

# Indice

<b>Presentazione</b>	pag. 7-9
<b>Introduzione</b>	pag. 11-15
<b>I CAPITOLO</b>	
<b>Il movimento</b>	pag. 17-34
<b>II CAPITOLO</b>	
<b>Scienza e movimento</b>	pag. 35-42
<b>III CAPITOLO</b>	
<b>L'esperienza pratica sul campo</b>	pag. 43-47
<b>IV CAPITOLO</b>	
<b>La biomeccanica</b>	pag. 49-78
<b>V CAPITOLO</b>	
<b>La biomeccanica muscolare</b>	pag. 79-89
<b>VI CAPITOLO</b>	
<b>Biomeccanica della colonna vertebrale</b>	pag. 91-103
<b>VII CAPITOLO</b>	
<b>Teoria e metodologia dell'allenamento</b>	pag. 105-129
<b>VIII CAPITOLO</b>	
<b>La seduta d'allenamento</b>	pag. 131-145

IX CAPITOLO	
<b><i>Gli addominali</i></b>	pag. 147-199
X CAPITOLO	
<b><i>Gli arti inferiori</i></b>	pag. 201-281
XI CAPITOLO	
<b><i>I pettorali</i></b>	pag. 283-314
XII CAPITOLO	
<b><i>I dorsali</i></b>	pag. 315-359
XIII CAPITOLO	
<b><i>Le spalle</i></b>	pag. 361-397
XIV CAPITOLO	
<b><i>Gli arti superiori</i></b>	pag. 399-435
XV CAPITOLO	
<b><i>La mobilità articolare</i></b>	pag. 437-451
XVI CAPITOLO	
<b><i>Le attrezzature per le attività di tipo aerobico</i></b>	pag. 453-459
XVII CAPITOLO	
<b><i>Le ultime frontiere dell'allenamento: le vibrazioni</i></b>	pag. 461-470
<b><i>Bibliografia</i></b>	pag. 471-476
<b><i>Ringraziamenti</i></b>	pag. 479

## La biomeccanica

### La biomeccanica e i suoi obiettivi

La sofisticata quanto complessa macchina umana prevede oltre 500 muscoli collegati allo scheletro attraverso tendini e legamenti; questi, coordinati dal cervello attraverso il sistema nervoso, riescono ad attuare infiniti tipi di movimenti innescando tutta una serie di meccanismi e di processi altamente specializzati.

La biomeccanica è la scienza che si occupa dello studio del movimento della macchina-uomo.

Il termine stesso lascia facilmente intuire che si tratta di due scienze in stretta simbiosi: la biologia (studio di tutto ciò che è vivo) e la meccanica, branca della fisica che si occupa del movimento dei corpi e di tutto ciò che riguarda il moto di tali corpi.

La biomeccanica studia quindi i movimenti meccanici degli organismi viventi, in particolare dell'apparato locomotore umano e di come questo riesca a mantenere una determinata posizione o a cambiarla.

Si tratta insomma di un connubio tra due scienze come la fisica e la biologia: più precisamente, le leggi fisiche della meccanica entrano in rapporto con la sfera biologica dell'uomo.

Alcune volte, come vedremo in seguito, questo tipo di relazione risulta molto più complessa rispetto a quanto accade quando le leggi fisiche vengono applicate a corpi solidi inerti (vedi sistema di ricerca del baricentro corporeo).

QUARTO CAPITOLO  
La biomeccanica

A tal proposito, le affermazioni di Bogdanov e Ivanov (1989) possono a questo punto aiutarci a rendere ancora più chiaro il contenuto della biomeccanica: *“...Un semplice trasferimento delle leggi della meccanica riguardanti il movimento dei corpi solidi sul movimento umano porta ad un meccanismo semplificato che non permette di cogliere il nocciolo della questione. Bisogna in primo luogo capire la differenza tra il movimento del sistema biomeccanico vivente e il movimento del sistema elementare corpo solido”*.

E ancora: *“....Il problema principale della teoria della biomeccanica è studiare la struttura e le proprietà del sistema biomeccanico uomo, il suo sviluppo e perfezionamento”*.

Nel contesto che ci interessa la biomeccanica cerca di porre delle basi scientifiche sui sistemi di esecuzione di determinati movimenti per poter applicare efficacemente gli sforzi ed eseguire nel modo corretto il compito motorio che si deve effettuare.

