

12

La meccanica dell'apparato locomotore

Immaginiamo che ogni componente anatomica dell'apparato locomotore sia l'elemento meccanico di una macchina. In base alla forma, ciascuna parte svolgerà specifiche funzioni nel complesso dei lavori che la macchina compie.

Seguendo questo concetto si comprende lo stretto collegamento che c'è sempre tra anatomia (forma) e fisiologia (funzione) e fra queste discipline e quella branca della fisica che studia lo stato di moto e di quiete dei corpi, cioè la **meccanica**.

12.1 La macchina del movimento

L'apparato locomotore è costituito dai seguenti elementi essenziali: ossa, articolazioni, muscoli, tendini, legamenti. Seguendo il concetto espresso sopra rileviamo il seguente parallelismo:

Elementi anatomici	Elementi meccanici
ossa	leve
articolazioni	giunti
muscoli	motori
tendini	cavi
legamenti	raccordi e fermi

Dal punto di vista meccanico, per la loro struttura e forma le ossa possono essere paragonate alle *leve* e le articolazioni, che fungono da congiunzione delle ossa permettendone il movimento reciproco, a *giunti meccanici*. Per comprendere meglio ricordiamo brevemente i principi fisici su cui si basano le leve.

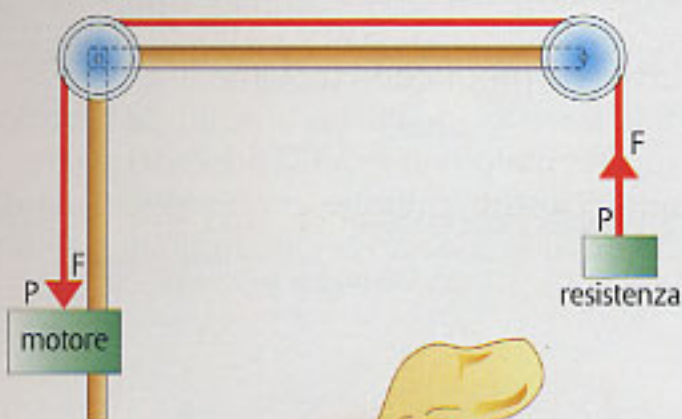
La **leva** è costituita da un'asta rigida vincolata a un punto fisso detto *fulcro* (F). Ad essa vengono applicate generalmente **due forze**: una resistente detta *resistenza* (R), l'altra motrice detta *potenza* (P). Per determinare il rapporto fra le due forze bisogna definire le loro distanze dal fulcro: queste distanze si chiamano *braccio della resistenza* e *braccio della potenza*.

Si distinguono tre generi di leva:

- *leva di primo genere*, quando il fulcro si trova tra la resistenza e la potenza (per esempio le forbici). Poiché il braccio della potenza può essere maggiore, minore

o uguale a quello della resistenza, la leva di primo genere può essere rispettivamente vantaggiosa, svantaggiosa o indifferente;

- *leva di secondo genere*, quando la resistenza si trova tra la potenza e il fulcro (per esempio lo schiaccianoci). È sempre vantaggiosa, poiché il braccio della potenza risulta sempre maggiore del braccio della resistenza;
- *leva di terzo genere*, quando la potenza si trova fra il fulcro e la resistenza (per esempio le pinzette). È sempre svantaggiosa: infatti il braccio della potenza risulta sempre minore del braccio della resistenza.



Le strutture meccaniche composte da ossa e articolazioni per avvicinarsi e allontanarsi hanno bisogno di un motore, o meglio di un trasformatore in grado di trasformare l'energia chimica in energia meccanica; l'energia sprigionata compirà il lavoro richiesto.

Questa funzione nell'apparato locomotore viene svolta dai muscoli. Essi, come abbiamo visto, assolvono questo compito grazie alla loro capacità di contrazione, ossia alla capacità di ridurre la loro lunghezza.

Studiando il muscolo scheletrico abbiamo visto che alle estremità esso è costituito da strutture allungate molto robuste, poco elastiche: i tendini; come i cavi nelle strutture meccaniche, i tendini hanno la funzione di trasportare la forza sviluppata dal «motore» nel punto in cui serve, nel caso specifico dell'apparato locomotore nel punto di inserzione sulle ossa.

