



# Fenomeni e Immagini della Fisica

*Antonio Caforio, Aldo Ferilli*

Approccio fenomenologico, teoria arricchita con aiuti per lo studio, GeoGebra per vedere la fisica: un Caforio-Ferilli nuovo e moderno.

---

*Materiale per i partecipanti all'evento **Vedere la Fisica: i vantaggi didattici di GeoGebra del 22/03/2021**, parte del progetto **DDI Didattica Digitale Integrata Plus**.*

Per maggiori informazioni sull'opera, inquadra il QR code.



 **MONDADORI**  
EDUCATION

  
LE MONNIER SCUOLA

# 4 LE FORZE SONO VETTORI

FLIPPED CLASSROOM



## IN AUTONOMIA

- Leggi il paragrafo 1 e rispondi alle domande storiche.
- Guarda il video il dinamometro.

## A SCUOLA

- Segui la lezione aiutandovi con la **presentazione LIM**.
- Svolgete insieme gli esercizi 1, 4 e 5 sulla definizione di forza.

## IN GRUPPO

- In gruppi cercate oggetti di uso comune in cui sono in gioco forza peso, elastica e di attrito.
- Preparate una galleria fotografica da presentare alla classe.

## 1 Le forze

Un oggetto fermo non riesce a mettersi in movimento in modo spontaneo: può iniziare a muoversi solo se interagisce con altri corpi. In fisica tutte le interazioni tra corpi prendono il nome di **forze**.

### ► Forza

La **forza** è la grandezza fisica che rappresenta e caratterizza tutte le interazioni tra corpi.



► Per muovere un carrello fermo occorre spingerlo oppure tirarlo.



► In un geyser l'acqua erutta sospinta dall'acqua sottostante.



► Una bandiera sventola a causa delle forze esercitate dal vento.

### Forze di contatto e forze a distanza

La spinta e la trazione sono esempi di **forze di contatto**, ossia interazioni tra corpi che si toccano. Esistono anche forze che si manifestano tra corpi che non sono in contatto tra loro, dette **forze a distanza**.



► La sabbia cade oltre il ciglio della roccia a causa dell'attrazione a distanza tra la Terra e ciascun granello.



► Con l'ago di una bussola la Terra si comporta come una calamita: dovunque ci troviamo l'ago è orientato a distanza verso il Nord.

### Forze e variazioni di velocità

Se un corpo è fermo, l'applicazione di una forza può metterlo in movimento. Vale anche il contrario: un'automobile in moto può essere fermata grazie alle forze esercitate dai freni.

In generale, le forze modificano le velocità dei corpi, non solo in modulo ma anche in direzione o in verso.



► La forza esercitata dai freni riduce il modulo della velocità della bicicletta.



► Lungo una curva le forze tra le ruote e l'asfalto modificano la direzione della velocità dell'auto.



► La forza tra palla e ginocchio modifica il verso della velocità della palla.

### Forze e deformazioni

Non sempre l'applicazione di una forza a un corpo ne modifica la velocità. Se la velocità non cambia allora su quel corpo agiscono altre forze che annullano l'effetto della prima. Se un corpo soggetto a forze non ha una variazione di velocità, le forze si manifestano attraverso una **deformazione** del corpo.



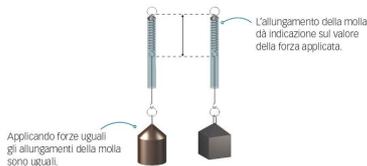
► Le forze tra il cuneo e la lastra non fanno muovere la lastra ma la piegano.

Riassumiamo quanto detto in uno schema.



### Misura delle forze: il dinamometro

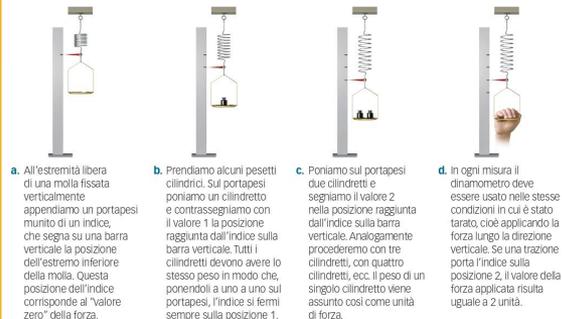
Consideriamo una molla a spirale fissata a un estremo. Quando una forza tira l'altro estremo, per esempio agganciando un oggetto alla molla, la molla si deforma allungandosi. L'allungamento dipende dall'intensità della forza: forze di uguale intensità causano lo stesso allungamento, mentre forze di intensità diversa producono allungamenti diversi. Possiamo allora quantificare una forza attraverso l'allungamento che provoca a una data molla. Questa è una **definizione operativa**: la forza è definita fissando una specifica procedura per misurarla.



Guarda il video  
il dinamometro

Prima di tutto occorre eseguire la **taratura** della molla scelta, che consiste nello stabilire una corrispondenza tra l'allungamento della molla e l'intensità della forza applicata. La taratura permette di ottenere uno strumento per la misura delle forze: il **dinamometro**. Come mostrato di seguito, per tarare un dinamometro si individua una forza campione, da usare come unità di forza, e si registra l'allungamento che produce nello strumento. Si registrano poi gli allungamenti prodotti da multipli e sottomultipli della forza campione, ottenendo così una scala di valori per misurare altre forze.

#### IN LABORATORIO Taratura di un dinamometro



▶ Nel SI l'unità di misura della forza è il **newton** (simbolo N).

◀ **Newton**

Nella taratura di un dinamometro è possibile stabilire un'unità di forza scegliendo quella che produce un determinato allungamento. Il newton, come vedremo meglio più avanti, è invece definito attraverso la variazione di velocità che una forza produce su un corpo libero di muoversi.

### Le forze sono vettori

Possiamo spingere o tirare un corpo con lo stesso sforzo muscolare, ma in direzioni diverse: anche gli effetti sul corpo saranno diversi. Questa semplice osservazione ci fa intuire che una forza è caratterizzata, oltre che dalla sua intensità, espressa nell'opportuna unità di misura, anche da una direzione e da un verso. Le forze sono dunque grandezze vettoriali e, come tali, sono rappresentate attraverso frecce:

- la lunghezza della freccia è direttamente proporzionale all'**intensità** della forza;
- la retta su cui giace la freccia ne indica la **direzione**;
- la punta della freccia indica il **verso** della forza;
- la coda della freccia è sistemata nel punto del corpo nel quale agisce la forza, detto **punto di applicazione**. Se il corpo è approssimato a un punto materiale, tutte le forze che agiscono sul corpo hanno punto di applicazione nel punto materiale.

Osserviamo per esempio cosa succede quando premiamo sul beccuccio di un dispenser per sapone liquido. La forza esercitata ha punto di applicazione sulla superficie del beccuccio e agisce in direzione verticale, verso il basso. Il sapone fuoriesce tanto più rapidamente quanto più la forza è intensa.



Accedi all'attività GeoGebra  
Forze come vettori



### La risultante di forze

Se le forze sono vettori allora per le forze, come per lo spostamento e ogni altra grandezza vettoriale, valgono le regole di composizione dei vettori. Due o più forze che agiscono su un corpo producono una forza complessiva detta **forza risultante**.

▶ La **forza risultante** di due o più forze applicate a un corpo è la **somma vettoriale** delle forze.

◀ **Forza risultante**

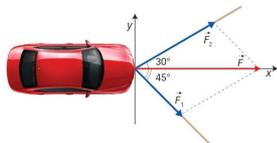
► Motoscafo e paracadute esercitano una forza risultante data dalla somma vettoriale delle singole forze.



La risultante di due o più forze può quindi essere determinata con la regola del parallelogramma o il metodo punta-coda. Per esempio, se facciamo parasailing come mostrato nella figura a lato, la forza  $\vec{F}_1$  di trazione del cavo agganciato al motoscafo e la forza  $\vec{F}_2$  di resistenza del paracadute producono una forza risultante  $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$  che ci permette di vincere il nostro peso e sollevarci in aria sorvolando il mare.

**1 PROBLEM SOLVING** Qual è la somma delle forze?

Due mezzi di soccorso devono liberare un'automobile impantanata nel fango usando due cavi da traino. Tramite i due cavi, tesi parallelamente al suolo, vengono esercitate una forza  $\vec{F}_1$  di  $5,66 \cdot 10^4$  N, orientata a  $45^\circ$  rispetto all'asse longitudinale dell'automobile, e una forza  $\vec{F}_2$  orientata a  $30^\circ$ , come mostrato in figura. La risultante delle due forze è parallela all'asse longitudinale. Calcola l'intensità della forza  $\vec{F}_2$  e l'intensità della forza risultante  $\vec{F}$ .



**Strategia**

Fissiamo un sistema di assi cartesiani  $Oxy$  con l'asse  $x$  coincidente con l'asse longitudinale dell'automobile e l'origine  $O$  nel punto di applicazione delle forze e sfruttiamo il fatto che  $\vec{F}$  è parallela all'asse  $x$ .

**Dati e incognite**  
 $F_1 = 5,66 \cdot 10^4$  N     $\alpha_1 = 45^\circ$      $\alpha_2 = 30^\circ$   
 $F_2 = ?$      $F = ?$

**Soluzione**

Se  $\vec{F}$  è parallela all'asse  $x$  la sua componente  $y$  è nulla.  $F_y = F_{1y} + F_{2y} = 0$  (\*)

Scriviamo le componenti di  $\vec{F}$  ed  $\vec{F}_1$  lungo l'asse  $y$   $F_y = -\frac{\sqrt{2}}{2} F_1$      $F_{2y} = \frac{1}{2} F_2$

Sostituiamo  $F_1$  ed  $F_2$  nella condizione (\*)  $-\frac{\sqrt{2}}{2} F_1 + \frac{1}{2} F_2 = 0$

Risolviamo l'equazione e ricaviamo il modulo  $F_2$   $F_2 = \sqrt{2} F_1 = \sqrt{2} (5,66 \cdot 10^4 \text{ N}) = 8,00 \cdot 10^4 \text{ N}$

Poiché il vettore  $\vec{F}$  giace lungo l'asse  $x$ , il suo modulo è uguale alla somma delle componenti  $x$  di  $\vec{F}_1$  ed  $\vec{F}_2$   $F = F_{1x} + F_{2x} = \frac{\sqrt{2}}{2} F_1 + \frac{\sqrt{3}}{2} F_2 = \frac{1}{2} (\sqrt{2} + \sqrt{6}) F_1$

Solo alla fine sostituiamo i valori numerici  $F = \frac{1}{2} (\sqrt{2} + \sqrt{6}) (5,66 \cdot 10^4 \text{ N}) = 1,09 \cdot 10^4 \text{ N}$

Stop & Go

- Un'antica anfora è ferma sul fondo del mare; su di essa agisce:
  - una sola forza
  - più di una forza
  - una coppia di forze parallele
- Definisci una forza di contatto con un esempio.
- Definisci una forza senza ricorrere a esempi.

**2 La forza peso**

In prossimità della superficie terrestre un corpo lasciato libero di muoversi cade verso il basso per effetto del proprio peso. Il peso di un corpo è un'interazione tra il corpo e la Terra ed è quindi una forza.

► La **forza peso**  $\vec{P}$  è la forza con la quale un corpo è attratto verso il centro del pianeta su cui si trova.

◀ **Forza peso**

Come tutte le forze, il peso di un corpo è una grandezza vettoriale. Lo rappresentiamo quindi con un vettore che ha:

- punto di applicazione sul corpo;
  - direzione **verticale**, passante per il centro del pianeta;
  - verso rivolto al centro del pianeta, ossia in **basso**.
- Determiniamo ora l'intensità della forza peso.



**Il peso e la massa**

Per misurare il peso di un corpo si utilizza un dinamometro, mentre per misurare la sua massa si usa una bilancia. Se due oggetti hanno masse uguali allora anche i loro pesi sono uguali.

**IN LABORATORIO** Masse uguali hanno pesi uguali



**a.** Sistemiamo due oggetti sui piatti di una bilancia a bracci uguali. Se l'indice della bilancia è in posizione verticale allora le masse dei due oggetti sono uguali, indipendentemente dal materiale di cui sono costituiti, dalla loro forma o dai loro volumi.

**b.** Appendiamo i due oggetti di uguale massa a due dinamometri identici e confrontiamo i risultati delle misure: anche i pesi sono uguali.

