondo genere d_1 è sempre minore di d_2. Pertanto il suo vantaggio meccanico è sempre maggiore di 1. La situazione è opposta in una leva di 3° genere. In questo caso d_1 è maggiore di d_2 e quindi il vantaggio meccanico è sempre minore di 1. Una forza leggermente maggiore di quella necessaria a bilanciare il carico, lo solleverà.

...ve III° g.

Se il punto in cui è applicata la forza si sposta di una distanza L_2 il carico verrà spostato di una distanza L_1 (vedi Fig. 1-10)

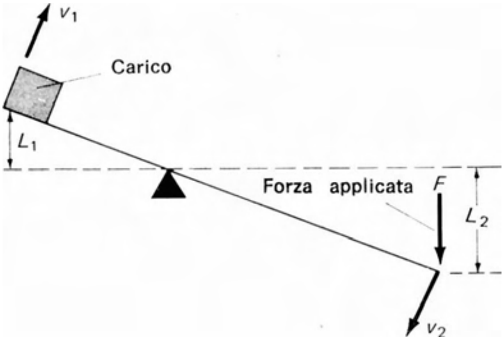


FIG. 1-10. Movimento dei bracci di leva in una leva di 1° genere.

si muove il carico sono inversamente proporzionali
al vantaggio meccanico –

La relazione fra L_1 e L_2 (vedi problema 1-2) è data da:

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{d_1}{d_2} \tag{1-8}$$

Analogalmente il rapporto fra la velocità di questi due punti, su una leva che si muove, è data da:

$$\frac{\text{Vel. carico}}{\text{Vel. forze}} \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{d_1}{d_2} \tag{1-9}$$

Nella 1-9 V_2 è la velocità del punto in cui è applicata la forza e V_1 è la velocità del carico. Queste relazioni si applicano a tutte e tre le specie di leve. È pertanto evidente che lo spostamento e la velocità con cui si muove il carico sono inversamente proporzionali al vantaggio meccanico.

IL GOMITO

I due muscoli più importanti che producono movimenti al livello del gomito sono il bicipite e il tricipite (Fig. 1-11).

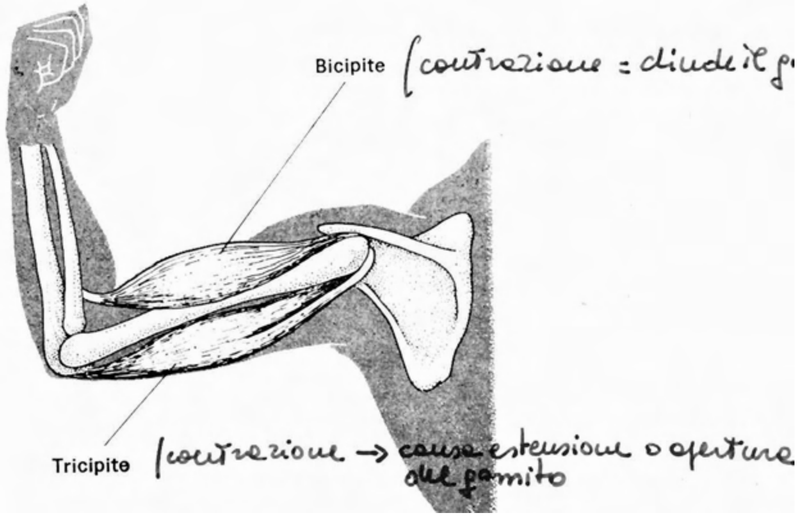


FIG. 1-11. Il gomito.

La contrazione del tricipite causa una estensione o apertura del gomito, mentre la contrazione del bicipite chiude il gomito. Nello studiare questa articolazione considereremo solo l'azione di questi due muscoli. Questa è una semplificazione, dato che molti altri muscoli giocano un ruolo nel movimento del gomito.