La forza muscolare provoca spostamenti dei settori ossei articolari, i quali devono essere regolati e vincolati da limiti fisiologici ben precisi. Nell'apparato locomotore questo compito viene assolto da strutture chiamate legamenti. Essi, inserendosi tra due o più ossa contigue, «scavalcano» l'articolazione e tengono unite le ossa permettendo solo i movimenti appropriati. La funzione dei legamenti è quindi quella di *raccordi e fermi di sicurezza*.

Riassumendo, l'apparato locomotore è un sistema di leve, giunti, carrucole, cavi, raccordi e fermi che permettono al corpo di muoversi. Vediamo come.

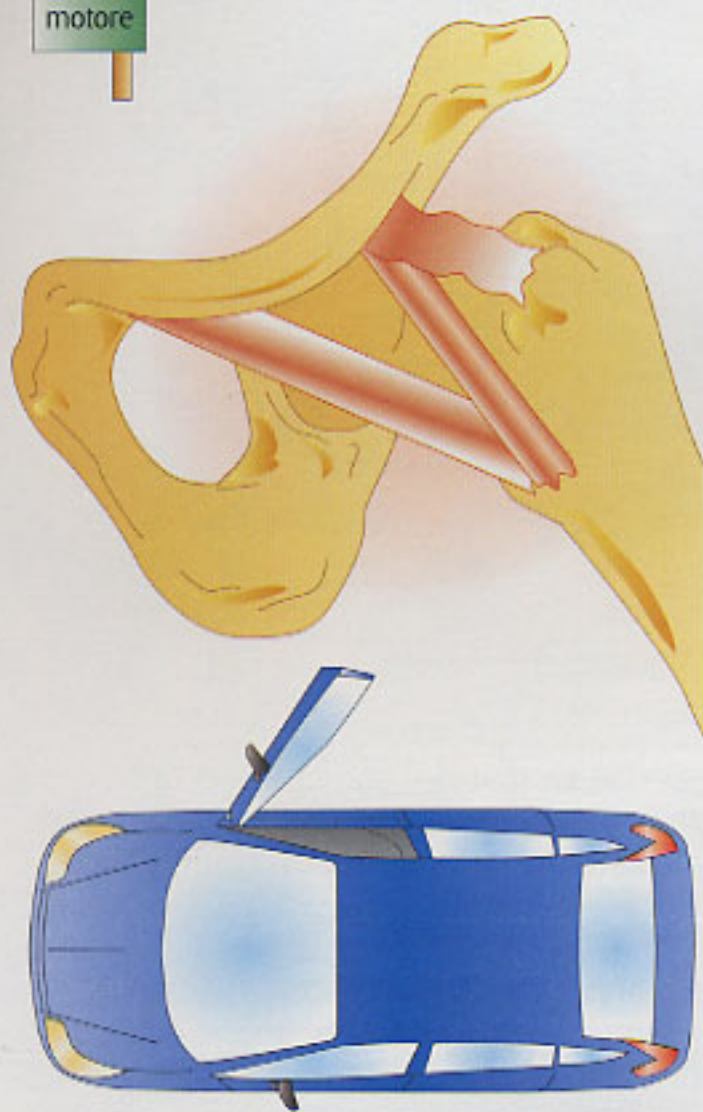
Ogni muscolo volontario si inserisce con i propri tendini o aponeurosi tendinee sui segmenti ossei costituendo con essi un sistema di leve che il muscolo mette in movimento in seguito alla propria contrazione. Successivamente, grazie al rilasciamento muscolare, i segmenti ossei possono ritornare nella posizione di partenza per effetto dei muscoli antagonisti. Questo spostamento è reso possibile dal-

le articolazioni che garantiscono la mobilità di un osso rispetto a un altro.

In tali sistemi di leve, il fulcro F è rappresentato dall'articolazione, la potenza P (cioè la forza necessaria a compiere il lavoro) dal muscolo, la resistenza R dalla forza che si oppone alla potenza del muscolo, spesso coincidente con il peso della porzione corporea che viene spostata. Quindi il braccio della potenza è rappresentato dalla distanza tra l'articolazione e il punto in cui si attacca il muscolo in azione, e il braccio della resistenza è costituito dalla distanza tra l'articolazione e il baricentro della porzione spostata.

Nell'apparato locomotore i tre punti FPR possono combinarsi in modo differente producendo una leva di primo, di secondo o di terzo genere.