Per riuscire a stabilire quale sia la metodologia più razionale per l'esecuzione di un movimento occorre conoscere i sistemi esistenti e tutte le forme vantaggiose e svantaggiose che si possono realizzare: il rapporto tra la spesa energetica, il risultato ottenuto e i carichi lesivi relativi ci dirà quale può risultare il **modello teorico ideale**. Per avere la possibilità di utilizzare termini e concetti indispensabili alla prosecuzione di questo lavoro è necessario ora analizzare gli aspetti fondamentali della meccanica: lo sforzo effettuato in questa direzione è stato soprattutto improntato alla ricerca della sinteticità, e diversamente non sarebbe potuto essere, sia perché le pagine di questo testo non sarebbero state sufficienti a contenere una trattazione completa, sia perché non ci sarebbero state le specifiche competenze e conoscenze per farlo.

QUARTO CAPITOLO  
La biomeccanica

**Cenni di meccanica**

La meccanica come già detto è quella parte della fisica che studia il movimento dei corpi, i vari tipi di moti e le leggi alle quali i moti obbediscono, le condizioni che occorrono perché si realizzi una situazione di equilibrio e le cause che determinano i movimenti stessi: tutto questo si realizza attraverso lo studio della cinematica, della statica e della dinamica.

Per una esatta valutazione quantitativa di tutti i fenomeni naturali è inevitabile dover ricorrere alle grandezze fisiche fondamentali, che in biomeccanica vengono evidenziate soprattutto nella lunghezza, nella massa e nel tempo dalle quali vengono ricavate altre grandezze, come la velocità, l'accelerazione, la forza, ecc..

In fisica l'insieme di tutte queste grandezze viene suddiviso in grandezze vettoriali, quando se ne conosce la lunghezza, la direzione e il verso come nel caso della **forza**, e in grandezze scalari quando se ne conosce la specie e il numero che le misura come nel caso della **massa**.

La tabella 4.1 ci aiuta a schematizzare le varie grandezze con le relative unità di misura per il S.I., il sistema di misura internazionale.

QUARTO CAPITOLO  
La biomeccanica

TABELLA DI UNITÀ DI MISURA USATE IN MECCANICA (S.P. sistema pratico di misura; S.I. sistema internazionale)				
grandezza		nome della unità dimensionale	Dimensione fisica	Formula di definizione
Denominazione	Simbolo			
lunghezza	l, s	metro	m	
massa	m, M	kilogrammo massa	kg	$m = \frac{F_p}{g}$
tempo	t	secondo	sec	
angolo piano	$\varphi$	radiante	rad	$\varphi = \frac{\alpha^\circ}{2\pi}$ $1 \text{ rad} = \frac{360}{2\pi} = 57,3$
velocità	v	metro al secondo	m/sec	$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ moto uniforme $v = \sqrt{2as}$ ; $v = \sqrt{2gh}$ moto vario $v_p = \omega r$ moto circolare
velocità angolare	$\omega$	radiante al secondo	rad/sec	$\omega = \frac{\varphi}{t}$
accelerazione	a	metro al secondo per secondo	m/sec <sup>2</sup>	$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
accelerazione di gravità	g	metro al secondo per secondo	m/sec <sup>2</sup>	$g = \frac{F_p}{m}$
accelerazione angolare	$\alpha$	radiante al secondo per secondo	rad/sec <sup>2</sup>	$\alpha = \frac{\omega}{t}$
forza (forza peso)	F <sub>p</sub>	Newton S.I. kilogrammo peso S.P.	N kg <sub>p</sub>	$F = m \cdot g$ $1 \text{ kg}_p = 9,8 \text{ N}$
lavoro	L; W	Joule S.I.	J	$L = F \cdot s$ $EC = \frac{1}{2}mv^2$
energia	E	kilogramme- tro S.P.	kgm	$E_p = F_p \cdot h$ $1 \text{ kgm} = 9,8 \text{ J}$
potenza	P N	Watt S.I. kilogramme- tro al secon- do S.P.	W kgm/sec	$N = \frac{1}{1000} 1 \text{ kgm/sec} = 9,8 \text{ W}$ $1 \text{ CV} = 75 \text{ kgm/sec}$ ; $1 \text{ CV} = 735 \text{ W}$
momento	M	kilogrammo per metro	N · m S.I. kg · m S.P.	$M = F \cdot b$
momento d'inerzia	I	kilogrammo per metro quadro	kg · m <sup>2</sup> S.P.	$I = m \cdot r^2$

Fig. 4.1 - Da: Manoni, 1980.

