

# Grandezze e misura

## ► Problemi da svolgere

### ► da 1.3 a 1.6

- 1 Eseguire le seguenti conversioni di unità di misura: (a) 60 km all'ora (km/h) in m/s, (b) 1 anno in s, (c) 40 km/h in m/min, (d) 150° in rad.
- 2 Eseguire le seguenti conversioni di unità di misura: (a) 80 km/h in m/s, (b) 220 giorni in s, (c) 10 m/s in km/h, (d) 1 giorno in s, (e) 1 rad in gradi sessagesimali.
- 3 Utilizzando la notazione scientifica, esprimere le seguenti lunghezze in metri: (a) 62.8 km, (b) 0.00226 mm, (c) 33.3 nanometri (nm), (d) 135.8 micrometri ( $\mu\text{m}$ ), (e)  $3.0002 \times 10^3$  cm.
- 4 Utilizzando la notazione scientifica, esprimere le seguenti masse in grammi: (a) 745 kg, (b) 0.0669  $\mu\text{g}$ , (c) 32.55 ng, (d) 231 picogrammi (pg), (e) 74800 mg, (f) 0.41 gigagrammi (Gg).
- 5 Eseguire il seguente calcolo e scrivere il risultato in notazione scientifica:  $(732 \times 10^{-3}) \times (9.82 \times 10^5) : (0.545 \times 10^7)$ .
- 6 Eseguire il seguente calcolo e scrivere il risultato in notazione scientifica:  $(7.88 \times 10^5) \times (20.01) : (341 \times 10^{-20})$ .
- 7 Indicare il numero delle cifre significative di ciascuna delle seguenti misure di grandezza: (a) 3.649 cm, (b) 20.030 m, (c) 0.000927 g, (d) 15 kg, (e) 3400 s.
- 8 Indicare il numero delle cifre significative di ciascuna delle seguenti misure di grandezza: (a) 14.67 mm, (b)  $3.000 \times 10^4$  km, (c) 0.001 ore (h), (d) 1100 s, (e)  $3.77 \times 10^{-6}$  kg.
- 9 Eseguire il calcolo  $(3.44 \times 10^8) : (0.05899)$ . Esprimere il risultato in notazione scientifica con il corretto numero di cifre significative.
- 10 Eseguire il calcolo  $(0.44 \times 10^{-11}) \times (34.9 \times 10^3) : (0.009)$ . Esprimere il risultato in notazione scientifica con il corretto numero di cifre significative.
- 11 Eseguire il calcolo  $120 \text{ m} + 39.6 \text{ m} + 13.55 \text{ m} - 21 \text{ m}$ . Esprimere il risultato in notazione scientifica con il corretto numero di cifre significative.
- 12 Eseguire il calcolo  $13.37 \times 10^3 \text{ m} - 0.0933 \text{ m} + 64 \text{ m}$ . Esprimere il risultato con il corretto numero di cifre significative.
- 13\* Calcolare le seguenti espressioni:  
 (a)  $(9.1 \times 10^{-31}) \times (14.7 \times 10^6) : (331 \times 10^{-8})$ ,  
 (b)  $(13.6 \times 10^{-19})^{1/2}$ ,  
 (c)  $(3 \times 10^8)^2 : (1.6 \times 10^{-13})$ ,  
 (d)  $(87.66 \times 10^{-5})^{1/2}$ .
- 14\* Calcolare le seguenti espressioni:  
 (a)  $(0.088 \times 10^{-7})^{3/2}$ ,  
 (b)  $(20.3 \times 10^6) \times (3.15 \times 10^{-17})^3 : (0.844 \times 10^{12})$ ,  
 (c)  $(27 \times 10^3)^{1/3}$ ,  
 (d)  $(81 \times 10^3)^{2/3}$ .
- 15<sup>o</sup> Per andare da casa sua a un certo negozio, Giorgio deve percorrere sei isolati verso est e tre verso sud. Qual è (in modulo, direzione e verso) il suo spostamento risultante durante questo tragitto?
- 16<sup>o</sup> Determinare lo spostamento risultante di un'automobile che percorre 13.5 km verso nord e poi 30 km verso est.

### ► da 1.7 a 1.10

- 17<sup>o</sup> La mappa di un tesoro dice: "Parti dal grande albero e fai 125 passi in linea retta verso sud, poi 40 passi verso nord-ovest, quindi 60 passi verso ovest e infine 30 passi in direzione 30° a sud dalla direzione est: lì c'è il tesoro". A che distanza dall'albero e in che direzione si trova il tesoro?
- 18<sup>o</sup> La cittadina di Campagnola si trova a una distanza di 220 km da Zucconia, in direzione 40° a nord dalla direzione ovest. Da Campagnola, una strada si spinge per 30 km verso nord e poi termina. Una volta arrivati alla fine di questa strada, quanti chilometri si dovrebbero percorrere e in che direzione per arrivare a Zucconia?
- 19<sup>o</sup> Per andare da Milano a Roma, un aereo deve percorrere 480 km in direzione 56° a sud dalla direzione est. Per andare da Venezia a Roma, l'aereo deve volare per 400 km verso sud. Quanti chilometri deve percorrere, e in che direzione, per andare da Milano a Venezia?
- 20 Uno spostamento di 35 m nel piano  $xy$  forma un angolo di 57° con il semiasse  $x$  positivo. Determinare le sue componenti  $x$  e  $y$ . Ripetere l'esercizio nell'ipotesi che l'angolo sia di 122° oppure di 240°.
- 21 In un sistema di coordinate  $xy$ , il punto  $P$  si trova a 85 cm dall'origine e la sua coordinata  $y$  è -33 cm. Determinare la coordinata  $x$  di  $P$  e la direzione in cui si trova  $P$  rispetto all'origine. Vi sono due soluzioni possibili, e occorre determinarle entrambe.
- 22 Partendo dall'origine, un oggetto viene spostato nel piano  $xy$  come segue: 70 cm nella direzione  $\theta = 15^\circ$ , poi 25 cm nella direzione  $\theta = 220^\circ$ . Determinare lo spazio percorso dall'oggetto e il suo spostamento totale.
- 23 Supponiamo di camminare dal punto  $A$  per 610 m in direzione 20° a nord dalla direzione ovest, e poi per 260 m in direzione 45° a nord dalla direzione est, arrivando nel punto  $B$ . Qual è lo spostamento da  $A$  a  $B$ ? E lo spostamento da  $B$  ad  $A$ ?
- 24\* Dal punto  $A$  percorri in bicicletta una distanza di 4.55 km in direzione est; quindi segui un sentiero circolare con centro nel punto  $A$  fino a trovarti esattamente a sud di  $A$ ; svolti verso nord e pedali per 1.80 km, arrivando nel punto  $B$ . Qual è il tuo spostamento da  $A$ ? Quale distanza hai percorso?
- 25 Risolvere il problema 17 con il metodo trigonometrico.
- 26 Risolvere il problema 18 con il metodo trigonometrico.
- 27 Risolvere il problema 19 con il metodo trigonometrico.
- 28\*\* Il soffitto di una stanza è a 2.35 m di altezza e il pavimento misura 4.75 m per 5.50 m. Determinare la lunghezza della diagonale che congiunge un angolo del soffitto con l'angolo opposto del pavimento. Che angolo forma questa diagonale con il pavimento?
- 29\* Il vettore  $A$  ha un modulo di 40 m e forma un angolo  $\theta = 225^\circ$  con il semiasse  $x$  positivo. Se si vuole sommare ad  $A$  un vettore  $B$  in modo che il risultante abbia la direzione del semiasse  $x$  positivo e un modulo di 20 m, quali devono essere i componenti di  $B$ ?
- 30 Due spostamenti  $A$  e  $B$  giacciono nel piano  $xy$ .  $A$  ha modulo pari a 49 cm e forma un angolo  $\theta = 42^\circ$  con il semiasse  $x$  positivo, mentre  $B$  ha modulo pari a 32 cm e forma un angolo  $\theta = 115^\circ$  con il semiasse  $x$  positivo. Determinare gli spostamenti  $A + B$  e  $B - A$ .
- 31\*\* Quando lo spostamento  $B$  viene sommato allo spostamento  $A$ , il risultante è uno spostamento  $C$  che possiede componenti  $C_x = -3.70$  cm,  $C_y = +2.25$  cm e  $C_z = +4.60$  cm. Gli spostamenti  $A$  e  $B$  hanno la stessa direzione e lo stesso verso, ma il modulo di  $A$  è un terzo di quello di  $B$ . Trovare le componenti di  $A$ .

Una è l'equazione (2.6a):

$$a = \frac{v_f - v_i}{t}$$

Siccome la (2.5a) che fornisce  $s$  contiene la velocità media, si deve prima determinare tale grandezza. La velocità media è data dalla (2.7):

$$v = \frac{1}{2} (v_i + v_f)$$

**Soluzione e discussione**

Il modulo dell'accelerazione è:

$$a = \frac{5.0 \text{ m/s} - 0 \text{ m/s}}{10 \text{ s}} = 0.50 \text{ m/s}^2$$

Il modulo della velocità media è:

$$\bar{v} = \frac{1}{2} (0 \text{ m/s} + 5.0 \text{ m/s}) = 2.5 \text{ m/s}$$

Quindi lo spazio percorso dall'automobile in 10 s è:

$$x = (2.5 \text{ m/s}) (10 \text{ s}) = 25 \text{ m}$$

**Problema svolto 2**

Un'automobile che viaggia alla velocità di 5.00 m/s viene fatta arrestare nello spazio di 20.0 m. Determinare la sua accelerazione e il tempo che impiega a fermarsi, ammettendo che il moto avvenga lungo l'asse  $x$  e che l'accelerazione sia costante.

**Ragioniamo insieme**

- Q Quali sono le informazioni date? Come va interpretato l'enunciato del problema?
- R "Viaggia alla velocità di 5.00 m/s" significa che  $v_i = 5.00 \text{ m/s}$ . "Viene fatta arrestare" significa che  $v_f = 0$ . "Nello spazio di 20.0 m" significa che la variazione di velocità (ad accelerazione costante) si verifica in un tratto di 20.0 m.
- Q Che cosa si deve trovare?
- R L'accelerazione  $a$  e il tempo  $t$  che l'automobile impiega a fermarsi.
- Q Come si può trovare  $t$ ? Non abbiamo una formula che lo fornisca.
- R Non c'è una formula per tutto. Abbiamo delle relazioni tra le varie grandezze usate per descrivere il moto. Alcune di queste relazioni contengono  $t$ .
- Q Se si usa l'equazione (2.6a) per calcolare  $a$ , occorre conoscere il valore di  $t$ . Quale altra equazione lo contiene?
- R La (2.5a),  $s = vt$ , che può essere riscritta nella forma  $t = \frac{x}{v}$ .
- Q Come si può ricavare  $v$  dai dati?
- R Tramite la relazione (2.7):

$$v = \frac{1}{2} (v_i + v_f)$$

$$v^2 = v_i^2 + 2as$$

$$s = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \Delta t = \frac{\Delta x}{v} \quad \text{ecc.}$$

$$a = \frac{-v_i^2}{2s}$$

**Problemi di riepilogo**

**32\*\*** Un insetto si arrampica sulla parete nord di una casa percorrendo in linea retta un tratto di 2.1 m a un angolo di 65° rispetto al pavimento. Ciò lo porta all'intersezione della parete nord con quella rivolta a est. L'insetto prosegue poi sulla parete est percorrendo 1.3 m in una direzione 25° sotto l'orizzontale. A questo punto, qual è lo spostamento dell'insetto dal luogo di partenza? Che angolo forma il suo spostamento con il pavimento? E con la parete nord?

**33\*\*** Il pozzo di una miniera scende verticalmente per 110 m. Dal suo punto più basso si diparte una galleria orizzontale che percorre 35 m verso est, 70 m verso sud e poi termina. Qual è lo spostamento dalla bocca del pozzo alla fine della galleria? Che angolo forma tale spostamento con una retta verticale?

**34\*\*** Una barca si sposta in linea retta di 4.3 km. Al termine dello spostamento, si trova 1.6 km a ovest del punto di partenza. Determinare la direzione e il verso dello spostamento della barca e quanto a nord o a sud del punto di partenza essa si viene a trovare. Vi sono due possibili risposte: determinarle entrambe.

**35\*\*** La città di Torino si trova circa 520 km a nord-ovest di Roma. Un aeroplano vola da Torino lungo la rotta 10° a ovest dalla direzione sud, mentre un secondo aeroplano vola da Roma in direzione sud-ovest. Qual è, rispetto a Roma, lo spostamento del punto in cui le due rotte si incrociano? E rispetto a Torino?

# La cinematica

## ► Problemi svolti

### Problema svolto 1

Supponiamo che un'automobile parta da ferma e, muovendosi lungo l'asse  $x$ , acceleri uniformemente fino a raggiungere in 10 s la velocità di 5.0 m/s. Determinare la sua accelerazione e lo spazio percorso in tale intervallo di tempo.

**Ragioniamo insieme**

- Q Come si possono esprimere le informazioni date in simboli matematici?
- R "Parte da ferma" significa che  $v_i = 0$ . "Raggiunge in 10 s la velocità di 5.0 m/s" significa che  $v_f = 5.0 \text{ m/s}$  per  $t = 10 \text{ s}$ . "Muovendosi lungo l'asse  $x$ " significa che si tratta di un moto in una dimensione e che i valori della  $x$  descrivono la posizione dell'automobile e, poiché la posizione di partenza è l'origine, anche lo spazio  $s$  percorso.
- Q Quali grandezze si devono determinare?
- R Il valore dell'accelerazione  $a$  e lo spazio  $s$  percorso dall'automobile.
- Q Di quali equazioni ci si deve servire?
- R Delle equazioni che contengono sia le grandezze date ( $v_f$ ,  $v_i$  e  $t$ ) sia le incognite ( $s$  e  $a$ ).

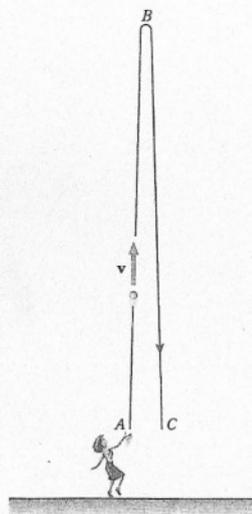


Figura P2.1

**Soluzione e discussione**

Dalla (2.7) si ricava che  $\bar{v} = 2.50$  m/s. Allora il tempo che l'automobile impiega ad arrestarsi è:

$$t = \frac{x}{\bar{v}} = \frac{20.0 \text{ m}}{2.50 \text{ m/s}} = 8.00 \text{ s}$$

Una volta che si conosce  $t$ , si può calcolare l'accelerazione tramite la (2.6a):

$$a = \frac{v_f - v_i}{t} = \frac{0 \text{ m/s} - 5.00 \text{ m/s}}{8.00 \text{ s}} = -0.625 \text{ m/s}^2$$

Il segno negativo indica che il verso di  $\mathbf{a}$  è opposto a quello di  $\mathbf{v}$ , e quindi descrive il fatto che l'automobile rallenta.

**Problema svolto 3**

Un'automobile parte da ferma e subisce un'accelerazione costante di  $4.00 \text{ m/s}^2$  mentre percorre  $20.0 \text{ m}$ . (a) Qual è la sua velocità al termine di quel tratto? (b) Quanto tempo ha impiegato a percorrere i  $20.0 \text{ m}$ ?

**Ragioniamo insieme**

▢ Che cosa sappiamo e che cosa dobbiamo ricavare?

▣ Sappiamo che  $v_i = 0 \text{ i}$ ,  $a = 4.00 \text{ i m/s}^2$  e  $s = 20.0 \text{ i m}$ . Dobbiamo trovare la velocità  $v_f$  all'istante in cui l'automobile ha percorso  $20.0 \text{ m}$  e il tempo  $t$  trascorso in quell'istante.

▢ Quali equazioni sono più idonee alla risoluzione del problema?

