

4

LE FORZE



Shebeko/Shutterstock

STRUMENTI TARATI

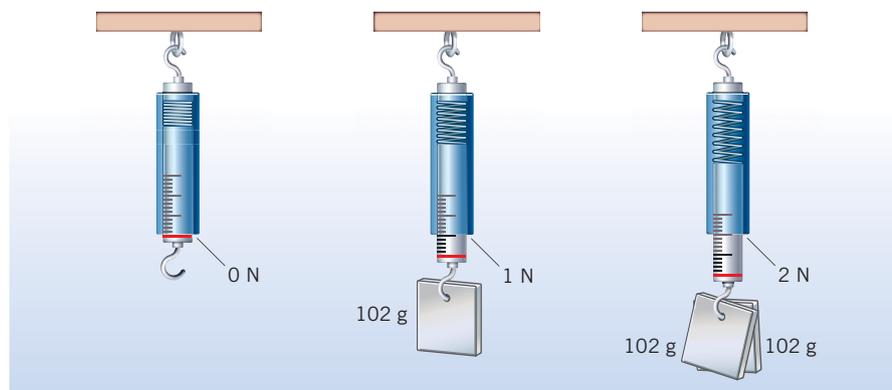
Anche l'orologio, il termometro e il tachimetro sono strumenti tarati.

2. LA MISURA DELLE FORZE

La taratura del dinamometro

Tarare il dinamometro significa costruire una scala graduata, sulla quale leggere i valori delle forze.

- Segniamo 0 N nella posizione in cui si trova l'estremità della molla scarica.
- Dopo aver appeso alla molla una massa di 102 g, segniamo 1 N nella nuova posizione.
- Appendiamo due masse da 102 g e segniamo 2 N, poi proseguiamo sempre allo stesso modo.



Abbiamo così ottenuto una scala graduata che ci permette di misurare le forze.

9. LEGGI SPERIMENTALI E MODELLI

La legge di Hooke è un esempio di legge sperimentale.

Una **legge sperimentale** stabilisce una relazione tra grandezze basata su esperimenti.

Nel caso della legge di Hooke le grandezze sono la *forza elastica* e lo *spostamento* di una molla, e la relazione è espressa dalla formula

$$F = kx.$$

La legge di Hooke:

- è una legge, perché descrive una regolarità di un fenomeno naturale: le molle reagiscono in modo prevedibile quando sono accorciate o allungate;
- è sperimentale, perché è verificata da numerosi esperimenti.

I modelli

Ci sono tanti tipi di molle con caratteristiche diverse: lunghezza, spessore, materiale di cui sono fatte. Alcune sono colorate, altre sono più lisce al tatto, ciascuna fa un particolare rumore quando è lasciata cadere per terra. Di tutte le proprietà delle molle la legge di Hooke ne descrive una sola: come varia la forza elastica al variare della lunghezza.

Scrivendo la legge di Hooke si trascurano molte delle caratteristiche di una molla sostituendola con un suo modello, cioè una sua descrizione schematica.



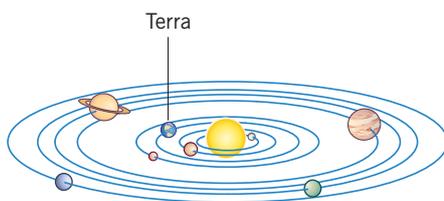
Mircea Maties/Shutterstock

Un **modello** è una descrizione semplificata di un ambito di fenomeni, che si basa su leggi sperimentali.

Il modello eliocentrico, proposto da Copernico nel 1543, descrive come si muovono i corpi del Sistema Solare: i pianeti ruotano su orbite diverse intorno al Sole. Questo modello fu perfezionato dalle leggi sperimentali di Keplero, una delle quali afferma che le orbite sono ellissi.

Un modello mette in luce alcune caratteristiche, ma ne trascura altre.

A Così il modello eliocentrico descrive come si muovono i pianeti intorno al Sole.



B Tuttavia, non si occupa di altre caratteristiche importanti; per esempio, come nasce la luce del Sole.



Four Seasons, Brand X, Culver City, 2001

Un altro modello, quello della fusione nucleare, descrive come è prodotta la luce all'interno del Sole, mediante la fusione di nuclei di idrogeno. Quindi, per descrivere un ambito di fenomeni (per esempio il Sistema Solare) occorrono più modelli, che forniscono descrizioni semplificate da punti di vista diversi.

- Un modello consente di fare delle *previsioni*. Così la meccanica di Newton, il modello che descrive come si muovono gli oggetti, permette di prevedere con estrema precisione quando avvengono le eclissi di Sole.
- Un buon modello consente anche di *progettare* dei dispositivi tecnologici. Nel 1969 siamo stati in grado di mandare un'astronave sulla Luna anche perché la

meccanica di Newton descrive in modo accurato il moto dell'astronave, della Terra e della Luna.

Le regole del gioco della scienza

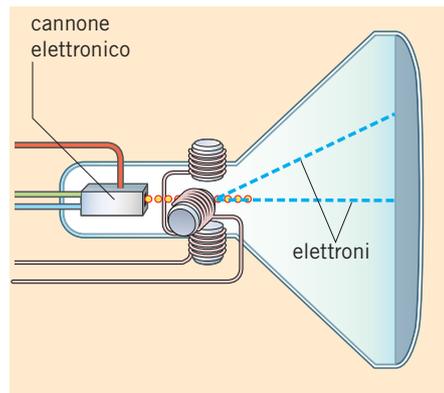
Scopo della fisica è costruire modelli di fenomeni naturali. Perché un modello sia considerato valido dagli scienziati, è indispensabile che sia in accordo con gli esperimenti.

Se un ricercatore fa un esperimento che dà un risultato diverso da quello previsto, allora il modello non è più valido nell'ambito dei fenomeni che intendeva descrivere. Gli scienziati hanno allora il compito di inventare un modello nuovo, che sia in accordo con il nuovo esperimento e con tutti gli altri fatti in precedenza. Tuttavia il vecchio modello non va scartato, perché continua a essere valido in un ambito di fenomeni più ristretto.

I modelli scientifici non sono validi per sempre; sono validi fino a prova contraria.

Fino a un secolo fa si pensava che la meccanica di Newton descrivesse bene tutti i moti. Nel 1905 Einstein scoprì che le sue previsioni erano sbagliate quando i corpi si muovono a velocità vicine a quelle della luce.

A La teoria della relatività è il modello che gli scienziati oggi considerano valido per descrivere tutti i moti, anche quello degli elettroni che formano l'immagine sul televisore.



B La meccanica di Newton resta valida nell'ambito delle velocità più piccole di quelle della luce. È il modello che si continua a usare con successo per progettare i viaggi planetari.



Le verità della scienza non sono assolute, ma provvisorie e migliorabili. I modelli scientifici devono:

- basarsi su dati sperimentali, cioè su fatti;
- essere esposti alla falsificazione, cioè contenere affermazioni che possano essere contraddette da nuovi esperimenti.

Sono queste le regole del gioco della scienza, che ne garantiscono la trasparenza, la solidità e la capacità di fare nuove scoperte.

ESERCIZI

1. LE FORZE CAMBIANO LA VELOCITÀ

DOMANDE SUI CONCETTI

- 1 La forza di un ciclista che pedala in salita è una forza a distanza o di contatto? E la forza che esercita la Terra sul ciclista?
- 2 Se dai una spinta a un'automobilina sul pavimento, essa corre per un po', ma poi rallenta fino a fermarsi perché, una volta esaurita la spinta iniziale, nessuna forza agisce su di essa.
 - ▶ È corretto?
- 3 Un lampadario si stacca improvvisamente dal soffitto.
 - ▶ Quali sono le forze applicate prima e durante la caduta?
 - ▶ Sono forze di contatto o a distanza?
- 4 Fai tre esempi per ognuna delle situazioni seguenti:
 - ▶ una forza fa muovere un oggetto che prima era fermo;
 - ▶ una forza fa fermare un oggetto che prima si muoveva;
 - ▶ una forza fa cambiare direzione a un oggetto in movimento.