### La cinematica

La cinematica studia il movimento limitandosi a descrivere i vari moti senza tenere in considerazione le cause che lo provocano.

Le grandezze fondamentali della cinematica sono lo spazio e il tempo. I moti, in riferimento al concetto di spazio o di distanza vengono tutti descritti all'interno di un sistema di riferimento costituito da tre assi perpendicolari tra loro, con un punto iniziale comune ai tre assi.

Un corpo si dice **in moto** rispetto ad un sistema di riferimento, quando la posizione dei suoi punti rispetto a tale sistema varia in rapporto al tempo; si dice **in quiete**, rispetto a un sistema di riferimento quando la posizione dei suoi punti rimane la stessa anche con il trascorrere del tempo.

Per la determinazione di un movimento e di ogni punto del corpo che lo compie, è indispensabile conoscere la traiettoria, il verso e la direzione di suddetto punto; con il variare del tipo di questi parametri varierà il tipo di moto.

La traiettoria deve essere considerata come la linea formata dai punti successivamente occupati da un corpo.

Secondo Bogdanov e Ivanov (1989) la rappresentazione dei movimenti nello spazio comprende:

- il moto di traslazione, dove tutti i punti del corpo si spostano lungo traiettorie parallele e l'asse longitudinale parallelamente a se stesso, come si verifica nei vari tipi di corsa;
- il moto di rotazione, dove per un periodo di tempo determinato l'asse longitudinale del corpo gira con un certo angolo, azione riscontrabile ad esempio nel gran volteggio nella ginnastica artistica;

QUARTO CAPITOLO  
La biomeccanica

- moti complessi nello spazio, combinazione dei primi due, come avviene ad esempio nei tuffi che può essere considerata una disciplina dall'elevato significato neuro-motorio.

Se si va poi ad analizzare i movimenti in rapporto a come si svolgono nel tempo, i moti vengono divisi anche in:

- moto uniforme, dove si percorrono spazi uguali in tempi uguali e le velocità risulta quindi costante; il moto rettilineo uniforme altro non è che un moto uniforme che si realizza lungo una traiettoria rettilinea;
- moto vario, dove in tempi uguali si percorrono spazi diversi e la velocità risulta perciò non costante.

Per agevolare la comprensione dei prossimi argomenti, bisogna fare riferimento alle grandezze derivate dalle due grandezze fondamentali spazio e tempo e cioè la velocità e l'accelerazione.

La **velocità,  $v$** , come tutti sanno è il rapporto tra lo spazio percorso e il tempo impiegato a percorrerlo e si misura in m/sec.

L'**accelerazione,  $a$** , invece rappresenta il rapporto tra la variazione di velocità e l'intervallo di tempo durante il quale avviene questa variazione, e poiché  $v$  si misura in m/sec e  $t$  si misura in sec, l'accelerazione si misurerà in metri al secondo per secondo. Esiste poi un altro tipo di accelerazione, quella di gravità,  **$g$** , che è uguale al rapporto tra la forza peso e la massa sottoposta a questa forza e si misura anch'essa in metri sec per sec.

### La statica

La statica si occupa dell'equilibrio dei corpi e delle cause (le

QUARTO CAPITOLO  
La biomeccanica

forze) che intervengono per mantenere tale stato.

Le forze possono essere divise in forze esterne, forza di gravità in particolare, e forze interne, essenzialmente espresse dalla forza muscolare. Pur apparendo tutti concetti estremamente complessi, nella sostanza la statica mette in rapporto la forza muscolare che l'atleta compie contro una resistenza: quando queste due forze sono uguali il sistema è in equilibrio, quando una delle due risulterà maggiore rispetto all'altra si produrrà movimento.

Nasce spontaneo pensare che la statica e la dinamica nel nostro studio possano essere sovrapponibili dando vita a non poche confusioni per il semplice fatto che per conoscere i principi della statica è spesso necessario conoscere i principi della dinamica e viceversa.

Per riuscire a comprendere con chiarezza tali concetti risulta estremamente utile procedere con cautela.