Se un corpo ha il doppio della massa di un altro corpo, allo stesso modo anche il suo peso ha intensità doppia rispetto al peso dell'altro corpo. Tre oggetti della stessa massa hanno complessivamente tre volte il peso di uno degli oggetti e così via. Masse diverse hanno quindi pesi diversi, ma per tutti i corpi il rapporto tra il peso e la massa è lo stesso.

► La massa e la forza peso sono grandezze direttamente proporzionali. La relazione tra la massa  $m$  di un corpo e l'intensità  $P$  del suo peso è data dall'equazione:

$$P = m g$$

◀ **Proporzionalità diretta tra massa e peso**

Il valore della costante di proporzionalità  $g$  è lo stesso per tutti i corpi che si trovano nello stesso luogo, ma cambia leggermente in base all'altitudine e alla posizione geografica [Tab. 1].

L'Etna e Catania si trovano all'incirca alla stessa latitudine ma la costante  $g$  misurata in città differisce leggermente da quella misurata sulla sommità del vulcano, che si trova a circa 3330 m sul livello del mare.

**Tabella 1** Rapporto tra peso e massa a differenti altitudini al 45° parallelo.

Altitudine (m)	$g$ (N/kg)
0	9,806
4000	9,794
8000	9,708
32 000	9,782
100 000	9,598



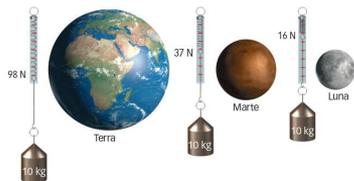
A causa di questa variabilità, il **valore convenzionale di  $g$**  è quello misurato sulla superficie terrestre intorno al 45° parallelo e al livello del mare, pari a **9,81 N/kg**.

### La massa e il peso lontano dalla Terra

Come variano massa e peso di un corpo se lo portiamo su un altro pianeta?

- La forza di attrazione tra un corpo e il pianeta su cui si trova, cioè il **peso** del corpo su quel pianeta, **dipende dalle caratteristiche del pianeta**.
- La **massa** è invece una **proprietà intrinseca** della materia di cui è costituito un corpo, di conseguenza non varia se il corpo si trova sulla superficie terrestre, su quella lunare o su qualunque altro pianeta.

Un corpo di una certa massa ha quindi pesi diversi su pianeti diversi. Tuttavia, la proporzionalità diretta tra peso e massa è valida su tutti i pianeti: se un corpo ha massa doppia rispetto a un altro, il suo peso è il doppio del peso dell'altro su qualunque pianeta. Ciò che cambia da pianeta a pianeta è la costante di proporzionalità tra peso e massa.



► Il peso di un corpo sulla Luna è minore rispetto a quello che ha sulla Terra o su Marte, mentre la sua massa è sempre la stessa. In prossimità della superficie lunare il rapporto tra peso e massa vale  $g = 1,62$  N/kg mentre in prossimità della superficie di Marte lo stesso rapporto vale  $g = 3,69$  N/kg.

### 2 PROBLEM SOLVING Un casco poco pratico

Il casco che Giulia usa per andare in scooter avrebbe su Giove lo stesso peso che qui, sulla Terra, ha il suo vocabolario di latino. Il vocabolario ha massa pari a 2,95 kg e su Giove  $g$  vale 24,8 N/kg. Calcola la massa del casco.



**Dati e incognite**  
 $m_v = 2,95$  kg     $g_G = 24,8$  N/kg     $m_c = ?$

**Strategia**  
 Dobbiamo uguagliare tra loro il peso del vocabolario di latino sulla Terra con quello del casco su Giove e sfruttare un dato non esplicitato dal problema, ossia il valore di  $g$  sulla superficie terrestre ( $g = 9,81$  N/kg).

#### Soluzione

Scriviamo la relazione che lega la massa  $m_v$  del vocabolario e l'intensità  $P_v$  del suo peso sulla Terra

$$P_v(\text{Terra}) = m_v g$$

Scriviamo la relazione che lega la massa  $m_c$  del casco e l'intensità  $P_c$  del suo peso su Giove

$$P_c(\text{Giove}) = m_c g_G$$

Uguagliamo, in modulo, il peso del vocabolario sulla Terra al peso del casco su Giove

$$P_v(\text{Terra}) = P_c(\text{Giove})$$

$$\text{da cui } m_v g = m_c g_G$$

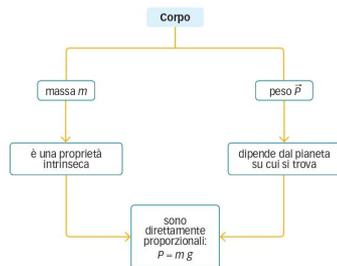
Risolviamo l'equazione ottenuta rispetto a  $m_c$  e sostituiamo i valori numerici

$$m_c = \frac{m_v g}{g_G} = \frac{(2,95 \text{ kg})(9,81 \text{ N/kg})}{24,8 \text{ N/kg}} = 1,17 \text{ kg}$$

#### Prosegui tu

Se oltre al casco portassimo su Giove anche il vocabolario, quale sarebbe il peso complessivo dei due oggetti? [102 N]

Riassumiamo quanto detto in uno schema.



Stop & Go

#### 1. Quanto pesa?



2. Sei in una stazione spaziale in cui l'attrazione della Terra è pressoché nulla. Che risultato ottieni misurando il peso della tua scatoletta di cibo con un dinamometro?
- Zero
  - Diverso da zero
  - Lo stesso peso misurato sulla Terra

### 3 La forza elastica

Le corde di un'arpa, un trampolino per i tuffi o una pallina di gomma reagiscono alle deformazioni, entro certi limiti, come una molla: se vengono deformati da una forza, una volta terminata l'applicazione della forza tornano in breve tempo alla loro forma originaria.



> Le corde dell'arpa sono deformate dal pizzico delle dita e ritornano vibrando alla posizione originale.



> In un tuffo il trampolino si flette e quando ritorna alla forma iniziale spinge l'atleta verso l'alto.



> La pallina di gomma è deformata dal morso del cane e ritorna sferica dopo che il cane lascia la presa.

In generale, un corpo deformato reagisce con una **forza di richiamo** che si oppone alla deformazione. Grazie alle forze di richiamo alcuni corpi sono in grado di ripristinare la loro forma iniziale. Consideriamo, per esempio, una molla che viene allungata fissandone un estremo e tirando l'altro: quando lasciamo la presa, la molla torna in breve tempo alla sua lunghezza iniziale.

#### >> Deformazione elastica

Una **deformazione elastica** è la deformazione di un corpo che tende a tornare allo stato originario quando vengono meno le forze che hanno causato la deformazione.

Un corpo che si deforma elasticamente è detto **corpo elastico** e la forza di richiamo con cui si oppone alla deformazione è detta **forza elastica**.

#### >> Forza elastica

Una **forza elastica** è la forza di richiamo esercitata da un corpo per tornare allo stato originario a seguito di una deformazione elastica.



Accedi all'attività GeoGebra  
Forza elastica

#### Proprietà della forza elastica

Utilizzando una molla, dei pesi e un'asta graduata è possibile eseguire un semplice esperimento per determinare la relazione tra forza elastica e deformazione elastica. In questo caso specifico determiniamo la relazione tra forza elastica sviluppata dalla molla e allungamento subito per effetto di una forza esterna.

Consideriamo una molla disposta in verticale, fissata per un estremo, accanto a un'asta graduata e non deformata. La molla in queste condizioni ha una sua lunghezza chiamata **lunghezza a riposo**. Se appendiamo un corpo all'estremo libero, la molla si allunga ed esercita una forza elastica che controbilancia il peso del corpo tenendolo sospeso in equilibrio. Dunque, se è noto il peso del corpo appeso, è nota anche la forza elastica.

#### IN LABORATORIO La forza elastica di una molla e il suo allungamento



a. Per misurare la lunghezza a riposo della molla, la agganciamo per un estremo a un sostegno e registriamo la posizione di riposo dell'estremo libero su un'asta graduata.



b. Un corpo appeso fa allungare la molla. La forza elastica  $F_e$ , all'equilibrio, controbilancia il peso  $P$  del corpo. Usando pesi noti e misurando di volta in volta l'allungamento  $s$  della molla determiniamo la relazione tra forza elastica e deformazione.



Guarda il video  
La forza elastica  
e il videolaboratorio  
La costante di elasticità di una molla

Consideriamo il vettore **spostamento  $\vec{s}$  dell'estremo libero della molla dalla posizione a riposo**: l'allungamento della molla può essere definito come il modulo  $s$  di tale spostamento. Sperimentalmente, applicando alla molla corpi di peso diverso e misurando i rispettivi allungamenti, si trova che: l'intensità  $F$  della forza elastica è direttamente proporzionale al modulo dell'allungamento  $s$ :

$$F = k s$$

dove  $k$  è una costante di proporzionalità che dipende dalla molla scelta. Il grafico dell'intensità  $F$  della forza elastica in funzione dell'allungamento  $s$  è una retta passante per l'origine, come mostrato a lato.

#### La legge di Hooke

La relazione appena trovata è valida anche nel caso in cui il vettore spostamento  $\vec{s}$  dell'estremo libero della molla indica una compressione. In generale, la forza elastica  $\vec{F}$  di una molla fissata per un estremo:

- è **direttamente proporzionale** allo spostamento  $\vec{s}$  dell'estremo libero della molla dalla posizione di riposo;
  - agisce **nella direzione dell'asse** della molla;
  - è di richiamo, quindi ha **verso opposto** a quello in cui si deforma la molla.
- Le tre proprietà elencate possono essere riassunte nella legge di Hooke, che è un'equazione vettoriale.

> La forza elastica  $\vec{F}$  sviluppata da una molla fissata per un estremo è data da:

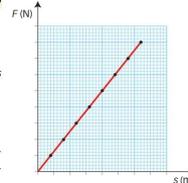
$$\vec{F} = -k \vec{s}$$

forza elastica (N)
spostamento (m)
costante elastica (N/m)

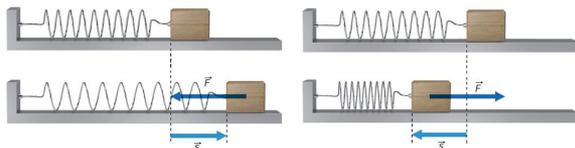
dove  $\vec{s}$  è il vettore spostamento dell'estremo libero della molla dalla posizione di riposo e  $k$  è la **costante elastica della molla**, il cui valore si misura in N/m e dipende dalla molla considerata.

Il segno meno nella legge di Hooke indica che la forza elastica ha sempre verso opposto a quello dello spostamento dell'estremo libero.

> L'intensità della forza elastica al variare dell'allungamento della molla



#### << Legge di Hooke



► La molla esercita sul blocco una **forza diretta verso sinistra** quando è **allungata verso destra** rispetto alla posizione di riposo.

► La molla esercita sul blocco una **forza diretta verso destra** quando è **compressa verso sinistra** rispetto alla posizione di riposo.

Tutti i corpi che per piccole deformazioni hanno un comportamento elastico presentano dei **limiti di elasticità**: se la forza che provoca la deformazione supera una certa soglia di intensità, la legge di Hooke non è più applicabile e la forza di richiamo del corpo non lo può riportare alla forma originale.

**3 PROBLEM SOLVING** Quale molla è più forte?

Due molle, di uguale lunghezza a riposo, sono disposte su un piano orizzontale e ciascuna viene fissata per l'estremo sinistro, lasciando libero l'altro estremo. La prima molla, di costante elastica 400 N/m, viene compressa di 3,5 cm. La seconda molla, di costante elastica 5 volte più grande, viene allungata di 8,0 mm. Quale molla sviluppa la forza elastica più intensa?

**Dati e incognite**  
 $k_1 = 400 \text{ N/kg}$     $s_1 = 3,5 \text{ cm}$     $F_1 = ?$   
 $k_2 = 5k_1$     $s_2 = 8,0 \text{ mm}$     $F_2 = ?$

**Soluzione**

Convertiamo in metri la compressione e l'allungamento delle molle	$s_1 = 3,5 \text{ cm} = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ $s_2 = 8,0 \text{ mm} = 8,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
Calcoliamo l'intensità $F_1$ della forza elastica della prima molla	$F_1 = k_1 s_1 = (400 \text{ N/m}) (3,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}) = 14 \text{ N}$
Calcoliamo l'intensità $F_2$ della forza elastica della seconda molla	$F_2 = k_2 s_2 = 5 k_1 s_2 = 5 (400 \text{ N/m}) (8,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}) = 16 \text{ N}$
La seconda molla sviluppa quindi una forza elastica di intensità maggiore	$F_2 > F_1$

Stop & Go

- Che tipo di relazione lega l'intensità della forza elastica di una molla al suo allungamento rispetto alla lunghezza a riposo?  
 Diretta    Inversa    Quadratica
- Spiega che cosa si intende con l'espressione "forza di richiamo".