2. LA MISURA DELLE FORZE

DOMANDE SUI CONCETTI

- 6 Per spostare un tavolo da biliardo, Luca e Giovanni applicano ciascuno una forza sullo stesso lato del tavolo, di uguale intensità e nella stessa direzione.
 - ▶ È sufficiente questa descrizione per capire come si muoverà il tavolo?
- 7 È corretto affermare che il dinamometro è uno strumento per misurare l'allungamento di una molla?
- 8 Che forza applichi al tuo zaino quando lo porti in spalla?

ESERCIZI NUMERICI

- 9 Vogliamo migliorare la taratura di un dinamometro *** inserendo le tacche con i decimi di newton.

- ▶ Che massa deve avere un oggetto su cui si esercita una forza-peso di intensità di 0,1 N?

[1 × 10 g]

3. LA SOMMA DELLE FORZE

DOMANDE SUI CONCETTI

- 13 La forza risultante di due forze \vec{F}_1 e \vec{F}_2 ha sempre un'intensità pari alla somma delle intensità delle due forze, purché le due forze abbiano la stessa direzione.
 - ▶ È corretto? Perché?
- 14 Maria e Paola devono spostare un baule. Maria riesce a spingere o tirare con una forza di 40 N parallela al pavimento, Paola con una forza di 45 N parallela al pavimento.
 - ▶ È più conveniente che entrambe spingano, entrambe tirino o che una spinga e l'altra tiri?

ESERCIZI NUMERICI

- 23 Due rimorchiatori trainano una chiatta con forze di *** intensità 300 N e 400 N perpendicolari fra loro e applicate allo stesso punto.
 - ▶ Qual è il valore della forza risultante?

[500 N]

- 24 Due amici spingono un'automobile in panne con due forze parallele e con lo stesso verso, di intensità rispettivamente 250 N e 200 N.

- ▶ Quanto vale la forza risultante esercitata?
- ▶ Quanto varrebbe la forza risultante se le direzioni delle forze formassero un angolo di 90°?

[450 N; 320 N]

4. I VETTORI

DOMANDE SUI CONCETTI

- 25 «Su un corpo di massa $m = 102$ g la Terra esercita una forza che ha intensità $\vec{F} = 1,00$ N.»
 - ▶ Perché questa frase non è corretta?
- 26 Forza e spostamento sono due grandezze vettoriali.
 - ▶ Si possono sommare con il metodo punta-coda?

27 Qual è la differenza tra distanza percorsa e vettore spostamento?
Dovendosi spostare da un punto A a un punto B , qual è il percorso più breve?

28 Fra le seguenti grandezze, dividi quelle vettoriali da quelle scalari: forza, massa, spostamento, velocità, temperatura, densità, lunghezza, volume, peso, intervallo di tempo, carica elettrica.

ESERCIZI NUMERICI

32 **SPORT** Lo spostamento del windsurf

★★★ Per spostarsi controvento il windsurf si muove a zig-zag, in modo da formare sempre un angolo di 45° con la direzione del vento. Percorre un primo tratto di 100 m verso destra, poi un secondo di 200 m verso sinistra, infine uno di 100 m di nuovo verso destra.

► Qual è stato lo spostamento complessivo?

[283 m]



Joe Gough/Shutterstock

33 Un cane legato con una catena lunga 6,0 m corre lungo il percorso circolare con raggio maggiore possibile, compiendo una mezza circonferenza.

★★★

► Calcola la lunghezza percorsa e il modulo del vettore spostamento.

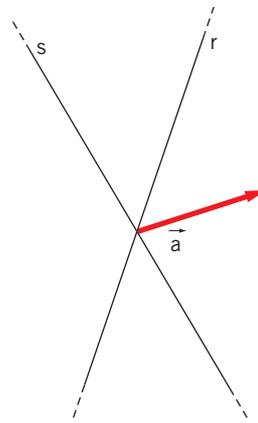
► Calcola il modulo del vettore spostamento nel caso compia due giri completi.

[19 m, 12 m; 0 m]

5. LE OPERAZIONI CON I VETTORI

ESERCIZI NUMERICI

42 Scomponi il vettore \vec{a} della figura seguente lungo le due rette r e s .



43 Su un foglio a quadretti disegna il vettore \vec{v} , orizzontale, di lunghezza 4 quadretti.

★★★

► Trova i vettori: $2\vec{v}$, $-\vec{v}/2$, $-3\vec{v}$.

44 Su un foglio a quadretti disegna i vettori \vec{a} e \vec{b} che sono lunghi 6 e 8 quadretti e sono perpendicolari fra loro.

★★★

► Trova i vettori $\vec{a} - \vec{b}$ e $\vec{b} - \vec{a}$.

► Che cosa puoi dire di questi vettori?

45 La forza \vec{F}_1 agisce nella direzione Nord-Sud, rivolta verso Sud, e ha un modulo 30 N. Una seconda forza \vec{F}_2 è descritta dalla formula $\vec{F}_2 = -2,5\vec{F}_1$.

★★★

► Quali sono la direzione e il verso di \vec{F}_2 ?

► Quanto vale il modulo di \vec{F}_2 ?

[75 N]

46 Disegna due vettori \vec{u} e \vec{v} che formano tra loro un angolo di 120° .

★★★

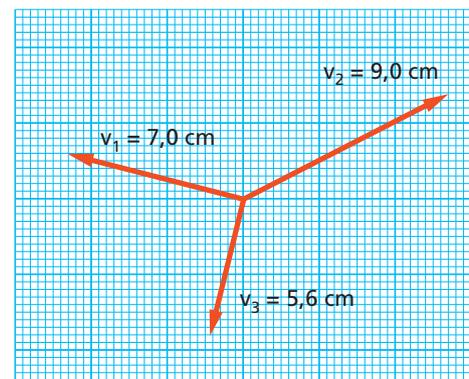
► Disegna i vettori $\vec{w}_1 = \vec{u} - \vec{v}$ e $\vec{w}_2 = \vec{u} + \vec{v}$.

► Qual è il modulo di $\vec{w}_2 - \vec{w}_1$?

[2v]

47 Ricalca con un foglio trasparente i tre vettori della figura seguente. Prova a sommare i vettori in quest'ordine con il metodo del parallelogramma:

★★★



- ▶ $(\vec{v}_1 + \vec{v}_2) + \vec{v}_3$, cioè somma prima \vec{v}_1 con \vec{v}_2 e poi il risultato con \vec{v}_3 ;
- ▶ $\vec{v}_1 + (\vec{v}_2 + \vec{v}_3)$.
- ▶ I due vettori somma ottenuti sono uguali?

▶ Quale peso segnerebbe? Perché?

56 Un astronauta si trova nello spazio a metà strada fra due stelle di uguale massa. Immagina che tutti gli altri oggetti celesti siano a distanza infinita.

▶ Quanto vale il peso (in newton) dell'astronauta?

6. LA FORZA-PESO E LA MASSA

DOMANDE SUI CONCETTI

54 Quanto vale il tuo peso (in newton) sulla Terra? E su Marte ($g = 3,74 \text{ N/kg}$)?

55 Immagina di poter andare nello spazio in un punto lontanissimo da qualunque corpo celeste e di portare con te un dinamometro per pesarti.

ESERCIZI NUMERICI

59 Sulla Terra, un astronauta ha una massa $m = 70 \text{ kg}$ e un peso $P = 687 \text{ N}$.

▶ Se non dimagrisce e non ingrassa, quale sarà la sua massa una volta in orbita?

▶ Cosa puoi dire del suo peso?

[$m = 70 \text{ kg}$]

60 PROBLEMA SVOLTO

Come cambia il peso

Un ragazzo di massa di $68,0 \text{ kg}$ si trova al mare nei pressi dell'equatore, dove $g_1 = 9,78 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$, e si pesa su una bilancia. Poi si reca sulla cima di una montagna alta circa 2000 m , senza cambiare latitudine, dove $g_2 = 9,77 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$, e controlla nuovamente il suo peso.

▶ Di quanto è cambiato?

DATI E INCOGNITE

	GRANDEZZE	SIMBOLI	VALORI	COMMENTI
DATI	Massa	m	$68,0 \text{ kg}$	
	Costante di proporzionalità tra peso e massa al mare	g_1	$9,78 \text{ N/kg}$	
	Costante di proporzionalità tra peso e massa in montagna	g_2	$9,77 \text{ N/kg}$	
INCOGNITE	Differenza di peso	$\Delta F_p = F_{p2} - F_{p1}$?	