▣ Dal momento che sono note  $a$ ,  $v_i$  e  $s$ , la (2.11d) fornisce immediatamente  $v_f$ :  $v_f^2 = v_i^2 + 2as$ . Conoscendo  $v_f$ , si può ricavare  $t$  dalla (2.11c).

**Soluzione e discussione**

(a)  $v_f^2 = v_i^2 + 2ax = 0 + 2(4.00 \text{ m/s}^2)(20.0 \text{ m}) = 160 \text{ m}^2/\text{s}^2$

Quindi  $v_f = \sqrt{160 \text{ m}^2/\text{s}^2} = \pm 12.6 \text{ m/s}$ .

Come sempre, un'equazione di secondo grado ha due soluzioni. Si è ammesso che il moto avvenga nella direzione  $x$  positiva, e quindi si deve prendere come soluzione corretta  $+12.6 \text{ m/s}$ .

(b)  $t = \frac{v_f - v_i}{a} = \frac{12.6 \text{ m/s} - 0}{4.00 \text{ m/s}^2} = 3.15 \text{ s}$

**Problema svolto 4**

Se una palla viene scagliata verticalmente verso l'alto come nella figura P2.1 e viene ripresa dopo  $5.0 \text{ s}$ , quale deve essere stata la sua velocità quando si è staccata dalla mano che l'ha lanciata?

**Ragioniamo insieme**

▢ È chiaro che si tratta di un caso di moto di caduta libera con  $a = -9.8 \text{ j m/s}^2$ . Che cosa si può dire delle condizioni specifiche di questo caso?

▣ La durata del moto (o tempo di volo) è  $t = 5.0 \text{ s}$ ; inoltre le posizioni iniziali e finali coincidono ( $y_f = y_i = 0$ ).

▢ Si chiede di determinare la velocità iniziale  $v_i$ . Quale equazione mette in relazione le intensità di  $v_i$  e di  $a$ ,  $t$  e  $y$ ?

▣ L'equazione (2.11e):

$$y = v_i t + \frac{1}{2} a t^2$$

**Soluzione e discussione**

Ricaviamo  $v_i$  dalla (2.11e):

$$v_i t = y - \frac{1}{2} a t^2$$

$$v_i (5.0 \text{ s}) = 0 - \frac{1}{2} (-9.8 \text{ m/s}^2) (5.0 \text{ s})^2$$

Si ha, quindi,  $v_i = +24 \text{ j m/s}$ . Verifica la coerenza tra la scelta del verso positivo e il segno del risultato ottenuto.

**Problema svolto 5**

Una freccia viene scagliata con una velocità di  $30.0 \text{ m/s}$  a un angolo di  $37.0^\circ$  sopra l'orizzontale. La freccia si trova inizialmente a  $2.00 \text{ m}$  da terra e a  $15.0 \text{ m}$  da una parete, come mostra la figura P2.2. (a) A quale altezza da terra colpisce la parete? (b) Immediatamente prima di colpire la parete, la freccia sta ancora salendo o sta già scendendo? Trascurare l'attrito dell'aria.

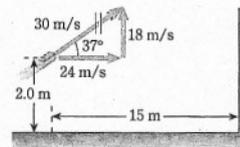


Figura P2.2

**Ragioniamo insieme**

▢ Come si può tradurre la domanda (a) nei termini delle grandezze che compaiono nelle equazioni di moto?

▣ "A quale altezza?" significa: "Qual è il valore di  $y$  quando  $x = 15.0 \text{ m}$  (la posizione della parete)?"

▢ Si può utilizzare l'equazione della traiettoria?

▣ Sì. Essa stabilisce la relazione tra la coordinata  $y$  e la coordinata  $x$  in tutti i punti della traiettoria del proiettile.

▢ Quale livello si deve prendere per  $y = 0$ ?

▣ Si tratta di una scelta arbitraria. In questo caso andrebbero bene sia il livello del suolo sia quello del punto di lancio. Quale che sia la scelta, la si deve mantenere fino alla fine.

▢ Quali sono le grandezze note?

▣  $v_i = 30.0 \text{ m/s}$ ;  $g = -9.80 \text{ m/s}^2$ ;  $\theta_i = 37.0^\circ$ ;  $y_i = 0$ , nell'ipotesi che si sia scelto il livello di lancio come livello di riferimento.

▢ Si possono mettere in relazione  $y$  e  $x$  anche senza ricorrere all'equazione della traiettoria?

▣ Sì, tramite la variabile tempo. Noi procederemo in questo modo.

▢ Quale condizione determina il tempo che la freccia impiega per colpire la parete?

▣ Utilizzando l'equazione che correla  $x$  e  $t$ ,  $x = (v_i \cos 37^\circ)t$ , si trova  $t$  quando  $x = 15.0 \text{ m}$ . Il valore di  $y$  in questo istante rappresenta allora l'altezza alla quale la freccia colpisce la parete.

▢ Qual è in questo caso la relazione tra  $y$  e  $t$ ?

▣  $y = (v_i \sin 37.0^\circ)t - (4.90 \text{ m/s}^2)t^2$ .

▢ Che cosa ci dice se la freccia sta salendo o scendendo all'istante dell'impatto?

Il segno di  $v_y$  in quell'istante. Se  $v_y$  è positiva, la freccia sta salendo; se  $v_y$  è negativa, la freccia sta scendendo.

Quale equazione connette  $v_y$  al tempo?

$$v_y = v_i \sin 37.0^\circ - (9.80 \text{ m/s}^2)t$$

#### Soluzione e discussione

1 Il tempo che la freccia impiega a raggiungere la parete è:

$$t = \frac{x}{v_i \cos 37.0^\circ} = \frac{15.0 \text{ m}}{(30.0 \text{ m/s})(0.80)} = 0.625 \text{ s}$$

2 Il valore di  $y$  all'istante dell'impatto è:

$$y = (30.0 \text{ m/s})(0.600)(0.625 \text{ s}) - (4.90 \text{ m/s}^2)(0.625 \text{ s})^2 = 11.2 \text{ m} - 1.91 \text{ m} = 9.3 \text{ m}$$

Il valore trovato è l'altezza sopra il punto di lancio; esso corrisponde a 11.3 m sopra il livello del terreno.

Questo stesso risultato avrebbe potuto essere ricavato direttamente dall'equazione della traiettoria, ponendo in essa  $x = 15.0 \text{ m}$ .

3 La componente verticale della velocità nell'istante dell'impatto è:

$$v_y = (30.0 \text{ m/s})(0.660) - (9.80 \text{ m/s}^2)(0.625 \text{ s}) = 18.0 \text{ m/s} - 6.1 \text{ m/s} = +11.9 \text{ m/s}$$

Quindi la freccia colpisce la parete mentre sta ancora salendo, cioè prima di aver raggiunto l'altezza massima. Nota che, anche se avessimo usato l'equazione della traiettoria per rispondere direttamente alla domanda (a), per rispondere alla domanda (b) avremmo dovuto determinare l'istante dell'impatto eseguendo il calcolo al punto 1.

### ► Problemi da svolgere

#### ► da 2.2 a 2.5

1 Se un aeroplano impiega 2 h e 30 min a percorrere i 1900 km che separano la città di Minneapolis da New York, qual è la sua velocità media in km/h? E in m/s?

2 All'uscita da un acceleratore di particelle, gli elettroni si muovono con una velocità di  $2.99 \times 10^8 \text{ m/s}$ . Quanto tempo impiega una di queste particelle a percorrere 5.0 mm?

3 Nel cinescopio di un televisore, gli elettroni vengono emessi da un elettrodo posto a un'estremità e incidono sul rivestimento fotoemittente dello schermo all'altra estremità del tubo. Se gli elettroni vengono emessi con una velocità di  $1.25 \times 10^8 \text{ m/s}$ , quanto tempo impiegano a raggiungere lo schermo distante 16.7 cm?

4 Il suono si propaga nell'aria ferma alla velocità di circa 340 m/s. Se lanci un urlo in un canyon e senti l'eco riflessa dalla parete opposta dopo 3.5 s, quanto dista la parete opposta?

5 In un videogioco un punto si muove sullo schermo di 9.6 cm nella direzione  $y$  positiva e poi di 3.6 cm nella direzione  $x$  negativa, in un tempo complessivo di 3.9 s. (a) Qual è la velocità media del punto in questo intervallo di tempo? (b) Qual è la sua velocità scalare media?

6 Per andare al lavoro Luca percorre in automobile 2.2 km in direzione est, poi 1.5 km in direzione sud e infine 3.7 km verso sud-est. Il tragitto viene coperto in 21 min. Quali sono (a) la sua velocità media, e (b) la sua velocità scalare media?

7 La figura P2.3 rappresenta il moto in linea retta di una formica. Determinare la velocità media della formica: (a) tra A ed E, (b) tra B ed E, (c) tra C ed E, (d) tra D ed E, (e) tra C e D.

8 La figura P2.3 rappresenta il moto di un insetto lungo un filo teso nella direzione  $x$ . Determinare la velocità media dell'insetto: (a) tra B ed E, (b) tra D ed E, (c) tra A ed D, (d) tra A e B.

9\* Maria corre alla velocità massima di 4.2 m/s, mentre Anna raggiunge soltanto i 3.4 m/s. Le due ragazze fanno una gara sulla distanza dei 200 m, partendo dallo stesso punto. Perché la gara finisce in parità, quanto tempo prima di Maria deve partire Anna?

10\* In alternativa a quanto indicato nel problema precedente, Anna parte contemporaneamente a Maria, ma con un vantaggio di un tratto  $s$ . (Solo Maria percorre tutti i 200 m.) Perché la gara finisce in parità, quale deve essere la distanza  $s$ ?

11\* Una ragazza passeggia lungo una strada in direzione est; la figura P2.4 è un grafico del suo spostamento rispetto a casa. Determinare la sua velocità media per l'intero intervallo di tempo rappresentato e la sua velocità istantanea in A, B e C.

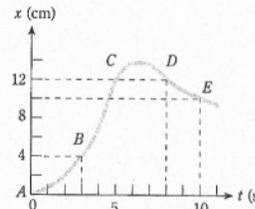


Figura P2.3

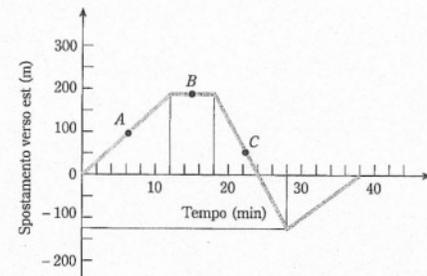


Figura P2.4

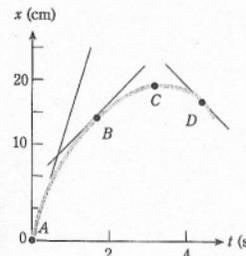


Figura P2.5

12\* Determinare, per la ragazza del problema precedente, (a) la velocità media nell'intervallo compreso tra  $t = 7 \text{ min}$  e  $t = 14 \text{ min}$ . Determinare, inoltre, la sua velocità istantanea (b) per  $t = 13.5 \text{ min}$  e (c) per  $t = 23 \text{ min}$ .

13 La figura P2.5 è il grafico della legge oraria di una particella in moto lungo l'asse  $x$ . Determinare la velocità media nell'intervallo tra A e C, e la velocità istantanea in D e in A.

14 Trovare, per la particella il cui moto è rappresentato nella figura P2.5, la velocità media tra C e D, e la velocità istantanea in B e in C.

15 Due cani cominciano a correre uno verso l'altro partendo da due punti distanti 135 m. Uno dei due cani corre alla velocità di 6.75 m/s, e l'altro alla velocità di 5.25 m/s. Quando si incontrano, a che distanza sono dal punto di partenza del cane più lento?

▶ 2.6 e 2.7

- 16 Un autocarro che viaggia verso est alla velocità di 18.8 m/s precede di 1.56 km un'automobile che viaggia anch'essa verso est alla velocità di 25.5 m/s. Ammettendo che entrambe le velocità rimangano costanti, quanto tempo impiegherà l'automobile a raggiungere il camion?
- 17 Un'automobile in moto su una strada rettilinea accelera dalla velocità di 2.18 m/s a quella di 7.75 m/s in un tempo di 5.77 s. Qual è l'accelerazione media dell'automobile?
- 18 La velocità di un aereo che vola in linea retta passa da 460 km/h a 325 km/h in 52.5 s. Esprimere l'accelerazione media dell'aereo in  $m/s^2$ .
- 19 Un'automobile in moto con la velocità di 23.7 m/s frena e si arresta in 10.8 s. Trovare l'accelerazione media dell'automobile e lo spazio percorso durante la frenata.
- 20 Un pilota sostiene che la sua vettura per gare di accelerazione è in grado di passare da zero a 320 km/h in 5.0 s. Qual è l'accelerazione media in  $m/s^2$  di questo veicolo? Quanto spazio percorre in tale intervallo di tempo?
- 21 Una vettura per gare di accelerazione percorre 400 m in 4.87 s partendo da ferma. Qual è l'accelerazione media di questo veicolo, e qual è la sua velocità al termine dei 400 m?
- 22\* Un proiettile in moto con la velocità di 220 m/s colpisce un albero e penetra per 4.33 cm prima di arrestarsi. Determinare l'accelerazione media del proiettile e il tempo che impiega a fermarsi.
- 23\* In un cinescopio per televisori come quello descritto nel problema 3, gli elettroni vengono accelerati dalla quiete alla velocità di  $1.25 \times 10^8$  m/s in un tratto lungo 1.12 cm. Quanto tempo occorre, e qual è l'accelerazione media degli elettroni?
- 24\* Un autocarro in moto con la velocità di 22.5 m/s subisce una decelerazione di  $2.27 m/s^2$ . (a) Quanto tempo impiega a fermarsi? (b) Quale spazio percorre durante l'intera frenata? (c) Quale spazio percorre durante il terzo secondo dopo l'inizio della frenata?
- 25\* Un proiettile in moto con la velocità di 190 m/s colpisce un asse di legno dello spessore di 2.54 cm e l'attraversa, fuoriuscendo con una velocità di 80 m/s. Determinare l'accelerazione media del proiettile e il tempo che impiega ad attraversare l'asse.
- 26\* Una palla di gomma in moto con una velocità di 31.5 m/s urta contro una parete di cemento e rimbalza perpendicolarmente con una velocità di 28.5 m/s. L'urto con la parete è durato 0.15 s. Qual è stata l'accelerazione media subita dalla palla durante l'urto?
- 27\*\* Una locomotiva traina un treno lungo 580 m, compresa la locomotiva stessa. La locomotiva accelera uniformemente partendo da ferma e raggiunge un passaggio a livello distante 1.35 km dal punto di partenza in 9.66 min. (a) Quanto tempo dopo la locomotiva arriva al passaggio a livello il vagone di coda, ammettendo che il treno mantenga un'accelerazione costante? (b) Qual è la velocità del treno quando il vagone di coda arriva al passaggio a livello?
- 28\* Il primo vagone di un treno fermo ostruisce un passaggio a livello. Proprio mentre il treno comincia a muoversi, un automobilista in attesa osserva che occorrono 18.8 s perché un vagone percorra una distanza pari alla sua lunghezza  $L$ . Determinare l'accelerazione del treno in funzione di  $L$ . Ammettendo che l'accelerazione sia costante, quanto tempo dopo la partenza del treno i primi 50 vagoni saranno passati davanti all'automobilista in attesa?
- 29\*\* Un'automobile percorre alla velocità di 27 m/s una strada parallela a una linea ferroviaria. Quanto tempo impiega l'automobile a passare accanto a