**4 Le forze vincolari e di attrito**

Tra le forze più comuni che si esercitano tra i corpi e che sperimentiamo quotidianamente vi sono le forze che si oppongono al moto dei corpi, mantenendoli fermi in equilibrio o facendo resistenza al loro spostamento.

**Le forze vincolari**

La forza peso  $\vec{P}$  che agisce su un corpo lo fa cadere. Se questo non accade, vuol dire che sul corpo agisce un'altra forza che ne impedisce il moto. Un corpo che non è libero di muoversi è detto **vincolato**.

► Sono **forze vincolari**  $\vec{F}_v$  le forze che limitano o impediscono il movimento di un corpo. I corpi che le esercitano si chiamano **vincoli**.

◀ **Forze vincolari**



► Il peso  $\vec{P}$  della pianta in vaso è controbilanciato dalla forza vincolare  $\vec{F}_v$  che il tavolo esercita sul vaso. Il tavolo agisce da vincolo.

► La catena si comporta come un vincolo per la lanterna, esercitando una forza vincolare  $\vec{F}_v$  che impedisce alla lanterna di cadere.

Una forza vincolare non ha sempre la stessa intensità ma assume, istante per istante, l'intensità necessaria a bilanciare le forze che agiscono sul corpo vincolato. Vediamo alcuni tipi di forze vincolari.

► Se un corpo a contatto con una qualsiasi superficie è soggetto a una forza che è rivolta verso la superficie **in direzione a essa perpendicolare**, la superficie esercita sul corpo, lungo la stessa direzione, una forza vincolare detta **reazione normale**  $\vec{N}$ , uguale e opposta alla forza che deve contrastare.

◀ **Reazione normale**

Per esempio, se posizioniamo sul tavolo un vaso più pesante la reazione normale del tavolo aumenta, per bilanciare un peso maggiore. Questo è vero finché le forze da bilanciare non superano i limiti di rottura del vincolo (se il peso è eccessivo il piano d'appoggio può rompersi). Anche funi, fili e catene, come quella che sorregge il lampadario nella figura precedente, possono comportarsi come vincoli quando, messi in trazione, si oppongono al proprio allungamento. La forza vincolare che esercitano è chiamata **tensione**.

► Se un corpo attaccato a un filo è soggetto a una forza che pone il filo in trazione, il filo esercita sul corpo una forza vincolare chiamata **tensione**  $\vec{T}$ , che è diretta lungo il filo e si oppone alla trazione.

◀ **Tensione**

In un filo teso la forza di tensione è uguale in ogni punto del filo e, come la reazione normale, può assumere qualunque valore a seconda della sollecitazione cui il filo è soggetto, entro i limiti di rottura del filo.

### Le forze di attrito



Abbiamo tutti esperienza di quanto possa essere difficile spostare un oggetto pesante, e sappiamo anche che lo sforzo maggiore è quello necessario a metterlo in movimento. Un vaso appoggiato può essere fatto strisciare sul suo piano di appoggio applicando una forza  $F$ , ma quando iniziamo a spingerlo incontriamo una certa resistenza che ci impedisce

di mettere il vaso in movimento: è entrata in azione la **forza di attrito**  $F_f$  (vedremo tra poco il significato del pedice "f"). Le forze di attrito sono forze di contatto che ostacolano o limitano il movimento reciproco dei corpi tra cui si sviluppano. La loro esistenza è dovuta al fatto che tutte le superfici, anche quelle che appaiono molto lisce a occhio nudo, presentano irregolarità su scala microscopica: l'attrito tra due corpi si sviluppa nei punti di contatto tra le irregolarità delle loro superfici. Le forze di attrito forniscono anche le condizioni indispensabili per produrre certi movimenti, come camminare o far avanzare un'automobile: se fra le nostre scarpe e il suolo non ci fosse attrito non sarebbe possibile camminare, perché scivoleremmo sul posto; l'automobile non partirebbe senza l'attrito fra le ruote e la strada perché le ruote slitterebbero.

Quando un corpo striscia su una superficie l'attrito che agisce sul corpo è detto **attrito radente**, quando invece rotola è detto **attrito volvente**.

### Forza di attrito statico

Consideriamo un blocco di legno fermo su un piano orizzontale e collegato a un dinamometro. Supponiamo di tirare leggermente il blocco in direzione orizzontale mediante il dinamometro.

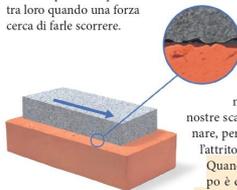
Se il blocco non si muove allora il piano esercita sul blocco una forza di attrito orizzontale che controbilancia la trazione.



Un attrito che impedisce ad altre forze di mettere un corpo in movimento è detto **forza di attrito statico**  $F_{f,s}$ .

► Mentre spingiamo il vaso l'attrito con la superficie del tavolo si oppone alla forza esercitata.

► L'attrito tra due superfici è dovuto alle irregolarità microscopiche che premono tra loro quando una forza cerca di farle scorrere.



► Finché il blocco non si muove, l'attrito statico tra il blocco e il piano bilancia la forza di trazione.

L'attrito statico si manifesta perché sul blocco agisce una forza in direzione parallela alla superficie di contatto. La sua intensità è uguale a quella della forza applicata e pertanto può essere letta direttamente sul dinamometro. Se tiriamo con una forza di intensità maggiore e il blocco resta fermo vuol dire che anche l'intensità dell'attrito statico è aumentata di pari passo. Continuando a tirare sempre più forte, alla fine il blocco comincia a muoversi. A quel punto abbiamo applicato una forza maggiore della massima forza di attrito statico che può svilupparsi tra il blocco e il piano. Quindi la forza di attrito statico tra due corpi a contatto non può superare una certa **intensità massima**  $F_{f,max}$ .

### Intensità massima della forza di attrito statico

Immaginiamo di tirare il blocco sempre più forte fino quando la forza di attrito statico ha raggiunto la massima intensità possibile: il blocco è ancora fermo ma comincerà a muoversi se aumentiamo ancora la forza di trazione. Finché il blocco è fermo, tutte le forze che agiscono su di esso si bilanciano tra loro.

- Il blocco non si muove in direzione verticale, quindi il suo peso  $\vec{P}$  e la reazione normale  $\vec{N}$  che il piano esercita sul blocco si bilanciano:  $\vec{N} = -\vec{P}$ .
- Il blocco non si muove in direzione orizzontale, quindi la forza di trazione  $\vec{F}$  e la massima forza di attrito statico  $\vec{F}_{f,max}$  si bilanciano:  $\vec{F}_{f,max} = -\vec{F}$ .



► La massima trazione  $\vec{F}$  che non fa muovere il blocco è quella che ha intensità pari a  $F_{f,max}$ . Se  $F$  supera questo valore il blocco si muove.

► Se usiamo un blocco di peso doppio raddoppiamo sia la reazione normale  $\vec{N}$  sia la massima trazione  $\vec{F} = -\vec{F}_{f,max}$  che non fa muovere il blocco.

Dunque l'intensità massima  $F_{f,max}$  dell'attrito statico è **direttamente proporzionale** all'intensità  $N$  della reazione normale. Possiamo scrivere  $F_{f,max} = k_s N$  dove  $k_s$  è una costante di proporzionalità **adimensionale**, che prende il nome di **coefficiente di attrito statico** e dipende dal materiale delle superfici a contatto. L'intensità dell'attrito statico può assumere qualsiasi valore compreso tra zero e il valore massimo  $F_{f,max}$ .

► Se un corpo fermo è a contatto con una superficie ed è soggetto a una forza in direzione parallela alla superficie, la superficie esercita sul corpo una **forza di attrito statico**  $F_f$  uguale e opposta alla forza applicata al corpo, la cui intensità  $F_f$  soddisfa la condizione:

$$F_f \leq k_s N$$

intensità della forza di attrito statico ( $N$ )      coefficiente di attrito statico (numero puro)      intensità della reazione normale della superficie ( $N$ )

◀ Forza di attrito statico

4 PROBLEM SOLVING Ce la fanno i cani a trainare la slitta?

Due cani cominciano a tirare orizzontalmente una slitta ferma con una forza di 192 N. La slitta, con il suo passeggero, ha un peso complessivo di 965 N. Il coefficiente di attrito statico tra il ghiaccio e i pattini della slitta è pari a 0,220. Stabilisci se la slitta si muove.



Dati e incognite

$F = 192 \text{ N}$     $k_s = 0,220$     $P = 965 \text{ N}$

$F_{s,max} = ?$

Strategia

Rappresentiamo in figura le forze che agiscono sulla slitta: il peso  $\vec{P}$  della slitta, la reazione normale  $\vec{N}$  del ghiaccio, la forza di trazione  $\vec{F}$  esercitata dai cani e la forza di attrito statico  $\vec{F}_s$  tra la slitta e il ghiaccio. Per far scivolare la slitta da ferma i cani devono vincere la massima forza di attrito statico tra slitta e ghiaccio. Dobbiamo quindi calcolare  $F_{s,max}$  e confrontarla con l'intensità  $F$ .

Soluzione

La slitta comincia a scivolare se l'intensità della forza con cui i cani tirano supera l'intensità massima  $F_{s,max}$  della forza di attrito statico. Scriviamo l'espressione per  $F_{s,max}$

Poiché la slitta non si muove in direzione verticale, la reazione normale è uguale e opposta al peso. In modulo

Possiamo quindi calcolare  $F_{s,max}$     $F_{s,max} = k_s P = 0,220 (965 \text{ N}) = 212 \text{ N}$

Confrontando  $F_{s,max}$  con l'intensità  $F$  capiamo che i due cani non riescono a muovere la slitta    $192 \text{ N} < 212 \text{ N}$    da cui    $F < F_{s,max}$

Forza di attrito dinamico

L'attrito statico è una forza da superare per mettere in movimento un corpo in direzione parallela alla superficie con cui è a contatto. Una volta che il corpo ha cominciato a muoversi, l'attrito continua ad agire: in questo caso, la superficie esercita sul corpo una **forza di attrito dinamico**  $\vec{F}_d$  parallela alla superficie, che ha la stessa direzione ma verso opposto rispetto al moto. L'intensità dell'attrito dinamico tra due corpi a contatto ha un solo valore, direttamente proporzionale all'intensità della reazione normale della superficie.

» Forza di attrito dinamico

Se un corpo si muove a contatto con una superficie, la superficie esercita sul corpo una **forza di attrito dinamico**  $\vec{F}_d$  che ha direzione uguale e **verso opposto al moto**, la cui intensità  $F_d$  è direttamente proporzionale all'intensità  $N$  della reazione normale della superficie. La costante di proporzionalità tra  $F_d$  e  $N$  è un numero puro detto **coefficiente di attrito dinamico**  $k_d$ :

$F_d = k_d N$

coefficiente di attrito dinamico (numero puro)

intensità della forza di attrito dinamico (N)

intensità della reazione normale della superficie (N)

Attenzione: questa relazione esprime la proporzionalità diretta fra i moduli della forza di attrito e della reazione normale, e non una proporzionalità fra vettori. Le direzioni di queste due forze sono infatti differenti: parallela alla superficie di contatto la prima, perpendicolare la seconda.

Per uno stesso corpo appoggiato su una stessa superficie, il coefficiente di attrito dinamico è sempre **minore** del coefficiente di attrito statico. Questo è evidente per il fatto che è più difficile far strisciare un corpo partendo da fermo rispetto a quando è già in movimento. Inoltre, sia il coefficiente di attrito statico sia il coefficiente di attrito dinamico non dipendono dall'area di contatto tra le superfici.

5 PROBLEM SOLVING Una spinta inclinata

Sali a bordo di un aeroplano e inserisci il tuo bagaglio nella cappelliera spingendolo verso l'alto con una forza di 30,0 N, inclinata di  $60,0^\circ$  rispetto al piano del vano.