RAGIONAMENTO

- Al mare la forza-peso dipende dalla costante g_1 , in montagna dipende da g_2 .
- Conoscendo la massa, che non cambia, si calcolano le due forze-peso e quindi la loro differenza: $\Delta F_p = F_{p2} - F_{p1}$.

RISOLUZIONE

Il peso nelle due situazioni si calcola con la formula della forza-peso:

$$F_{p1} = mg_1 = 68,0 \text{ kg} \times 9,78 \text{ N/kg} = 665 \text{ N}$$

$$F_{p2} = mg_2 = 68,0 \text{ kg} \times 9,77 \text{ N/kg} = 664 \text{ N}$$

La differenza è:

$$\Delta F_p = F_{p2} - F_{p1} = 664 \text{ N} - 665 \text{ N} = -1 \text{ N}$$

CONTROLLO DEL RISULTATO

ΔF_p è negativa poiché il peso è diminuito. In effetti, la forza-peso diminuisce quando si sale rispetto al livello del mare.

61 Sulla Terra, dove $g = 9,80 \text{ N/kg}$, un coniglio ha una massa di 3,80 kg. Se potesse viaggiare su Nettuno, il suo peso aumenterebbe di 4,56 N.

- ▶ La costante di proporzionalità g_N tra peso e massa su Nettuno è maggiore o minore rispetto alla Terra?
- ▶ Quanto vale g_N ?

[11,0 N/kg]

62 SPAZIO I satelliti di Giove

62 Giove è stato studiato da vicino dalla sonda "Galileo", di massa 2564 kg. Il pianeta è circondato da almeno 67 satelliti naturali, di varie forme e dimensioni, tra i quali sono famosi in particolare Io ed Europa, dove la sonda avrebbe un peso rispettivamente di 4615 N e 3333 N.

- ▶ Quanto vale g su questi due satelliti?

[1,80 N/kg; 1,30 N/kg]

63 SPAZIO Curiosity alla scoperta di Marte

63 La sonda "Curiosity" è stata inviata su Marte per prelevare dei campioni di roccia. Il suo peso sulla Terra è di 8820 N mentre su Marte è di 3366 N.

- ▶ Qual è la massa della sonda?
- ▶ Quanto vale g su Marte?

[900 kg; 3,74 N/kg]

7. LE FORZE DI ATTRITO

DOMANDE SUI CONCETTI

68 Quali forze di attrito (radente, volvente, viscoso) intervengono nelle seguenti situazioni?

- ▶ Sciatore in discesa libera.
- ▶ Automobile che accelera.
- ▶ Stazione spaziale fuori dall'atmosfera.
- ▶ Alpinista in spaccata fra due pareti di roccia.

ESERCIZI NUMERICI

80 Gianni ha caricato una slitta con le scorte di legna per l'inverno. Per mettere in movimento la slitta esercita una forza di 64 N. I coefficienti di attrito statico e dinamico tra la slitta e la neve ghiacciata sono rispettivamente 0,10 e 0,050.

- ▶ Qual è la massa della slitta carica?
- ▶ Quale forza è necessaria per mantenerla in moto una volta partita?
- ▶ Per riportare nella rimessa la slitta vuota è suffi-

ciente mantenere una forza di 3,4 N. Quanti kg di legna ha trasportato Gianni?

[65 kg; 32 N; 58 kg]

81 Vuoi tenere sollevato un libro premendolo con la testa contro un muro. Il coefficiente di attrito statico tra il libro e il muro è di 0,55 e il libro ha una massa di 800 g.

- ▶ Qual è la forza premente in questa situazione?
- ▶ Quale forza deve essere applicata perpendicolarmente al libro affinché stia fermo?

Suggerimento: il libro sta fermo se la forza-peso che lo tira verso il basso uguaglia la forza d'attrito che si oppone al moto.

[14 N]

8. LA FORZA ELASTICA

ESERCIZI NUMERICI

93 Un bambino gioca con il suo nuovo tappeto elastico che ha una costante elastica di 2400 N/m e la cui membrana, in una situazione di equilibrio, si trova a 30 cm da terra. Salendo, il bambino preme con il suo peso e il tappeto si abbassa di 15,0 cm.

- ▶ Quanto pesa il bambino?
- ▶ Il papà del bambino ha una massa di 85 kg. Potrà giocare con il tappeto?

[360 N; no]

94 Una molla con costante elastica pari a 80,0 N/m ha una lunghezza di 13,6 cm mentre su di essa è applicata una forza di 2,30 N.

- ▶ Quanto è lunga la stessa molla nella sua posizione di riposo (cioè quando nessuna forza la deforma)?

[10,7 cm]

PROBLEMI GENERALI

12 Un vecchio orologio a pendolo ha la lancetta delle ore lunga 11,5 cm e la lancetta dei minuti lunga 14,5 cm, se misurate a partire dal centro dell'orologio. Calcola quanto distano tra loro le punte delle due lancette:

- ▶ alle 12 in punto;
- ▶ alle 18 in punto;
- ▶ alle 3 e 3'.

[3,0 cm; 26 cm; 16 cm]

13 ★★★ Una molla di costante elastica $2,3 \times 10^2 \text{ N/m}$ è fissata a un muro per un estremo ed è appoggiata sul pavimento. Viene compressa di 14 cm e le viene appoggiato davanti un vaso. Appena la molla viene rilasciata, essa spinge il vaso che rimane però fermo. Il coefficiente d'attrito statico tra il vaso e il pavimento è 0,45.

▶ Quanto pesa come minimo il vaso?

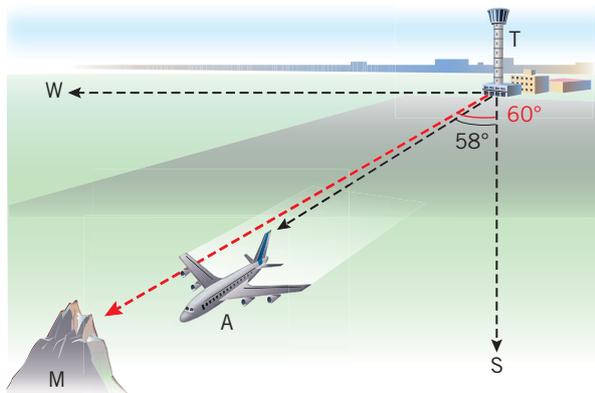
$$[F_p > 72 \text{ N}]$$

14 ★★★ Mario deve tenere sollevato un grosso scatolone pieno di libri, di massa totale pari a 16 kg. Pensa che gli possa essere d'aiuto appoggiare lo scatolone al muro e spingere con una forza perpendicolare al muro.

- ▶ Ha ragione?
- ▶ Quale coefficiente d'attrito statico deve esserci tra scatolone e muro affinché sia conveniente usare questo stratagemma?

$$[\mu_s > 1]$$

15 ★★★ Un piccolo velivolo si sta muovendo in una fitta nebbia. Dalla torre di controllo lo vedono a una distanza di 60 km a un angolo di 58° verso Ovest rispetto alla direzione Sud. Si accorgono che si sta dirigendo a Ovest verso una parete rocciosa, nascosta dalla nebbia, che si innalza per altri 380 m. Potrebbe schiantarsi a un angolo di 65° verso Ovest rispetto alla torre di controllo. Avvisano il pilota di aumentare la sua quota innalzandosi di un angolo pari a $2,0^\circ$.



- ▶ A quale distanza dalla torre di controllo rischia di schiantarsi il velivolo?
- ▶ Riesce il velivolo a oltrepassare la parete rocciosa?

$$[76 \text{ km; sì}]$$

16 LA FISICA DEL CITTADINO Arriva l'imbianchino

★★★ Bisogna liberare alcune pareti che devono essere ridipinte. Un metodo per spostare gli armadi consiste nel prendere dei vecchi panni di lana e inserirli sotto i piedi del mobile.



Massimiliano Trevisan

Domanda 1:

Anche dopo avere tolto dall'armadio gli oggetti più pesanti, spingere il mobile in modo da spostarlo dalla parete è quasi impossibile.