▶ 2.8

- un treno lungo 920 m che procede alla velocità di 18.3 m/s (a) nello stesso verso dell'automobile e (b) nel verso opposto?
- 30\* Nell'istante in cui un'automobile si mette in moto con un'accelerazione costante di  $2.44 m/s^2$ , un autobus che viaggia con la velocità costante di 19.6 m/s le passa accanto su una corsia parallela. Quanto tempo occorre perché l'automobile sorpassi l'autobus? Quale sarà la velocità dell'automobile in quel momento? Che distanza avrà percorso?
- 31\*\* Due automobili, entrambe in moto con la velocità di 30.5 m/s, procedono l'una verso l'altra sulla stessa corsia. Quando sono a 250 m di distanza, gli automobilisti se ne accorgono e cominciano a decelerare nella stessa misura. Quale deve essere l'intensità minima di questa decelerazione perché i due veicoli evitino lo scontro?
- 32 Una mattonella sconnessa cade da un davanzale sulla strada 21.3 m più in basso. Qual è la velocità della mattonella nel momento in cui arriva a terra? Quanto tempo dura la caduta?
- 33 Una persona cade da una passerella sospesa su un torrente e tocca l'acqua 1.32 s dopo. A che altezza sull'acqua si trova la passerella? Qual è la velocità della persona quando arriva in acqua?
- 34\* Una palla da baseball viene lanciata verticalmente verso l'alto con una velocità iniziale di 23.9 m/s. Che altezza sopra il punto di lancio raggiunge la palla prima di cominciare a ricadere? Quanto tempo impiega a raggiungere l'altezza massima?
- 35\* Un sasso viene lanciato verticalmente verso il basso dalla cima di un edificio alto 26.0 m con una velocità iniziale di 18.6 m/s. Quanto tempo impiega ad arrivare a terra? Qual è la sua velocità nell'istante in cui tocca terra?
- 36\* Una palla da baseball colpita male dal battitore si impenna verticalmente verso l'alto. Il ricevitore la afferra 9.3 s dopo che è stata battuta, alla stessa altezza alla quale la palla è stata colpita dalla mazza. Che altezza ha raggiunto la palla? Qual era la sua velocità nell'istante in cui è stata presa?
- 37\* Una ragazza in cima a un edificio alto 22 m lancia una moneta verso l'alto con una velocità di 8.8 m/s. Quanto tempo impiega la moneta a raggiungere il suolo? Qual è la sua velocità nell'istante in cui tocca terra?
- 38\* Un tuo amico alto 1.90 m sta correndo lungo un marciapiede con una velocità costante di 3.77 m/s. La tua finestra si trova sopra il marciapiede a un'altezza di 17.8 m. Lasci cadere da fermo un sacchetto pieno d'acqua che colpisce il malcapitato in testa proprio sotto la tua finestra. A che distanza dal punto di impatto si trovava il tuo amico nell'istante in cui hai lasciato cadere il sacchetto?
- 39\* Due palle vengono lasciate cadere da altezze diverse. Una viene lasciata cadere 0.85 s prima dell'altra, ma le due palle toccano terra nello stesso istante, 6.25 s dopo che la prima è stata lasciata andare. Da che altezze sono state fatte cadere?
- 40\*\* Un ascensore sta salendo con una velocità costante di 3.35 m/s. All'interno una donna lascia cadere una moneta da un'altezza di 1.25 m sopra il pavimento dell'ascensore. Quanto tempo impiega la moneta a raggiungere il pavimento dell'ascensore?
- 41\*\* Risolvere nuovamente il problema precedente nell'ipotesi che l'ascensore, nell'istante in cui viene lasciata andare la moneta, parta da fermo con un'accelerazione diretta verso l'alto di  $3.5 m/s^2$ .

► 2.9 e 2.10

42 Una biglia rotola in direzione orizzontale su un tavolo con una velocità di 3.7 m/s e, raggiunto il bordo, cade. Una seconda biglia viene lasciata cadere verticalmente dal tavolo nello stesso istante. Se il tavolo è alto 1.20 m, qual è la distanza tra i punti in cui toccano terra la due biglie? Che differenza c'è tra gli istanti di impatto delle due biglie?

43 Una manichetta antincendio proietta un getto d'acqua in direzione orizzontale dalla cima di un edificio verso il muro di un altro edificio distante 31 m. L'acqua esce dall'ugello della manichetta a una velocità di 6.4 m/s. Quanti metri sotto il livello dell'ugello l'acqua colpisce il muro?

(Suggerimento: si consideri l'acqua come un flusso di particelle che escono dalla manichetta.)

44\* In un circo, il "proiettile umano" viene sparato da un cannone con la velocità di 24.4 m/s. La canna del cannone ha un angolo di alzo di 50°. (a) A quale distanza (in orizzontale) dalla bocca del cannone andrebbe posta la rete utilizzata per ammortizzare la ricaduta del "proiettile"? (b) Qual è il tempo di volo? Supporre che la rete e la bocca del cannone siano allo stesso livello.

45\*\* Supponiamo di sparare un proiettile con un'inclinazione di 35° sopra l'orizzontale e con una velocità iniziale di 200 m/s. Esso tocca terra in un vallone 300 m al di sotto del punto di lancio. Qual è la gittata del proiettile e qual è il suo tempo di volo?

46\*\* Il motociclista acrobatico di figura P2.6 vuole saltare sfruttando la pedana e arrivare sulla piattaforma. Quale velocità deve avere la motocicletta quando si stacca dalla pedana perché il salto riesca?

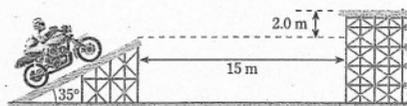


Figura P2.6

47\* Un elicottero vola rivolto in direzione nord. La sua velocità in assenza di vento è di 120 km/h, e il vento soffia da nord-est a una velocità di 32 km/h. Qual è la velocità dell'elicottero rispetto al suolo? Quale distanza copre in 20 minuti?

48\* Un vogatore vuole attraversare un fiume perpendicolarmente alla corrente, che fluisce alla velocità di 0.85 m/s. Il vogatore, remando, è in grado di imprimere alla barca una velocità di 2.1 m/s rispetto all'acqua. (a) In quale direzione deve orientare la prua della barca per attraversare il fiume perpendicolarmente? (b) Se il fiume è largo 45 m, quanto tempo impiega ad attraversarlo?

49\* Un aeroplano ha una velocità rispetto all'aria (in assenza di vento) di 650 km/h, e vola con il muso orientato in una direzione 25° a ovest della direzione nord; il pilota però si rende conto che in realtà l'aereo segue la rotta 18° a ovest della direzione nord. Qual è la velocità del vento che soffia verso est?

**Problemi di riepilogo**

50\* Andrea sta viaggiando in autostrada al volante della sua automobile, alla velocità di 29 m/s, seguendo un'altra automobile che procede alla medesima velocità. Supponiamo che la massima decelerazione sia, per entrambi i veicoli, di 6.9 m/s<sup>2</sup>. Improvvisamente l'automobilista che precede Andrea frena

► 2.11

-300

$$y = v_{ip} \cdot x - \frac{g}{2v^2 \cos^2 \theta} x^2$$

premo a fondo il pedale e arrestandosi nel più breve tempo possibile. Occorrono 0.40 s perché Andrea reagisca azionando i freni in modo da arrestarsi a sua volta nel più breve tempo possibile. Qual è la distanza minima che avrebbe dovuto mantenere per evitare il tamponamento?

51\* Un veicolo della polizia è fermo su una strada secondaria a 400 m dall'incrocio con una strada statale. Al poliziotto viene segnalata un'automobile (A) che procede sulla statale alla velocità di 120 km/h. La situazione è rappresentata nella figura P2.7. Il veicolo della polizia ha un'accelerazione massima di 8.5 m/s<sup>2</sup>. Qual è la distanza minima dall'incrocio a cui deve trovarsi l'automobile quando il veicolo della polizia comincia ad accelerare perché il poliziotto riesca ad arrivare all'incrocio 30 s prima dell'automobile?

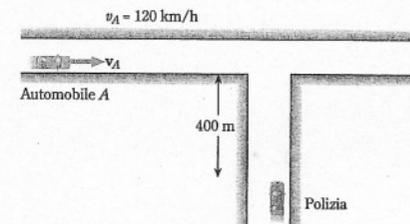


Figura P2.7

52\*\* Uno studente di fisica propone il seguente metodo per misurare l'altezza di un edificio. Si lascia cadere un peso di piombo dalla cima dell'edificio e si misura con un opportuno dispositivo il tempo che esso impiega a percorrere gli ultimi 1.5 m prima di toccare terra. Le misure per un certo edificio indicano che il peso impiega 0.109 s a percorrere gli ultimi 1.5 m. Quanto è alto l'edificio?

53\*\* Una palla viene lanciata verticalmente verso l'alto con una velocità iniziale  $v_i$  da un punto posto ad altezza  $h$  m da terra. Dimostrare che il tempo che la palla impiega a toccare terra è dato dall'espressione:

$$\frac{v_i}{g} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{2hg}{v_i^2}} \right)$$

54\*\* Un'automotrice si muove inizialmente su un binario orizzontale con una velocità di 24 m/s, e sta subendo una decelerazione di 3.65 m/s<sup>2</sup> quando al suo interno una lampadina appesa 2.55 m sopra il pavimento si allenta e cade. Rispetto al punto posto perpendicolarmente sotto la sua posizione iniziale, la lampadina dove colpisce il pavimento?

55\* Un peso di piombo viene lasciato cadere con velocità iniziale nulla in un lago da una piattaforma posta 10 m sopra il livello dell'acqua. Quando entra nell'acqua, la sua velocità si riduce a un decimo di quella che aveva immediatamente prima dell'impatto. Il peso affonda muovendosi di moto uniforme con questa velocità ridotta e raggiunge il fondo del lago 6.5 s dopo aver toccato l'acqua. Quanto è profondo il lago?

56\*\* Da una terrazza posta 100 m sopra il livello della strada viene lasciato cadere un sasso con velocità iniziale nulla. Nello stesso momento dal punto della strada perpendicolarmente sottostante viene lanciato in verticale verso l'alto un secondo sasso. La velocità iniziale verso l'alto di quest'ultimo è di

50 m/s. Ammettendo che i due sassi si muovano lungo la medesima retta verticale, e che la resistenza dell'aria possa essere trascurata, calcolare: (a) a quale altezza i due sassi si scontreranno, (b) quando si scontreranno, e (c) se il secondo sasso starà salendo o scendendo al momento dello scontro.

■57\*\* Supponiamo di avere un'automobile sportiva capace di un'accelerazione massima di  $7.3 \text{ m/s}^2$  e di una decelerazione massima in frenata di  $-9.8 \text{ m/s}^2$ . Si vuole determinare il tempo minimo che occorrerebbe per partire da fermi, percorrere 400 m e arrestarsi sul traguardo dei 400 m; a tale scopo si accelera quanto più possibile in una prima parte del percorso, per poi frenare con la massima decelerazione fino all'arresto. Qual è il tempo minimo necessario?

CAPITOLO 3

## Le leggi del moto di Newton

### ► Problemi svolti

#### Problema svolto 1

Un'automobile di 1500 kg sta viaggiando alla velocità di 60 km/h, quando il guidatore frena fino ad arrestarsi. Durante la frenata gli pneumatici sono soggetti a una forza d'attrito pari a circa 0.7 volte il peso dell'automobile. Quanto spazio percorre il veicolo prima di arrestarsi? Assumere che il moto avvenga lungo l'asse  $x$ .

#### Ragioniamo insieme

■ Quale grandezza si deve determinare?

■ Lo spazio  $s$  che l'automobile percorre mentre la sua velocità decresce da +60 km/h a zero.

■ Che cosa fa fermare l'automobile?

■ Una forza d'attrito costante pari a 0.70 volte il peso del veicolo.

■ Quale principio pone in relazione questa forza alla variazione di velocità?

■ La seconda legge di Newton,  $a = \frac{F_{\text{ris}}}{m}$ . L'attrito è l'unica forza orizzontale,

e quindi  $F_{\text{ris}} = 0.70 F_{\text{p aut}}$ .

■ Allora sono note tutte le grandezze necessarie a determinare  $a$  per mezzo della seconda legge. Il tempo di arresto non è dato. C'è una relazione che correla direttamente la variazione del modulo della velocità con lo spazio necessario per tale variazione?

■ L'equazione del moto uniformemente accelerato che mette direttamente in relazione  $s$  con la variazione del modulo della velocità è:

$$v^2 = v_i^2 + 2as$$

Una volta ricavata  $a$  dalla seconda legge, questa equazione può essere risolta rispetto a  $s$ .

■ C'è una certa varietà di unità di misura. È necessario effettuare delle conversioni?

■ Sì. Di norma conviene convertire tutte le unità nel SI. Si devono quindi convertire i km/h in m/s.

#### Soluzione e discussione

■1 La conversione delle unità fornisce:

$$v_i = (60 \text{ km/h}) (1000 \text{ m/km}) (1.00 \text{ h}/3600 \text{ s}) = 17 \text{ m/s}$$

■2 Dobbiamo trovare il peso dell'automobile:

$$F_{\text{p aut}} = (1500 \text{ kg}) (9.8 \text{ m/s}^2) = 1.5 \times 10^4 \text{ N}$$

■3 La forza d'attrito è:

$$F_{\text{att}} = -0.70 (1.5 \times 10^4 \text{ N}) = -1.0 \times 10^4 \text{ N}$$

Abbiamo evidenziato tramite il segno negativo il fatto che il verso della forza d'attrito è quello di  $-x$ .

■4 L'accelerazione è:

$$a = \frac{F_{\text{ris}}}{m} = \frac{-1.0 \times 10^4 \text{ N}}{1.5 \times 10^3 \text{ kg}} = -6.7 \text{ m/s}^2$$

■5 Allora lo spazio che l'automobile impiega per arrestarsi è:

$$s = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2a} = \frac{0 - (17 \text{ m/s})^2}{2(-6.7 \text{ m/s}^2)} = 22 \text{ m}$$

#### Problema svolto 2

Un agente di polizia che svolge degli accertamenti su un incidente stradale rileva che una delle automobili ha lasciato sul cemento asciutto e piano del fondo stradale dei segni di frenata lunghi 20.0 m. L'agente suppone che il conducente abbia premuto a fondo il freno nel punto in cui iniziano i segni, e che ciò abbia fatto decelerare l'automobile uniformemente fino all'arresto. L'incidente è accaduto in un tratto di strada in cui il limite di velocità è 50 km/h. Può l'agente accusare l'automobilista di eccesso di velocità?

#### Ragioniamo insieme

■ Quale relazione connette i dati forniti alla velocità dell'automobilista prima della frenata?

■ L'equazione di moto che contiene  $v_f$ ,  $v_i$ ,  $a$  e  $s$ :  $v_f^2 = v_i^2 + 2as$ , con  $v_f = 0$  e con  $s$  che rappresenta lo spazio di frenata.

■ Quante incognite ci sono?

■ Due:  $a$  e  $v_i$ .

■ Quale altra legge che contenga almeno una delle due incognite si può applicare?

■ La seconda legge del moto di Newton. L'accelerazione è prodotta dalla forza di attrito di strisciamento che agisce tra pneumatici e strada.

■ Quale equazione possiamo desumerne?

- R**  $ma = F_{\text{ris}} = f_{\text{attr}}$ , ove l'intensità  $f_{\text{attr}} = \mu_d F_N = \mu_d P_{\text{aut}}$  e  $m$  è la massa dell'automobile.
- D** È necessario trovare il peso e la massa dell'automobile?
- R** Dal momento che  $F_{p_{\text{aut}}} = mg$ ,  $m$  compare in entrambi i membri dell'equazione che esprime la seconda legge, e quindi si semplifica. Non è necessario determinarne il valore.
- D** Qual è il coefficiente di attrito?
- R** Dalla tabella 3.3 risulta che, per la gomma su cemento asciutto,  $\mu_d = 0.7$ .

**Soluzione e discussione**

Le due equazioni cui siamo pervenuti sono:

$$v_i^2 + 2ax = 0$$

e

$$\frac{m}{a} = -\frac{\mu_d m}{g}$$

ossia:

$$a = -\mu_d g$$

Il verso dell'accelerazione è quello di  $-x$ , e quindi, nel passare dalla notazione vettoriale alla relazione tra le intensità, si è introdotto il segno corretto. Dalla seconda equazione si ha:

$$a = -(0.7)(9.8 \text{ m/s}^2) = -7 \text{ m/s}^2$$

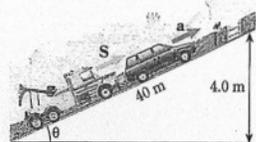
Pertanto:

$$v_i = [2(7 \text{ m/s}^2)(20.0 \text{ m})]^{1/2} = 17 \text{ m/s}$$

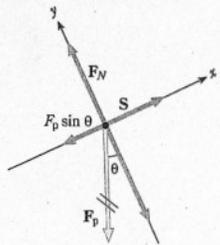
Convertendo questa velocità in km/h, si ha:

$$v_i = (17 \text{ m/s})(3600 \text{ s/h})(1 \text{ km}/1000 \text{ m}) = 61 \text{ km/h}$$

L'automobilista, nel momento in cui è iniziata la frenata, stava viaggiando a una velocità superiore al limite consentito.