Il bagaglio pesa 39,5 N e il coefficiente di attrito dinamico tra il piano del vano e il bagaglio è 0,364. Quanto è intensa la forza di attrito che agisce sul bagaglio?

Dati e incognite

$F = 30,0 \text{ N}$     $\alpha = 60,0^\circ$     $P = 39,5 \text{ N}$

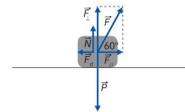
$k_d = 0,364$     $F_d = ?$

Strategia

Occorre come prima cosa determinare tutte le forze che agiscono sul bagaglio, disegnanone il diagramma vettoriale.

Soluzione

Rappresentiamo il diagramma delle forze che agiscono sul bagaglio. Le forze sono: il peso  $\vec{P}$ , la reazione normale  $\vec{N}$  del piano del vano, la forza  $\vec{F}$  con cui spingiamo il bagaglio e la forza di attrito dinamico  $\vec{F}_d$  tra il piano del vano e il bagaglio. Scomponiamo la forza  $\vec{F}$  nelle due forze componenti  $\vec{F}_x$  e  $\vec{F}_y$  rispettivamente perpendicolare e parallela al piano del vano.



Il bagaglio non si muove in verticale quindi le forze lungo questa direzione hanno risultante nulla

$\vec{P} + \vec{F}_y + \vec{N} = 0$    da cui    $P - F_y - N = 0$

Dalla figura si ha che  $F_y = F \sin \alpha$ . Sostituiamo nella precedente equazione e ricaviamo  $N$

$N = P - F_y = P - F \sin \alpha$

Possiamo ora calcolare l'intensità  $F_d$  della forza di attrito dinamico che agisce sul bagaglio

$F_d = k_d N = k_d (P - F \sin \alpha) = 0,364 \cdot [39,5 \text{ N} - 30,0 \text{ N} \sin (60,0^\circ)] = 4,92 \text{ N}$

Prosegui tu

Se avessi spinto il bagaglio con la stessa forza ma in direzione parallela al piano del vano quanto sarebbe valsa la forza di attrito? [14,4 N]

Stop & Go

- Fai strisciare una cassa su un pavimento scabro. L'attrito con il pavimento ha intensità:
  - massima mentre la cassa striscia
  - massima quando la cassa è sul punto di strisciare
  - sempre uguale
- Il David di Michelangelo pesa 5660 kg. Che cosa gli impedisce di sprofondare? Spiega.



## RIPASSA E ORGANIZZA LE IDEE

La forza  $\vec{F}$  è una **grandezza vettoriale**, si misura con il **dinamometro** e nel SI ha come unità di misura il **newton**.

La **forza risultante**  $\vec{F}$  di due forze  $\vec{F}_1$  ed  $\vec{F}_2$  che agiscono su un corpo è la somma vettoriale delle singole forze.

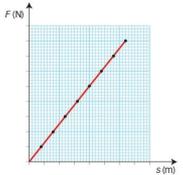


Il **peso**  $\vec{P}$  di un corpo è una forza e si rappresenta con un vettore che ha:

- direzione verticale passante per il centro del pianeta e verso rivolto in basso;
- modulo  $P = m g$ , dove  $m$  è la massa del corpo e  $g$ , costante di proporzionalità, sulla superficie terrestre vale circa 9,81 N/kg.

La **forza elastica**  $\vec{F}$  sviluppata da una molla fissata per un estremo si rappresenta con un vettore che ha:

- la stessa direzione dell'asse della molla;
- verso opposto rispetto a quello in cui si deforma la molla;
- modulo  $F = k s$ , dove  $s$  è il modulo del vettore spostamento dell'estremo libero dalla posizione di equilibrio e  $k$  è la costante elastica della molla, il cui valore si misura in N/m.



Le **forze vincolari** impediscono il moto di un corpo e sono esercitate da altri corpi, che prendono il nome di **vincoli**.

• **Reazione normale  $N$  di una superficie**  
È una forza perpendicolare alla superficie e orientata verso l'esterno, uguale in modulo alla forza che preme il corpo contro la superficie.



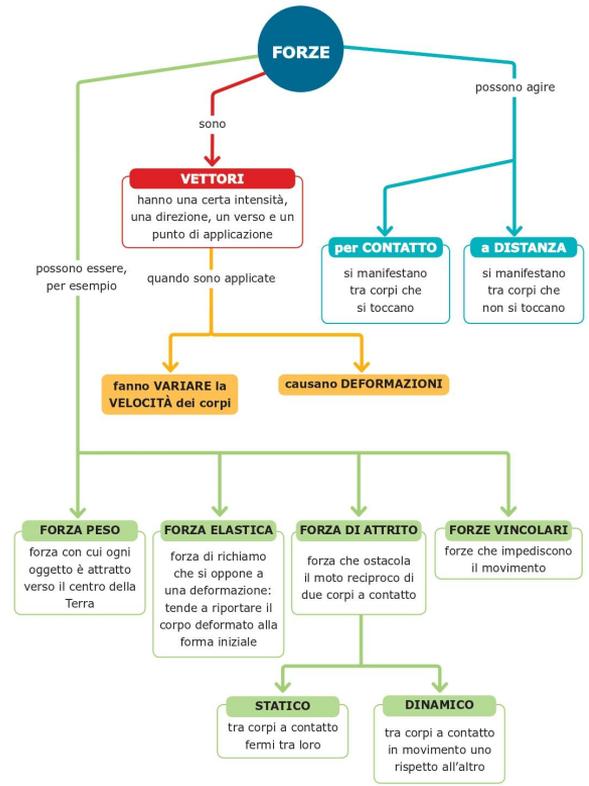
• **Tensione  $\vec{T}$  di un filo**  
È sempre diretta lungo il filo e può assumere ogni valore che bilanci la forza di trazione cui il filo è sottoposto.



Le **forze di attrito** ostacolano o limitano il movimento reciproco di corpi a contatto tra loro. Su un corpo a contatto con una superficie agiscono due tipi di forze.

• **Corpo fermo: forza di attrito statico  $\vec{F}_s$**   
È parallela alla superficie con modulo  $F_s \leq k_s N$ , dove  $N$  è il modulo della reazione normale della superficie sul corpo e  $k_s$  è il **coefficiente di attrito statico** che dipende dal tipo di superfici a contatto.

• **Corpo che striscia su una superficie: forza di attrito dinamico  $\vec{F}_d$**   
È parallela alla superficie in verso opposto al moto, con modulo  $F_d = k_d N$ , dove  $k_d$  è il **coefficiente di attrito dinamico** che dipende dal tipo di superfici a contatto.



## ESERCIZI DI PARAGRAFO

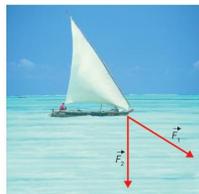
### 1 Le forze

• Teoria p. 118

- 1 Vero o falso?
- Le forze possono essere sia grandezze vettoriali sia grandezze scalari.  V  F
  - Un dinamometro misura una forza in base alle deformazioni elastiche indotte dalla forza su una molla tarata.  V  F
  - Se su un corpo sono al contempo applicate due forze, la forza risultante ha sempre stessa direzione della forza componente di modulo maggiore.  V  F
  - Allazione di una forza corrisponde sempre una variazione di velocità di un corpo.  V  F
- 2 Quali sono gli elementi che consentono di caratterizzare completamente una forza?
- 3 È possibile determinare graficamente la somma di due forze con il metodo punta-coda? Perché?

#### INVERTI LA FORMULA Somma di forze

- 4 **DIRETTA** Due forze ed  $\vec{F}_1$  ed  $\vec{F}_2$  parallele ed equivalenti, hanno un modulo 40 N e l'altra modulo 25 N. Trova il modulo della forza risultante  $\vec{R}$ . [65 N]
- 5 **INVERSA** La forza risultante  $\vec{R}$  di due forze  $\vec{F}_1$  ed  $\vec{F}_2$ , entrambe orizzontali, è orizzontale, ha modulo 3,5 N ed è diretta verso destra. Se  $\vec{F}_1$  ha modulo 4,9 N ed è diretta verso sinistra, quali sono modulo e verso di  $\vec{F}_2$ ? [8,4 N, destra]
- 6 **IMMAGINI** Qual è la forza risultante  $\vec{R}$  che agisce sulla barca? Osserva la figura e traccia il vettore  $\vec{R}$  applicando la regola del parallelogramma.



136



Rispondi alle domande su **HUB TEST** prima di passare agli esercizi di paragrafo

- 7 Completa la tabella, sapendo che  $\vec{F}_1$  ed  $\vec{F}_2$  sono le componenti cartesiane di una forza di modulo  $F$  rispetto a un sistema cartesiano  $Oxy$  fissato.

$F$ (N)	$F_x$ (N)	$F_y$ (N)
	6,7	2,5
9,5	1,8	
8,9		-7,2

#### IMPARA LA STRATEGIA La risultante di due forze

- 8 Calcola l'intensità della risultante di due forze  $\vec{F}_1$  ed  $\vec{F}_2$  rispettivamente di modulo 2,4 N e 0,70 N, applicate entrambe allo stesso punto  $O$ , nei seguenti tre casi:

- $\vec{F}_1$  ed  $\vec{F}_2$  sono collineari e di verso concorde;
- $\vec{F}_1$  ed  $\vec{F}_2$  sono collineari e di verso discorde;
- $\vec{F}_1$  ed  $\vec{F}_2$  formano un angolo di  $90^\circ$ .

#### Dati

Modulo forza  $F_1 = 2,4$  N Modulo forza  $F_2 = 0,70$  N

#### Incognite

Modulo risultante forze  $F = ?$ 

#### Situazione fisica

Le forze sono grandezze vettoriali e la risultante di due o più forze agenti su uno stesso oggetto è la somma vettoriale delle singole forze.

#### Risoluzione

Nel primo caso le due forze hanno stessa direzione e verso concorde, pertanto la forza risultante ha stessa direzione e verso delle due. L'intensità della risultante è uguale alla somma delle intensità:

$$F = F_1 + F_2 = 2,4 \text{ N} + 0,70 \text{ N} = 3,1 \text{ N}$$

Nel secondo caso le due forze hanno stessa direzione e verso opposto. La risultante delle forze ha la stessa direzione delle due forze, verso concorde con la forza di intensità maggiore ( $F_1$ ) e intensità uguale alla differenza tra le intensità:

$$F = F_1 - F_2 = 2,4 \text{ N} - 0,70 \text{ N} = 1,7 \text{ N}$$

Nel terzo caso le due forze sono perpendicolari. Puoi applicare il teorema di Pitagora per calcolare l'intensità della risultante:

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{(2,4 \text{ N})^2 + (0,70 \text{ N})^2} = 2,5 \text{ N}$$

#### APPLICA LA STRATEGIA

- 9 Durante una partita di pallavolo due giocatrici colpiscono la palla. Le forze che imprimono alla palla hanno un'intensità di 6,0 N e 2,0 N. Le direzioni delle forze impresse descrivono fra loro un angolo di  $90^\circ$ . Quale sarà l'intensità della forza risultante sulla pallina? [6,3 N]
- 10 La spinta di un motore Diesel su una nave della guardia costiera è schematizzabile con una forza di  $2,5 \cdot 10^4$  N diretta verso Est. Un forte vento, diretto verso Nord, esercita sull'imbarcazione una forza di uguale intensità. Quanto vale l'intensità della risultante delle due forze e qual è la sua direzione? [ $3,5 \cdot 10^4$  N, verso Nord-Est]
- 11 Indica con una crocetta quali delle operazioni elencate sono possibili e quali no.
- Somma di due forze  V  F
  - Somma di una forza e di un numero  V  F
  - Somma di tre o più forze  V  F
  - Differenza di una forza e di uno spostamento  V  F

- 12 Un addetto all'attracco fa trainare una nave con due cavi in acciaio disposti a formare un angolo di  $120^\circ$ . I due cavi esercitano forze di uguale intensità, pari a  $6,0 \cdot 10^4$  N. Quanto vale il modulo della risultante? [ $6,0 \cdot 10^4$  N]

- 13 Una slitta è trainata da husky con una forza totale di 620 N. Ogni husky tira con una forza media di 90,0 N in direzione parallela alle forze esercitate dagli altri cani. Qual è il numero minimo di cani necessario?