- ▶ Perché l'inserimento del panno di lana semplifica il compito di spostare l'armadio?

Domanda 2:

Con un po' di fatica riusciamo a mettere in moto l'armadio. Poi, spingerlo fino all'altra parte della stanza è decisamente più facile.

- ▶ Come si spiega questa esperienza dal punto di vista fisico?

Domanda 3:

La serratura di casa è rotta e non si riesce a chiudere la porta a chiave. Per passare la notte in maggiore sicurezza spingi l'armadio contro la porta (che si apre verso l'interno).

- ▶ Pensi sia più sicuro lasciare i panni di lana o toglierli?

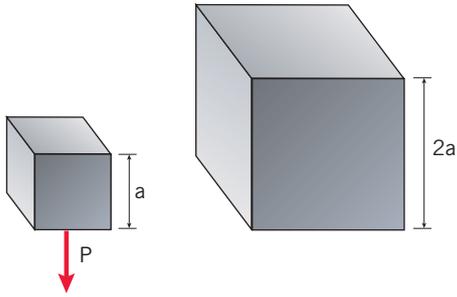
GIOCHI DI ANACLETO

9 Sulla superficie della Luna il campo gravitazionale vale $1,6 \text{ N/kg}$. Quale coppia di valori può andar bene per un oggetto che si trova sulla superficie della Luna?

	MASSA (kg)	PESO (N)
A	10	1,6
B	10	16
C	16	10
D	16	160

(Tratto dai *Giocchi di Anacleto*, anno 2002)

- 10** In figura sono rappresentati due cubi: il più piccolo ha peso P e spigolo a che è la metà di quello del cubo più grande.



- Se i cubi sono fatti del medesimo materiale, il peso del cubo più grande è:
- a. $2 P$.
 - b. $4 P$.
 - c. $8 P$.
 - d. $16 P$.

(Tratto dai *Giochi di Anacleto*, anno 2002)

5

L'EQUILIBRIO DEI SOLIDI

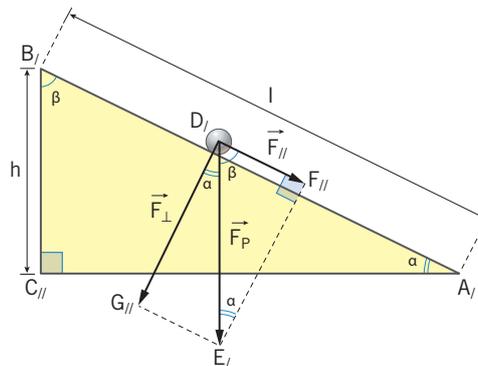


Dariusz Kantorski/Shutterstock

3. L'EQUILIBRIO SU UN PIANO INCLINATO

Dimostrazione della formula (1)

Nella [figura](#) sono evidenziati i triangoli ABC e EDF .



- Il primo ha due lati di lunghezze $\overline{AB} = l$ e $\overline{BC} = h$;
- il secondo ha due lati di lunghezze $\overline{DE} = F_p$ e $\overline{DF} = F_{//}$;
- i due triangoli sono simili perché hanno entrambi un angolo retto e, inoltre, i due angoli indicati con il simbolo β sono uguali (di conseguenza, sono uguali tra loro anche i due angoli indicati con α).

La similitudine tra i due triangoli permette di scrivere la proporzione

$$\overline{DF} : \overline{DE} = \overline{BC} : \overline{AB}$$

da cui possiamo ricavare

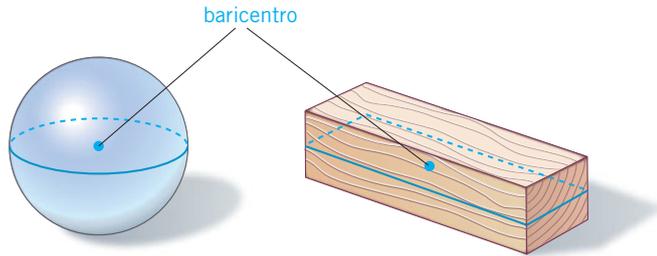
$$\overline{DF} = \overline{DE} \frac{\overline{BC}}{\overline{AB}} \Rightarrow F_{//} = F_p \frac{h}{l}.$$

Ponendo $F_{\perp} = F_E$ la formula (1) è dimostrata.

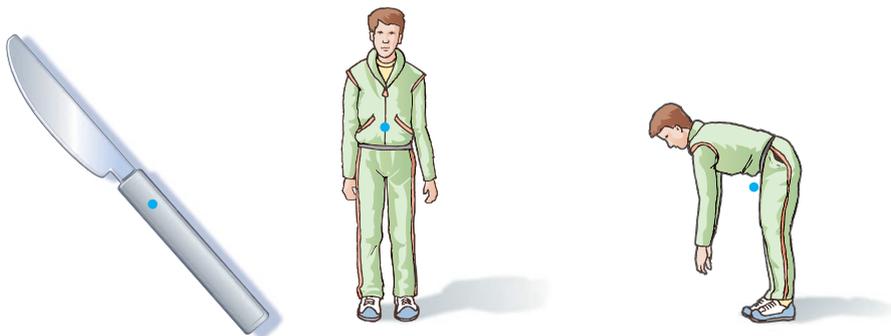
8. IL BARICENTRO

Dove si trova il baricentro

Consideriamo una pallina da flipper e un parallelepipedo di legno (**figura**). Hanno entrambi un centro di simmetria e sono corpi omogenei, cioè hanno la stessa densità in ogni punto. Per corpi di questo tipo il baricentro si trova nel centro di simmetria.

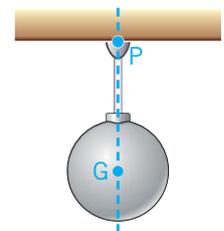


Per oggetti di forma irregolare e disomogenei non è facile individuare a prima vista il baricentro. Spesso, questo punto si trova dove la massa è più concentrata. Per esempio (**figura**), il baricentro di un coltello non è nel mezzo, ma è spostato verso il manico. Il baricentro di una persona che sta in piedi si trova vicino all'ombelico. Se però la persona si flette, il baricentro si sposta fuori dal corpo.



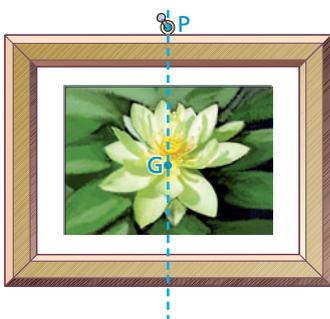
L'equilibrio di un corpo appeso

Un corpo appeso per un punto P è in equilibrio se il suo baricentro G si trova sulla retta verticale che passa per P .

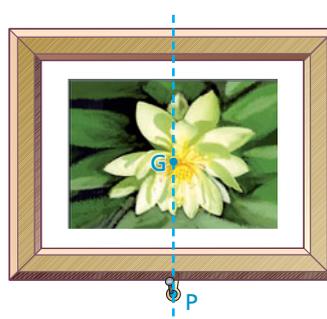


Un quadro può stare in equilibrio in molti modi diversi: basta che il punto al quale è appeso stia sulla verticale che passa per il suo baricentro.

A Se è appeso dall'alto, è in *equilibrio stabile*: se lo si sposta di poco, ritorna nella precedente posizione di equilibrio.



B Se è appeso dal basso, è in *equilibrio instabile*: se lo si sposta di poco, non ritorna nella precedente posizione di equilibrio.



C Se è appeso nel baricentro, è in *equilibrio indifferente*: se lo si sposta di poco, rimane in una nuova posizione di equilibrio.



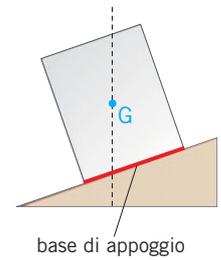
L'equilibrio di un corpo appoggiato

Un corpo appoggiato su un piano è in equilibrio se la retta verticale che passa per il suo baricentro interseca la base di appoggio.

A Per esempio, un carrello della spesa pieno è in equilibrio perché la verticale dal baricentro complessivo cade all'interno della base d'appoggio, delimitata dalle quattro ruote del carrello.