(a)



(b)

Figura P3.1

**Problema svolto 3**

Si vuole che l'automobile di massa 1200 kg di figura P3.1 proceda in salita con un'accelerazione di  $0.50 \text{ m/s}^2$  lungo un pendio che sale di 4.0 m ogni 40 m. Che intensità deve avere una forza che spinga l'automobile per produrre quest'accelerazione? Trascurare l'attrito.

**Ragioniamo insieme**

- D** Quali sono le forze in gioco nella situazione descritta dal problema?
- R** Oltre al peso dell'automobile, c'è una forza applicata,  $S$  (la spinta), parallela al piano inclinato, in verso ascendente.

- D** Per trovare le componenti del peso dell'automobile, occorre conoscere l'angolo che il pendio forma con l'orizzontale. Qual è la relazione tra le lunghezze indicate nella figura e tale angolo?
- R** In base alla definizione del seno di un angolo:

$$\sin \theta = \frac{4.0 \text{ m}}{40 \text{ m}} = 0.10$$

Pertanto:  $\theta = \sin^{-1} 0.10 = 5.7^\circ$ .

La figura P3.1b mostra il diagramma di corpo libero per l'automobile.

- D** Quale principio mette in relazione la spinta  $S$  con l'accelerazione?
- R** La seconda legge di Newton applicata lungo l'asse parallelo al pendio.
- D** Quale equazione ci fornisce questo principio?
- R** Scegliendo come positivo il verso ascendente, che è quello di  $a$ , si ha:

$$S - mg \sin \theta = ma$$

**Soluzione e discussione**

Ricavando  $S$ , si ha:

$$S = ma + mg \sin \theta = (1200 \text{ kg})(0.50 \text{ m/s}^2) + (1200 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)(0.10) = 600 \text{ N} + 1200 \text{ N} = 1800 \text{ N}$$

Nota che non abbiamo trovato il valore di  $\theta$ . Ciò di cui ci siamo serviti è stato soltanto  $\sin \theta$ , che è dato direttamente dal rapporto tra i lati del triangolo di figura P3.1. Se avessimo voluto trovare la forza  $F_N$ , avremmo avuto bisogno di  $\theta$  in modo da poter calcolare  $\cos \theta$ . I due addendi che ci danno la soluzione mettono in evidenza ciò che deve fare la spinta  $S$ : occorrono 1200 N solo per controbilanciare il componente del peso dell'automobile parallelo al pendio, e altri 600 N per produrre l'accelerazione richiesta.

**► Problemi da svolgere**

- 1** Quale dev'essere l'intensità della forza orizzontale esercitata su un proiettile di massa 8.5 g perché questo subisca un'accelerazione di  $18500 \text{ m/s}^2$ ? Se questa è l'accelerazione, quale sarà la velocità del proiettile quando avrà percorso 2.35 cm dal punto di partenza?
- 2** Una forza orizzontale non equilibrata di 4600 N accelera un'automobile di massa 1650 kg inizialmente ferma lungo una strada orizzontale e dritta. (a) Qual è l'accelerazione dell'automobile? (b) Quanto tempo impiega a raggiungere una velocità di 21.2 m/s?
- 3** Un'automobile di massa 1350 kg è in grado di accelerare da 0 a 23.4 m/s in 7.7 s. (a) Qual è la sua accelerazione? (b) Qual è l'intensità della forza necessaria per produrre tale accelerazione?
- 4** Per far scivolare una cassa su un pavimento piano con una velocità costante di 0.485 m/s occorre una forza orizzontale di 26.7 N. Qual è l'intensità della forza d'attrito che si oppone al moto?
- 5** Se un cavo da traino viene tirato verso l'alto in una direzione che forma un angolo di  $27^\circ$  con l'orizzontale, con una forza di 365 N, può far scivolare sul pavimento uno scatolone di massa 55.2 kg a una velocità costante di 20.5 cm/s. Che intensità ha la forza d'attrito che si oppone al moto dello scatolone?

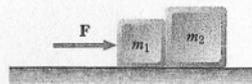


Figura P3.2

## ▶ 3.6

- 6 Uno sciatore acquatico viene trainato da un motoscafo a una velocità costante di 13.5 m/s. La tensione del cavo di traino è di 165 N. Qual è l'intensità della forza frenante che l'acqua e l'aria esercitano sullo sciatore?
- 7 Un paracadutista di massa 72 kg sta planando verso terra a una velocità costante di 9.1 m/s. Il paracadute ha una massa di 6.6 kg. (a) Quanto pesa il paracadutista? (b) Qual è l'intensità della forza diretta verso l'alto che l'aria esercita sul paracadutista e sul paracadute?
- 8 Per imprimere a un'automobile di massa 1270 kg un'accelerazione di  $0.175 \text{ m/s}^2$  su una strada piana occorre una forza orizzontale di 4770 N. Qual è l'intensità della forza frenante che si oppone al moto?
- 9\* Un annuncio pubblicitario afferma che una certa automobile di massa 1060 kg è in grado di accelerare da 0 a 80 km/h in 9.4 s. Qual è l'intensità della forza risultante che deve agire sull'automobile per imprimere tale accelerazione?
- 10 Un'automobile di massa pari a 1730 kg deve essere trainata da un'altra automobile. Se si vuole che l'automobile a rimorchio sia accelerata uniformemente da 0 a 2.3 m/s in 10.3 s, qual è l'intensità della forza che il cavo di traino deve essere in grado di esercitare?
- 11 Un'automobile di massa pari a 1570 kg che si muove alla velocità di 17.5 m/s deve arrestarsi in 94.5 m. Quale deve essere l'intensità della forza frenante? Fare l'ipotesi di una decelerazione uniforme.
- 12 Una palla del peso di 5 N cade a terra. (a) Qual è la forza risultante che agisce sulla palla mentre cade? (b) Che intensità, direzione e verso ha la forza esercitata dalla palla sulla Terra durante la caduta?
- 13 Supponiamo che la palla del problema precedente sia appoggiata su un tavolo. (a) Qual è la forza risultante applicata alla palla? (b) Che intensità, direzione e verso hanno le forze esercitate dalla palla sul tavolo e sulla Terra?
- 14 Un camion si scontra con un'utilitaria ed esercita su di essa una forza di 26000 N. Qual è l'intensità della forza che l'automobile esercita sul camion? Perché l'utilitaria subisce danni molto maggiori?
- 15\* Un fucile è saldamente fissato a un pesante bancone, con la canna lunga 75 cm diretta in orizzontale. L'arma spara un proiettile di massa 9.0 g, che esce dalla bocca da fuoco con una velocità di 970 m/s. Ammettendo che l'accelerazione del proiettile sia costante lungo tutta la canna, che forza orizzontale esercita il fucile sul banco durante lo sparo?
- 16\* Due blocchi di masse  $m_1 = 3.2 \text{ kg}$  e  $m_2 = 4.1 \text{ kg}$  sono a contatto tra loro su un tavolo privo di attrito, come mostra la figura P3.2. Se la forza  $F$  che agisce su  $m_1$  è di 6.8 N, (a) qual è l'accelerazione dei due blocchi e (b) qual è la forza che  $m_1$  esercita su  $m_2$ ? (c) Rispondere nuovamente alle domande (a) e (b) nell'ipotesi che  $F$  agisca in verso opposto su  $m_2$  invece che su  $m_1$ .
- 17 Qual è il peso in newton: (a) di una palla di massa 1 kg, (b) di una persona di massa 60 kg, (c) di un'automobile di massa 1350 kg, (d) di un alce da 1 tonnellata, (e) di 454 g di burro?
- 18 Qual è la massa in chilogrammi: (a) di una lampada del peso di 15 N, (b) di un tronco del peso di 1750 N, (c) di 1 tonnellata di carbone?
- 19 Una corda solleva una borsa pesante 54 N. La borsa subisce un'accelerazione verso l'alto di modulo  $a = 0.77 \text{ m/s}^2$ . Qual è la tensione della corda?
- 20 Un sacchetto di patate la cui massa è 20.5 kg viene appeso a una fune e calato. Il sacchetto subisce un'accelerazione verso il basso di modulo  $a = 0.155 \text{ m/s}^2$ . Qual è la tensione della fune?

## ▶ 3.7

■21\* Si osserva che i corpi in caduta libera in prossimità della superficie della Luna hanno un'accelerazione verso il basso  $a = 1.63 \text{ m/s}^2$ . Un astronauta pesa, con la tuta spaziale, 960 N sulla Terra. (a) Quanto pesa l'astronauta sulla superficie lunare? (b) Qual è la sua massa sulla Luna? (c) Qual è la sua massa sulla Terra?

■22 Ognuno dei blocchi di figura P3.3 pesa 70 N, e  $T = 35 \text{ N}$ . Determinare la forza normale in ciascun caso.

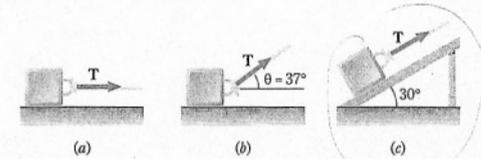


Figura P3.3

■23 Ognuno dei blocchi di figura P3.4 pesa 47 N, e  $S = 28 \text{ N}$ . Determinare la forza normale in ciascun caso.

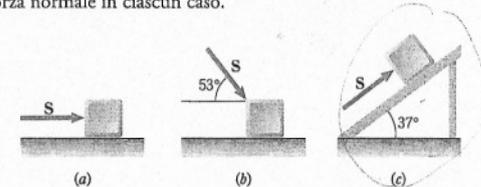


Figura P3.4

■24\* Supponiamo che nella figura P3.4 il blocco pesi 66 N,  $S = 42 \text{ N}$ , e il coefficiente d'attrito sia 0.22. (a) Qual è la forza d'attrito in ciascun caso? (b) Qual è l'accelerazione del blocco?

■25\* Nella figura P3.3, il peso del blocco è 54 N,  $T = 39 \text{ N}$ , e il coefficiente d'attrito è 0.42. (a) Qual è la forza d'attrito in ciascun caso? (b) Qual è l'accelerazione del blocco?

■26 Una scatola di massa 5.5 kg scivola lungo un piano inclinato di  $27^\circ$  sotto l'azione della forza di gravità. Se la scatola si muove con velocità costante, qual è l'intensità della forza d'attrito che si oppone al suo moto?

■27 Un blocco di massa 27 g è appoggiato su un piano inclinato di pendenza regolabile. La pendenza viene lentamente aumentata, e il blocco comincia a scivolare quando l'angolo del piano inclinato è di  $38.5^\circ$ . Qual è il coefficiente d'attrito tra il blocco e il piano? Si tratta del coefficiente d'attrito statico o dinamico?

■28\* Nella figura P3.4b, il coefficiente d'attrito statico è 0.50. Se il blocco pesa 165 N, per quale valore di  $S$  comincerà a muoversi?

■29\* Se il coefficiente d'attrito tra le gomme di un'automobile e il fondo stradale è 0.62, qual è la distanza minima entro cui l'automobile può accelerare da 0 a 20.7 m/s?

■30\* Un ragazzo si mette a correre su un pavimento sdruciolevole alla velocità di 3.55 m/s; a un certo punto decide di fare uno scivolone. Se il coefficiente d'attrito tra le sue scarpe e il pavimento è 0.15, per che tratto scivolerà prima di fermarsi?

■31\* Qual è la distanza minima occorrente perché un'automobile che viaggia alla velocità di 34.2 m/s si arresti su una strada piana, se il coefficiente d'attrito massimo (il coefficiente statico) tra i suoi pneumatici e il fondo stradale è 0.83?

$$F_{\text{attr}} = \mu \cdot P = \mu \cdot m \cdot g$$

■32 Un elettrone ( $m = 9.1 \times 10^{-31}$  kg) nel tubo catodico di un televisore viene accelerato dalla quiete alla velocità di  $6.25 \times 10^7$  m/s in un tratto di 0.88 cm. Determinare la forza acceleratrice media che agisce sull'elettrone. Quante volte è maggiore di  $mg$ ?

■33 Un'automobile di massa 1130 kg che viaggia alla velocità di 16.7 m/s urta contro un albero e si ferma in 0.77 m. Qual è l'intensità media della forza esercitata dall'albero sull'automobile?

■34\* Un proiettile di massa 9.1 g entra in un pezzo di plastica spesso 2.3 cm con una velocità di 165 m/s, attraversa la plastica e ne esce con una velocità di 92 m/s. Qual è l'intensità media della forza esercitata dal proiettile sulla plastica?

■35\* Se si tira verticalmente verso l'alto una massa di 3.2 kg con una corda che è in grado di sorreggere una massa in quiete di non più di 15.0 kg, qual è la massima accelerazione che si può impartire a tale massa?

■36\* Un libro è appoggiato sul tetto di un'automobile mentre questa accelera in direzione orizzontale partendo da ferma. Se il coefficiente d'attrito statico tra l'automobile e il libro è 0.36, qual è l'accelerazione massima che l'automobile può avere senza che il libro scivoli?

■37\* Una confezione di uova è appoggiata sul sedile di un'automobile che si muove alla velocità di 22.5 m/s. Qual è la minima distanza in cui l'automobile può arrestarsi decelerando uniformemente senza che le uova scivolino? Il valore di  $\mu$  tra il cartone della confezione e il sedile è 0.24.

■38\*\* Un blocco di cemento è appoggiato sul pavimento di un furgoncino che scende lungo un pendio inclinato di  $23.5^\circ$  con una decelerazione di  $1.15$  m/s<sup>2</sup>. Quale deve essere il valore del coefficiente di attrito statico tra il pavimento e il blocco perché quest'ultimo non scivoli?

■39\*\* Nella figura P3.5 la tensione  $T$  della fune che tira i due blocchi è di 58 N. Determinare l'accelerazione dei blocchi e la tensione della fune che li unisce nell'ipotesi che la forza d'attrito agente sui blocchi sia trascurabile. Rifare il calcolo nell'ipotesi che il coefficiente d'attrito tra i blocchi e il piano d'appoggio sia 0.33.

Figura P3.5

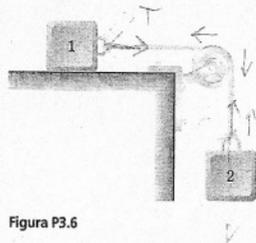


■40\* Nella figura P3.5, quale deve essere l'intensità della tensione  $T$  perché i blocchi subiscano un'accelerazione di  $0.62$  m/s<sup>2</sup>, (a) se le forze d'attrito sono trascurabili, (b) se il coefficiente d'attrito tra i blocchi e il piano d'appoggio è 0.43? Qual è inoltre la tensione della fune che unisce i due blocchi in ciascuno dei casi?

■41\* Nella figura P3.6 il blocco 1 ha una massa di 3.25 kg e il blocco 2 ha una massa di 1.90 kg. (a) Trascurando l'attrito, che valore hanno l'accelerazione dei blocchi e la tensione della corda che li collega? (b) Rifare il calcolo nell'ipotesi che il blocco 1 sia rallentato da una forza d'attrito di 10.2 N.

■42\* Nella figura P3.6 il corpo 1 ha una massa di 2650 g e il corpo 2 ha una massa di 1650 g. Quando il sistema viene lasciato libero, il corpo 2 scende di 65 cm in 1.44 s. Qual è l'intensità della forza d'attrito che si oppone al moto del corpo 1? Supporre che non vi siano forze d'attrito nel resto del sistema.