Una leva di primo genere produce fundamentalmente movimenti di bilanciamento quando F è a metà distanza fra R e P . Per esempio, nel corpo umano una leva di questo tipo è rappresentata dall'articolazione fra le prime due vertebre cervicali e il cranio (articolazione atlanto-occipitale). In questo caso F è l'articolazione stessa, R è il peso della testa, P la forza dei muscoli del collo.

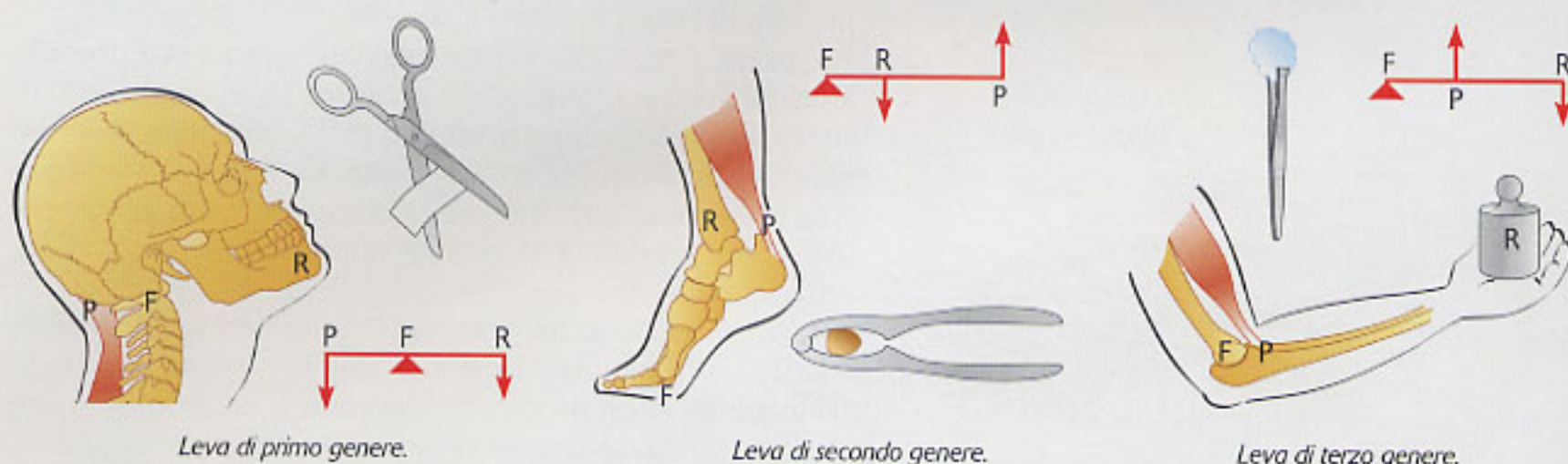


Similitudine del corpo umano con la meccanica.

Una leva di secondo genere produce movimenti di forza poiché permette a una potenza relativamente piccola di superare una grossa resistenza. Questo tipo di leva non è molto frequente nel nostro corpo. Un esempio è la flessione plantare del piede in appoggio (sollevamento sugli avampiedi): F è rappresentato dalle teste metatarsali, P dalla contrazione dei muscoli del polpaccio (tricipite della sura), R dal peso del corpo da sollevare. Questo tipo di leva è detto anche *interresistente* perché la resistenza è fra F e P .

Una leva di terzo genere produce invece movimenti ampi e veloci. È detta anche *interpotente* perché P è fra F e R . La maggior parte delle leve umane è proprio di terzo genere. Non sono leve vantaggiose perché richiedono una notevole potenza per superare resistenze anche piccole, ma sono leve che producono movimenti ampi e veloci con minimi spostamenti. Un esempio è la flessione dell'avambraccio sul braccio a opera del bicipite brachiale, dove F è rappresentato dall'articolazione del gomito, P è il muscolo stesso, R è il peso dell'avambraccio (importante: in questo sistema di leve P è la distanza dell'inserzione muscolare dall'articolazione; infatti quanto è più lungo il braccio della potenza tanto minore è la forza necessaria a muovere la leva).

Esempi dei tre diversi generi di leva nel corpo umano.