Alcuni di questi fissano l'articolazione della spalla quando il gomito si muove, mentre altri fissano il gomito stesso. La Fig. 1-12a mostra un peso P, tenuto in mano, con il gomito flesso di un angolo di 100°. Un diagramma semplificato di questa posizione del braccio è mostrato in Fig. 1-12b. Le dimensioni mostrate in figura sono ragionevoli per un arto umano. Tuttavia esse possono ovviamente variare da persona a persona. Il peso trae l'avambraccio verso il basso; pertanto la forza muscolare agente su di esso deve essere diretta verso l'alto. Di conseguenza il principale muscolo attivo è il bicipite. La posizione del braccio rispetto alla spalla, è fissata dall'azione dei muscoli di quest'ultima. Noi calcoleremo, in condizioni di equilibrio, la forza traente F_m esercitata dal bicipite, e la direzione e il valore della forza di reazione F_r sul fulcro (l'articolazione).

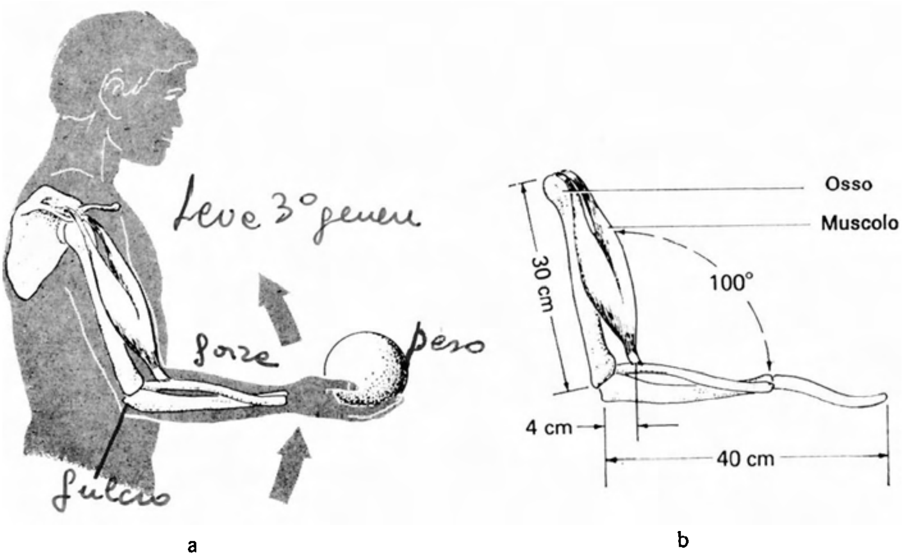


FIG. 1-12. *a*) Il peso è sorretto in mano. *b*) Schema semplificato di questa condizione.

Il calcolo verrà effettuato considerando l'avambraccio come una leva di 3° genere, come mostrato in Fig. 1-13.

Gli assi x ed y sono mostrati in figura. La direzione della forza di reazione F_r è solo schematica; l'esatta risposta sarà data dal calcolo. In questo problema si hanno tre incognite: la forza muscolare F_m, la forza di reazione sul fulcro F_r e l'angolo o direzione di quest'ultima Φ. L'angolo θ relativo alla forza muscolare può essere calcolato con considerazioni trigonometriche, senza dover ricorrere alle considerazioni di equilibrio.

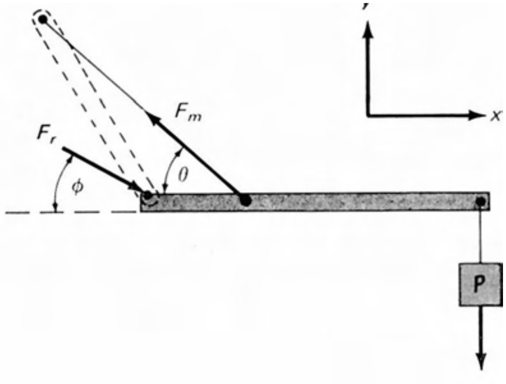


Fig. 1-13. Le leve implicate in Fig. 12.