Figura P3.6



258

PROBLEMI

$$m_1 g - m_1 a = m_1 a$$

$$m_2 g = a$$

$$T = m_1 a$$

$$m_1 g - T = m_1 a$$

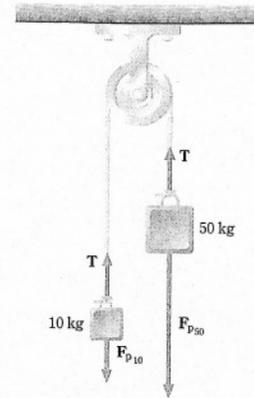


Figura P3.7

$$F_p = T = m_1 a$$

$$F_p - T = m_2 a$$

$$F_p = F_p$$

$$T - F_p = m_1 a$$

$$F_p - T = m_2 a$$

$$F_p = m_1 a + m_2 a$$

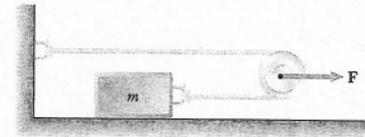
$$(m_1 - m_2) g = a$$

$$m_1 = m_2 + a$$

■43\* Con riferimento alla figura P3.7, determinare la tensione della corda e il tempo necessario perché le masse percorrano 220 cm partendo da ferme. Supporre che la puleggia sia priva d'attrito e abbia massa nulla.

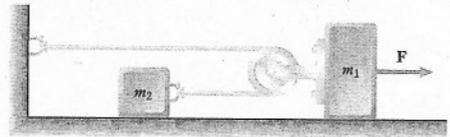
■44\*\* La puleggia di figura P3.8 è priva di massa e di attrito. Determinare l'accelerazione della massa in funzione di  $F$  nell'ipotesi che non vi sia attrito tra il piano di appoggio e la massa. Rifare il calcolo nel caso che vi sia una forza d'attrito  $f$ .

Figura P3.8



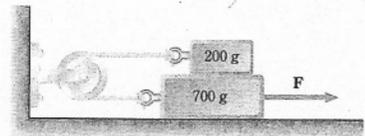
■45\*\* L'attrito tra i blocchi e il tavolo della figura P3.9 è trascurabile. Calcolare la tensione della corda e l'accelerazione di  $m_2$ , sapendo che  $m_1 = 375$  g,  $m_2 = 275$  g e  $F = 0.72$  N. (Suggerimento: si noti che  $a_2 = 2a_1$ .)

Figura P3.9



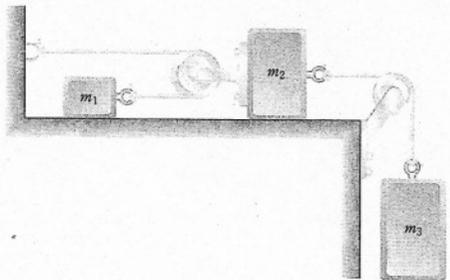
■46\*\* Nella figura P3.10, il coefficiente d'attrito è lo stesso sia sopra sia sotto il blocco di massa 700 g. Se  $a = 135$  cm/s<sup>2</sup> quando  $F = 1.90$  N, qual è il valore del coefficiente d'attrito?

Figura P3.10



■47\*\* Determinare le tensioni delle due corde e le accelerazioni dei blocchi di figura P3.11, nell'ipotesi che l'attrito sia trascurabile. Le pulegge sono prive di massa e di attrito,  $m_1 = 215$  g,  $m_2 = 500$  g e  $m_3 = 365$  g.

Figura P3.11



## ► 3.9 e 3.10

- 48\* Determinare l'accelerazione dei blocchi di figura P3.12 e la tensione della corda: (a) nell'ipotesi che l'attrito sia trascurabile, (b) nell'ipotesi che sia  $\mu = 0.25$ . Trovare l'espressione generale di  $a$  in funzione di  $m_1$  (la massa sul piano inclinato),  $m_2$ ,  $g$  e  $\mu$ .

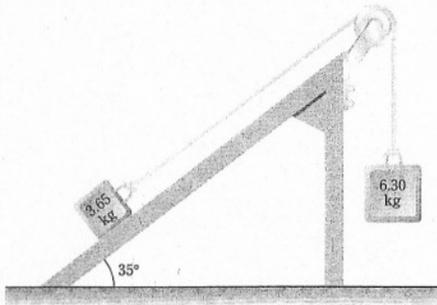


Figura P3.12

- 49\*\* La forza  $F$  in figura P3.13 spinge un blocco di massa  $M$ , che a sua volta spinge un altro blocco di massa  $m$ . Non c'è attrito tra  $M$  e la superficie di appoggio. Se il coefficiente d'attrito tra i due blocchi è  $\mu$ , quale deve essere l'intensità  $F$  perché il blocco di massa  $m$  non scivoli giù?

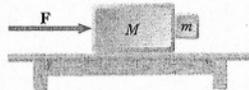


Figura P3.13

- 50\* La forza d'attrito che frena il moto di una scatola di massa 85 kg su un pavimento piano è di 365 N. (a) Qual è il coefficiente d'attrito tra la scatola e il pavimento? (b) Ammettendo che il coefficiente d'attrito non vari all'aumentare della velocità, qual è l'intensità dell'accelerazione che si può imprimere alla scatola tirandola con una forza di 660 N inclinata di 48° sopra l'orizzontale?

- 51\* (a) Determinare l'accelerazione del blocco di massa 2.85 kg in figura P3.14 nell'ipotesi che il coefficiente d'attrito tra il blocco e il piano d'appoggio sia 0.77. (b) Ripetere il calcolo nell'ipotesi che la forza di 50 N preme sul blocco dall'alto formando un angolo di 22.5° sotto l'orizzontale (cioè nell'ipotesi che la forza, rispetto a quella rappresentata in figura, abbia la stessa direzione e verso opposto).

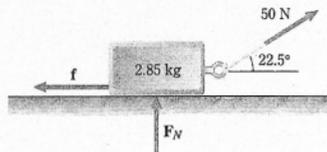


Figura P3.14

- 52\* Che intensità deve avere una forza parallela a un piano inclinato di 37° per imprimere a una scatola di massa 3.35 kg un'accelerazione pari a 1.85 m/s<sup>2</sup> in salita (a) se l'attrito è trascurabile, (b) se il coefficiente d'attrito è 0.45?

- 53\* Una scatola di massa 10.6 kg viene lasciata libera su un piano inclinato di 22° e scende con un'accelerazione di 0.37 m/s<sup>2</sup>. Determinare la forza d'attrito che si oppone al suo moto. Qual è il valore del coefficiente d'attrito?

- 54\* Una donna di massa 45 kg sta in piedi su una bilancia a molla all'interno di un ascensore. (La bilancia misura la forza con cui spinge verso l'alto la donna.) Che cosa segna la bilancia quando l'ascensore ha un'accelerazione (a) di 3.65 m/s<sup>2</sup> verso l'alto, (b) di 2.70 m/s<sup>2</sup> verso il basso?

- 55\* Una massa di 220 g è appesa a un filo; alla sua parte inferiore è attaccato un secondo filo cui è appesa una massa di 275 g. Determinare le tensioni dei due fili se le due masse (a) sono ferme, (b) hanno un'accelerazione di 16.5 m/s<sup>2</sup> verso l'alto, (c) si muovono verso il basso con un'accelerazione costante di 7.8 m/s<sup>2</sup>, (d) sono in caduta libera sotto l'azione della gravità, (e) si muovono verso il basso con una velocità costante di 10 m/s.

- 56\* Un blocco di massa 0.95 kg inizialmente fermo comincia a scivolare giù per un piano inclinato di 32°. Quale spazio percorre nei primi 2.7 s (a) se l'attrito è trascurabile, (b) se il coefficiente di attrito  $\mu$  tra il blocco e il piano inclinato è 0.50? *o la velocità*

- 57\* Un'automobile di massa 1250 kg è ferma su un pendio inclinato di 8.5° sull'orizzontale. Quale spazio percorre nei primi 8.0 s dopo che è stato tolto il freno (a) se l'automobile scende liberamente lungo il pendio, (b) se una forza d'attrito di 1600 N rallenta il suo moto?

## Problemi di riepilogo

- 58\*\* Due carrelli di masse  $M_1$  e  $M_2$  sono fermi su un binario dritto e orizzontale privo di attrito, a una distanza  $D$  l'uno dall'altro. Tra i due carrelli è tesa una fune. Gli occupanti del carrello 1 tirano la fune in modo che la sua tensione sia costante, e i due carrelli si muovono l'uno verso l'altro. (a) In che punto, rispetto alla posizione iniziale del carrello 2, si urtano i due carrelli? (b) Qual è il rapporto tra le loro velocità immediatamente prima dell'urto?

- 59\*\* Dimostrare che l'accelerazione di un'automobile che si muove su una strada orizzontale non può essere superiore a  $\mu g$ , ove  $\mu$  è il coefficiente d'attrito tra le gomme e la strada. Qual è l'analogo limite per l'accelerazione di un'automobile che sale lungo un piano inclinato di un angolo  $\theta$ ? Perché è controproducente far "bruciare le gomme" all'automobile quando sta slittando? Importa che l'automobile abbia due o quattro ruote motrici?

- 60\* Nella figura P3.15, una scatola di massa 4 kg è appoggiata su una superficie orizzontale ove i coefficienti di attrito statico e dinamico sono 0.8 e 0.6 rispettivamente. Sulla scatola viene esercitata una trazione di 50 N in una direzione che forma un angolo di 30° sopra l'orizzontale. (a) Qual è la forza normale che agisce sulla scatola? (b) Qual è l'accelerazione della scatola? (c) Rispondere nuovamente alle domande (a) e (b) nell'ipotesi che la forza venga invertita, cioè che si spinga la scatola in una direzione che forma un angolo di 30° sotto l'orizzontale.

(Suggerimento: non si deve supporre che la scatola sia già in movimento quando si comincia a spingerla.)

- 61\* Come mostra la figura P3.16, su un blocco di legno viene esercitata una forza orizzontale che lo spinge contro una parete pure di legno. La spinta è abbastanza intensa perché il blocco non cada. Se il coefficiente di attrito statico tra la parete e il blocco è 0.65, qual è l'intensità minima della forza che viene esercitata?

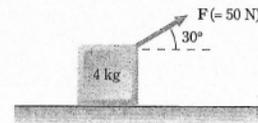


Figura P3.15

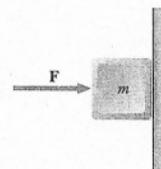


Figura P3.16

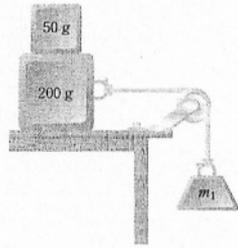


Figura P3.17

**62\*\*** Un passeggero di un grande bastimento in navigazione con il mare calmo appende una palla al soffitto della propria cabina per mezzo di un lungo filo. Egli nota che, ogniqualvolta la nave accelera, la palla rimane indietro rispetto al punto di sospensione, e il filo del pendolo non è più verticale. Qual è l'intensità dell'accelerazione della nave quando il pendolo forma un angolo di  $6.5^\circ$  con la verticale?

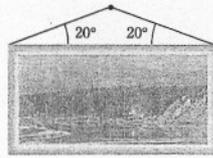
**63\*\*** Nella figura P3.17 una massa di 50 g è appoggiata su una massa di 200 g. Il coefficiente di attrito statico tra queste due masse è 0.3. La massa di 200 g è libera di muoversi su un tavolo orizzontale privo di attrito. Un filo connette la massa di 200 g con una massa  $m_1$ , passando su una puleggia di massa e di attrito trascurabili. Qual è il massimo valore di  $m_1$  per il quale la massa di 50 g rimane sopra quella di 200 g quando il sistema accelera?

# L'equilibrio statico

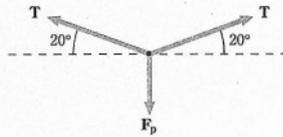
## ► Problemi svolti

### Problema svolto 1

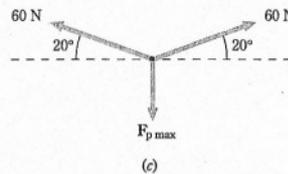
La figura P4.1 mostra un quadro appeso a una parete mediante due cordicelle, disposte a un angolo di  $20^\circ$  rispetto all'orizzontale. Ogni cordicella si rompe quando la tensione supera i 60 N. Qual è il peso massimo del quadro che esse possono reggere con questa disposizione?



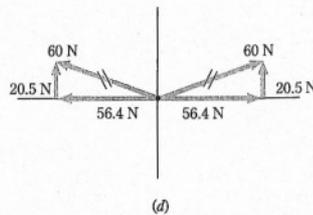
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura P4.1

Un quadro appeso e i suoi diagrammi di corpo libero. Nota come tale tipo di diagramma semplifichi l'illustrazione: il quadro è rappresentato da un punto materiale, che diventa il punto di applicazione delle due tensioni e del peso.

### Ragioniamo insieme

**Q** Qual è la relazione fra il peso massimo del quadro e le tensioni delle cordicelle?

**R** Nota in figura P4.1a la simmetria delle cordicelle; potete quindi assumere che esse abbiano la medesima tensione, indipendentemente dal peso del quadro. Il peso massimo sopportabile è quindi quello che produce una tensione di 60 N in ogni corda. La figura P4.1b mostra il diagramma di corpo libero nel caso generico di tensioni  $T$ . Quella della cordicella agganciata all'angolo sinistro del quadro è diretta verso destra e verso l'alto; quella dell'altra cordicella, verso sinistra e verso l'alto.

**Q** Quali sono le componenti cartesiane di ogni forza?

**R** Il peso  $F_p$  è tutto in direzione  $y$ . Ogni cordicella ha componenti di modulo:

$$T_x = T \cos 20^\circ = T(0.94) \quad e \quad T_y = T \sin 20^\circ = T(0.34)$$

**Q** Qual è il principio che lega  $F_{p \max}$  alle tensioni?

**R** La prima condizione per l'equilibrio, con  $T = 60$  N, valore per il quale le equazioni per le componenti danno  $T_x = 56.40$  N e  $T_y = 20.50$  N.

**Q** Quali equazioni ricaviamo dalla condizione per l'equilibrio?

**R**  $\Sigma F_x = 0$  equivale all'annullamento reciproco delle componenti orizzontali (figura P4.1d).  $\Sigma F_y = 0$  dà, invece:

$$20.5 \text{ N} + 20.5 \text{ N} - F_{p \max} = 0$$

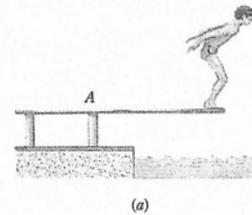
### Soluzione e discussione

$$F_{p \max} = 41 \text{ N}$$

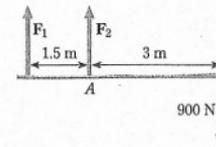
Nota che, quando sono disposte in questo modo, le cordicelle non riescono a reggere un peso pari alla loro tensione di rottura. Più sono vicine alla posizione orizzontale, minore è il peso che possono reggere senza cedere.

### Problema svolto 2

L'uomo rappresentato in figura P4.2, del peso di 900 N, sta per tuffarsi da un trampolino. Trovare le forze esercitate dai due piedistalli sul trampolino. Trascurare il peso di quest'ultimo.



(a)



(b)

Figura P4.2

### Ragioniamo insieme

**Q** Quali forze agiscono sul trampolino?

**R** Il peso dell'uomo, diretto verso il basso, e le forze verticali esercitate dai piedistalli.

**Q** Il peso dell'uomo è dato, ma non le forze dei piedistalli. In quale verso agiscono queste ultime?

**R** Non conosciamo il verso, ma sappiamo che *almeno una* deve essere diretta verso l'alto, altrimenti il trampolino crollerebbe. Ripetiamo, se scegliamo il verso sbagliato per una forza incognita nel diagramma di corpo libero, tutto quello che succederà è che otterremo un valore negativo per la sua intensità. Il diagramma di corpo libero del trampolino (figura P4.2b) mostra una possibile scelta per i versi di  $F_1$  e di  $F_2$ .