[7]

### 2 La forza peso

• Teoria p. 123

- 18 Vero o falso?
- Un corpo ha sempre la stessa massa, anche se misurata su un altro pianeta del Sistema Solare.  V  F
  - Un corpo ha sempre lo stesso peso, anche se misurato su un altro pianeta del Sistema Solare.  V  F
  - Il peso di un corpo si misura in newton.  V  F
  - Il peso del corpo è inversamente proporzionale.  V  F

- 14 Rappresenta una forza  $\vec{F}$  di intensità 1,0 N e scomponila in due vettori componenti, inclinati rispetto a  $F$  da parti opposte, rispettivamente di  $30^\circ$  e  $60^\circ$ . Quali sono le intensità delle due forze componenti? [0,87 N; 0,50 N]

- 15 **IMMAGINI** Luca tira una slitta, con una forza di intensità 15 N, inclinata verso l'alto come mostrato nella foto sotto. Quanto valgono le componenti della forza che mette in moto la slitta?



[orizzontale 13 N; verticale 7,5 N]

- 16 Durante un esperimento di scienze Carlo progetta un semplice software per il lancio di un razzo. Nelle impostazioni deve inserire manualmente la componente verticale e quella orizzontale della forza necessaria al lancio. Sapendo che la risultante dovrà avere intensità di 3,50 N e avendo impostato la componente orizzontale pari a 3,00 N, quale sarà il valore della componente verticale? [1,80 N]

- 17 Durante un contrasto in una partita a calcio due avversari calciano il pallone contemporaneamente. Ciascuno dei due calciatori esercita sul pallone una forza di 20,0 N. Dopo aver eseguito una rappresentazione in scala calcola la forza risultante nei casi in cui l'angolo formato dalle due forze sia di  $90^\circ$ ,  $120^\circ$  e  $180^\circ$ . [28,3 N; 20,0 N; 0]

137

**INVERTI LA FORMULA** La proporzionalità diretta peso-massa

**21 DIRETTA** Qual è il peso di una borsa di massa 1,25 kg, se il rapporto  $g$  fra peso e massa vale 9,81 N/kg? [12,3 N]

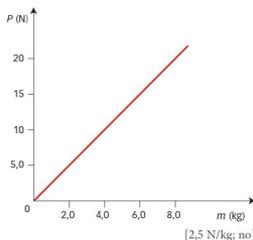
**22 INVERSA** All'Equatore, dove il rapporto  $g$  fra peso e massa vale 9,78 N/kg, un esemplare di tartaruga delle Galapagos pesa 1910 N. Ricava la massa di questa tartaruga gigante. [195 kg]

**23 INVERSA** Al Polo Nord un blocco di ghiaccio di massa 5,25 kg ha un peso di 51,6 N. Risali al valore di  $g$  al Polo Nord. [9,83 N/kg]

**24** Completa la seguente tabella relativa al rapporto peso/massa per vari corpi su pianeti diversi.

$P$ (N)	$m$ (kg)	$g$ (N/kg)
250		24,8
34,3	3,50	
	12,2	3,69

**25 IMMAGINI** Durante un esperimento, condotto su un satellite naturale, è stato tracciato il grafico seguente, che rappresenta il modulo  $P$  del peso di un corpo in funzione della massa  $m$  del corpo stesso. Quanto vale in questo caso  $g$ ? Potrebbe trattarsi della Luna ( $g = 1,62$  N/kg)?

**IMPARA LA STRATEGIA** Peso e massa

**26** Pietro ha acquistato in un negozio di alimentari 350 g di formaggio, 250 g di salame, 2,0 kg di pane e una dozzina di uova, ciascuno di massa 75 g. Quanto pesa il suo sacchetto della spesa?

Dati

Massa formaggio  $m_1 = 350$  g  
 Massa salame  $m_2 = 250$  g

Massa pane  $m_3 = 2,0$  kg  
 Numero uova  $n = 12$   
 Massa uovo  $m_4 = 75$  g

Incognite

Peso complessivo  $P = ?$ 

Situazione fisica

Ciascun alimento contenuto nel sacchetto ha un proprio peso, dato dal prodotto della massa per la costante  $g$ , pari a 9,81 N/kg sulla superficie terrestre. Poiché  $g$  è uguale per tutti gli alimenti, basta eseguire la somma delle masse degli alimenti e poi moltiplicare il risultato per  $g$ .

Risoluzione

Converti le masse da grammi in kilogrammi:  
 massa formaggio  $m_1 = 350$  g = 0,35 kg  
 massa salame  $m_2 = 250$  g = 0,25 kg  
 massa uovo  $m_4 = 75$  g = 0,075 kg

Calcola la massa totale  $M$  degli alimenti nel sacchetto, ricordando che ci sono 12 uova:

$$M = m_1 + m_2 + m_3 + n \cdot m_4 = 0,35 \text{ kg} + 0,25 \text{ kg} + 2,0 \text{ kg} + 12 (0,075 \text{ kg}) = 3,5 \text{ kg}$$

Per ottenere il peso in newton, devi moltiplicare la massa misurata in kilogrammi per la costante  $g$ .

Il peso totale del sacchetto è:

$$P = Mg = 3,5 \text{ kg} \left( 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \right) = 3,5 \text{ kg} \left( 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \right) = 34 \text{ N}$$

Rifletti sul risultato

Per ottenere il peso complessivo del sacchetto, avresti potuto anche calcolare i pesi dei singoli articoli e poi sommarli, ottenendo un risultato equivalente in virtù della proprietà distributiva della moltiplicazione rispetto all'addizione:

$$P = Mg = (m_1 + m_2)g = m_1g + m_2g = P_1 + P_2$$

APPLICA LA STRATEGIA

**27** Calcola la massa di un oggetto il cui peso sulla Luna è di 1340 N. In prossimità della superficie lunare la costante  $g$  vale 1,62 N/kg. [827 kg]

**28** In biblioteca il lungo ripiano di uno scaffale può sostenere un peso di 150 N. Quanti volumi di un'enciclopedia, ciascuno dei quali ha una massa di 690 g, è in grado di sostenere il ripiano? [22]

**29 INGLESE** Connect the weight force with the corresponding body in the list below.  
 a. A small apple 1.700 N  
 b. A carton of milk 2.1 N  
 c. A person 3.200 N  
 d. A suitcase 4.11 N

**30** Giorgio chiede al suo salumiere 2 ettiogrammi di prosciutto cotto, venduto a un prezzo di 20 euro al kilogrammo. Se il salumiere gliene affetta 2 N e gli chiede 4 euro, Giorgio può ritenersi soddisfatto? Giustifica con opportuni calcoli la tua risposta. [si]

**31** Hai appena acquistato al supermercato un barattolo di crema di nocciola. Il suo peso complessivo è 2,45 N. Sapendo che il barattolo di vetro ha una massa di 70 g, determina la massa di crema contenuta nel barattolo. [180 g]

**32** Il carrello della spesa ha una massa di 15,0 kg. Dopo aver fatto la spesa e riempito il carrello, il suo peso è 280 N. Determina il peso e la massa della spesa contenuta nel carrello. [133 N; 13,6 kg]

**33** Ricava il valore della costante  $g$  su un lontano pianeta sapendo che sulla sua superficie una pietra, che pesa 2,60 N sulla Terra, ha un peso di 1,10 N. [4,15 N/kg]

**3 La forza elastica**

• Teoria p. 126

**37** Vero o falso?

- a. La legge di Hooke stabilisce il valore della forza minima necessaria per provocare la deformazione permanente di un oggetto.  V  F
- b. La costante elastica di una molla è nulla se la molla si trova a riposo.  V  F
- c. La costante elastica di una molla si misura in N/m.  V  F
- d. La forza elastica sviluppata da una molla è una grandezza vettoriale.  V  F

**38 TROVA L'ERRORE** "Dire che una molla verticale ha una costante elastica di 50 N/m equivale a dire che quella molla subisce un allungamento di 1,0 cm se vi si appende un peso di 5,0 N."

**INVERTI LA FORMULA** Forza elastica di una molla

**39 DIRETTA** Una molla, fissata per un estremo e disposta verticalmente, ha una costante elastica di 180 N/m. Quando al suo estremo libero viene appesa una sfera, la molla si allunga di 0,120 m rispetto alla sua lunghezza a riposo. Determina l'intensità della forza elastica. [21,6 N]

**40 INVERSA** Quando una molla viene allungata di 0,0670 m rispetto alla sua lunghezza a riposo, sviluppa una forza elastica di 8,50 N. Quanto vale la costante elastica della molla? [127 N/m]

**34** Un'arancia ha una massa media di 150 g. Su Nettuno la costante di proporzionalità tra il peso e la massa è pari a 11,0 N/kg. Quante arance servirebbero su Nettuno per ottenere il peso di 1,01 kg di arance sulla Terra? [6]

**35** Una sfera di ottone di raggio 3,00 cm ha densità pari a 8,44 g/cm<sup>3</sup>. Calcola il suo peso sulla Terra. Quale sarebbe il suo peso su Giove, dove la costante di proporzionalità tra peso e massa vale 24,8 N/kg? [9,36 N; 23,7 N]

**36** Giovanni, Piero e Alessio hanno messo in uno zaino tre grosse pietre raccolte a diverse altitudini, la cui massa totale è 0,748 kg. Giovanni, che ha raccolto la pietra al mare ( $g = 9,806$  N/kg), ha misurato un peso di 2,18 N, mentre Piero, che ha raccolto la seconda pietra a un'altitudine di 4000 m ( $g = 9,794$  N/kg), ha misurato un peso di 3,44 N. Qual è la massa della pietra di Alessio? [0,175 kg]

**41 INVERSA** A una molla verticale, fissata per un estremo, viene appeso un cubetto di acciaio del peso di 100 N. La molla si allunga fino a raggiungere l'equilibrio. Se la costante elastica della molla è di 340 N/m, quanto vale il suo allungamento? [0,294 m]

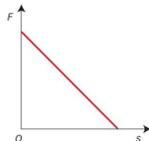
**42** Completa la seguente tabella relativa alla diretta proporzionalità esistente fra forza elastica e allungamento di una molla.

$F$ (N)	$k$ (N/m)	$s$ (m)
250	720	
682		0,451
	1500	1,10

**43 IMMAGINI** La forza applicata alla molla per compressarla vale 8,50 N. Quanto vale la costante elastica della molla?



- 44** **IMMAGINI** Marco ha trovato una vecchia bilancia pesapersona e il manuale con le caratteristiche tecniche. Nel manuale trova un grafico che dovrebbe illustrare l'andamento dell'intensità della forza elastica in funzione dell'allungamento della molla collocata sotto la pedana della bilancia. Il grafico ha l'andamento riportato qui di seguito: pensi che sia corretto o che vi sia qualche errore? Perché? Correggi il grafico se ritieni che sia sbagliato.



#### IMPARA LA STRATEGIA La legge di Hooke

- 45** Una sottile striscia di tessuto elasticizzato sotto l'azione di una forza di 12 N subisce un allungamento di 26 cm. Calcola la costante elastica della striscia di tessuto (assimilabile a una molla) e la forza necessaria per ottenere un allungamento di 33 cm.

#### Dati

Forza  $F_1 = 12$  N  
Allungamento  $s_1 = 26$  cm  
Allungamento  $s_2 = 33$  cm

#### Incognite

Costante elastica  $k = ?$   
Forza  $F_2 = ?$

#### Situazione fisica

Puoi modellizzare la striscia di tessuto come una molla di costante elastica  $k$ , che obbedisce alla legge di Hooke:  $\vec{F} = -k\vec{s}$ .  
Puoi calcolare la costante elastica ricorrendo alla formula inversa  $k = F/s$ .  
Una volta che hai determinato la costante elastica della molla, puoi calcolare l'allungamento subito applicando una forza esterna di intensità differente.

#### Risoluzione

Converti l'allungamento  $s_1$  da centimetri in metri:  
 $s_1 = 26$  cm = 0,26 m

Quindi inverti la legge di Hooke e trova:

$$k = \frac{F_1}{s_1} = \frac{12 \text{ N}}{0,26 \text{ m}} = 46 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Per ottenere la forza esterna  $F_2$  necessaria a produrre un allungamento di  $s_2 = 33$  cm = 0,33 m, applica direttamente la legge di Hooke:

$$F_2 = k s_2 = 46 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 0,33 \text{ m} = 46 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 0,33 \text{ m} = 15 \text{ N}$$

#### Rifletti sul risultato

**La costante elastica è una caratteristica intrinseca della molla:** se determini il suo valore a partire da una particolare coppia di valori di forza e allungamento, potrai utilizzare quel valore in ogni altra situazione fisica, per calcolare la forza quando è nota la variazione di lunghezza o viceversa.