Come mostrato nel problema 1-3 tale angolo risulta di 72,6°. Perché vi sia l'equilibrio, la somma delle componenti delle forze secondo gli assi x ed y deve essere zero per entrambi. Da queste condizioni si ottiene:

$$\text{componenti } x \text{ delle forze: } F_m \cos\theta = F_r \cos\Phi \tag{1-10}$$

$$\text{componenti } y \text{ delle forze: } F_m \sin\theta = P + F_r \sin\Phi \tag{1-11}$$

Queste due equazioni da sole non sono sufficienti alle tre incognite. L'ulteriore equazione necessaria è ottenuta dalla condizione di equilibrio fra i momenti. All'equilibrio il momento totale rispetto ad un qualunque punto, in Fig. 1-13, deve essere zero. Per comodità sceglieremo il fulcro come punto rispetto a cui calcolare i momenti.

Il momento rispetto al fulcro deve dunque essere nullo. Vi sono due momenti rispetto a tale punto: uno, dovuto al peso, l'altro opposto a questo dovuto alla componente verticale y della forza muscolare. Siccome la forza di reazione F_r è applicata al fulcro, essa non genera alcun momento rispetto a tale punto.

Usando le dimensioni mostrate in Fig. 1-12 si ottiene:

$$4 \text{ cm} \times F_m \sin\theta = 40 \text{ cm} \times P$$

ossia

$$F_m \sin\theta = 10\, P \tag{1-12}$$

Pertanto, essendo $\theta = 72{,}6°$, la forza muscolare risulta:

$$F_m = \frac{10P}{0{,}954} = 10{,}5\ P \tag{1-13}$$

Con un peso di 14 kg in mano, la forza esercitata dal muscolo è:

$$F_m = 10{,}5 \times 14 \times 9{,}8 = 1440\ \mathrm{N}$$

assumendo che il diametro del bicipite sia di 8 cm, che il muscolo può produrre una forza di 7×10^6 dyne per ogni centimetro quadrato di sezione, il braccio è capace di sostenere un massimo di 334 N (34,08 kgp) nella posizione mostrata in Fig. 1-13 (vedi problema 1-4).

La soluzione delle equazioni 1-10 e 1-11, fornisce il modulo e la direzione della forza di reazione F_r. Assumendo come prima che il peso sostenuto sia di 14 kg, queste equazioni divengono:

$$\begin{aligned} 1440 \times \cos\ 72{,}6 &= F_r \cos\ \Phi \\ 1440 \times \sin\ 72{,}6 &= 14 \times 9{,}8 + F_r \sin\ \Phi \end{aligned} \tag{1.14}$$

ossia

$$\begin{aligned} F_r \cos\ \Phi &= 430\ \mathrm{N} \\ F_r \sin\ \Phi &= 1240\ \mathrm{N} \end{aligned} \tag{1-15}$$

Quadrando e sommando si ottiene:

$$F_r^2 = 1{,}74 \times 10^6\ \mathrm{N}^2 \tag{1-16}$$

ossia

$$F_r = 1320\ \mathrm{N}\ \ (134{,}69\ \mathrm{kgp})$$

Dall'equazione 1-2 la cotangente dell'angolo risulta:

$$\cot\ \Phi = \frac{430}{1240} = 0{,}347$$

ossia (1.17)

$$\Phi = 70{,}9°$$

In questo calcolo abbiamo trascurato il peso dell'avambraccio stesso; tale effetto peraltro è considerato nel problema 1-8. La forza prodotta dal bicipite è esaminata nel problema 1-9.

leve 3° f

Il nostro calcolo mostra che la forza di reazione sulla articolazione e la forza esercitata dal muscolo sono notevoli. In effetti la forza esercitata dal muscolo è molto maggiore del peso che viene sostenuto. Questa circostanza è comune a tutti i muscoli scheletrici del corpo. Essi applicano forze per mezzo di leve che hanno un vantaggio meccanico minore di uno. leve 3° genere –

Forz te d è > sost

Come menzionato prima, questa disposizione comporta una maggiore velocità degli arti: una piccola variazione della lunghezza del muscolo produce uno spostamento relativamente maggiore all'estremità dell'arto (vedi problema 1-10). Sembra che la natura preferisca la velocità alla forza.