**Q** Che cosa risulta dalla prima condizione di equilibrio?

**R** Non ci sono forze orizzontali in questo caso, perciò  $\Sigma F_x = 0$  dà:

$$F_1 + F_2 - 900 \text{ N} = 0$$

- Q) Quale asse devo scegliere per calcolare i momenti delle forze?
- R) Ancora una volta, qualsiasi asse va bene. Scegliamo un asse passante per A, ad esempio, dove uno dei piedistalli tocca il trampolino.
- Q) Che cosa risulta dalla seconda condizione con questa scelta di asse?
- R)  $-(900 \text{ N})(3 \text{ m}) - F_1(1.5 \text{ m}) = 0$

Osserva che  $F_2$  non compare in questa equazione, perché il suo momento rispetto all'asse scelto è nullo.

**Soluzione e discussione**

L'equazione per i momenti dà  $F_1 = -1800 \text{ N}$ . Il valore negativo indica che il verso di  $F_1$  è opposto a quello scelto nel diagramma di corpo libero. Sostituendo questo valore nell'equazione della forza si ottiene quindi:

$$F_2 = 900 \text{ N} - (-1880 \text{ N}) = 2700 \text{ N}$$

Anche con una scelta sbagliata della direzione di  $F_1$ , quindi, otteniamo la risposta corretta purché rispettiamo i segni nei calcoli algebrici.

**Problema svolto 3**

Una persona regge un peso di 20 N come mostrato in figura P4.3a. Trovare la tensione del muscolo interessato e le componenti esercitate sul gomito. Le caratteristiche fisiche tipiche di avambraccio più mano (cioè dal gomito alla punta delle dita) sono: peso 65 N; lunghezza 35 cm; baricentro posizionato fra il gomito e il polso a 10 cm dal gomito; muscolo reggente attaccato a 3.5 cm dal gomito, con un angolo di 20° rispetto alla verticale.

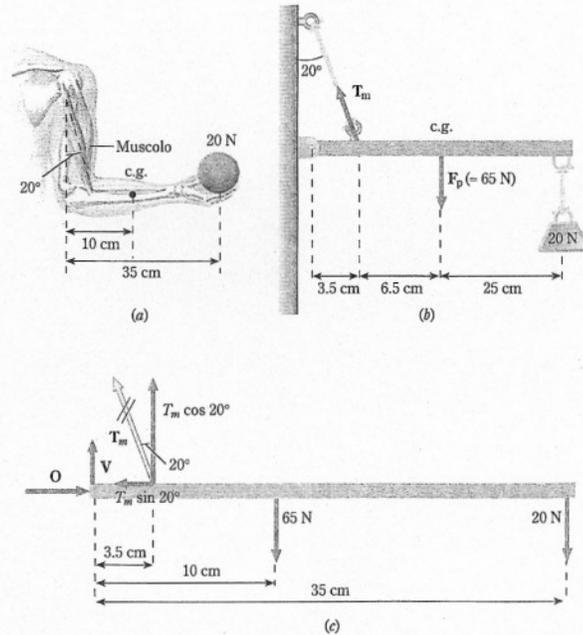


Figura P4.3  
Possiamo analizzare le forze nel braccio umano utilizzando i modelli in (b) e in (c).

**Ragioniamo insieme**

- Q) Quale oggetto vogliamo considerare in equilibrio?
- R) L'avambraccio più la mano, con un asse passante per il gomito.
- Q) Quali forze agiscono sull'avambraccio, e dove vanno posizionate nel diagramma di corpo libero?
- R) Osserva le figure P4.3b e c, che riportano schematizzate solo le forze essenziali di figura P4.3a. Nota la stretta somiglianza con la trave dell'esempio 4.4 della teoria: due situazioni apparentemente diverse sono ridotte a uno stesso problema. La potenza della fisica risiede anche nella sua capacità di semplificare e unificare situazioni apparentemente diverse attraverso questa riduzione ai termini fondamentali.
- Q) Quali equazioni otteniamo dalle condizioni per l'equilibrio?
- R) Usando come asse quello passante per il gomito, per il calcolo dei momenti si ha:

$$\begin{aligned} \Sigma F_x = 0: & \quad O - T_m \sin 20^\circ = 0 \\ \Sigma F_y = 0: & \quad V + T_m \cos 20^\circ - 65 \text{ N} - 20 \text{ N} = 0 \\ \Sigma \tau = 0: & \quad (T_m \cos 20^\circ)(0.035 \text{ m}) - (65 \text{ N})(0.10 \text{ m}) - (20 \text{ N})(0.35 \text{ m}) = 0 \end{aligned}$$

**Soluzione e discussione**

L'equazione per i momenti dà direttamente  $T_m = 410 \text{ N}$ . Sostituendo questo valore nelle due equazioni per le forze si ha:

$$O = 140 \text{ N} \quad V = -300 \text{ N}$$

dove il segno meno di  $V$  indica che il suo verso è opposto a quello stabilito a priori in figura P4.3c.

Tutte queste forze sono molto maggiori del peso dell'oggetto che la persona tiene in mano.

Sei in grado di mostrare che  $T_m$  aumenta molto quando il braccio viene disteso? Perché ci si stanca molto e in fretta a tenere un peso a braccio teso?

**► Problemi da svolgere**

**► 4.1 e 4.2**

- 1) Un cubo in legno del peso di 25 N è legato con una corda alla faccia inferiore di un altro cubo in legno, pesante 35 N. Quest'ultimo è appeso al soffitto mediante un'altra corda. Trovare la tensione della corda superiore e di quella inferiore.
- 2) Un libro di fisica (peso = 12.0 N) è in equilibrio sopra un dizionario (peso = 32 N), che è appoggiato su un tavolo. Trovare la forza con cui (a) il tavolo spinge sul dizionario e (b) il dizionario spinge sul libro di fisica.
- 3) Un oggetto è tirato da tre corde; due di queste esercitano la loro forza nel piano  $xy$  e sono rispettivamente di modulo 240 N e 320 N e di angolazione 30° e 120° (le misure degli angoli sono date secondo la solita convenzione valida per il piano  $xy$ ). Trovare la forza  $F$  della terza corda se l'oggetto deve rimanere in equilibrio.
- 4) Un corpo è sottoposto a tre forze nel piano  $xy$ : una di modulo 180 N disposta a 105°, una di modulo 75 N a un angolo di 240°, la terza è  $F$ . Trovare  $F$  con il sistema in equilibrio.
- 5) I due oggetti di figura P4.4, ciascuno pesante 90 N, sono appesi a una fune che passa su una puleggia priva di attrito. Quali sono le tensioni  $T_1$ ,  $T_2$  e  $T_3$ , se (a) il peso della puleggia è trascurabile; (b) la puleggia pesa 25 N?

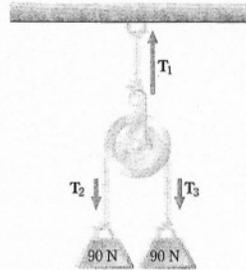


Figura P4.4

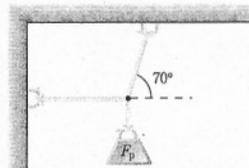


Figura P4.5

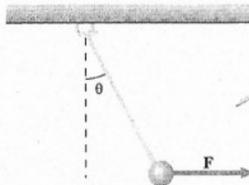


Figura P4.6

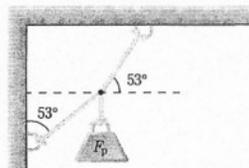


Figura P4.7

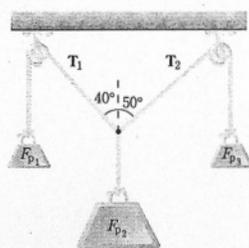


Figura P4.8

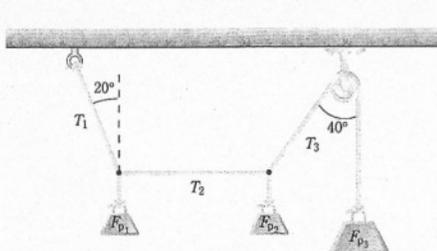


Figura P4.9

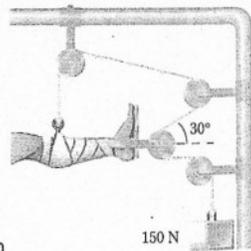


Figura P4.10

- 6 Il peso illustrato in figura P4.5 vale 1600 N. Qual è la tensione (a) nella corda orizzontale e (b) nella corda che arriva al soffitto?
- 7\* Se la tensione nella corda orizzontale di figura P4.5 vale in modulo 390 N, qual è il peso dell'oggetto?
- 8\* Il sistema di figura P4.6 raggiunge l'equilibrio per  $\theta = 30^\circ$  quando la forza orizzontale  $F$  vale 240 N. Qual è il peso dell'oggetto appeso all'estremità della corda?
- 9\* Se il corpo di figura P4.6 pesa 575 N, qual è l'angolo in cui si raggiunge l'equilibrio con una forza  $F = 310$  N?
- 10\* Qual è la tensione nel problema precedente?
- 11 Un bambino tiene ferma una slitta su una collina ricoperta di neve (priva di attrito) con un'inclinazione di  $30^\circ$  per mezzo di una cordicella parallela al terreno. La slitta pesa 100 N. Trovare la forza che il bambino deve esercitare sulla cordicella affinché la slitta resti in equilibrio.
- 12\* La tensione della corda attaccata alla parete verticale di figura P4.7 vale in modulo 72 N. Trovare (a) la tensione della corda agganciata al soffitto e (b) il peso  $F_p$ .
- 13\* Trovare le tensioni delle due corde del problema precedente, con  $F_p = 300$ .
- 14\* Tre oggetti di peso  $F_{p1}$ ,  $F_{p2}$  e  $F_{p3}$  sono in equilibrio come mostrato in figura P4.8; le pulegge sono prive di attrito, quindi non hanno effetto sulle tensioni delle corde. Se  $F_{p1}$  vale 720 N, trovare  $F_{p2}$  e  $F_{p3}$ .
- 15\* Nel problema precedente (figura P4.8), se  $F_{p2} = 300$  N, quanto valgono  $F_{p1}$  e  $F_{p3}$  quando il sistema è in equilibrio?
- 16\*\* Nella situazione di equilibrio di figura P4.9 si ha  $F_{p2} = 600$  N. Le pulegge sono prive di attrito e non hanno effetto sulle tensioni delle corde. Trovare i pesi  $F_{p1}$  e  $F_{p3}$ , nonché le tensioni nei tratti di fune  $T_1$  e  $T_2$ .
- 17\*\* Nel sistema in equilibrio di figura P4.9 la tensione  $T_1$  nella fune vale 1200 N. Trovare i pesi  $F_{p1}$ ,  $F_{p2}$  e  $F_{p3}$ .
- 18\* Una persona si rompe una gamba, che viene messa in trazione come mostra la figura P4.10. Nell'ipotesi che le pulegge siano prive di attrito, la tensione delle funi è la medesima in ogni punto, ossia 150 N. Quanto vale la forza che tiene in tensione la gamba? Quanto vale la forza, diretta verso l'alto, esercitata dal dispositivo sulla gamba e sul piede insieme?

266

PROBLEMI

- 19\* Le pulegge di figura P4.11 sono prive di attrito e di peso trascurabile. All'equilibrio  $F_{p1} = 600$  N. Trovare il peso  $F_{p2}$  e le tensioni nei tratti di fune  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  e  $T_4$ .

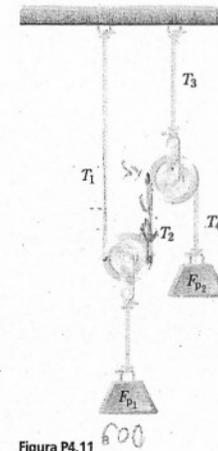


Figura P4.11



Figura P4.12

- 20\* Le pulegge di figura P4.12 sono prive di attrito e di peso trascurabile. Con quale forza l'uomo (di peso 540 N) deve tirare la corda per sollevarsi dal suolo?

► 4.3

- 21 Trovare i momenti, rispetto a un asse passante per  $A$ , delle forze mostrate in figura P4.13, dove la lunghezza della barra è  $L = 5.0$  m.
- 22 Trovare i momenti, rispetto a un asse passante per  $B$ , delle forze mostrate in figura P4.13, dove la lunghezza della barra è  $L = 8.0$  m.

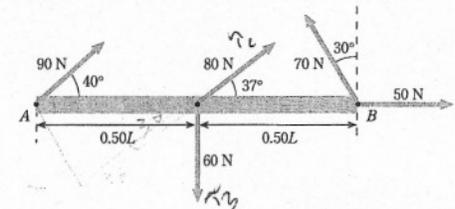


Figura P4.13

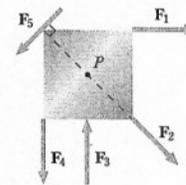


Figura P4.14

- 23 Per ognuna delle forze di figura P4.14, qual è (a) il braccio, (b) il momento rispetto all'asse per  $P$ ? Il lato del quadrato misura 4 m.
- 24\* La manovella di un pedale di bicicletta è lunga 16 cm. Se una ragazza che pesa 360 N appoggia tutto il suo peso su un pedale, quale momento viene a prodursi (a) quando la manovella è orizzontale e (b) quando il pedale è a  $30^\circ$  dal punto più alto?
- 25 I bulloni su un motore di motocicletta richiedono un momento di 80 N m. Quale forza deve esercitare un meccanico su una pinza lunga 20 cm per riuscire a svitarli?

■26 Un tuffatore, del peso di 500 N, è in piedi all'estremità di un trampolino lungo 4 m. Qual è il momento del peso del tuffatore rispetto a un asse passante per il punto medio del trampolino?

■27\* La lancetta dei minuti di un orologio sfrega con la punta sulla parete interna del vetro. La forza d'attrito fra la punta e il vetro è di 0.04 N, mentre la lunghezza della lancetta è 5 cm. Qual è il minimo momento che si deve applicare alla lancetta dei minuti se non si vuole che l'orologio si fermi?

■28 Due sfere, pesanti rispettivamente 200 N e 240 N, sono appese alle estremità di una barra rigida lunga 1.2 m e di peso trascurabile. In quale punto si dovrebbe appoggiare la barra su di un supporto sottile perché rimanga orizzontale?

■29 Quanto deve essere grande la forza  $F$  da applicare verticalmente ai manici della carriola di figura P4.15 per riuscire a sollevare un peso di 600 N applicato nel centro di gravità indicato? Assumere come lunghezze  $a = 0.8$  m e  $b = 0.2$  m.

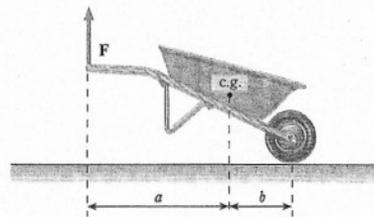


Figura P4.15

■30 Due bambini giocano su di un'altalena a bilanciere. Uno pesa 400 N ed è seduto a 1.2 m dal centro, l'altro pesa 480 N; a quale distanza dal centro si deve sedere quest'ultimo?

■31\* Le funi verticali di figura P4.16, con tensioni  $T_1$  e  $T_2$  reggono due pesi  $F_{p1}$  e  $F_{p2}$  alle estremità di un'asse di peso trascurabile. Trovare i valori di  $F_{p1}$  e  $T_2$ , sapendo che  $T_1 = 240$  N e  $F_{p2} = 280$  N.

■32\* L'asse omogenea di peso 200 N mostrata in figura P4.16 è retta da due funi. Se ognuna delle funi può sopportare una tensione di 900 N e se  $F_{p2}$  deve essere il doppio di  $F_{p1}$ , qual è il massimo valore possibile per  $F_{p1}$ ? (Le funi che reggono i pesi sono sufficientemente robuste da non rompersi.)

