

## Alcune leve nel corpo umano I - 4/11/04

Le tecniche che abbiamo discusso per il calcolo di forze sui corpi in equilibrio possono essere facilmente applicate al corpo umano (o di un generico animale). Ciò è di grande utilità nello studio di forze agenti sui muscoli, sulle ossa o sulle giunture per organismi in moto o a riposo. In generale un muscolo è connesso, per mezzo di tendini, a due differenti ossa (fig. 9-14). Questi punti di collegamento sono detti *punti di inserzione*. Le due ossa sono collegate tramite un'articolazione snodabile, come quella del gomito, del ginocchio o dell'anca. Un muscolo esercita una trazione quando le sue fibre si contraggono per effetto della stimolazione nervosa, mentre non può compiere lavoro estendendosi.

I muscoli che lavorano mantenendo vicine due parti di un arto, come il muscolo bicipite nel braccio (fig. 9-14), sono detti *flessori*; quelli la cui azione tende a estendere un arto verso l'esterno, come il tricipite, sono detti muscoli *estensori*. Il muscolo flessore del braccio viene usato quando si solleva un oggetto con la mano; il muscolo estensore si usa quando si lancia una palla.

**ESEMPIO 8-8 Momento torcente di un bicipite.** Il bicipite esercita una forza verticale sull'avambraccio come mostrato in figura 8-14a e b. In ciascun caso, calcolate il momento torcente rispetto all'asse di rotazione che passa attraverso la giunzione articolare, assumendo che il muscolo sia attaccato a 5.0 cm dall'articolazione, come mostrato in figura.

**SOLUZIONE** (a)  $F = 700 \text{ N}$  e  $r_{\perp} = 0.050 \text{ m}$ , perciò

$$\tau = r_{\perp} F = (0.050 \text{ m})(700 \text{ N}) = 35 \text{ m}\cdot\text{N}.$$

(b) Poiché l'avambraccio forma un certo angolo con la perpendicolare alla forza, il braccio è minore (fig. 8-14c);  $r_{\perp} = (0.050 \text{ m})(\sin 60^{\circ})$ .  $F$  è ancora 700 N, perciò

$$\tau = (0.050 \text{ m})(0.866)(700 \text{ N}) = 30 \text{ m}\cdot\text{N}.$$

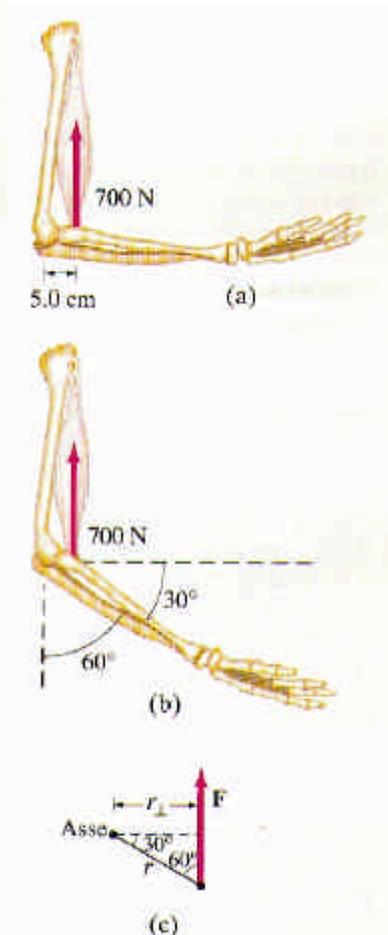
A questo angolo il braccio applica un momento torcente inferiore. Le macchine con i pesi nelle palestre sono spesso progettate per tener conto di questa variazione in funzione dell'angolo. ■

**ESEMPIO CONCETTUALE 8-8 Lo scimpanzé non è imbranato.** Gli scimpanzé adulti hanno una massa muscolare che è solo un terzo di quella di un uomo maschio adulto, ma è stato dimostrato che, in certi movimenti, sono in grado di sviluppare una forza doppia. Potete spiegare perché?

**RISPOSTA** La differenza nella performance può essere giustificata con l'anatomia. Per esempio, il punto di attacco dei muscoli bicipiti all'avambraccio negli scimpanzé è molto più lontano dall'articolazione che nell'uomo. L'aumento del braccio fa sì che la stessa forza muscolare esercitata dai bicipiti dello scimpanzé produca un momento torcente maggiore. Uno scimpanzé possiede un sistema di leve più efficiente.