B Però, appendendo un oggetto pesante all'esterno del carrello vuoto, se ne provoca il ribaltamento, perché la verticale dal baricentro cade ora all'esterno della base d'appoggio.



ESERCIZI

1. IL PUNTO MATERIALE E IL CORPO RIGIDO

DOMANDE SUI CONCETTI

1 Associa a ciascun modello le sue caratteristiche.

MODELLO	SI SPOSTA	RUOTA	CAMBIA FORMA
Punto materiale	✓		
Corpo rigido			
Corpo deformabile			

2 Quale modello devi scegliere per descrivere ciascuna di queste situazioni?

SITUAZIONE	PUNTO MATERIALE	CORPO RIGIDO	CAMBIA FORMA
Frenata con testa-coda		✓	
Viaggio in in autostrada a velocità costante			
Parcheggio			
Tamponamento			
Moto in rettilineo con aumento di velocità			
Barca ormeggiata in porto			

3 Il moto di un oggetto di grandi dimensioni può essere studiato con il modello del punto materiale?

4 Il modello del corpo rigido è adatto a descrivere solo oggetti che è impossibile deformare?

2. L'EQUILIBRIO DEL PUNTO MATERIALE

DOMANDE SUI CONCETTI

6 Il valore delle forze vincolari dipende dal materiale di cui è fatto il vincolo? Motiva la risposta.

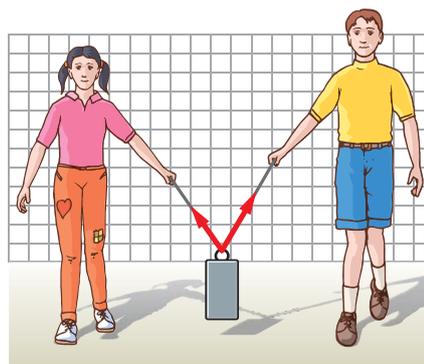
7 Un punto materiale che non risente di forze vincolari può essere in equilibrio? Motiva la risposta.

8 Ecco un elenco di corpi vincolati. Sai specificare l'oggetto o gli oggetti che costituiscono i loro vincoli?

CORPO VINCOLATO	OGGETTO O OGGETTI CHE COSTITUISCONO VINCOLI
Quadro appeso alla parete	Chiodo
Ruota di bicicletta	
Albero	
Lampadario	
Equilibrista che cammina su una fune	

ESERCIZI NUMERICI

10 ★★★ Due ragazzi trasportano una valigia. Le frecce rosse rappresentano le forze esercitate da ciascun ragazzo. La valigia è in equilibrio e può essere considerata un punto materiale.



► Determina graficamente la freccia che rappresenta la forza-peso sulla valigia.

11 ★★★ Due libri di massa 1,2 kg e 0,9 kg sono appoggiati sopra a un tavolo.

► Disegna i vettori-forza che agiscono su entrambi i libri.

► Il modulo della forza vincolare su ciascun libro è lo stesso? Perché?

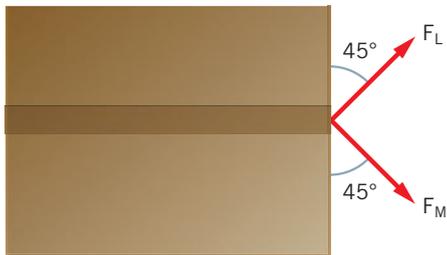
12 ★★★ Un lampadario di massa 3,5 kg è in equilibrio appeso al soffitto.

► Disegna i vettori-forza che agiscono sul lampadario.

► Calcola il modulo di tutte le forze disegnate.

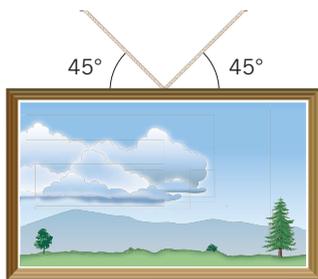
[34 N, 34 N]

13 **★★★** Mario e Lucia devono spostare uno scatolone di massa 30 kg appoggiato sul pavimento. Lo spingono da un lato come nella figura. L'intensità della forza esercitata da Mario è uguale a quella di Lucia ed è pari a 131 N. Il coefficiente di attrito statico tra la scatola e il pavimento è di 0,61.



► Mario e Lucia riescono a muovere lo scatolone?

14 **★★★** Un quadro di massa 4,0 kg è appeso al muro tramite due fili come in figura.



► Quanto vale l'intensità della tensione su ciascun filo? (La tensione è la forza vincolare esercitata dal filo.)

[28 N]

4. L'EFFETTO DI PIÙ FORZE SU UN CORPO RIGIDO

DOMANDE SUI CONCETTI

31 Due mani impugnano il volante di un'automobile per farlo ruotare.

► Come sono tra loro le forze esercitate dalle mani?

32 Il lancio di un paracadutista è frenato dal paracadute agganciato con delle funi a un'imbragatura.

► Le forze esercitate dalle funi come sono tra loro?

33 SPORT Impugnare il bilanciere

Un leggero bilanciere con due masse identiche alle estremità è appoggiato sul pavimento. Cerchi di sollevarlo con una mano sola impugnandolo non al centro.

► Cosa succede? Rappresenta con un disegno le forze agenti e la forza risultante.

ESERCIZI NUMERICI

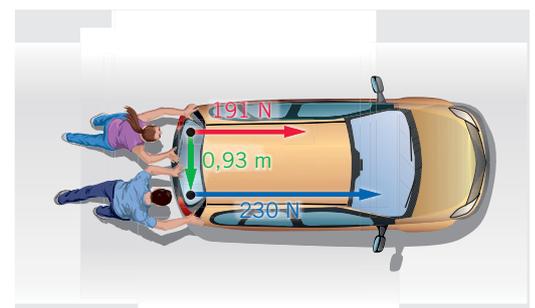
38

PROBLEMA SVOLTO

L'auto in panne

Angelo e Teresa stanno spingendo la loro auto in panne dal retro. La distanza tra le direzioni delle forze è 93 cm. Angelo esercita una forza di 230 N, Teresa di 191 N.

- Calcola l'intensità della forza risultante.
- Calcola la distanza tra i punti di applicazione delle forze esercitate dai ragazzi e il punto di applicazione della risultante.



DATI E INCOGNITE

	GRANDEZZE	SIMBOLI	VALORI	COMMENTI
DATI	Forza	F_A	230 N	Forza esercitata da Angelo
	Forza	F_T	191 N	Forza esercitata da Teresa
	Distanza	d	0,93 m	Distanza tra le direzioni delle forze
INCOGNITE	Distanza	d_T	?	Distanza tra la direzione della forza di Teresa e la risultante
	Distanza	d_A	?	Distanza tra la direzione della forza di Angelo e la risultante

RAGIONAMENTO

- Le forze di Angelo e Teresa sono parallele e concordi, quindi la risultante è applicata in un punto compreso tra le due forze.
- L'intensità della risultante è la somma delle intensità delle forze esercitate dai ragazzi: $F_R = F_A + F_T$.
- d_T e d_A soddisfano la proporzione: $d_T : d_A = F_A : F_T$ e la loro somma è uguale a d .
- Applichiamo la proprietà del comporre alla proporzione: $(d_T + d_A) : d_T = (F_A + F_T) : F_A$ che equivale a $d : d_T = F_R : F_A$.

RISOLUZIONE

Calcoliamo l'intensità della risultante:

$$F_R = F_A + F_T = 230 \text{ N} + 191 \text{ N} = 421 \text{ N}.$$

Ricaviamo d_T dalla proporzione:

$$d : d_T = F_R : F_A \Rightarrow d_T = \frac{dF_A}{F_R} = \frac{0,93 \text{ m} \times 230 \text{ N}}{421 \text{ N}} = 0,51 \text{ m}.$$

Ricaviamo d_A dalla relazione:

$$d = d_T + d_A \Rightarrow d_A = d - d_T = 0,93 \text{ m} - 0,51 \text{ m} = 0,42 \text{ m}.$$

CONTROLLO DEL RISULTATO

Come ci aspettavamo la forza è applicata più vicino al punto di applicazione della forza di intensità maggiore, ovvero al punto dove spinge Angelo.