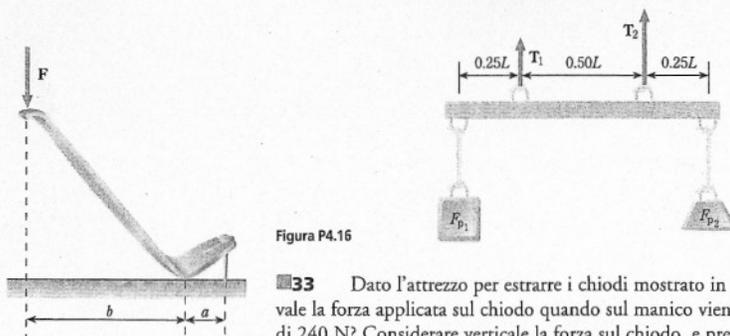


Figura P4.16

■33 Dato l'attrezzo per estrarre i chiodi mostrato in figura P4.17, quanto vale la forza applicata sul chiodo quando sul manico viene esercitata una forza di 240 N? Considerare verticale la forza sul chiodo, e prendere come lunghezze  $a = 0.3$  cm e  $b = 5$  cm.

Figura P4.17

► 4.4 e 4.5

■34\* Per individuare il centro di gravità di una persona, la si dispone su due bilance, come mostrato in figura P4.18. Le bilance danno come letture 260 N e 200 N rispettivamente (peso netto della persona). Trovare la posizione  $x$  del baricentro se la lunghezza della persona è  $L$ .

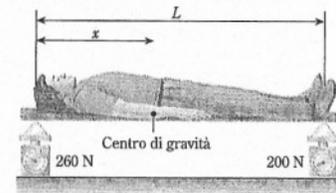


Figura P4.18

■35\* La trave omogenea di figura P4.19 pesa 280 N. Trovare: (a) la tensione nella fune più in alto, (b) le componenti orizzontale e verticale  $O$  e  $V$  della forza esercitata dal perno se il peso dell'oggetto è  $F_p = 840$  N.

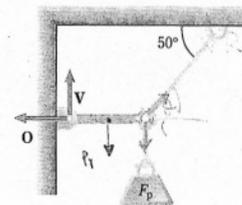


Figura P4.19

■36\* La trave omogenea di peso 450 N di figura P4.20 regge un carico nel modo mostrato. (a) Quanto può essere pesante il carico se la fune orizzontale è in grado di reggere 2800 N? (b) Quanto valgono i moduli dei componenti orizzontale e verticale della forza alla base della trave?

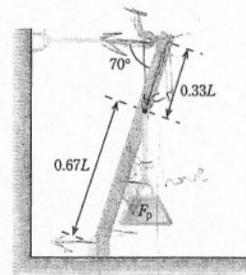


Figura P4.20

■37\*\* Una scala omogenea pesante 240 N e lunga 8 m è appoggiata contro un muro liscio (senza attrito). Il coefficiente di attrito statico fra scala e terreno è 0.7, e la scala crea un angolo di 45° con l'orizzontale. Sino a quale lunghezza, misurata sulla scala, può salire un pompiere pesante 800 N prima di cadere?

■38\* Un lavavetri di peso 800 N è in piedi su un'impalcatura sorretta alle estremità da due cavi verticali. L'impalcatura è uniforme, pesa 300 N ed è lunga 4 m. Trovare la tensione in ciascun cavo quando il lavavetri si trova a 1.6 m da un'estremità dell'impalcatura.

■39\*\* Quando una persona sta sulla punta dei piedi, la situazione è quella rappresentata in figura P4.21. L'intensità di  $F$ , la spinta sul pavimento, sarà uguale al peso della persona quando questa sta su un piede solo. Se la persona pesa 720 N, trovare (a) la tensione del tendine di Achille e (b) le componenti  $O$  e  $V$  alla caviglia.

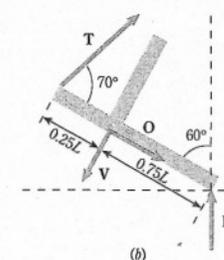


Figura P4.21

■40\*\* Il peso di figura P4.22 vale 960 N, mentre la tensione nel tratto  $T_3$  è pari a 840 N. Trovare le tensioni nei tratti  $T_1$  e  $T_2$ , il peso  $F_p$  e la forza con cui la trave spinge sul perno privo di attrito alla sua base.

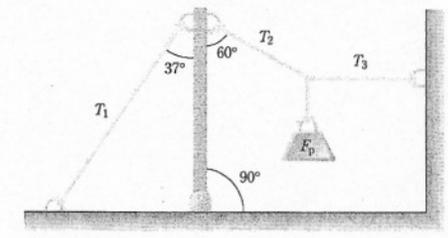


Figura P4.22

► 4.6 e 4.7

■41\* Il blocco omogeneo di figura P4.23 è alto due volte e mezzo la sua larghezza. L'attrito impedisce al blocco di scivolare. Se si aumenta gradualmente l'angolo  $\theta$ , a quale inclinazione il blocco si ribalterà?

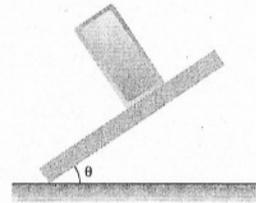


Figura P4.23

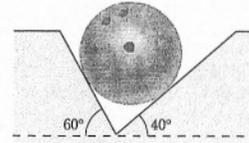


Figura P4.24

■42\*\* La palla da bowling mostrata in figura P4.24 pesa 80 N ed è ferma contro le pareti di una scanalatura priva di attrito. Quanto valgono le forze esercitate dalle pareti sulla palla?

(Suggerimento: considerare la palla come una sfera omogenea.)

■43\*\* In figura P4.25, una barra omogenea di lunghezza  $L$  e peso  $F_p$  fuoriesce da un disco di raggio  $b$  che è libero di ruotare intorno a un asse. Quale peso  $F'_p$  deve avere un oggetto appeso al bordo del disco perché il sistema sia in equilibrio nella posizione indicata in figura?

■44\*\* La barra rigida di figura P4.26, di peso trascurabile, è lunga  $L$ ; alle estremità vi sono due dischi molto piccoli privi di attrito che possono rotolare lungo i lati obliqui del triangolo equilatero. Due pesi,  $F_p$  e  $F'_p$ , sono appesi alla barra, ciascuno a distanza  $0.25L$  dall'estremità. La barra raggiunge l'equilibrio a un angolo  $\theta = 12^\circ$  sull'orizzontale. Trovare il rapporto  $F'_p/F_p$ .

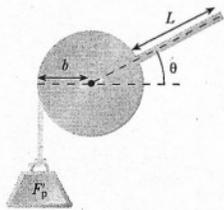


Figura P4.25

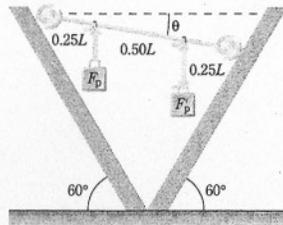


Figura P4.26

■45\*\* Le tre masse di figura P4.27 sono disposte ai vertici di un triangolo equilatero, tenute in posizione da tre piccole bacchette di peso trascurabile. Se sospendiamo il sistema rigido mediante una corda attaccata a  $m_3$ , a quale angolo rispetto alla verticale si verrà a trovare il lato che unisce  $m_3$  a  $m_2$ ?

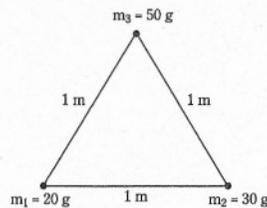


Figura P4.27

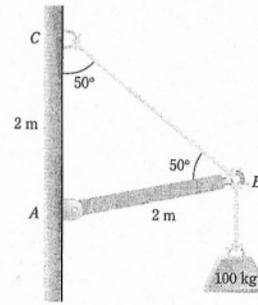


Figura P4.28

**Problemi di riepilogo**

■46\*\* L'argano di figura P4.28 consiste in una trave omogenea lunga 2 m libera di ruotare intorno a un asse per  $A$ . All'altra estremità,  $B$ , viene attaccato un cavo che termina nel gancio in  $C$ , 2 m sopra  $A$ . L'argano, che ha una massa di 20 kg, regge una massa di 100 kg agghiacciata in  $B$  ed è in equilibrio nella posizione illustrata. Trovare (a) le forze verticale e orizzontale esercitate sulla trave nel punto  $A$  e (b) la tensione nel cavo  $BC$ .

■47\* Due amici vogliono segare un albero, ma vogliono essere certi che questo non cada sulla casa. Sanno di potere esercitare una forza di soli 425 N, che potrebbe non essere sufficiente a impedire la caduta dell'albero sulla casa. Poiché uno di loro è uno studente di fisica e conosce le componenti delle forze, lega un'estremità di una corda all'albero da segare, e l'altra a un secondo albero situato in direzione opposta alla casa. Spinge quindi lateralmente nel mezzo della corda con una forza di 425 N, come in figura P4.29. Questo fa sì che la corda assuma un angolo di  $8^\circ$  rispetto alla retta fra i due alberi. In conclusione, quale forza è in grado di esercitare in verso opposto a quella della casa?

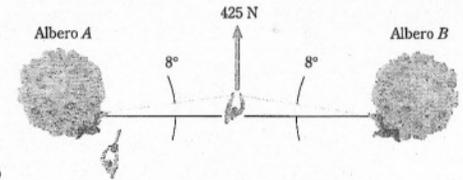


Figura P4.29

■48\*\* Si sta facendo rotolare un cilindro lungo il pavimento piano, e si incontra un gradino alto 18.0 cm, come mostrato in figura P4.30. Per far superare il gradino al cilindro, si applica una forza orizzontale  $F$  alla sommità del cilindro; se quest'ultimo ha raggio 52.5 cm e pesa 1230 N, qual è la forza minima che riuscirà a far rotolare il cilindro sul gradino?

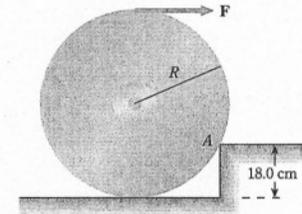


Figura P4.30

■49\* Un'asse omogenea di massa 13.6 kg e lunghezza 4.4 m sporge da una piattaforma per una distanza di 1.4 m. Se un cucciolo di 9.6 kg cammina sull'asse, quanto potrà avvicinarsi all'estremità senza che l'asse si rovesci?

■50\*\* Per spostare il pesante scatolone di figura P4.31 (omogeneo, di massa  $M$  e lunghezza  $L$ ) su per una rampa di scale, due persone afferrano lo scatolone da due parti opposte e applicano forze verticali sul fondo. Una persona precede l'altra sulle scale, di modo che lo scatolone forma un angolo di  $37^\circ$  sull'orizzontale; le forze  $F_1$  e  $F_2$  che insieme esercitano sono mostrate in figura. Supporre che la scatola sia omogenea, abbia massa  $M$ , lunghezza  $L$  e altezza  $h = 0.4 L$ . Quale delle due persone esercita la forza maggiore?

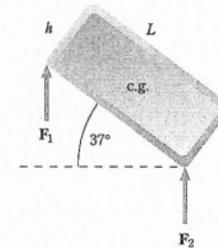


Figura P4.31

# Lavoro ed energia

## ► Problemi svolti

### Problema svolto 1

Una fune che solleva lo schedario di figura P5.1, di massa 40 kg, lo deve accelerare da fermo sino a una velocità di 0.30 m/s in una distanza di 50 cm. Usare il teorema dell'energia cinetica per ricavare la tensione richiesta della fune.

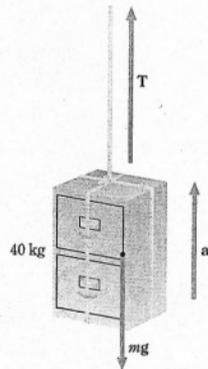


Figura P5.1

#### Ragioniamo insieme

- Q In che modo la tensione della fune entra in gioco nel teorema dell'energia cinetica?
- R La tensione è una delle forze che compongono la forza risultante; quest'ultima compie un lavoro pari alla variazione di energia cinetica.
- Q Qual è la forza risultante che agisce sullo schedario?
- R  $T - mg$ . Questa forza deve essere diretta verticalmente verso l'alto affinché l'oggetto acceleri in quella direzione e verso.
- Q Quanto vale il lavoro compiuto da questa forza?
- R Poiché  $F_{\text{ris}}$  e lo spostamento  $s$  sono paralleli, abbiamo  $\cos \theta = 1$  e quindi  $L = (T - mg) s$ .
- Q Quale equazione ci fornisce il teorema dell'energia cinetica?
- R  $(T - mg) s = \frac{1}{2} m v_f^2 - 0$ , con  $T$  come unica incognita.

#### Soluzione e discussione

Risolvendo la precedente equazione rispetto a  $T$ , si ha:

$$T = \frac{\frac{1}{2} m v_f^2}{s} + mg = \frac{\frac{1}{2} (40 \text{ kg}) (0.30 \text{ m/s})^2}{0.50 \text{ m}} + (40 \text{ kg}) (9.8 \text{ m/s}^2) = 396 \text{ N}$$

Osserva che il lavoro compiuto dalla tensione è:

$$T s = (396 \text{ N}) (0.50 \text{ m}) = 198 \text{ J}$$

Il lavoro compiuto dalla forza di gravità è:

$$-mgs = -(40 \text{ kg}) (9.8 \text{ m/s}^2) (0.50 \text{ m}) = -196 \text{ J}$$

### Problema svolto 2

Un'auto di massa 900 kg si muove su di una strada orizzontale a 20 m/s quando vengono azionati i freni e l'auto si arresta in 30 m. Usare i concetti di lavoro ed energia per trovare la forza di attrito fra le gomme e la strada.

#### Ragioniamo insieme

- Q L'estensione del teorema dell'energia cinetica dovrebbe applicarsi in generale. Qual è il sistema da studiare?
- R Se scegliamo come sistema l'auto più la strada, possiamo dire che  $L_{\text{est}} = 0$ .
- Q Come entra la forza di attrito nel teorema di conservazione dell'energia?
- R L'opposto del lavoro fatto dalla forza di attrito bilancia l'aumento di energia interna del sistema:

$$L_{\text{attr}} = \Delta U$$

- Q Quali altre variazioni energetiche abbiamo?
- R  $E_p$  non varia, perché l'auto si muove orizzontalmente;  $E_c$  diminuisce passando dal valore iniziale a zero.
- Q Quale equazione otteniamo dal teorema di conservazione dell'energia?
- R  $\Delta E_c + \Delta U = 0$ , che diventa:

$$\left(0 - \frac{1}{2} m v_i^2\right) + f s = 0$$

dove  $s = 30 \text{ m}$ . Si noti che  $f s = -L_{\text{attr}}$ .

#### Soluzione e discussione

Risolvendo rispetto a  $f$ , otteniamo:

$$f = \frac{m v_i^2}{2s} = \frac{(900 \text{ kg}) (20 \text{ m/s})^2}{2 (30 \text{ m})} = 6000 \text{ N}$$

### Problema svolto 3

Un vagoncino delle montagne russe di massa 300 kg parte da fermo nel punto A di figura P5.2 e scivola lungo i binari. Se la forza di attrito ritardante è pari a 20 N, quanto velocemente si muove il vagoncino (a) nel punto B e (b) nel punto C?

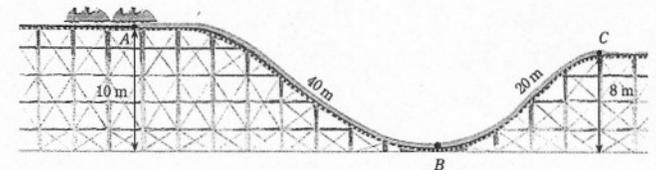


Figura P5.2

#### Parte (a)

##### Ragioniamo insieme

- Q Quali variazioni subiscono  $E_p$  ed  $E_c$  da A a B?
- R  $E_p$  varia di  $mg \Delta h$ , dove  $\Delta h = -10 \text{ m}$ ;  $E_c$  varia da 0 a  $\frac{1}{2} m v_B^2$ , dove  $v_B$  è l'incognita che cerchiamo.
- Q Dobbiamo includere nel sistema i binari?
- R Come nel problema precedente, siamo liberi di scegliere; l'importante è tenere correttamente conto della forza di attrito.

Questa volta scegliamo come sistema il solo vagoncino. Quale termine include l'attrito nell'equazione di conservazione dell'energia?