L'ANCA

La figura 1-14 mostra l'articolazione dell'anca e la sua rappresentazione semplificata mediante leve, con dimensioni che sono tipiche per un corpo maschile. L'anca è fissata da un gruppo di muscoli rappresentato in Fig. 1-14 come una singola forza risultante F_m.

Quando si sta in posizione eretta, l'angolo di tale forza è di circa 71° rispetto alla direzione orizzontale. P_g rappresenta l'insieme dei pesi della gamba, del piede e della coscia. Tipicamente tale peso è il 18,5 % del peso totale del corpo P (cioè $P_g = 0{,}185P$).

Si assume che il peso P_g agisca verticalmente verso il basso e sia applicato nel punto medio dell'arto. Calcoleremo ora l'ammontare della forza muscolare F_m, e della forza F_r all'articolazione dell'anca quando un soggetto sta eretto su un piede solo, come accade quando si cammina, (vedi Fig. 1-14). La forza P agente sulla parte inferiore della leva è la forza di reazione del suolo sul piede del soggetto. È questa la forza che sostiene il peso del corpo. Usando le condizioni di equilibrio secondo il procedimento sviluppato nel problema precedente, si ottiene:

$$F_m \cos 71° - F_R \cos \theta = 0$$

(componenti delle Forze secondo l'asse $x = 0$) (1-18)

$$F_m \sin 71° + \mathrm{P} - P_g - F_R \sin \theta = 0$$

(componenti delle Forze secondo l'asse $y = 0$) (1-19)

$$(F_R \sin \theta) \times 7 \text{ cm} + P_g \times 10 \text{ cm} - P \times 18 \text{ cm} = 0$$

(momento rispetto al punto $A = 0$) (1-20)

Poiché $P_g = 0{,}185P$, dall'equazione 1-20 si ha:

$$F_R \sin\theta = 2{,}31P$$

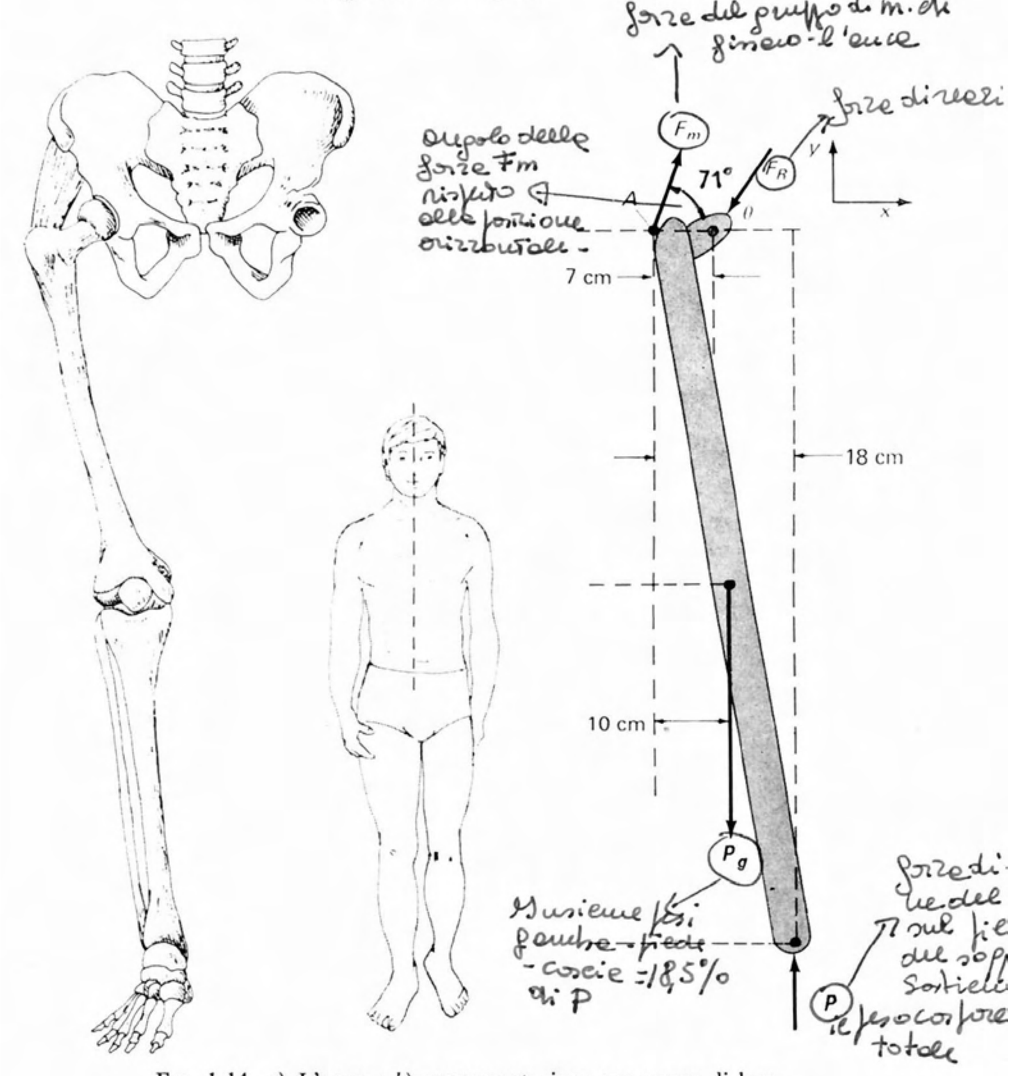


FIG. 1-14. *a*) L'anca e *b*) rappresentazione per mezzo di leve.

Usando questo risultato nell'equazione 1-19, otteniamo:

$$F_m = \frac{1{,}50P}{\sin 71^\circ} = 1{,}59P \qquad (1\text{-}21)$$

Dall'equazione 1-18 si ottiene:

$$F_R \cos\,\theta = 1{,}59P \cos\,71^\circ = 0{,}52P \tag{1-22}$$

pertanto

$$\theta = \text{arcTg}\ 4{,}44 = 77{,}3^\circ \tag{1-23}$$

e

$$F_R = 2{,}37P$$

Questo calcolo mostra che la forza sull'articolazione dell'anca è di circa due volte e mezzo il peso del soggetto. Si consideri un soggetto la cui massa sia 70 kg; il suo peso sarà $9{,}8 \times 70 = 686$ N. La forza agente sull'articolazione dell'anca è 1625 N (165,8 kgp).

La forza sull'articolazione dell'anca è 2 volte e mezzo il del soggetto —

CLAUDICAZIONE

Gli individui che hanno un'anca menomata zoppicano, inclinandosi verso il lato malato quando si appoggiano sopra il solo piede omolaterale (fig. 1-15). Ne risulta che il baricentro del corpo viene spostato in una posizione che è più immediatamente al di sopra dell'articolazione dell'anca, diminuendo lo sforzo nella regione menomata. Un calcolo per il caso mostrato in figura, indica che la forza muscolare è $F_m = 0{,}47P$, e che la forza sull'articolazione dell'anca è $1{,}28P$ (vedi problema 1-11). Come si vede c'è una notevole riduzione rispetto alle forze agenti nel caso normale.

IL DORSO

Quando il tronco è inclinato in avanti, la colonna vertebrale essenzialmente fa perno intorno alla quinta vertebra lombare (Fig. 1-16a). Noi analizzeremo le forze in gioco quando il tronco è piegato a 60° rispetto alla verticale, con le braccia pendenti liberamente. Il modello di leve che rappresenta questa situazione è mostrato in Fig. 1-16.