Lo stesso risultato si poteva ottenere in modo equivalente calcolando il rapporto $\frac{d_T}{d_A} = \frac{F_A}{F_T} = \frac{230 \text{ N}}{191 \text{ N}} = 1,20$,

da cui $d_T = 1,20d_A$ e sostituendo questa espressione per d_T nella relazione $d = d_T + d_A = 0,93 \text{ m}$. Risolvendo rispetto a d_A otteniamo proprio 0,42 m.

39 ★★★ Per spostare un armadio Paolo e Fabio spingono alle due estremità del mobile perpendicolarmente a esso. Paolo esercita una forza di 170 N, Fabio di 88 N. La distanza tra i punti di applicazione delle forze è di 125 cm.

- ▶ Calcola l'intensità della forza risultante.
- ▶ A che distanza si trova il punto di applicazione della risultante dai punti di applicazione delle forze esercitate da Paolo e da Fabio?

[$2,6 \times 10^2 \text{ N}$; 0,43 m, 0,82 m]

40 ★★★ Per spostare un tavolo Mario lo spinge da un lato e Lisa da quello opposto. I punti di applicazione delle forze distano 25 cm. I valori delle forze sono rispettivamente $F_2 = 158 \text{ N}$ e $F_1 = 59 \text{ N}$.

- ▶ Calcola l'intensità della forza risultante.
- ▶ Determina le distanze tra il punto di applicazione della risultante e i punti di applicazione delle forze esercitate da Mario e Lisa.

[99 N; 0,15 m; 0,40 m]

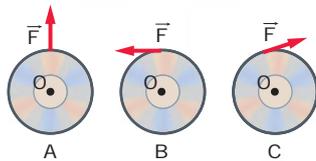
41 ★★★ Due operai devono trasportare una cassa del peso di 1000 N, appoggiata su un'asta lunga 2,0 m e di peso trascurabile. La cassa dista 80 cm da uno dei due operai.

- ▶ Quanto valgono le intensità delle forze che devono applicare gli operai per poterla sostenere?
- ▶ Quale dei due operai deve applicare la forza di intensità maggiore?

[400 N; 600 N]

5. IL MOMENTO DELLE FORZE**DOMANDE SUI CONCETTI**

- 42** Perché le maniglie delle porte sono fissate nel punto più lontano dai cardini?
- 43** «Il braccio di una forza rispetto al punto O è la distanza tra il punto di applicazione della forza e il punto O .»
- ▶ L'affermazione è corretta? Motiva la risposta.
- 44** Una forza è applicata a un disco.
- ▶ Stabilisci in quale dei tre casi il momento della forza rispetto al centro O è maggiore.
 - ▶ Riesci a stabilire quanto vale il momento con precisione in uno dei casi?



- 45** «Il momento di una forza rispetto a un punto O è un vettore che ha direzione perpendicolare alla retta che contiene il vettore forza.»
- ▶ L'affermazione è corretta? Motiva la risposta.

ESERCIZI NUMERICI

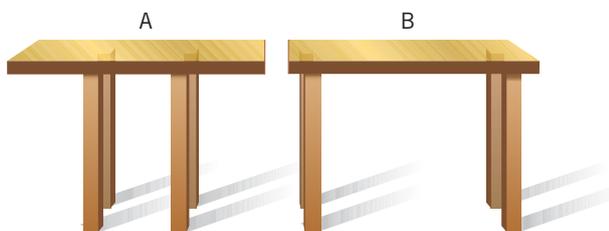
- 54** ★★★ Per aprire una porta bisogna applicare due forze, una verso il basso all'estremità della maniglia per abbassarla, pari a 11 N, e una perpendicolare alla porta per farla ruotare sui cardini verso di noi, pari a 20 N. La maniglia è lunga 15 cm e la distanza tra la maniglia e i cardini è cinque volte la lunghezza della maniglia.
- ▶ Calcola il momento delle due forze rispetto al perno della maniglia e ai cardini.
 - ▶ Rappresenta con un disegno i vettori momento delle forze. Come sono tra loro?

[1,7 N·m; 15 N·m]

6. L'EQUILIBRIO DI UN CORPO RIGIDO

DOMANDE SUI CONCETTI

- 56** Un corpo che non può traslare è senz'altro fermo?
- 57** Un tavolo è stabile se, quando applichiamo una o più forze in vari punti, rimane in equilibrio.

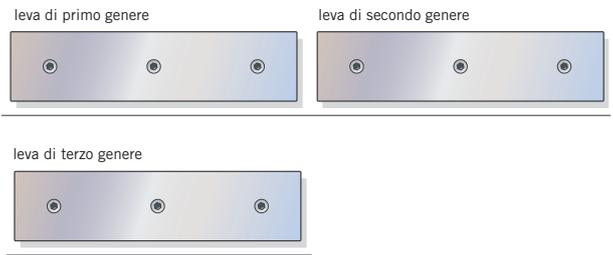


- ▶ Perché il tavolo A è meno stabile del tavolo B?

7. LE LEVE

DOMANDE SUI CONCETTI

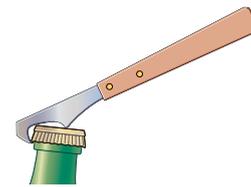
- 64** Hai tre leve di diverso genere. Completa i disegni scrivendo M nel punto di applicazione della forza motrice, R nel punto di applicazione della forza resistente e F nel fulcro.



- 65** Giacomo deve sollevare un oggetto molto pesante. Quale genere di leva gli conviene utilizzare?

ESERCIZI NUMERICI

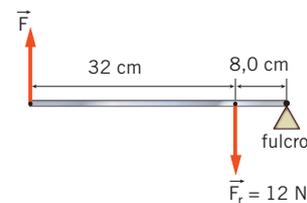
- 72** ★★★ L'apribottiglie della figura è utilizzato per togliere un tappo a corona, che oppone una forza resistente di 120 N. Il braccio della resistenza è lungo 1,2 cm, quello della forza motrice 7,2 cm.



- ▶ Di che tipo di leva si tratta?
- ▶ Quale forza motrice serve per equilibrare la forza resistente?
- ▶ Che cosa succede se applichiamo una forza motrice maggiore di quella appena calcolata?

[20 N]

- 73** ★★★ Nella figura è rappresentata una leva sottoposta all'azione di una forza resistente di 12 N.



- ▶ Quanto vale l'intensità della forza motrice in grado di equilibrare la forza resistente?
- ▶ Di che genere è la leva?
- ▶ È vantaggiosa o svantaggiosa?

[2,4 N]

- 74** ★★★ Per rompere il guscio di una noce Sofia usa uno schiaccianoci. La noce dista dal fulcro 2,5 cm. Sofia vorrebbe esercitare una forza inferiore del 70% alla resistenza massima.

- ▶ A che distanza dal fulcro dovrebbe impugnare lo schiaccianoci?

[8,3 cm]

8. IL BARICENTRO

DOMANDE SUI CONCETTI

79 Prendi due bottiglie di plastica vuote identiche e versa in una un po' d'acqua.

- ▶ Dove si trova approssimativamente il baricentro nelle due bottiglie?

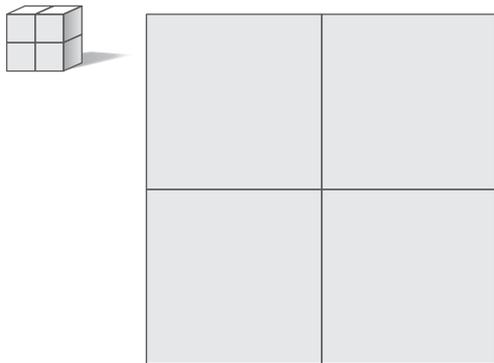
80 La sagoma di una moto di cartone è appesa al muro con una puntina in equilibrio stabile.

- ▶ Su quale retta si trova il baricentro?
- ▶ Come si può fare per trovare il baricentro in modo preciso?

Suggerimento: cosa succede se sposti la puntina?

ESERCIZI NUMERICI

83 Quattro cubetti identici vengono sovrapposti a forma di parallelepipedo. I cubetti hanno una forza-peso che puoi rappresentare con un vettore lungo 0,5 cm.