12.2 La biomeccanica

Oggetto della **biomeccanica** sono le leggi che studiano il movimento del corpo umano nel suo insieme una volta avvenuta l'attivazione dell'apparato locomotore. Questa scienza applica ai corpi animati, e quindi al corpo umano, i principi della meccanica studiati in relazione ai corpi solidi inanimati.

Nata nel XVII secolo, la biomeccanica si è avvalsa delle scoperte realizzate nel tempo nei campi della fisica e della medicina. In anni recenti, la sempre maggior attenzione rivolta alle prestazioni sportive ha condotto ad approfondire anche gli studi di biomeccanica e la loro applicazione alle attività motorie. La materia è in continua e costante evoluzione.

Delle numerose e complesse leggi che regolano la biomeccanica analizzeremo solo quelle che più interessano i nostri scopi.

La forza

La **forza** è una grandezza fisica che può essere definita come l'agente in grado di modificare lo stato di quiete o di moto di un corpo. La dinamica è la parte della fisica che si occupa di ciò.

La forza si visualizza graficamente con un *vettore* che di essa rappresenta *intensità*, *direzione* e *verso*. Inoltre ha sempre un *punto di applicazione*, dal quale ha origine il vettore che la rappresenta.

In biomeccanica, quando si parla di forza si intende quel vettore originatosi da un preciso punto di applicazione che possiede intensità, direzione e verso: la forza modifica o stabilizza la posizione del corpo o la posizione di parti di esso nello spazio.

La forza permette di vincere la resistenza opposta dal corpo al movimento, grazie al lavoro espresso dai muscoli scheletrici. Essa può anche essere utilizzata per imprimere un movimento a degli oggetti, oppure per fermarlo, e per opporre resistenza al movimento per mezzo di oggetti statici.

Le espressioni di forza muscolare possono essere di varia intensità (caratteristica rappresentata dalla *lunghezza del vettore*); in stretto rapporto con l'intensità della forza sarà la velocità del movimento che ne deriva.

Nelle espressioni motorie risulta che la forza è inversamente proporzionale alla velocità. Per esempio, nel lancio del peso, per ottenere un'uguale prestazione, a una maggiore velocità corrisponderà un impiego di forza minore; se la velocità del gesto è minore occorrerà impiegare una maggiore quantità di forza.

Come accennato, la forza può avere direzioni diverse (rappresentate dalla *direzione del vettore*). Quando produce lo spostamento di un corpo lungo una linea retta si parla di *movimento lineare*. In questo caso tutti i punti del corpo si spostano nella stessa direzione, alla stessa velocità e giungono nello stesso tempo a una determinata distanza. Quando la forza produce un movimento che fa ruotare un corpo attorno a un asse o a un centro di rotazione fisso si parla di *movimento rotatorio* (o rotazione). Vediamo ora le caratteristiche della forza muscolare:

- l'**intensità** (la lunghezza del vettore) dipende dalla quantità e qualità di fibre utilizzate per esprimere il lavoro;
- la **direzione** (l'angolo secondo il quale è orientato il vettore) è la risultante della direzione delle forze di ciascun muscolo (e fibra muscolare) impegnato nel movimento;
- il **verso** (il senso in cui è orientata la freccia del vettore) dipende dalla direzione nella quale è diretto il movimento.

I tre principi della dinamica

La **dinamica** è quella branca della meccanica che studia il moto dei corpi in relazione alle forze che lo producono. Tre sono i **principi della dinamica**.

Il *primo principio della dinamica* afferma che un corpo persevera nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme fino a che non interviene una forza dall'esterno a modificarne lo stato.

Il *secondo principio della dinamica* afferma che la variazione di velocità (accelerazione) di un corpo è direttamente proporzionale all'intensità della forza che agisce su di esso. Questa legge si esprime con l'equazione $\text{forza} = \text{massa} \times \text{accelerazione}$.