Il perno A è la quinta vertebra lombare. Il braccio di leva AB rappresenta il dorso. Il peso del tronco, P_1, è distribuito uniformemente in esso; il suo effetto può essere rappresentato da un peso applicato nel punto centrale. Il peso della testa e delle braccia è rappresentato da P_2, applicato all'estremo del braccio di leva. La muscolatura estensoria del dorso, sche-

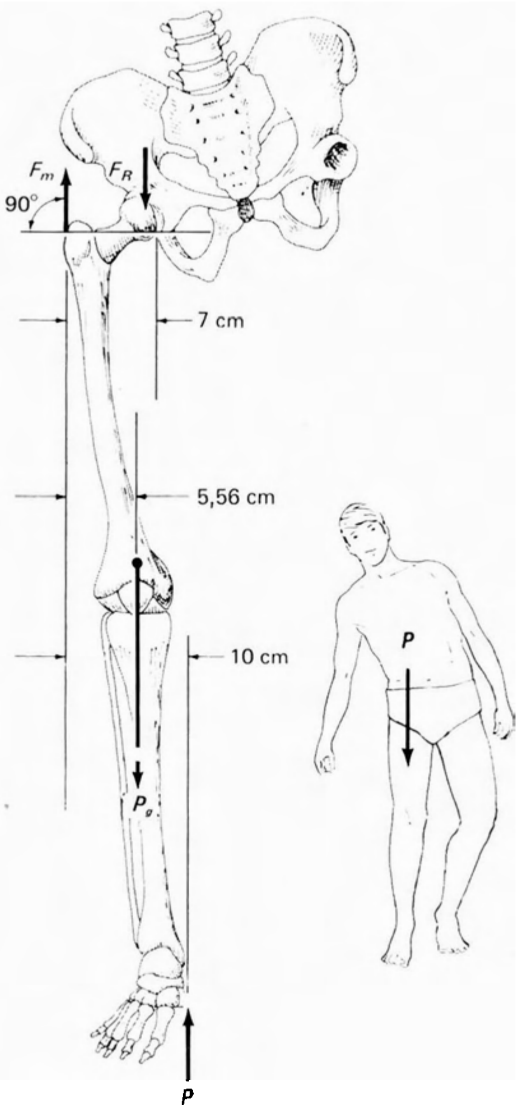


FIG. 1-15. L'appoggio su un'anca ammalata.

matizzata nella connessione CD, è collegata in un punto che si trova a due terzi della colonna vertebrale, e mantiene la posizione del dorso. L'angolo fra la colonna vertebrale e tali muscoli è di circa 12°.

Per un uomo di 70 kg, P_1 e P_2 sono di norma 320 N e 160 N, rispettivamente.

La soluzione del problema è lasciata al lettore come esercizio. Può vedersi che per sostenere il peso del corpo il muscolo deve esercitare una forza di 2000 N (204,08 kgp), e che la forza di compressione sulla quinta