Prima però, bisogna citare la forza esterna più importante, la forza peso, che è generata dalla forza di gravità con una direzione sempre verticale e con un verso sempre diretto verso il centro della terra e che trova nel baricentro il suo punto d'applicazione nel corpo umano.

L'unità di misura è il Newton (**N**) che viene definito come una forza che applicata ad un corpo avente la massa di 1 kg gli imprime una accelerazione  $1 \text{ m sec}^{-2}$ ; nel sistema pratico, l'unità di misura della forza peso è il chilogrammo-peso, definito come quella forza che la massa di 1 kg esercita quando subisce l'accelerazione di gravità pari a  $9,81 \text{ m sec}^{-2}$ .

La massa è una grandezza scalare perché rappresentata da un solo numero e possiede come unità di misura il kilogrammo (kg)

costante e caratteristica per ciascun corpo, mentre il peso è una grandezza vettoriale variabile.

### Le leve del corpo umano

La struttura scheletrica umana è composta da una serie di segmenti ossei sui quali prendono origine e si inseriscono i muscoli; questi segmenti scheletrici collegati tra loro attraverso complessi articolari prendono il nome di “leve”, le quali rappresentano le unità funzionali principali della macchina umana e che nella statica sono rappresentate da segmenti rigidi che possono ruotare attorno ad un punto fisso detto fulcro.

Fig. 4.2a

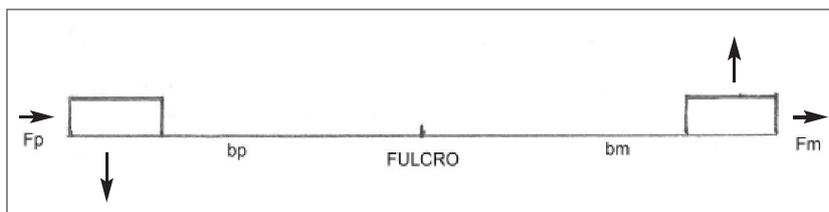


Fig. 4.2b

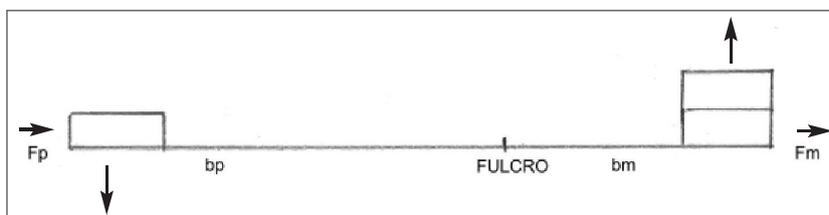
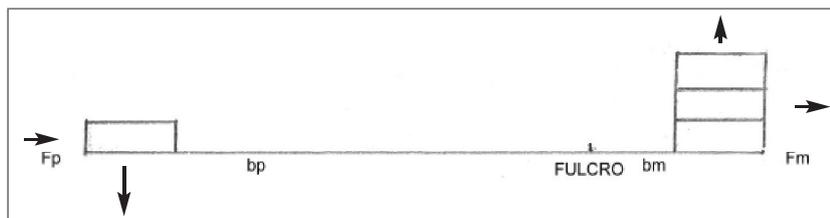


Fig. 4.2c



Tratto da Manoni (Manoni), 1982. Modificato da Stecchi

### Tipi di leve

Nella pratica, la macchina umana produce lavoro equilibrando o vincendo le forze esterne; nel caso di inferiorità della forza muscolare rispetto alla forza esterna, l'equilibrio verrà perso con un cedimento o ad esempio con una caduta.

In ogni sistema di leve, bisogna sempre tener presente la forza peso  $F_p$  (resistenza), la forza muscolare  $F_m$  (potenza) e i loro bracci  $b_p$  e  $b_m$  che intercorrono tra il fulcro e le linee d'azione delle due forze.

Nella figura 4.2a, si viene a verificare una classica condizione di equilibrio dovuta alla stessa lunghezza dei bracci; nella figura 4.2b, il braccio della forza muscolare si riduce per cui appare chiaro che la forza applicata  $F_m$  aumenterà. Così nella figura 4.2c, questo braccio si riduce ulteriormente con proporzionale aumento della applicazione  $F_m$ .