#### APPLICA LA STRATEGIA

- 46** In un impianto industriale un ammortizzatore, schematizzabile come una molla di costante elastica  $7,2 \cdot 10^7$  N/m, sopporta una forza di 950 N. Calcola la compressione dell'ammortizzatore.  
[1,3 mm]

- 47** Vuoi costruire una rudimentale bilancia fissando in verticale al soffitto della tua camera una molla di costante elastica  $k = 530$  N/m.  
Qual è il peso di un oggetto che, una volta appeso all'estremità libera della molla, ti fa registrare un allungamento di 23,0 cm? E qual è la sua massa?  
[122 N; 12,4 kg]

- 48** Una molla sospesa verticalmente è lunga a riposo 30 cm e ha una costante elastica di 10 N/m. Se le viene appesa una massa, la molla raggiunge una lunghezza di 34,9 cm all'equilibrio. Determina il valore della massa appesa alla molla.  
[49 g]

- 49** La tabella mostra gli allungamenti di una molla prodotti da diverse forze a essa applicate.  
• Rappresenta graficamente il modulo della forza elastica in funzione dell'allungamento.  
• Che cosa prova che è stato superato il limite di elasticità della molla?  
• Quanto vale la costante elastica entro i limiti di elasticità?

Allungamento (cm)	0,0	3,0	6,0	9,0	14	20
Forza (N)	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0

[33 N/m]

- 50** La giuntura di una lampada da tavolo è bloccata da due molle parallele e identiche. All'equilibrio, le molle bilanciano una forza di 6,00 N con un allungamento di 1,20 cm ciascuna. Calcola la costante elastica delle due molle.  
[250 N/m]

- 51** Una sedia ha un'imbottitura a molle. Sotto una forza totale di 1000 N, le 20 molle di sostegno devono cedere di 4,00 cm ognuna.

- Calcola la costante elastica delle molle.

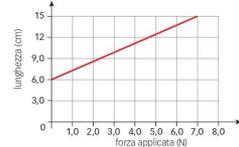
- Di quanto affonda un bambino di massa 40,0 kg quando ci si siede sopra?

[1250 N/m; 1,6 cm]

- 52** Due molle identiche, di massa trascurabile e costante elastica 49 N/m, vengono appese una sotto l'altra. Se si appende all'ultima molla una massa di 500 g, quale molla si allungherà di più? Determina gli allungamenti delle due molle.

[10 cm ciascuna molla]

- 53** **IMMAGINI** In figura è rappresentata la lunghezza di una molla in funzione della forza applicata. Determina la lunghezza a riposo e la costante elastica della molla.



[6,0 cm; 78 N/m]

## 4 Le forze vincolari e di attrito

• Teoria p. 129

- 4** Vero o falso?

- La reazione normale è una forza vincolare.  F
- La resistenza di un filo sottoposto a trazione è detta forza di reazione.  F
- L'attrito volvente è un particolare tipo di attrito statico.  V
- Nel SI i coefficienti di attrito si misurano in N/m.  V

- 55** Com'è, in modulo, direzione e verso, la forza vincolare che un piano inclinato esercita su un corpo di peso  $\vec{P}$  appoggiato su di esso?

- 56** Che cosa si intende per forza di tensione?

#### INVERTI LA FORMULA L'attrito dinamico

- 57** **DIRETTA** Calcola l'intensità della forza di attrito dinamico che si oppone al moto di un corpo, se il modulo della reazione normale della superficie sul corpo vale 750 N e il coefficiente di attrito dinamico è  $k_d = 0,80$ .  
[600 N]

- 58** **INVERSA** Quando un blocchetto di legno striscia su una superficie, anch'essa di legno, sul blocco agisce una forza di attrito di intensità 3,8 N. Se la reazione normale della superficie sul blocchetto ha intensità 19 N, quanto vale il coefficiente di attrito dinamico?  
[0,20]

- 59** **INVERSA** Determina l'intensità della reazione normale sviluppata da una superficie su un corpo che, muovendosi su di essa, subisce una forza d'attrito dinamico di 420 N. Assumi per il coefficiente di attrito dinamico il valore di 0,550. [764 N]

- 60** Completa la seguente tabella relativa al valore massimo assunto dall'intensità della forza d'attrito statico che agisce su un corpo, in funzione del coefficiente d'attrito e della reazione normale della superficie con cui il corpo è a contatto.

$F_{r, \text{max}}$ (N)	$k_s$	$N$ (N)
356	0,711	
	0,602	552
80,7		142

#### IMPARA LA STRATEGIA Le forze di attrito

- 61** Vuoi determinare i coefficienti di attrito statico  $k_s$  e dinamico  $k_d$  tra rame e acciaio, perciò poni un blocco di rame di massa 5,0 kg su un piano orizzontale di acciaio. Tirando orizzontalmente un dinamometro collegato al blocco, iniziando ferme, scopri che il blocco si mette in movimento quando la forza di trazione è di 26 N. Per mantenere il blocco in movimento noti invece che è sufficiente una forza di trazione di 18 N. Quali sono i valori di  $k_s$  e  $k_d$ ?

#### Dati

Massa blocco  $m = 5,0$  kg  
Forza di trazione da fermo  $F_0 = 26$  N  
Forza di trazione in moto  $F_1 = 18$  N

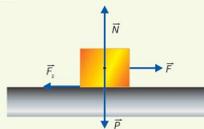
## Incognite

Coefficiente di attrito statico  $k_s = ?$   
 Coefficiente di attrito dinamico  $k_d = ?$

## Situazione fisica

Le forze che agiscono sul blocco di rame fermo sulla superficie orizzontale sono:

- la forza peso  $\vec{P}$  diretta perpendicolarmente alla superficie verso il basso;
- la reazione della superficie d'appoggio  $\vec{N}$  diretta perpendicolarmente verso l'alto;
- la forza di trazione  $\vec{F}$  diretta parallelamente alla superficie verso destra;
- la forza d'attrito statico  $\vec{F}_s$  diretta parallelamente verso sinistra.



Peso e reazione normale sono uguali e opposte, perciò le loro intensità sono uguali:  $P = N$ . Finché il blocco è fermo, anche la forza di trazione e la forza d'attrito statico sono opposte e uguali in modulo:  $F_s = F$ . Se l'intensità della forza di trazione supera il valore massimo possibile per l'intensità della forza d'attrito statico, pari a  $F_{s,max} = k_s N$ , il blocco si mette in movimento. Conoscendo quindi  $F_{s,max}$  e  $N$ , è possibile determinare il coefficiente di attrito statico.

Se il blocco è in moto, valgono le stesse considerazioni.

## Risoluzione

La forza di attrito statico per il blocco è, in modulo, minore o uguale a un valore massimo, dato dal prodotto del coefficiente di attrito statico per la reazione normale:

$$F_s \leq F_{s,max} = k_s N$$

Il coefficiente di attrito statico si ricava risolvendo rispetto a  $k_s$ :

$$k_s = \frac{F_{s,max}}{N}$$

La reazione normale  $N$  eguaglia in modulo il peso del blocco:

$$N = mg = (5,0 \text{ kg})(9,81 \text{ N/kg}) = 49 \text{ N}$$

Il valore massimo della forza di attrito statico è uguale al valore della forza di trazione necessaria a mettere in moto il blocco (indicata con  $F_s$  nel caso in cui il blocco sia inizialmente fermo):

$$F_{s,max} = F_s = 26 \text{ N}$$

Ora puoi calcolare il coefficiente di attrito statico.

$$k_s = \frac{F_{s,max}}{N} = \frac{26 \text{ N}}{49 \text{ N}} = 0,53$$

La forza di attrito dinamico è, in modulo, uguale al prodotto del coefficiente di attrito dinamico per la reazione normale:

$$F_d = k_d N$$

Il coefficiente di attrito dinamico si ricava risolvendo rispetto a  $k_d$ :

$$k_d = \frac{F_d}{N}$$

La forza di attrito dinamico è, in modulo, uguale alla forza di trazione che mantiene in moto il blocco, ovvero  $F_d$ :

$$F_d = F_s = 18 \text{ N}$$

Perciò:

$$k_d = \frac{F_d}{N} = \frac{18 \text{ N}}{49 \text{ N}} = 0,37$$

## Rifletti sul risultato

I coefficienti di attrito statico e dinamico sono numeri puri, ottenuti come rapporti tra forze.

**La forza di trazione necessaria a mantenere in moto il blocco ( $F_s$ ) è minore della forza necessaria a metterlo in moto ( $F_d$ ): risulta infatti  $k_d < k_s$ .**

## APPLICA LA STRATEGIA

**62** Quanto deve essere intensa, come minimo, la forza orizzontale necessaria per mettere in movimento un blocco del peso di 2500 N su un pavimento orizzontale, se il coefficiente di attrito statico fra lastra e pavimento vale 0,32? [800 N]

**63** Calcola la massa di una cassettera di legno massello, sapendo che per spolarla in orizzontale sopra un pavimento in parquet è necessaria una forza di trazione di 650 N e che il coefficiente di attrito dinamico legno su legno vale 0,20. [331 kg]

**64** Per ricalcare un bozzetto un disegnatore tiene premuto un foglio contro un vetro illuminato posizionato verticalmente, con una forza perpendicolare al vetro di 9,0 N. Quanto vale il modulo della reazione normale esercitata dal vetro sul foglio? [9,0 N]

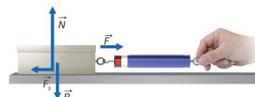
**65** Una pressa idraulica comprime verticalmente e verso il basso una lamina di 6,00 kg su una base piana, con una forza di 850 N. Determina modulo, direzione e verso della reazione normale esercitata dalla base sulla lamina. [909 N]

**66** Durante un temporale il soffitto della mansarda di Luca perde acqua da un foro in un'asse orizzontale di legno. In attesa che Giacomo accorra dal piano inferiore con una guaina isolante, per tappare provvisoriamente la perdita, Luca preme un pannello arrotolato di massa 0,30 kg con una forza di 15 N. Calcola l'intensità della reazione normale che l'asse di legno esercita sul pannello. [12 N]

**67** Alla stazione ferroviaria il tabellone degli orari è tenuto sospeso da un cavo di acciaio. Il tabellone ha una massa di 45,0 kg. Quanto vale la tensione del cavo? [441 N]

**68** Una scacchiera ha massa di 0,60 kg. Il coefficiente di attrito statico tra il legno e il tavolo in vetro su cui è poggiata vale 0,40. Qual è la forza orizzontale minima necessaria per iniziare a fare strisciare la scacchiera sulla superficie del tavolo? [2,4 N]

**69** **IMMAGINI** Questa scatola, di peso  $\vec{P}$ , appoggia su una superficie orizzontale ruvida, non si muove malgrado la si tiri con una forza di trazione  $\vec{F}$ , esercitata mediante il dinamometro a essa collegato. Se osservi attentamente i vettori indicati in figura, però, ti accorgi che non descrivono correttamente questa situazione: trova l'errore e correggi il disegno.



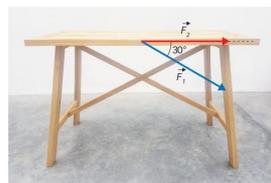
**70** **DIMENSIONI** La relazione  $F_s = k_s N$  dice che esiste una proporzionalità diretta tra forza di attrito dinamico e reazione normale. Quali dimensioni deve avere il coefficiente di attrito  $k_d$ ?

**71** Durante una gara, un centometrista imprime una forza sul terreno pari a 870 N. La massa dell'atleta è di 85,0 kg. Determina qual è il valore del coefficiente di attrito statico fra le scarpe da ginnastica e la pista che permette all'atleta di non slittare. Un ipotetico dimagrimento del centometrista, a parità delle restanti condizioni, dovrebbe essere compensato da un aumento o da una diminuzione del coefficiente di attrito statico?



[1,04]

**72** Un tavolo di massa 50,0 kg è appoggiato su un pavimento scabro, con coefficiente di attrito statico che vale 0,45, ed è sottoposto a una forza  $\vec{F}_2$  di 100 N inclinata di 30° verso il basso. Per muovere il tavolo gli si applica una seconda forza  $\vec{F}_1$  orizzontale in figura. Determina il valore  $\vec{F}_1$  che permette di spostare il tavolo.