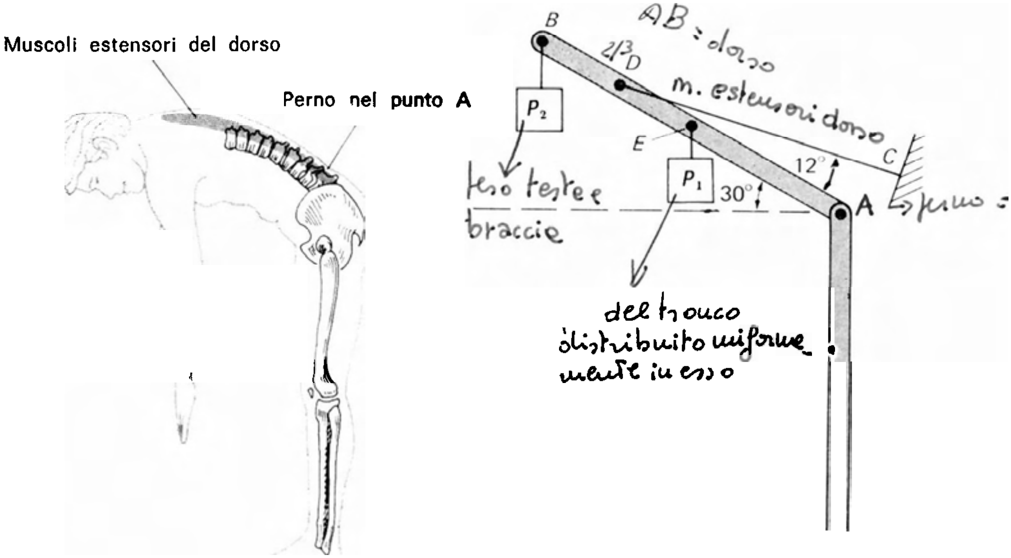


FIG. 1-16. Flessione della colonna vertebrale e rappresentazione per mezzo di leve.

vertebra lombare è 2230 N (227,55 kgp). Se in aggiunta, l'uomo regge con le mani un peso di 20 kg, la forza del muscolo è 3210 N (327,55 kg) e la compressione della vertebra è 3480 N (355,1 kgp); (vedi problema 1-12). Questo esempio indica che forze notevoli sono esercitate sulla quinta vertebra lombare. Non è sorprendente che il mal di schiena si produca molto spesso in questo punto. È altresì evidente che la posizione mostrata in figura non è la più indicata per sollevare un peso.

STAZIONE SULLA PUNTA DI UN PIEDE

La posizione del piede, quando si sta in punta di piedi è mostrata in figura 1-17. Il peso totale del soggetto è sostenuto dalla forza di reazione nel punto *A*. Ciò equivale a una leva di 1º genere, avente il fulcro nel punto di contatto con la tibia. La forza equilibrante è fornita dal muscolo inserito sul calcagno mediante il tendine di Achille. Le dimensioni e gli angoli mostrati in figura 1-17b sono valori tipici per questa situazione.

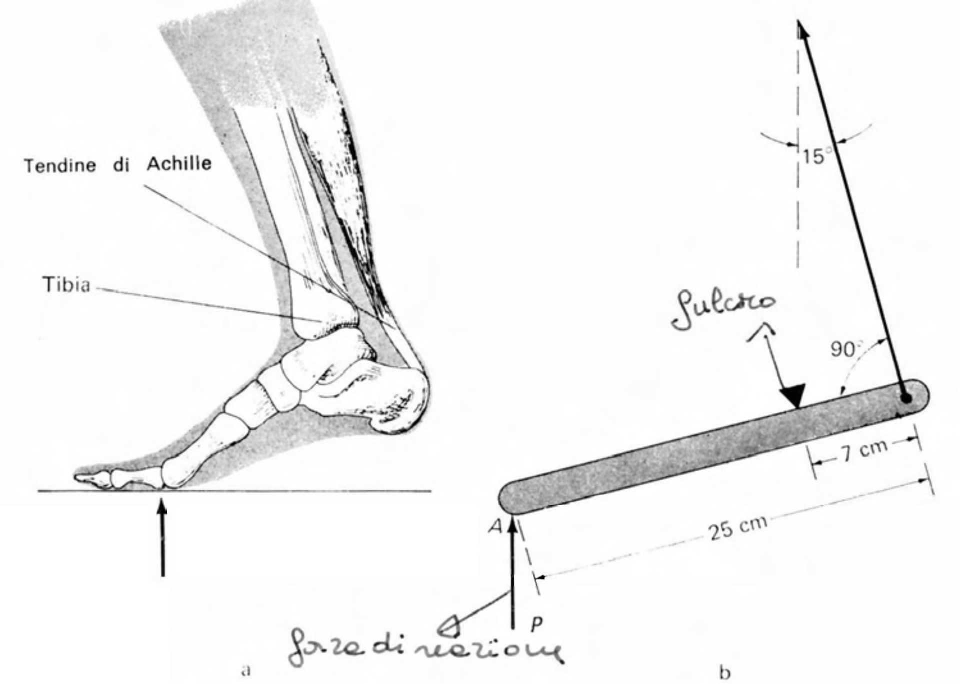


FIG. 1-17. Stazione sulla punta dei piedi e rappresentazione per mezzo di leve.