**FIGURA 9-14** Disegno che mostra i muscoli bicipite (flessore) e tricipite (estensore) nel braccio umano.



**FIGURA 8-14** Esempio 8-8.

## Alcune leve nel corpo umano II - 4/11/04

**ESEMPIO 9-10** **Forza esercitata dal muscolo bicipite** Che forza deve esercitare il muscolo bicipite quando una massa di 5.0 kg è tenuta in mano (a) con il braccio orizzontale come in figura 9-15a, e (b) quando il braccio forma un angolo di 30° come in figura 9-15b? Si assuma che la massa totale dell'avambraccio e della mano sia di 2.0 kg e che il loro CG si trovi dove mostrato in figura.

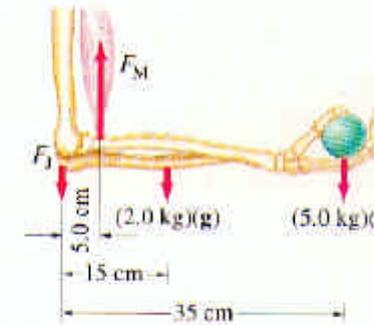
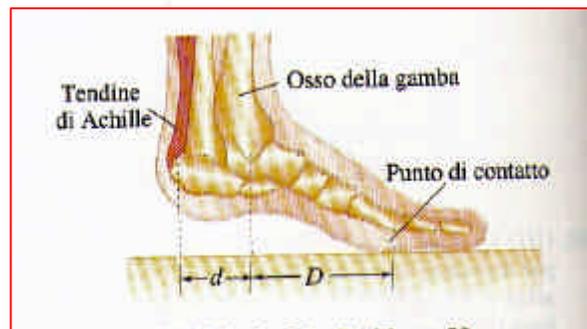
**SOLUZIONE** (a) Le forze agenti sull'avambraccio sono mostrate in figura 9-15a e includono la forza verso l'alto  $F_M$  esercitata dal muscolo e la forza  $F_J$  esercitata sull'articolazione dall'osso della parte superiore del braccio (entrambe supposte verticali). Vogliamo trovare  $F_M$ , il che può essere fatto facilmente usando l'equazione del momento torcente e scegliendo il nostro asse passante per l'articolazione, così che  $F_J$  non sia coinvolta:

$$\Sigma \tau = (0.050 \text{ m})(F_M) - (0.15 \text{ m})(2.0 \text{ kg})(g) - (0.35 \text{ m})(5.0 \text{ kg})(g) = 0.$$

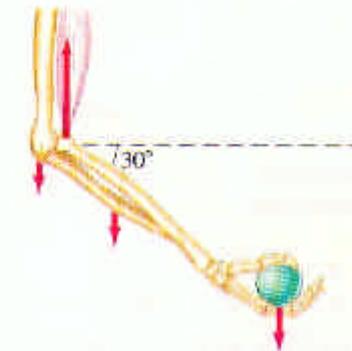
Risolviamo quest'espressione per trovare  $F_M$ , che risulta  $F_M = (41 \text{ kg})(g) = 400 \text{ N}$ .

(b) Il braccio di leva, calcolato rispetto all'articolazione, è ridotto di un fattore  $\cos 30^\circ$  per tutte e tre le forze. Quindi la nostra equazione del momento torcente assomiglierà a quella appena scritta, con l'unica differenza che ogni termine avrà un fattore « $\cos 30^\circ$ ». Esso si semplifica, quindi si ottiene lo stesso risultato,  $F_M = 400 \text{ N}$ . ■

Si osservi in questo esempio che la forza richiesta al muscolo (400 N) è molto più grande del peso dell'oggetto sollevato (49 N). Effettivamente, i muscoli e le articolazioni del corpo sono generalmente soggetti a forze piuttosto grandi.



(a)



(b)

FIGURA 9-15 Esempio 9-10.

## Alcune leve nel corpo umano III - 4/11/04

Come ulteriore esempio delle grandi forze agenti all'interno del corpo umano, consideriamo i muscoli utilizzati per sostenere il tronco quando una persona si piega in avanti (fig. 9-16a). L'ultima vertebra della colonna vertebrale (la quinta vertebra lombare) funge da fulcro per questa posizione del corpo. I muscoli interspinali della schiena, che sostengono il tronco, operano a un angolo effettivo di circa  $12^\circ$  rispetto all'asse della colonna vertebrale. La figura 9-16b è una rappresentazione schematica che mostra le forze nella parte alta del corpo. Supponiamo che il tronco formi un angolo di  $30^\circ$  con l'orizzontale. La forza esercitata dai muscoli della schiena è rappresentata da  $F_M$ , la forza esercitata alla base della colonna vertebrale sull'ultima vertebra è  $F_V$ , e  $w_1$ ,  $w_2$  e  $w_3$ , rappresentano i pesi della testa, delle braccia e del tronco rispettivamente. I valori mostrati sono approssimazioni tratte dalla tabella 7-1. Le distanze (in cm) si riferiscono a una persona alta 180 cm, ma stanno approssimativamente nello stesso rapporto di 1:2:3 per una persona media di qualsiasi altezza, e quindi il risultato dell'esempio seguente è indipendente dall'altezza della persona.