- ▶ Nel disegno grande, traccia il vettore forza-peso di ciascuna parte, applicato al centro della parte stessa; poi somma i quattro vettori.
- ▶ Cosa rappresenta questo nuovo vettore?
- ▶ Cosa rappresenta il suo punto di applicazione?

84 Un corpo è formato da un'asta cilindrica omogenea lunga 15,0 cm e da una sfera omogenea di raggio pari a 2,0 cm attaccata a un'estremità dell'asta. Le masse dell'asta e della sfera sono rispettivamente di 11 g e 32 g.

- ▶ Quanto è lontano il baricentro della sfera dal baricentro dell'asta?
- ▶ Il baricentro del sistema è più vicino al baricentro della sfera o dell'asta?

[9,5 cm]

85 Un portaombrelli a forma di parallelepipedo a base quadrata viene urtato. Si inclina e a un certo istante i

suoi spigoli formano un angolo di 30° con la verticale. Lo spigolo di base è lungo 20 cm e quello laterale 50 cm. Il baricentro si trova nel centro di simmetria.

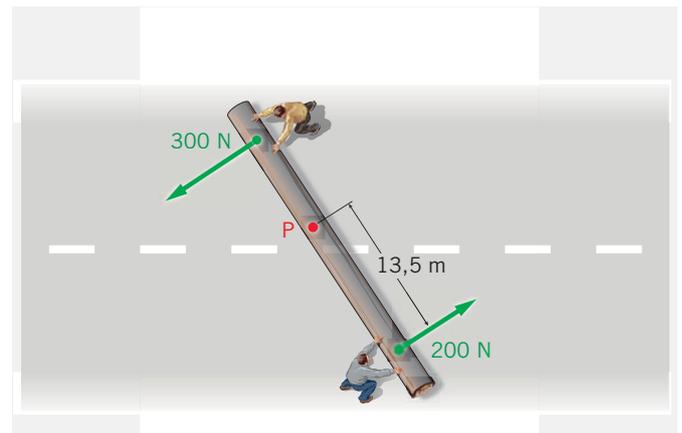
- ▶ Cade o si raddrizza? Perché?

[Cade]

PROBLEMI GENERALI

6 Un palo è caduto di traverso sulla strada. Per portarlo a lato, due persone lo spingono ai suoi estremi, esercitando due forze parallele e discordi. I valori delle due forze applicate sono $F_1 = 200$ N e $F_2 = 300$ N. La somma delle due forze è applicata in un punto P che dista 13,5 m dal punto di applicazione della forza più piccola.

- ▶ Quanto misura la distanza tra P e il punto di applicazione della forza più grande?
- ▶ Quanto è lungo il palo?



[9,0 m; 22,5 m]

7 Per far ruotare un bicchiere su se stesso applichiamo con le dita di una mano due forze uguali e opposte sull'orlo, in punti diametralmente opposti e in modo che le due forze siano tangenti all'orlo stesso. Il raggio del bicchiere è di 36 mm e ciascuna delle forze ha un'intensità di 1,5 N.

- ▶ Traccia uno schema della situazione e determina il momento della coppia applicata al bicchiere.
- ▶ Se applichiamo due forze non tangenti al bordo del bicchiere il momento della coppia aumenta o diminuisce?

[0,11 N·m]

8 **CINEMA** Nel nome della legge!

Nella scena di un film un malvivente cerca di bloccare una porta semiaperta, per impedire al poliziotto di aprirla. Il malvivente preme sulla porta a 62

cm dai cardini, con una forza di intensità 740 N. Il poliziotto spinge dall'altra parte, a 78 cm dai cardini, con una forza di 620 N.

- ▶ Quanto vale, rispetto ai cardini, il momento della forza esercitata dal malvivente?
- ▶ Quanto vale, rispetto ai cardini, il momento della forza esercitata dal poliziotto?
- ▶ Da che parte gira la porta?

$[4,6 \times 10^2 \text{ N} \cdot \text{m}; 4,8 \times 10^2 \text{ N} \cdot \text{m}]$

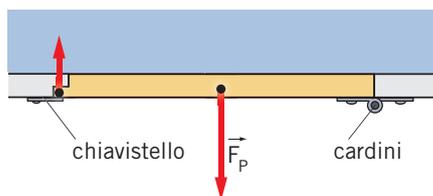
9 Un naufrago è issato a bordo di un elicottero di soccorso mediante un cavo che si avvolge sul cilindro di un verricello. Il raggio del cilindro è di 7,5 cm e la massa del naufrago è di 83 kg.

- ▶ Quanto vale il momento della forza-peso del naufrago rispetto al centro del verricello?
- ▶ Quanto vale il momento esercitato dal motore che aziona il verricello?



$[61 \text{ N} \cdot \text{m}; M_m \geq 61 \text{ N} \cdot \text{m}]$

10 Una botola orizzontale ha una porta larga 80 cm, con una massa di 31 kg. La porta si apre verso il basso ma, sul lato opposto a quello dei cardini, un chiavistello la tiene in equilibrio.



- ▶ Qual è il valore del momento della forza-peso rispetto ai cardini?
- ▶ Quale deve essere l'intensità della forza verticale del chiavistello?
- ▶ Di quale genere è la leva realizzata in questo modo?

$[1,2 \times 10^2 \text{ N} \cdot \text{m}; 1,5 \times 10^2 \text{ N}]$

11 Un facchino sta tenendo ferma una valigia di 33,5 kg, appoggiata su una passerella inclinata, alta 2,40 m e lunga 10,0 m.

- ▶ Qual è il valore della forza equilibrante necessaria a tenere la valigia in equilibrio? (Usa $g = 9,80 \text{ N/kg}$.)

- ▶ Quali sono i moduli della forza premente sul piano inclinato (in direzione perpendicolare a esso) e della forza di reazione vincolare del piano?

$[78,8 \text{ N}; 319 \text{ N}, 319 \text{ N}]$

12 Riconsidera i dati dell'esercizio precedente. Il coefficiente di attrito radente statico tra la valigia e la passerella è 0,150.

- ▶ Quali sono la direzione e il verso della forza di attrito statico? Disegna uno schema delle forze che agiscono sulla valigia.
- ▶ Determina il modulo della forza di attrito statico.
- ▶ Calcola la forza che deve essere esercitata dal facchino per tenere la valigia in equilibrio.

$[47,7 \text{ N}; 31,1 \text{ N}]$

13 Una molla di costante elastica $190 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ è fissata al muro da una parte e dall'altra a una cassa che contiene 8 bottiglie d'acqua da 1,0 L. Il coefficiente d'attrito statico tra la cassa e il pavimento vale 0,75. Claudio trascina la cassa allungando la molla e poi la lascia andare.

- ▶ Qual è l'allungamento massimo della molla per cui la cassa rimane in equilibrio?

$[31 \text{ cm}]$

14 Un bicchiere che pesa 5,2 N è appoggiato su un ripiano mobile. Elena inclinando il piano scopre che l'inclinazione massima che consente al bicchiere di rimanere in equilibrio è di 13°.

- ▶ Calcola la componente della forza-peso perpendicolare al ripiano con la pendenza massima.
- ▶ Calcola il coefficiente d'attrito tra il bicchiere e il ripiano nella condizione di massima inclinazione.

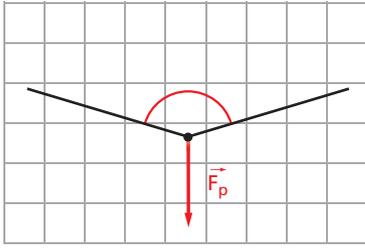
$[5,1 \text{ N}; 0,23]$

19 LA FISICA DEL CITTADINO Lavorare in sicurezza

Un agricoltore appende un pesante sacco a una fune tesa tra due alberi, come è mostrato nella fotografia. Schematizzando il peso del sacco con un vettore rivolto verso il basso, esaminiamo questa situazione.



Massimiliano Trevisan



Domanda 1:

Copia la figura precedente su un foglio a quadretti.

- Disegna la forza risultante \vec{F} che i due tratti di fune, a destra e a sinistra del sacco, devono esercitare su di esso perché il tutto sia in equilibrio.

Domanda 2:

Scomponi \vec{F} lungo le direzioni dei due tratti di fune che sostengono il sacco.