[157 N]

**73** Un uomo riesce a spingere un armadio con una forza orizzontale massima di 750 N. Il coefficiente di attrito statico fra il pavimento e la base del mobile vale 0,400 e il coefficiente di attrito dinamico è pari a 0,300.

- Quanto può valere al più la massa dell'armadio affinché l'uomo riesca a metterlo in movimento?
- Usa questo stesso valore della massa per valutare la forza necessaria per continuare a mantenere in movimento l'armadio. [191 kg; 562 N]

**74** Il coefficiente di attrito statico fra l'asfalto asciutto e un determinato tipo di gomma per automobili è di 0,90.

- Calcola la forza massima che le gomme possono esercitare sull'asfalto prima di slittare, sapendo che la massa dell'auto vale 1400 kg.
- La forza frenante aumenta o diminuisce quando le ruote slittano sulla strada?



[1,2 · 10^4 N, diminuisce]

## PROBLEM SOLVING in 5 passi

Un gabbiano va a posarsi nel punto medio di un filo di massa trascurabile, che è teso tra due pali di legno distanti tra loro 20,0 m. Nel punto in cui il gabbiano si posa, a causa del peso del volatile, il filo si abbassa di 15,0 cm. Ricava la massa del gabbiano, sapendo che la tensione del filo ha intensità 90,0 N.

### 1 INDIVIDUA DATI E INCOGNITE

Elenca i dati espliciti e convertili, dove necessario, in unità del Sistema Internazionale.

- Distanza tra i pali:  $d = 20,0$  m
- Spostamento del filo:  $h = 15,0$  cm = 0,150 m
- Tensione del filo, in modulo:  $T = 90,0$  N

Trova e interpreta i dati impliciti

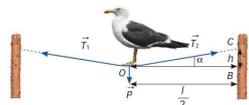
- Un gabbiano va a posarsi nel punto medio del filo posandosi, il gabbiano esercita una forza di contatto che è uguale al suo peso. Trattandosi del punto medio, si stabilisce una simmetria lungo le due metà del filo.
- Un filo di massa trascurabile: sul filo agiscono soltanto le forze di tensione e la forza peso del gabbiano; il peso del filo non si considera.
- il filo si abbassa: il filo sollecitato dal peso del gabbiano che ne provoca l'abbassamento, reagisce opponendosi alla deformazione con l'insorgenza di forze di tipo elastico.

### Incognite

Massa del gabbiano:  $m$

### 2 DESCRIVI E DISEGNA LA SITUAZIONE FISICA

Nel punto medio del filo, agiscono la forza di contatto con il gabbiano, diretta lungo  $y$  verso il basso e uguale al peso  $\vec{P}$  del gabbiano, e le forze di tensione del filo  $\vec{T}_1$  e  $\vec{T}_2$  dirette lungo le due metà del filo, in modo simmetrico.



Sul punto medio O agiscono la forza di contatto del gabbiano e le forze di tensione. Il segmento BC ha lunghezza  $h$ . Il segmento OB è uguale a  $l/2$ , in quanto corrisponde a metà della distanza tra i due pali.

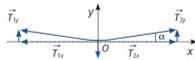
### 3 TROVA LA FORMULA RISOLUTIVA

Fissiamo un sistema di assi cartesiani  $Oxy$ . Per iniziare, osservando il triangolo rettangolo OBC i cui cateti sono lunghi rispettivamente  $l/2$  e  $h$ ,

ricaviamo l'angolo tra il filo sottoposto a deformazione e l'asse  $x$ :

$$\tan \alpha = \frac{h}{l/2} \quad \text{da cui} \quad \alpha = \tan^{-1}\left(\frac{2h}{l}\right)$$

Scomponiamo ora le forze di tensione lungo gli assi cartesiani:



Lungo l'asse  $x$  agiscono solo le componenti orizzontali  $T_{1x}$  e  $T_{2x}$  delle due forze di tensione che devono essere uguali e opposte:

$$T_{2x} - T_{1x} = T_2 \cos \alpha - T_1 \cos \alpha = 0$$

da cui si ottiene che  $T_1 = T_2$ . Alternativamente si osserva che la simmetria tra le due metà del filo implica che le due forze di tensione sono uguali in modulo:  $T_1 = T_2 = T$ . Lungo l'asse  $y$  agiscono le componenti verticali  $T_{1y}$  e  $T_{2y}$  che sono uguali e concordi e il peso  $P = mg$  del gabbiano:

$$T_{1y} + T_{2y} - P = T_2 \sin \alpha + T_1 \sin \alpha - mg = 0$$

Per ricavare la massa del gabbiano è sufficiente considerare le componenti verticali, e risolvere la precedente equazione rispetto alla massa, avendo uguagliato tra loro i moduli delle due tensioni:

$$2T \sin \alpha = mg \quad \text{da cui} \quad m = \frac{2T \sin \alpha}{g}$$

### 4 CALCOLA IL RISULTATO

Ricaviamo il valore dell'angolo  $\alpha$ :

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{2h}{l}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{2 \cdot 0,150 \text{ m}}{20,0 \text{ m}}\right) = 0,859^\circ$$

Il valore della massa  $m$  è quindi:

$$m = \frac{2T \sin \alpha}{g} = \frac{2(90,0 \text{ N}) \sin(0,859^\circ)}{9,81 \text{ N/kg}} = 0,275 \text{ kg}$$

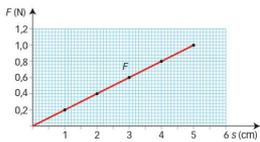
### 5 COMMENTA IL METODO E IL RISULTATO

La massa del gabbiano è direttamente proporzionale alla tensione che agisce sulle due metà del filo. La simmetria tra le due metà del filo permette di stabilire subito che le due tensioni agenti sulle rispettive metà del filo hanno uguale modulo, anche se direzione differente.

## PROBLEMI DI RIEPILOGO



Leggi la risoluzione per passi degli esercizi commentati

- Le due forze, scritte per componenti  $\vec{F}_1 = (3,00 \text{ N}; 5,00 \text{ N})$  e  $\vec{F}_2 = (5,00 \text{ N}; -2,00 \text{ N})$  sono applicate nell'origine del sistema di riferimento cartesiano. Rappresenta le forze sul piano cartesiano. Calcola il modulo di ciascuna forza. [5,83 N; 5,39 N]
- Affinché un pacco appoggiato su una mensola cominci a muoversi è necessario tirarlo con una forza orizzontale di 3,0 N. Il pacco ha un peso di 10 N. Calcola il coefficiente di attrito statico tra il pacco e la mensola. [0,30]
- INGLESE A 150 kg block is resting, at sea level, on a rough horizontal surface, whose static friction coefficient is 0.350. What is the minimum force required to start motion? [515 N]
- GRANDEZZE La forza sviluppata dal morso di un uomo è molto piccola se confrontata con quella di altri animali, per esempio è solo 1/6 di quella del morso di una iena. Ma anche la forza del morso di una iena è poca cosa se paragonata a quella di uno squalo bianco, tre volte più intensa. Sapresti stimare le forze del morso della iena e del morso umano, sapendo che quello di uno squalo ha un'intensità di circa 15 000 N?
 
- COMMENTATO Durante un processo industriale una lamina di ferro è sottoposta all'azione contemporanea di due forze che formano un angolo di  $90^\circ$ . Se la risultante ha intensità 25 N e una delle due forze componenti ha intensità di 7,0 N, quanto vale l'intensità dell'altra forza? [24 N]
- In laboratorio hai appeso una molla verticalmente e hai misurato la sua lunghezza: 15 cm. Hai appeso alla molla una massa di 100 g e hai misurato la sua nuova lunghezza: 17 cm. Determina la costante elastica della molla in N/m. [49 N/m]
- Uno chef preme un mattarello di 1,50 kg contro un piano da cucina con una forza di 30,0 N inclinata di  $45^\circ$  rispetto al piano. Determina la reazione normale del piano sul mattarello. [35,9 N]
- Sulla superficie di Venere la costante di proporzionalità tra peso e massa vale 8,87 N/kg. Quanto peserebbe su Venere una persona che sulla Terra è soggetta a una forza peso di 687 N? [621 N]
- COMMENTATO Immagina che un marziano, appena giunto sulla Terra, voglia controllare il suo peso. Su Marte pesava 290 N ( $g_{Marte} = 3,69 \text{ N/kg}$ ).
  - Quanto pesa sul nostro pianeta?
  - Qual è la massa del marziano sulla Terra?
  - Qual è la massa del marziano su Marte? [771 N; 78,6 kg]
- IMMAGINI Nel grafico sottostante è rappresentata l'intensità  $F$  della forza elastica sviluppata da una molla in funzione dell'allungamento  $s$  rispetto alla sua lunghezza originaria. Se la molla viene allungata di 2,4 cm, quanto è intensa la forza elastica con cui questa risponde alla deformazione? Se  $F = 0,76$  N, quanto vale  $s$ ? Calcola ed esprimi la costante elastica della molla in N/cm e in N/m.
 

[0,48 N; 3,8 cm; 0,20 N/cm; 20 N/m]
- Una ragazza sulla superficie terrestre reggere in mano una valigia di 15,0 kg. Calcola l'intensità della forza che deve esercitare per poterlo fare. Immagina adesso che la stessa persona possa testare la sua forza sulla superficie della Luna, dove la costante di proporzionalità fra peso e massa vale solo 1,60 N/kg. Quale massa riuscire a reggere impiegando la stessa forza? [147 N; 91,9 kg]

### Suggerimento

Per reggere la valigia bisogna esercitare una forza verticale, diretta verso l'alto, di intensità pari alla forza peso.

**12** Una slitta di 200 kg con pattini di acciaio viaggia sul ghiaccio del Mar Glaciale Artico trainata da cani. Calcola il valore della forza di attrito dinamico ( $k_d = 0,014$ ). Se per risparmiare energie ogni cane sviluppa una forza di 15 N, quanti cani serviranno per trainare la slitta? [27 N; 2 cani]

**13** **IMMAGINI** Durante una coreografia un pattinatore sorregge la sua compagna con una forza  $\vec{F}$  di intensità 176 N e inclinata di  $33,0^\circ$  rispetto alla pista. Ricava i valori delle componenti verticale e orizzontale della forza. Se il valore delle due componenti fosse scambiato, quale sarebbe la forza risultante  $\vec{P}$ ? Traccia il nuovo vettore in figura e indicane il modulo.

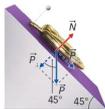


[95,9 N; 148 N; 176 N]

**14** Una slitta di massa 20,0 kg è ferma sulla neve. Il coefficiente d'attrito statico tra la slitta e la neve vale 0,100.

Determina la forza necessaria per far muovere la slitta nel caso in cui si vuole tirare la slitta con una forza inclinata di  $60,0^\circ$  verso l'alto. [33,4 N]

**15** Nella vetrina di una gioielleria, un ciondolo d'oro del peso di 0,78 N poggia su una superficie inclinata di  $45^\circ$  rispetto all'orizzontale, tenuto fermo da uno spillo. Qual è l'intensità della reazione normale sviluppata dalla superficie?



[0,55 N]

**16** **COMMENTATO** Le vecchie bilance a molla misuravano il peso delle persone utilizzando la legge di Hooke. Matteo si pesa su una bilancia di questo tipo due volte nel giro di quindici giorni. La prima volta la sua massa è pari a 65,5 kg mentre la seconda è 62,9 kg. Se fra le due pesate la lancetta segna un'escursione di 6,00 cm, quanto vale la costante di elasticità della molla? [98,1 N/m]

**17** **IMMAGINI** Un'automobile, avente una massa di 1800 kg, è parcheggiata al margine di una strada dalla pendenza vertiginosa: inclinata di  $30^\circ$  rispetto all'orizzontale. Disegna nella figura sottostante i componenti del peso (la forza  $\vec{P}$ ) dell'automobile nella direzione parallela e nella direzione perpendicolare alla strada e calcola il modulo di entrambi i componenti.



[8,8 · 10^3 N; 1,5 · 10^4 N]

**18** **COMMENTATO** Una molla ha costante elastica  $k = 98$  N/m. Descrivi la forza sviluppata dalla molla su una mano che la comprime di 10 cm, specificando intensità, direzione e verso.

- Che cosa cambia se la mano, anziché comprimere, allunga la molla sempre di 10 cm?
- E se la allunga di 20 cm?