**ESEMPIO 9-11** **Forze che agiscono sulla schiena.** Calcolate l'intensità e la direzione della forza  $F_V$  agente sulla quinta vertebra lombare nell'esempio mostrato in figura 9-16b.

**SOLUZIONE** Per prima cosa calcoliamo  $F_M$  utilizzando l'equazione del momento torcente, ponendo l'asse alla base della colonna vertebrale. Per rappresentare il braccio della forza, occorre utilizzare delle funzioni trigonometriche. Per  $F_M$ , il braccio della forza (distanza perpendicolare tra l'asse e la retta lungo la quale è diretta la forza) sarà la reale distanza tra l'asse e il punto in cui agisce la forza (48 cm), moltiplicata per  $\sin 12^\circ$  come mostrato in figura 9-16c. I bracci della forza per  $w_1$ ,  $w_2$  e  $w_3$ , come si vede in figura 9-16b, si calcolano moltiplicando le loro rispettive distanze per  $\sin 60^\circ$ . Quindi  $\Sigma \tau = 0$  dà

$$(0.48 \text{ m})(\sin 12^\circ)(F_M) - (0.72 \text{ m})(\sin 60^\circ)(w_1) - (0.48 \text{ m})(\sin 60^\circ)(w_2) - (0.36 \text{ m})(\sin 60^\circ)(w_3) = 0,$$

dove abbiamo scelto il segno positivo per il momento torcente antiorario. Sostituendo i valori per  $w_1$ ,  $w_2$  e  $w_3$  dati in figura, troviamo  $F_M = 2.2w$ , dove  $w$  è il peso totale del corpo. Per ottenere le componenti di  $F_V$  utilizziamo le componenti  $x$  e  $y$  dell'equazione della forza (osservando che  $30^\circ - 12^\circ = 18^\circ$ ):

$$\Sigma F_y = F_{Vy} - F_M \sin 18^\circ - w_1 - w_2 - w_3 = 0$$

$$F_{Vy} = 1.3w$$

$$\Sigma F_x = F_{Vx} - F_M \cos 18^\circ = 0$$

$$F_{Vx} = 2.1w.$$

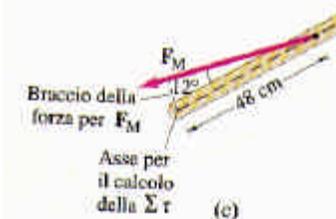
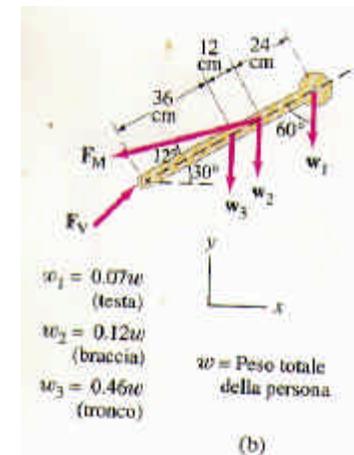
Quindi

$$F_V = \sqrt{F_{Vx}^2 + F_{Vy}^2} = 2.5w.$$

L'angolo  $\theta$  che  $F_V$  forma con la direzione orizzontale è dato da  $\tan \theta = F_{Vy}/F_{Vx} = 0.62$ , dunque  $\theta = 32^\circ$ . ■

La forza applicata all'ultima vertebra è dunque pari a 2 volte e mezzo il peso del corpo! Questa forza è trasmessa all'osso sacro alla base della colonna vertebrale, attraverso il flessibile *disco intervertebrale*. I dischi alla base della colonna vertebrale sono chiaramente compressi da forze molto elevate. [Se il corpo fosse meno inclinato (ad esempio se l'angolo di  $30^\circ$  in figura 9-16b diventasse di  $60^\circ$  o  $70^\circ$ ) allora lo sforzo sarebbe minore (vedere il problema 40).]

Se la persona in figura 9-16 ha una massa di 90 kg, e se solleva con le mani un peso di 20 kg (il che porta  $w_2$  a  $0.33w$ ), allora  $F_V$  aumenta fino a quasi 5 volte il peso del corpo ( $5w$ )! (Per questa persona di 90 kg il peso sul disco sarebbe di 450 kg!) Con queste intense forze in gioco, non sorprende il fatto che, prima o poi, nella loro vita, molte persone soffrano di dolori alla parte bassa della schiena.



**FIGURA 9-16** (a) Una persona che si piega in avanti. (b) Forze agenti sulla schiena esercitate dai muscoli della schiena ( $F_M$ ) e dalle vertebre ( $F_V$ ) quando una persona si piega in avanti.

Da: Giancoli, Fisica (CEA, Milano)