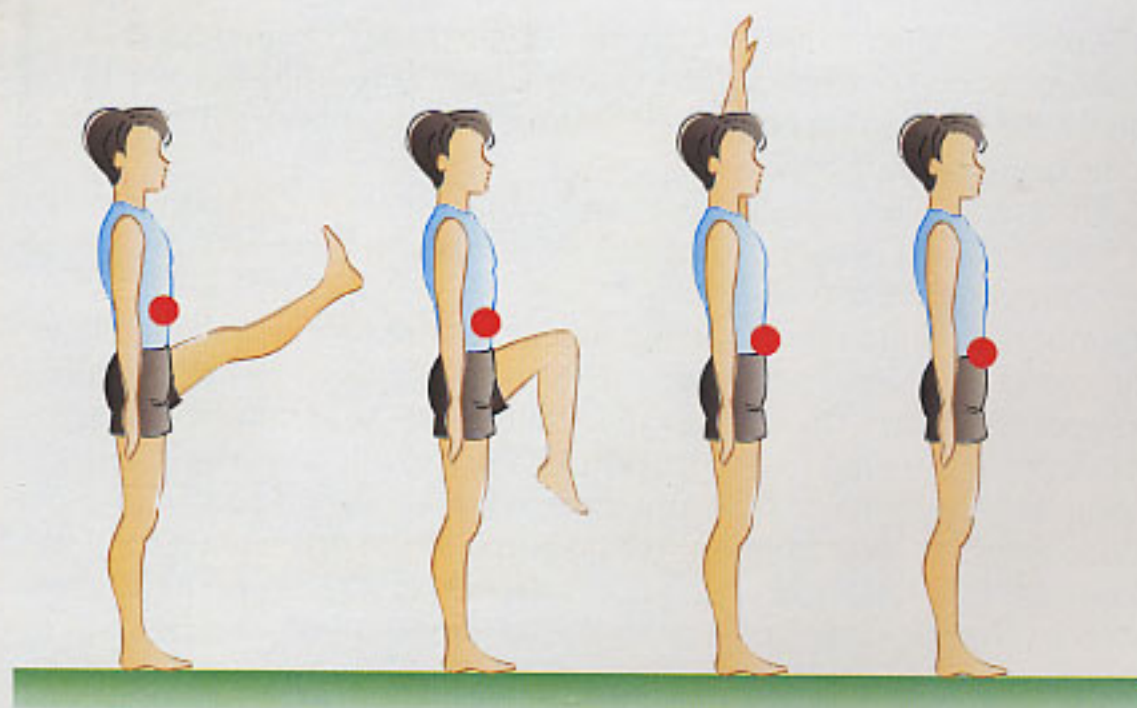
Vediamo un esempio che riguarda il mondo dello sport: se un calciatore applica la stessa forza a due palloni di massa diversa, assumerà maggiore accelerazione il pallone con la massa minore.

Il *terzo principio della dinamica* afferma che ad ogni azione corrisponde una reazione uguale e contraria. Per esempio, quando un atleta *spinge* sui blocchi di partenza, questi ultimi esercitano su di lui una forza uguale e opposta che lo spinge in avanti.

La gravità

La **gravità** è la forza che la Terra esercita sui corpi attraendoli verso il proprio centro. Essa imprime ai corpi un'accelerazione verso il basso, facendoli quindi cadere a una velocità sempre maggiore. Il peso di un corpo è la forza esercitata dalla gravità su di esso, ed è direttamente proporzionale alla sua massa moltiplicata per l'accelerazione di gravità (valore che viene indicato con la lettera *g*). Occorre ricordarsi che la massa di un corpo non varia, mentre la gravità sí (diminuisce coll'aumentare della distanza dal centro della Terra).

Il centro di gravità Il **centro di gravità** o **baricentro** di un corpo è il punto in cui si può considerare «concentrato» tutto il suo peso. In un solido omogeneo il centro di gravità coincide con il centro di simmetria. Nel corpo umano, che ha forma mol-



Variazioni della posizione del baricentro (indicato con il ballo rosso) in relazione alle diverse posizioni dei segmenti corporei.



Poligono di sostegno.

Al concetto di baricentro è collegato quello di equilibrio. Si dice che un corpo è in **equilibrio** quando la risultante di tutte le forze applicate al suo baricentro è nulla. Una regola semplice dice che **un corpo è in equilibrio quando la linea verticale tracciata dal baricentro verso il suolo cade all'interno della sua base d'appoggio**. Nella posizione dell'attenti, la porzione del corpo che poggia a terra è costituita dalle piante dei piedi che, con lo spazio fra esse compreso, formano il *poligono di sostegno*. Dunque il corpo è in equilibrio quando la linea che scende verticalmente dal centro di gravità cade in un punto compreso nel poligono di sostegno. Se il corpo si muove varia la posizione del baricentro e dunque anche la condizione di equilibrio. Se la verticale che scende dal baricentro esce dal poligono di sostegno, il corpo non è più in equilibrio; ecco perché è più facile rimanere in equilibrio se il baricentro è basso: è più probabile infatti che la verticale continui a cadere nel poligono di sostegno. Se il baricentro sale, un piccolo movimento basterà a far perdere la condizione di equilibrio: si diventa instabili e si rischia di cadere.