[9,8 N, diretta in verso opposto allo spostamento della molla; 20 N, in verso opposto allo spostamento della molla]

**19** Per misurare quanto vale  $g$  sulla Luna puoi fare un semplice esperimento con una molla e una massa. L'unica difficoltà è che devi trovarti sulla Luna! Aggancia a una molla verticale di costante elastica 500 N/m una massa campione, di cui conosci il peso sulla Terra pari a 98,1 N. Poi misura di quanto si è allungata la molla rispetto alla posizione a riposo. Se misuri un allungamento di 3,24 cm, che valore attribuisce a  $g$  sulla Luna? [1,62 N/kg]

**20** **COMMENTATO** Valentina fa strisciare una cassa che pesa 192 N, spingendola con una forza di 98,1 N inclinata di  $30^\circ$  rispetto al pavimento. Se il coefficiente di attrito dinamico fra il pavimento e la cassa è 0,313, quanto è intensa la forza di attrito che agisce sulla cassa?

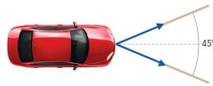


[75,4 N]

**21** **COMMENTATO** Per spostare una cassa di bottiglie su un pavimento orizzontale, il commesso di un supermercato la spinge con una forza di intensità 250 N inclinata di  $45^\circ$  rispetto al pavimento. Sapendo che la cassa ha un peso di 80 N e che il coefficiente di attrito dinamico fra questa e il pavimento è 0,55, calcola l'intensità della forza d'attrito che agisce sulla cassa. [140 N]

**22** Per trainare un'auto in panne vengono utilizzati due cavi posizionati a un angolo di  $45^\circ$  l'uno rispetto all'altro, come mostrato nella figura sottostante. Ciascun cavo esercita una forza di intensità uguale a  $3,5 \cdot 10^3$  N.

Se si avesse a disposizione solamente un cavo, con quale forza bisognerebbe trainare l'automobile per avere gli stessi effetti ottenuti applicando le due forze contemporaneamente? Come dovrebbe essere orientato il cavo rispetto alla linea orizzontale tratteggiata in figura?



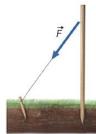
[6,5 · 10^3 N]

**Suggerimento**

Per trovare il modulo, la direzione e il verso del vettore risultante puoi usare la regola del parallelogramma oppure puoi prima scomporre ciascuna delle due forze in due vettori componenti, uno diretto lungo la linea tratteggiata e l'altro perpendicolare a essa, e poi procedere con la somma algebrica delle componenti scalari (facendo attenzione ai segni!).

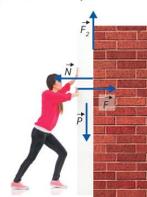
**23** Un lungo palo di legno è mantenuto in posizione verticale da un cavo avente un'estremità fissata a terra, a 7,00 m dalla base del palo, e l'altra estremità inserita in un gancio conficcato nel palo, a una quota di 10,0 m da terra.

- Quanto è lungo il cavo?
- Se la forza  $\vec{F}$  esercitata dal cavo sul palo ha modulo 500 N, quali sono i moduli dei suoi componenti orizzontale e verticale?



[12,2 m; 287 N; 410 N]

**24** Con le mani spingi orizzontalmente un pannello di massa 5,25 kg contro un muro. Calcola la forza minima che devi esercitare perché il pannello non cada, sapendo che il coefficiente di attrito statico tra legno e mattoni è 0,600.



[80 N]

**25** Una molla, disposta verticalmente, ha una lunghezza totale di 25 cm quando sostiene un peso di 15 N. Quando si aumenta l'intensità della forza applicata fino a 35 N, la sua lunghezza totale diventa 30 cm. Rappresenta questi quattro dati in una tabella ordinata.

- Calcola l'allungamento corrispondente alla forza che è stata aggiunta e calcola la costante elastica della molla.
- Disegna un grafico della forza applicata (in ordinata) in funzione della lunghezza totale della molla.
- A quale lunghezza corrisponde una forza nulla? Come si può interpretare questa lunghezza?

[5,0 cm; 400 N/m; 21 cm; la lunghezza a riposo della molla]

**26** Alessio trattiene fra le mani un album fotografico, del peso di 25 N, esercitando due forze di uguale intensità orientate come indicato in figura. Il coefficiente di attrito statico fra mani e album è 0,45. Determina qual è la minima intensità della forza orizzontale che Alessio deve esercitare con ciascuna mano per far sì che l'album non scivoli in basso.



[28 N]

## VERSÒ L'ESAME DI STATO

## QUESITI

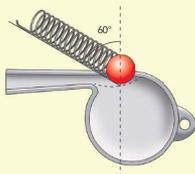
1 Il carretto di Pino è rimasto bloccato dopo che una delle sue due ruote è finita in una buca. Salvo e Michele, sono accorsi per aiutarlo. Salvo tira con un angolo di  $30^\circ$  verso sinistra rispetto all'asse del carretto, con una forza di 800 N; Michele tira verso destra, con un angolo di  $60^\circ$ , con una forza di 1000 N. Rappresenta la situazione con un diagramma vettoriale e calcola la risultante delle forze. Pino si unisce a Salvo e Michele e tira il carretto con una forza di 720 N nella direzione della risultante calcolata. Riusciamo i tre a liberare il mezzo, supponendo che serva una forza di almeno 2100 N per smuovere la ruota incastrata?

2 Uno stemma è sorretto da due sospensioni a molla disposte ad angolo retto, come in figura (la massa delle molle è trascurabile). Le due molle sono identiche, con costante elastica 880 N/m.



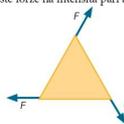
Sapendo che lo stemma ha una massa di 13,6 kg, determina l'allungamento delle due molle quando il sistema è in equilibrio. Se una delle molle si rompe e lo stemma resta fissato a una sola delle due, qual è la variazione percentuale dell'allungamento della molla che sostiene lo stemma?

3 Per produrre fischietti da arbitro, una macchina punzonatrice introduce con forza una sferetta di gomma nel corpo metallico del fischietto, per produrre il caratteristico suono. La sferetta, di massa 3,0 g, è avvicinata alla camera del fischietto attraverso un condotto che forma un angolo di  $60^\circ$  con l'orizzontale; un meccanismo a molla scatta lungo il canale e forza la sfera nella camera del fischietto. Il coefficiente d'attrito tra sferetta e metallo è pari a 1,0, ma la deformazione dei materiali durante l'ingresso della sferetta nella camera aumenta di mille volte l'effetto del naturale attrito statico del sistema. Determina di quanto deve essere compressa la molla del punzone (di costante elastica  $1,9 \cdot 10^3$  N/m) affinché la sferetta entri nella camera del fischietto.



4 Tre forze di uguale intensità  $F$  sono applicate ai vertici di una lamina a forma di triangolo equilatero e dirette come i lati, nel verso indicato in figura. Il risultante di queste forze ha intensità pari a:

- zero  
  $F$   
  $F\sqrt{3}/2$   
  $2F$   
  $3F$



5 Un abitante di Roma sale al mattino sulla bilancia nella sua abitazione e nota che la sua massa è 72 kg. Se venisse istantaneamente trasportato sulla cima del Monte Bianco, come varierebbe il suo peso?

- Diminuirebbe  
 Aumenterebbe  
 Rimarrebbe invariato  
 Dipende dalla differenza di temperatura tra Roma e il Monte Bianco  
 Dipende dalla differenza di pressione atmosferica tra Roma e il Monte Bianco

6 Un cocomero di massa 1,5 kg pesa:

- 15 N  0,067 N  0,15 N  
 1,5 N  6,5 N

7 Lo zaino di Marco pesa 38 N, quello di David ha massa 4,9 kg, quello di Luisa ha massa uguale a metà della massa dello zaino di Marco. Chi dei tre ha lo zaino più pesante?

- Marco  
 David  
 Luisa  
 Marco e David, i cui zaini hanno lo stesso peso  
 Per poter rispondere bisognerebbe conoscere le masse di tutti e tre gli zaini

8 Carlo pesa il doppio di sua sorella Lucia. Possiamo concludere che Carlo ha massa doppia di Lucia?

- Sì, perché massa e peso sono equivalenti  
 Sì, perché massa e peso sono direttamente proporzionali  
 Sì, perché il peso è una proprietà intrinseca di ogni corpo  
 No, perché massa e peso sono due grandezze completamente indipendenti l'una dall'altra

9 I moduli delle forze elastiche di due molle, ugualmente allungate, hanno rapporto  $3/4$ . Quanto vale il rapporto delle corrispondenti costanti elastiche?

- $3/4$    $4/3$    $9/16$    $16/9$    $1/4$

10 La forza elastica di una molla deformata di 30 cm è 6 N. Quanto vale la costante elastica della molla?

- 0,2 N/m  20 N · m  
 20 N/m  0,2 N · m  
 Non è calcolabile con i dati forniti

11 Le forze elastiche di due molle, allungate rispettivamente di  $s_1$  e  $s_2$ , hanno lo stesso modulo. Se  $s_1/s_2 = 2/3$ , quanto vale il rapporto  $k_1/k_2$  delle costanti elastiche?

- $2/3$    $4/9$    $9/4$    $3/2$    $1/3$

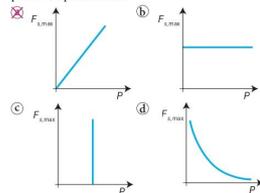
12 Un oggetto di plastica a forma di parallelepipedo rettangolo, largo  $l$ , profondo  $l/2$  e alto  $l$ , striscia su un piano. Se  $F_d$  è l'intensità della forza di attrito dinamico quando la superficie di contatto fra blocco e piano è una delle facce rettangolari del parallelepipedo, che valore ha tale intensità se la superficie di contatto è una delle due facce quadrate?

- $F_d$    $2F_d$    $4F_d$    $F_d/2$    $F_d/4$

13 Sul tavolo è appoggiato un piatto del peso di 2,9 N. Qual è l'intensità della reazione normale sviluppata dalla superficie del tavolo, se si pone nel piatto una bistecca di massa 510 g?

- 8,0 N  5,1 N  2,2 N  7,9 N  0

14 Un oggetto è appoggiato su un piano orizzontale. Quale dei seguenti grafici può rappresentare l'intensità massima  $F_{r,max}$  della forza d'attrito statico, esercitata dal piano sull'oggetto, in funzione del peso  $P$  di quest'ultimo?



- Nessuno dei precedenti

15 Quanto pesa un disco da hockey che, scivolando sulla superficie orizzontale di una pista di ghiaccio, è soggetto a una forza di attrito dinamico di 0,32 N? Assumi che il coefficiente di attrito dinamico fra disco e ghiaccio valga 0,11.

- 2,9 N  0,32 N  
  $3,5 \cdot 10^{-2}$  N  0,21 N  
 Non si può dire perché non è noto il coefficiente di attrito statico fra disco e ghiaccio

## VERSÒ L'UNIVERSITÀ

Puoi simulare la parte di fisica di un test di ammissione svolgendo questa batteria di esercizi in 25 minuti. Per calcolare il tuo punteggio dai 1 punto alle risposte esatte, 0 punti a quelle non date e -0,25 punti a quelle errate. La griglia delle soluzioni è alla fine del libro.

1 Su un pezzo di legno che galleggia sulle acque di un fiume agiscono la forza della corrente, di modulo 10 N, e la forza del vento, di modulo 8 N. Se la risultante delle due forze ha modulo 2 N:

- l'angolo fra le due forze ha un'ampiezza di  $60^\circ$   
 le due forze sono perpendicolari fra loro  
 l'angolo fra le due forze ha un'ampiezza di  $45^\circ$   
 le due forze hanno la stessa direzione e verso opposto  
 sicuramente le due forze non sono parallele

2 Andrew pulls on his dog with a force of 100 N directed at an angle of  $30^\circ$  to the horizontal. The horizontal and vertical components of this force are:

- 50,0 N and 86,6 N  86,6 N and 57,7 N  
 86,6 N and 50,0 N  57,7 N and 50,0 N  
 57,7 N and 86,6 N

3 Due forze, entrambe di intensità pari a 1 N, sono applicate nello stesso punto. Se la risultante ha intensità 1 N, quanto vale l'angolo fra le due forze?

- $30^\circ$    $45^\circ$    $60^\circ$    $90^\circ$    $120^\circ$