- Le intensità dei due vettori forza che si esercitano lungo la fune, a destra e a sinistra del sacco, sono maggiori o minori del peso del sacco?

Domanda 3:

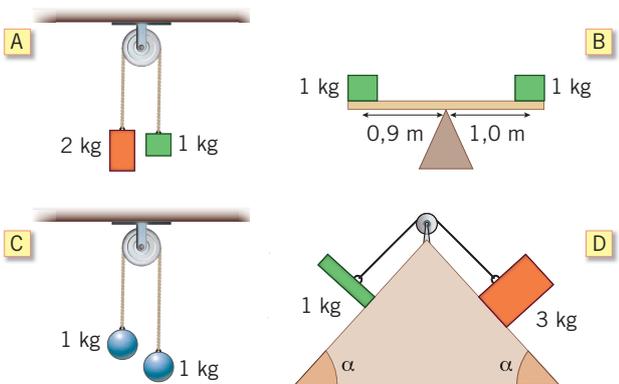
La fune a cui è appeso il sacco potrebbe rompersi, oppure potrebbe staccarsi dagli alberi a cui è legata.

- Ritieni che tale situazione sia la più sicura possibile? Potresti suggerire come ridurre (se possibile) il rischio di una rottura della fune o degli ancoraggi agli alberi?

$[-1,23 \times 10^3 \text{ N}; 1,82 \times 10^3 \text{ N}]$

GIOCHI DI ANACLETO

- 2** Nei dispositivi rappresentati le funi hanno massa trascurabile rispetto ai carichi e anche gli attriti sono trascurabili, l'asse di appoggio è omogenea. Quale di essi è in equilibrio?



(Tratto dai Giochi di Anacleto, anno 2010)

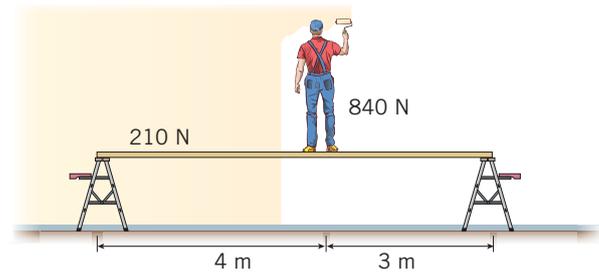
- 3** La carriola carica schematizzata in figura pesa 150 N ed è sostenuta alle aste con una forza \vec{F} . In base alle informazioni tratte dalla figura determinare il valore di \vec{F} .



- a. 300 N.
- b. 225 N.
- c. 75 N.
- d. 50 N.

(Tratto dai Giochi di Anacleto, anno 2009)

- 4** Un tale, per dipingere una parete, è salito su di un'asse appoggiata su due cavalletti, come si può vedere nella figura. L'asse, omogenea, è lunga 7 m e pesa 210 N mentre l'uomo pesa 840 N.

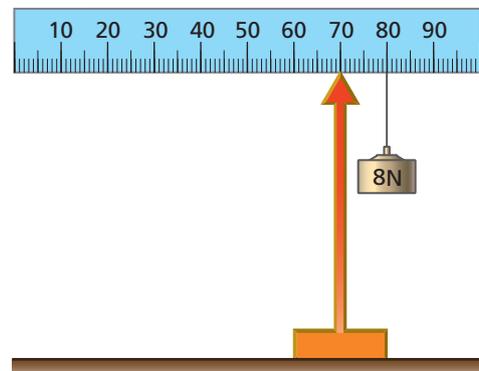


- Quanto vale la forza che preme sul cavalletto che si vede a sinistra nella figura quando l'uomo sta a 4 m da esso?

- a. 350 N.
- b. 465 N.
- c. 585 N.
- d. 1050 N.

(Tratto dai Giochi di Anacleto, anno 2008)

- 5** Come mostrato in figura, una riga lunga 1 metro è sostenuta in equilibrio in posizione orizzontale da un perno.



► Il perno si trova nella posizione corrispondente a 70 cm mentre un peso di 8 N è appeso nella posizione corrispondente a 80 cm. Quanto pesa la riga?

- a. 8 N.
- b. 4 N.
- c. 2 N.
- d. 16 N.

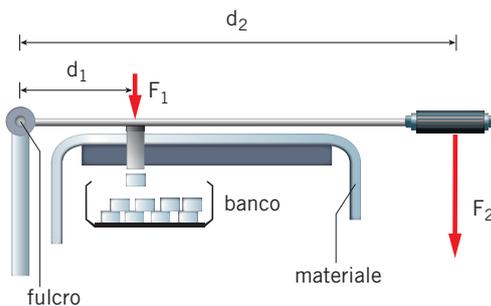
(Tratto dai *Giocchi di Anacleto*, anno 2007)

6 Il disegno mostra una semplice macchina che serve per forare con un punzone fogli di lamiera o di altri materiali. Per fare i fori la leva viene spinta in basso mediante la maniglia che si trova a sinistra di chi guarda.

Per forare la lamiera si deve esercitare una forza F_1 di 36 N. Fissando a 12 cm la distanza d_1 del punzone dal fulcro basta una forza F_2 di soli 3 N a spingere la maniglia in basso e ottenere il foro.

► Qual è allora la lunghezza minima d_2 di tutta l'asta necessaria per fare il foro?

- a. 144 cm.
- b. 60 cm.
- c. 72 cm.
- d. 108 cm.



(Tratto dai *Giocchi di Anacleto*, anno 2006)

7 Nella figura è rappresentata un'auto da corsa.



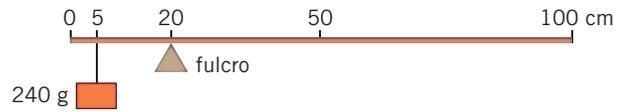
Khalizov Ivan/Harisovich/Shutterstock

► Dove viene situato il suo baricentro da chi progetta l'automobile, e perché?

	DOVE?	PERCHÉ?
A	Più in alto possibile	Per dare all'auto maggiore accelerazione
B	Più in alto possibile	Per dare all'auto maggiore stabilità
C	Più in basso possibile	Per dare all'auto maggiore accelerazione
D	Più in basso possibile	Per dare all'auto maggiore stabilità

(Tratto dai *Giocchi di Anacleto*, anno 2003)

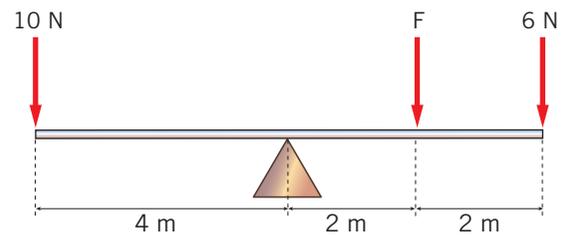
8 In figura è schematizzata un'asta omogenea e lunga un metro; l'asta è appoggiata a un fulcro che non sta nel suo centro di massa e viene quindi tenuta in equilibrio sospendendovi, sulla linea dei 5 cm, una massa di 240 g.



- Qual è la massa dell'asta?
- a. 12 g.
 - b. 4 g.
 - c. 45 g.
 - d. 120 g.

(Tratto dai *Giocchi di Anacleto*, anno 2002)

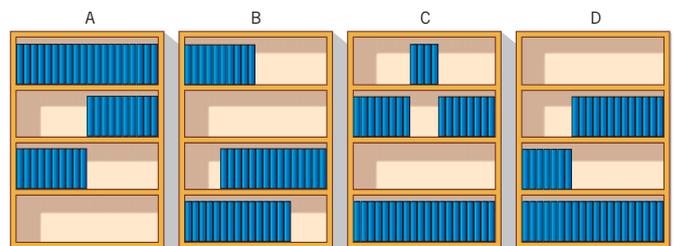
9 Una sbarra uniforme poggia in equilibrio su di un cuneo sotto l'azione delle forze mostrate in figura.



- Qual è l'intensità della forza F ?
- a. 2 N.
 - b. 4 N.
 - c. 8 N.
 - d. 14 N.

(Tratto dai *Giocchi di Anacleto*, anno 2001)

10 Nelle figure si vede la disposizione dei libri in quattro librerie identiche. Quale libreria è facile che si rovesci se viene ruotata un poco in avanti?



(Tratto dai *Giocchi di Anacleto*, anno 2001)