Moltiplicando la forza applicata per la lunghezza del braccio si ottiene il momento  $M$ , il quale valore è indicativo della forza con cui un corpo agisce sul fulcro, nel nostro caso, il carico che l'articolazione dovrà sopportare dovrà aumentare i suoi gradienti.

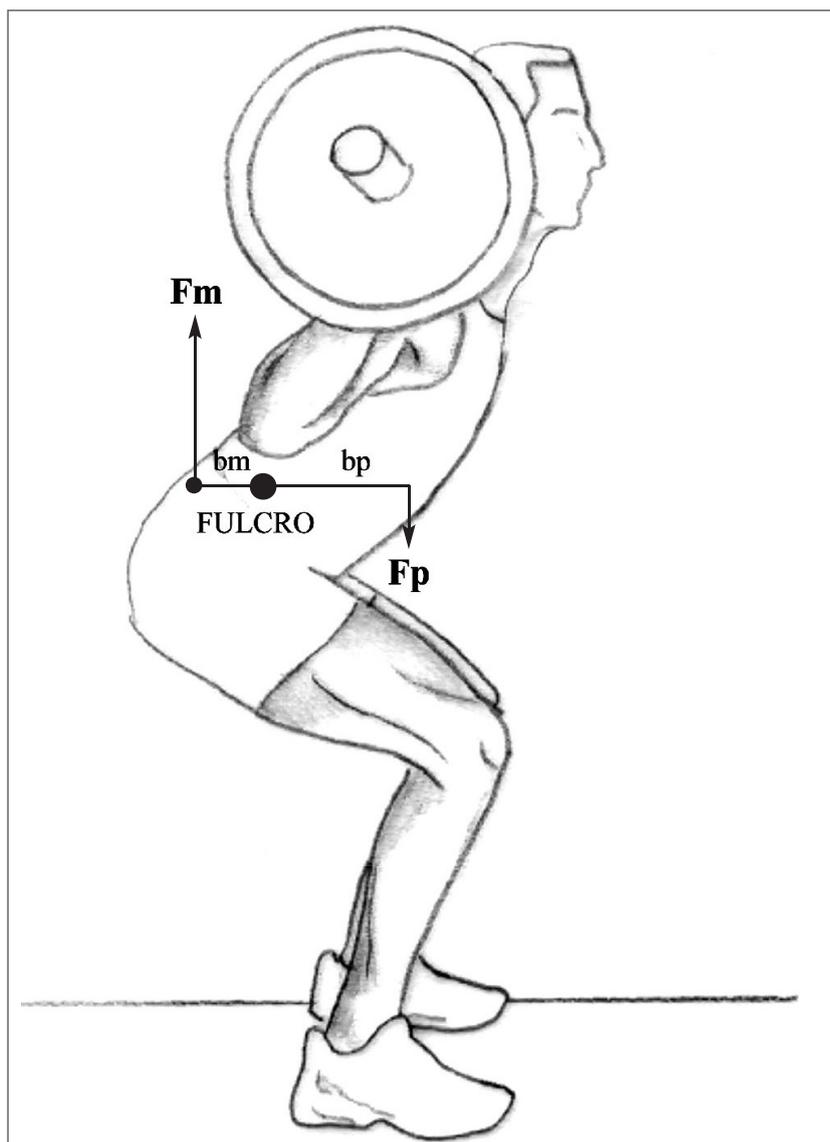
QUARTO CAPITOLO  
La biomeccanica

Da un punto di vista pratico la forza peso è rappresentata dal carico che si dovrà muovere, il suo braccio dalla distanza di esso dal fulcro; la forza muscolare dallo sforzo che il sistema muscolare dovrà applicare in risposta alla forza peso e il braccio dalla distanza del muscolo o dei muscoli in azione dall'articolazione.

In Fisica, come anche in Biomeccanica, esistono tre tipi di leve classificabili in base alla posizione del fulcro e ai punti dove si applicano le due forze  $F_p$  e  $F_m$ .

In generale comunque la leva verrà definita **vantaggiosa** nel caso di maggiore lunghezza del braccio ( $b_m$ ) della  $F_m$  rispetto al braccio ( $b_p$ ) della  $F_p$ ; viceversa, quando cioè  $b_m$  sarà inferiore a  $b_p$ , la leva verrà definita **svantaggiosa**.