Pressione e attrito Quando una persona si trova in posizione eretta, la porzione di superficie del suolo sulla quale poggia esercita una forza di reazione che è uguale e contraria a quella del suo peso corporeo. La **pressione** rappresenta il rapporto fra questa superficie e l'intensità della forza applicata (in questo caso il peso). Quando il corpo è in movimento, la pressione cambia e interviene un'altra componente, l'**attrito**, che si definisce come la forza che si oppone al movimento di due superfici a contatto.

L'intensità dell'attrito dipende dalle caratteristiche dei materiali che sono a contatto, dalla ruvidità delle loro superfici e dalla forza che comprime le due superfici l'una contro l'altra. Per esempio, un disco da hockey che scivola sul ghiaccio incontra un attrito assai inferiore di quello dello stesso disco che scivola sulla sabbia. Un'altra forza di attrito è prodotta dall'aria. Per questo in alcuni sport di velocità (per esempio nel ciclismo) è molto importante la ricerca di una posizione aereodinamica, che permetta di ridurre al minimo la resistenza all'avanzamento opposta dall'aria.

In altre discipline, come la corsa, potrà essere utile la ricerca di alcune superfici che aumentano l'attrito, per esempio quelle delle soles delle scarpe: una suola liscia diminuirebbe il rendimento dell'atleta.

to irregolare, il baricentro è assai difficile da stabilire. Nell'uomo in posizione eretta e da fermo esso si trova approssimativamente a circa il 53% dell'altezza totale; nella donna a circa il 55%.

Naturalmente ogni porzione del corpo presa singolarmente ha il suo centro di gravità, che coincide sempre con il punto in cui si bilancia il peso della porzione in esame.

Il baricentro cambia costantemente con il movimento e si sposta ogni volta che cambia la posizione del corpo.

A
GLI ELEMENTI ANATOMICI PARAGONABILI A UNA LEVA SONO:

- 1 LE ARTICOLAZIONI
- 2 LE OSSA
- 3 I MUSCOLI

B
I SETTORI OSSEI ARTICOLARI SONO VINCOLATI:

- 1 DAI TENDINI
- 2 DAI LEGAMENTI
- 3 DALLE ARTICOLAZIONI

C
LE LEVE DI 2° GENERE APPLICATE AL CORPO UMANO PRODUCONO:

- 1 MOVIMENTI DI BILANCIAMENTO
- 2 MOVIMENTI AMPI E VELOCI
- 3 MOVIMENTI DI FORZA

D
LA DINAMICA STUDIA:

- 1 IL MOTO DEI CORPI
- 2 IL MOVIMENTO DEL CORPO UMANO
- 3 LA VELOCITÀ

E
NELL'UOMO IN POSIZIONE ERETTA IL BARICENTRO SI TROVA A CIRCA IL:

- 1 53% DELLA SUA ALTEZZA
- 2 70% DELLA SUA ALTEZZA
- 3 35% DELLA SUA ALTEZZA

F
SI MANTIENE MEGLIO L'EQUILIBRIO SE IL BARICENTRO:

- 1 È BASSO
- 2 È ALTO
- 3 CADE FUORI DAL POLIGONO DI SOSTEGNO

G
NELLA CORSA, LE SUOLE RUVIDE SONO:

- 1 SVANTAGGIOSE
- 2 INDIFFERENTI
- 3 VANTAGGIOSE

SOLUZIONI A-2-B-2-C-3-D-1-E-1-F-1-G-3

Se le tue risposte sono... tutte sbagliate:

Anche senza avere grosse nozioni di dinamica, è evidente che stai facendo attrito con il capitolo.

Se le tue risposte sono... sbagliate 4 su 7:

Non sarà che il moto dei corpi fuori dalla finestra sta facendo leva sul tuo SNC per scardinare la tua concentrazione?

Se le tue risposte sono... tutte esatte:

Straordinario! Tutte le risposte esatte, anche quelle che non sapevo neanche io! Sei generoso, dona il tuo cervello alla scienza! Adesso.