Il calcolo mostra che, stando in punta di piedi su un solo piede, la forza di compressione sulla tibia è 3,5P e la tensione del tendine di Achille è 2,5P, (vedi problema 1-13). Lo stare in punta di piedi è una posizione piuttosto faticosa.

PROBLEMI

1-1 (a) Spiegare perché la stabilità di un soggetto rispetto a una forza che tende a farlo cadere viene aumentata allargando le gambe come mostrato in figura 1-7.

(b) Calcolare la forza necessaria per fare cadere un soggetto che stia con i piedi distanziati di 0,9 m, come mostrato in figura 1-7.

1-2 Dimostrare la validità delle relazioni espresse dalle equazioni 1-6, 1-7 e 1-8.

1-3 Usando la trigonometria, calcolare l'angolo θ in figura 1-13. Le dimensioni sono indicate in fig. 1-12b.

1-4 Usando i dati forniti nel testo, calcolare il massimo peso che il braccio può sostenere nella posizione mostrata in fig. 1-12.

1-5 Calcolare la forza fornita dal bicipite e la forza di reazione nell'articolazione, in conseguenza di un peso di 14 kg tenuto in mano quando il gomito è (a) flesso di 160° e (b) flesso di 60°. Si assuma che il braccio resti fissato come in fig. 1-12. Si noti che in queste condizioni l'avambraccio non è più orizzontale.

1-6 Si consideri ancora la figura 1-12. Si supponga che il peso di 14 kg sia appeso a metà dell'avambraccio (20 cm dal fulcro). Calcolare la forza del bicipite e la forza di reazione nell'articolazione.

1-7 Si consideri la situazione in cui l'arto di fig. 1-13 sostiene due pesi di 14 kg, uno tenuto in mano e l'altro sostenuto al centro dell'avambraccio come nel problema 1-6.

(a) Si calcoli la forza del muscolo bicipite e la forza di reazione.

(b) Le forze così calcolate corrispondono alle forze che si produrrebbero qualora i due pesi venissero considerati separatamente?

1-8 Calcolare le forze aggiuntive dovute al peso del braccio stesso nella fig. 1-13. Si assuma che l'avambraccio abbia una massa di 2 kg e che il suo peso totale possa ritenersi applicato nel suo punto centrale, come nel problema 1-6.

1-9 Il lettore stimi le dimensioni del proprio braccio e disegni un modello di leva che schematizzi l'estensione del gomito prodotta dal tricipite. Si calcoli la forza del tricipite in una spinta del braccio con l'angolo del gomito mantenuto a 100°.

1-10 Si supponga che il bicipite in Fig. 1-13 si accorci di 2 cm. Quale è lo spostamento del peso verso l'alto?
Si supponga che la contrazione muscolare avvenga con velocità uniforme, durante un intervallo di 1/2 secondo. Si calcoli la velocità del punto di inserzione del tendine sull'osso, e la velocità del peso.
Si confronti il rapporto di queste velocità col vantaggio meccanico.

1-11 Calcolare le forze, nella situazione di un soggetto che zoppica mostrata in Fig. 1-5. Qual è l'angolo con cui agisce la forza Fr?

1-12 (a) Si calcoli la forza esercitata dal muscolo e la forza di compressione sulla quinta vertebra lombare in Fig. 1-16.

(b) Si ripeta il calcolo nel caso in cui il soggetto mostrato in Fig. 1-16 sostiene con le mani un peso di 20 kg.

1-13 Si calcoli la forza sulla tibia e sul tendine di Achille nella figura 1-7.