**Leva di 1° genere:** il fulcro è situato tra i due punti d'applicazione. Nella macchina umana questo tipo di leve sono abbastanza frequenti, si manifestano soprattutto in modo "svantaggioso" sollecitando quindi grandi impieghi di forze muscolari con piccole escursioni e grandi velocità.



**Fig. 4.3** da: *Stecchi, 2003*. È da sottolineare che il punto d'applicazione della  $F_p$  coincide con il baricentro totale. Tipico esempio di leva di 1° genere.

**Leva di 2° genere:** il punto d'applicazione della  $F_p$  è situato tra il fulcro e il punto d'applicazione della  $F_m$ , per cui è facilmente intuibile che si tratterà di sistemi sempre vantaggiosi in quanto il braccio muscolare sarà sempre maggiore del braccio della forza peso.

Nella fig. n. 4.4 è rappresentato un tipico esempio di questo genere di leva: va detto comunque che le leve di 2° genere sono assolutamente sporadiche nei meccanismi della macchina umana.

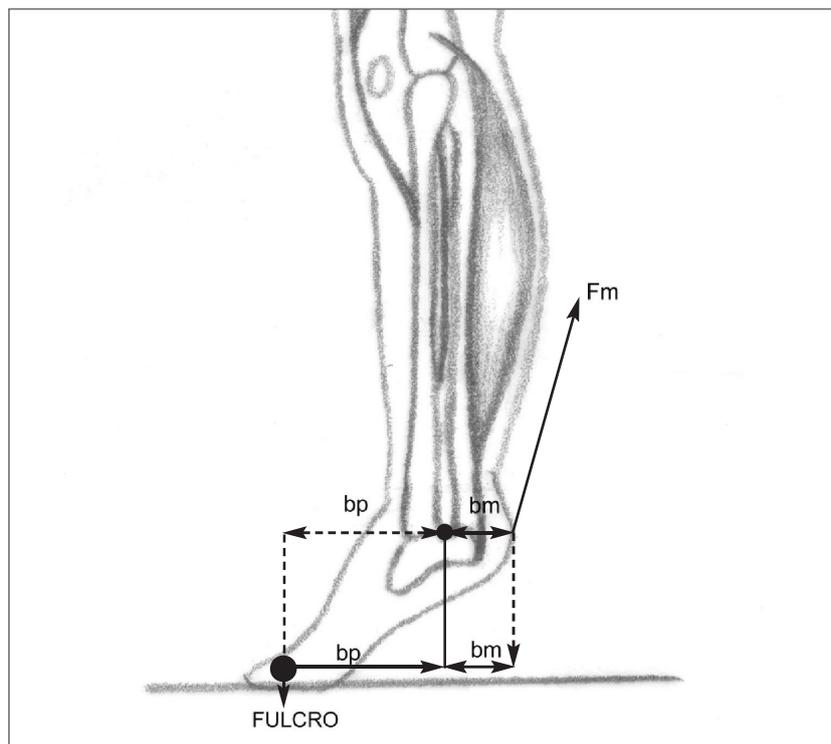


Fig. 4.4 da: Stecchi, 2003.

QUARTO CAPITOLO  
La biomeccanica

**Leva di 3° genere** (fig. 4.5): il punto d'applicazione della  $F_m$  è situata tra il fulcro ed il punto d'applicazione della  $F_p$  decretando l'aspetto svantaggioso del sistema visto che il braccio  $bm$  è sempre inferiore a  $bp$ . Si tratta del tipo di leva più frequente nel funzionamento della macchina umana, nella quale le inserzioni muscolari sono vicinissime al fulcro e di conseguenza sono indispensabili notevoli sforzi muscolari che vengono però a realizzarsi con brevi escursioni e grandi velocità.

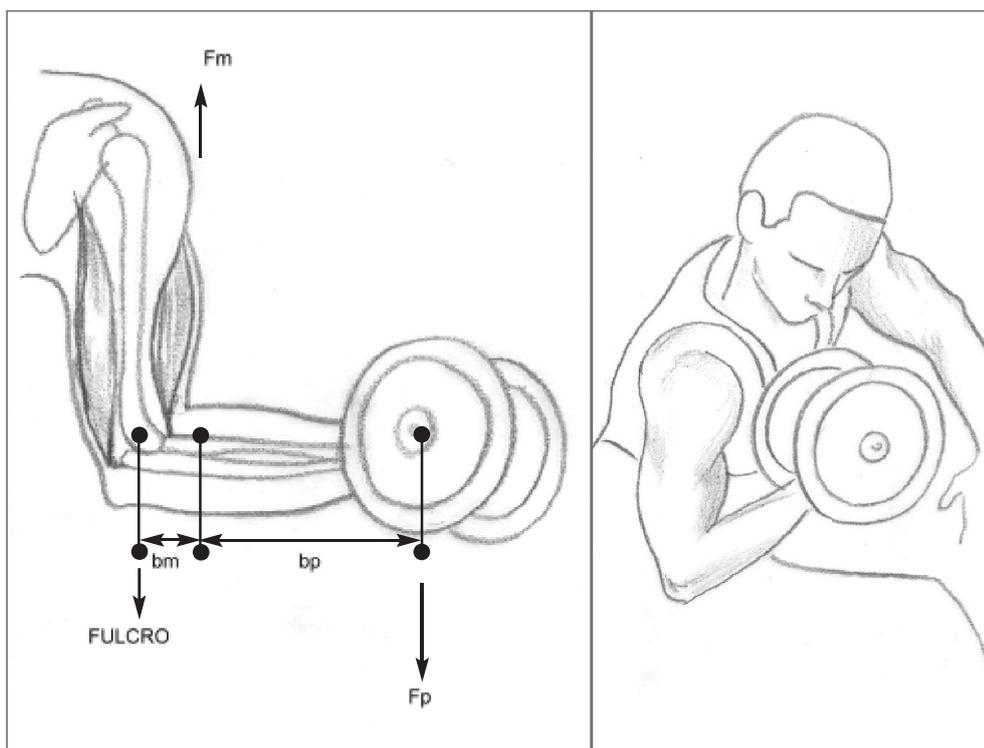


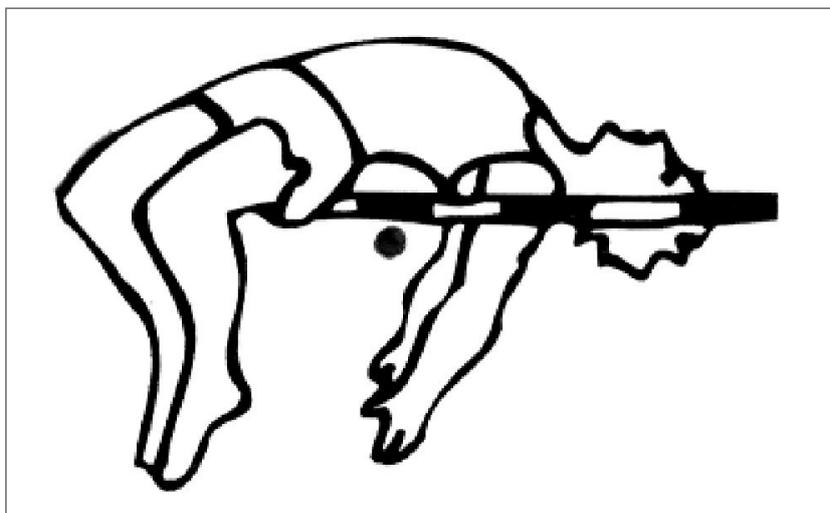
Fig. 4.5 da: *Stecchi, 2003.*

Fig. 4.6 da: *Stecchi, 2003.*

### Baricentro e sistema per ricavarlo

Nel paragrafo riguardante la statica è stato enunciato che la forza peso è soggetta alla forza di gravità che nel corpo umano trova il suo punto di applicazione in un punto immateriale, un punto che varia sempre la sua posizione a seconda del movimento che si effettua e che si chiama baricentro, o centro di gravità del corpo umano.

Lo studio del baricentro e dei suoi spostamenti è stato, ed è tuttora, oggetto di ricerche e di sperimentazioni molto approfondite regalando successi a tutto lo sport fino a qualche tempo fa davvero inimmaginabili (fig. 4.7)



*Fig. 4.7 da: Wirhed, 1999. Nel salto in alto sono stati fatti notevoli incrementi da un punto di vista prestazionale e di risparmio nel dispendio energetico: in particolare da quando si è intuito che il baricentro poteva passare al di sotto dell'asticella. Questo tipo di salto stile fu proposto dall'atleta D. Fosbury (1968), da cui poi prese nome lo stile.*