Trattando l'attrito come forza esterna, abbiamo  $L_{\text{est}} = -fs$ , dove  $s = 40$  m lungo i binari, da  $A$  a  $B$ .

Quale equazione risulta dalla conservazione dell'energia?

$$-fs = \left( \frac{1}{2} m v_B^2 - 0 \right) + mg \Delta h$$

**Soluzione e discussione**

Risolviendo rispetto a  $v_B$  e inserendo nell'equazione i dati, otteniamo:

$$v_B = \left[ \frac{2(9.8 \text{ m/s}^2)(10 \text{ m}) - 2(20 \text{ N})}{(40 \text{ m})(300 \text{ kg})} \right]^{1/2} = 13.8 \text{ m/s}$$

**Parte (b)**

**Ragioniamo insieme**

Per trovare  $v_C$  bisogna partire nuovamente da  $A$ ?

Possiamo partire sia da  $A$  sia da  $B$ , usando le condizioni in ciascun punto come condizioni iniziali. Se scegliamo  $A$ , non è necessario sapere che cosa succede in  $B$  per risolvere il problema rispetto a  $C$ .

Quanto varia  $E_p$  tra  $A$  e  $B$ ? E tra  $B$  e  $C$ ?

$\Delta E_p = mg \Delta h$ ; da  $A$  a  $C$ ,  $\Delta h = -2$  m; da  $B$  a  $C$ ,  $\Delta h = +8$  m.

Quanto lavoro è compiuto dall'attrito tra  $A$  e  $B$ ? E tra  $B$  e  $C$ ?

$L_{\text{est}}$  dipende dalla distanza; da  $A$  a  $C$ ,  $L_{\text{est}} = -(20 \text{ N})(60 \text{ m}) = -1200 \text{ J}$ ; da  $B$  a  $C$ ,  $L_{\text{est}} = -(20 \text{ N})(20 \text{ m}) = -400 \text{ J}$ .

Qual è la variazione di  $E_c$  da  $A$  a  $C$  e da  $B$  a  $C$ ?

In  $A$  abbiamo trovato che il vagoncino si muove con velocità  $13.8$  m/s, che rappresenta la velocità iniziale per il tratto  $BC$ :

$$\Delta E_c^{BC} = \frac{1}{2} m [v_C^2 - (13.8 \text{ m/s})^2]$$

e

$$\Delta E_c^{AC} = \frac{1}{2} m v_C^2 - 0$$

**Soluzione e discussione**

La conservazione dell'energia ci dà:

$$AC: -1220 \text{ J} = \frac{1}{2} m v_C^2 + mg(-2 \text{ m})$$

$$BC: -400 \text{ J} = \frac{1}{2} m v_C^2 - \frac{1}{2} m (13.8 \text{ m/s})^2 + mg(8 \text{ m})$$

È facile dimostrare che  $v_C = 5.6$  m/s in entrambi i casi.

C'è da notare che  $\Delta E_p$  dipende soltanto dalla differenza tra le quote di  $A$  e di  $B$ , mentre  $L_{\text{est}}$  (e  $\Delta U$ , se scegliamo di includere i binari nel sistema) dipende dall'effettiva *distanza lungo il cammino* seguito da  $A$  a  $B$ . In altre parole, le variazioni di energia dovute alle forze conservative dipendono dalle posizioni iniziale e finale, quelle dovute alle forze non conservative dipendono dal cammino seguito.

### Problema svolto 4

Una sfera di massa  $2.000$  kg cade in una cassa di sabbia da un'altezza di  $10.00$  m (figura P5.3), fermandosi a  $3.00$  cm sotto la superficie della sabbia. Quanto vale la forza media esercitata su di essa dalla sabbia?

**Ragioniamo insieme**

Quale principio coinvolge la forza media esercitata dalla sabbia?

Se scegliamo come sistema quello di sabbia + sfera, il principio di conservazione dell'energia includerà il termine:

$$\Delta U = f_{\text{sabbia}} (0.030 \text{ m})$$

A quale livello dobbiamo fissare lo zero dell'energia potenziale,  $A$ ,  $B$  o  $C$ ?

Possiamo scegliere uno qualsiasi dei tre punti, ma poiché non è richiesto di conoscere la velocità in  $B$ , converrebbe scegliere proprio questo punto.

Se scegliamo  $A$  come punto di riferimento, quanto valgono  $\Delta E_c$  e  $\Delta E_p$  fra i punti  $A$  e  $C$ ?

La sfera è ferma in entrambi i punti, per cui  $\Delta E_c = 0$ .

In base alla conservazione dell'energia, non ha importanza che tra i due punti ci sia movimento. Per l'energia potenziale risulta:

$$\Delta E_p = mg(h_C - h_A) = mg(-10.03 \text{ m})$$

Quanto vale  $L_{\text{est}}$ ?

$L_{\text{est}} = 0$ , poiché abbiamo incluso la sabbia nel sistema.

Quale equazione si ottiene dal principio di conservazione dell'energia?

Otteniamo l'equazione:

$$\Delta E_p + \Delta E_c + \Delta U = 0, \text{ con } \Delta U = -L_{\text{attr}}$$

**Soluzione e discussione**

In questo caso, con  $\Delta E_c = 0$ , tutta l'energia potenziale iniziale viene convertita in energia interna della sfera e della sabbia:

$$\Delta U = -\Delta E_p = (2.000 \text{ kg})(9.800 \text{ m/s}^2)(10.03 \text{ m}) = 196.6 \text{ J}$$

Quindi:

$$f_{\text{sabbia}} = \frac{196.6 \text{ J}}{0.030 \text{ m}} = 6550 \text{ N}$$

### Problema svolto 5

L'attrito statico fra gli pneumatici di un'auto e la strada permette alla macchina di accelerare quando il motore applica un momento alle ruote. Supponiamo che l'auto mostrata in figura P5.4, di massa  $2000$  kg, acceleri da ferma sino a  $15.0$  m/s in uno spazio di  $80$  m su una strada piana. In questo intervallo l'aria e i cuscinetti dell'auto esercitano una forza di attrito media di  $500$  N che si oppone al moto. (a) Quale forza deve esercitare la strada sull'auto perché abbia l'accelerazione indicata? (b) Quale potenza media eroga tale forza se l'accelerazione dell'auto è costante?

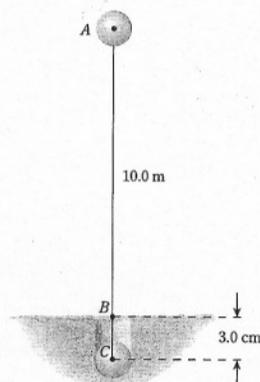


Figura P5.3

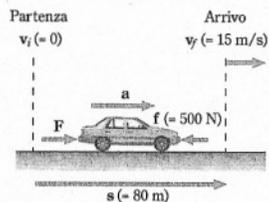


Figura P5.4

**Parte (a)****Ragioniamo insieme**

■ Che cosa dobbiamo includere nel sistema in esame?

■ L'auto e l'aria. In tal modo le forze di attrito, pari a 500 N, sono interne, e si riflettono in  $\Delta U$ .

■ Che cosa possiamo dire dell'attrito statico tra la strada e le gomme?

■ L'attrito statico non produce energia interna. La parte di pneumatico che tocca l'asfalto non scivola sulla superficie della strada; lo pneumatico rotola, di modo che a contatto con la strada c'è sempre una nuova parte della gomma. Se consideriamo la strada esterna al sistema, possiamo calcolare il lavoro fatto dalla forza di attrito statico in questo punto di contatto. Tale lavoro compare come  $L_{\text{est}}$  nell'equazione di conservazione dell'energia.

■ Che variazioni subiscono le altre forme di energia?

■  $E_p$  non varia, perché la strada è orizzontale; per l'energia cinetica si ha:

$$\Delta E_c = \frac{1}{2} (200 \text{ kg}) (15.0 \text{ m/s})^2 - \Delta U = (500 \text{ N}) (80 \text{ m})$$

■ Che cosa ricaviamo dalla conservazione dell'energia?

■  $L_{\text{est}} = F(80 \text{ m}) = \Delta E_c + \Delta E_p$

**Soluzione e discussione**

Dall'equazione di conservazione dell'energia, abbiamo:

$$L_{\text{est}} = 225\,000 \text{ J} + 40\,000 \text{ J} = 265\,000 \text{ J}$$

Il primo termine rappresenta la variazione di  $E_c$ , il secondo l'energia termica creata dalla resistenza dell'aria e dall'attrito interno all'auto. La forza  $F$  applicata alle aree di contatto strada/pneumatici si trova dalla relazione:

$$L_{\text{est}} = F(80 \text{ m}) = 265\,000 \text{ J}$$

Perciò,  $F = 3310 \text{ N}$ .

**Parte (b)****Ragioniamo insieme**

■ Qual è la relazione fra la potenza sviluppata dalla forza e la forza stessa?

■ La potenza è energia fratto tempo o velocità di produzione di energia. In questo caso la potenza è il lavoro fatto da  $F$  diviso il tempo impiegato a coprire gli 80 m.

■ Come possiamo determinare il tempo impiegato?

■ L'accelerazione è costante per ipotesi, per cui si applicano le leggi del moto uniformemente accelerato.

In particolare,  $s = \bar{v}t$ , dove  $s = 80 \text{ m}$  e  $\bar{v} = \frac{v}{2} = 7.5 \text{ m/s}$ .

**Soluzione e discussione**

Il tempo impiegato per percorrere gli 80 m è:

$$t = \frac{s}{v/2} = \frac{80 \text{ m}}{7.5 \text{ m/s}} = 10.7 \text{ s}$$

La potenza media sviluppata da  $F$  è pertanto:

$$\bar{W} = \frac{L_{\text{est}}}{t} = \frac{265\,000 \text{ J}}{10.7 \text{ s}} = 24\,800 \text{ W} = 33.7 \text{ CV}$$

Attenzione, questa è la potenza *media*. Poiché  $W = Fv$ , la potenza spesa aumenta con la velocità.

Circa il 25% della potenza del motore di un'auto viene effettivamente convertito in energia cinetica, cosicché il motore dovrebbe essere in grado di erogare  $4 \times (33.7 \text{ CV}) = 135 \text{ CV}$  per consentire il moto descritto.

**► Problemi da svolgere****► 5.1**

■1 Quanto lavoro viene compiuto per spingere una cassa per 2 m su di una tavola con una forza orizzontale di 35 N?

■2 Per spingere una carrozzina è richiesta una forza di 240 N a un angolo di 30° sull'orizzontale. Quanto lavoro viene compiuto se la carrozzina viene spinta per 10 m?

■3 Una donna spinge una falciatrice con una forza di 180 N a un angolo di 24° sotto l'orizzontale. Quanto lavoro esegue spingendo l'attrezzo per una distanza orizzontale di 50 m?

■4 Un'auto di massa 1250 kg frena arrestandosi in 36 m. Se il coefficiente di attrito è 0.7, quanto vale la forza di attrito fra i quattro pneumatici che frenano e l'asfalto? Quanto lavoro viene compiuto dall'attrito sull'auto?

■5 Un elevatore solleva un peso di 400 N dal livello del terreno a una quota di 1.8 m. Ipotizzando che il sollevamento avvenga a velocità costante, quanto lavoro compie?

■6 Un uomo solleva un secchio pesante 200 N a velocità costante in un pozzo. Se compie un lavoro di 8 kJ per portare in superficie il secchio, quanto è profondo il pozzo?

■7 Il portiere di un condominio compie un lavoro pari a 360 J contro una forza di attrito di 20 N per spingere una lucidatrice su di un pavimento in 4.5 s. Ipotizzando che la lucidatrice si muova a velocità costante, quanto vale questa velocità?

■8 Uno studente applica una forza orizzontale costante  $F$  a uno scatolone di libri di 30 kg, spingendolo sul pavimento del suo dormitorio a velocità costante. Se il coefficiente di attrito tra scatolone e pavimento è 0.5, quanto lavoro compie spingendo per 8 m?

■9 Quanto lavoro di sollevamento viene fatto da una persona di 60 kg per salire una scala di 6 m?

■10 Una cesta di 80 kg viene spinta per 3.5 m su un piano inclinato privo di attriti che forma un angolo di 24° con l'orizzontale. Quanto lavoro comporta questa operazione? Assumere una velocità costante.

■11 Nel problema precedente quanto lavoro sarebbe richiesto se il coefficiente di attrito fosse 0.3 e la forza fosse parallela al piano?

■12 Facendo variare l'angolo di inclinazione di un piano inclinato, un operaio scopre che uno scatolone di 50 kg scivola sul piano a velocità costante quando l'angolo vale 36°. Quanto lavoro compie la forza di attrito sullo scatolone se questo scivola per 2.5 m?

■13 Qual è la potenza in cavalli-vapore di una lampadina da 100 W?

■14 Quale potenza, in watt, è richiesta per spingere un carrello da supermercato carico con una forza orizzontale di 50 N per una distanza orizzontale di 20 m in 5 s?

■15 Una forza di attrito di 20 N si oppone allo scivolamento di uno scatolone di 6 kg su di un pavimento orizzontale. Quale potenza viene fornita allo scatolone per spingerlo sul pavimento alla velocità costante di 0.6 m/s?

**► 5.2**

## ► 5.3 e 5.4

- 16 Una macchina solleva una cesta di 240 kg a velocità costante per un'altezza di 5 m in 6 s. Qual è la potenza erogata dalla macchina?
- 17 Un motore marino richiede 100 CV per muoversi alla velocità costante di 15.8 m/s. Qual è la resistenza dovuta all'acqua a quella velocità?
- 18 Un trattore può trainare un carico con una forza costante di 12 000 N mentre si muove a velocità pari a 2.5 m/s. Quale potenza, in W e in CV, sviluppa in queste condizioni?
- 19 A quale velocità media dovrebbe salire uno studente di 64 kg su una fune di 5 m per eguagliare in potenza una lampadina da 150 W?
- 20 Per sollevare dell'acqua da un pozzo per un'altezza di 3 m al ritmo di 0.6 kg/min serve una pompa. Quale deve essere la potenza minima in W e in CV?
- 21 Un motore elettrico che può sviluppare 1.6 CV di potenza viene impiegato per sollevare un contenitore di 20 kg per un'altezza di 8 m. Qual è il tempo minimo che impiegherà?
- 22 Un elevatore ha un motore di 11 CV di potenza. Qual è il massimo carico che può alzare con velocità uniforme per un'altezza di 36 m in 10 s?
- 23 Qual è l'energia cinetica di un'auto di 2000 kg che viaggia a 20 m/s?
- 24 Qual è il rapporto fra l'energia cinetica di un'automobile che viaggia a 100 km/h e quella di un'altra auto con la stessa massa ma viaggiante a velocità di 25 m/s?
- 25 Quanto lontano può andare un proiettile da 1.2 g con energia cinetica pari a 1.2 J in 2.0 s?
- 26 A quale velocità dovrebbe correre un atleta di 72 kg per possedere la stessa energia cinetica di un'auto da 1200 kg che viaggia a 2.0 km/h?
- 27 Quanto lavoro è richiesto per incrementare la velocità di un'auto da 800 kg da 15 m/s a 20 m/s? Confrontare il risultato con il lavoro necessario per incrementare ulteriormente la velocità della stessa quantità, ma da 20 a 25 m/s. Trascurare le forze di attrito.
- 28 Quale forza serve per accelerare un protone ( $m = 1.67 \times 10^{-27}$  kg) da zero a  $3 \times 10^7$  m/s in 2.0 cm?
- 29 Un acceleratore di particelle, noto come generatore Van der Graaf, può accelerare un fascio di protoni ( $m = 1.67 \times 10^{-27}$  kg) da zero a  $10^7$  m/s. Se una simile macchina accelera  $3.6 \times 10^{16}$  protoni al secondo, quanti watt di potenza produce?
- 30 Un lanciatore di baseball lancia una palla alla velocità di 130 km/h. Se la massa della palla da baseball è di 160 g, qual è la sua energia cinetica?
- 31 Un veicolo di massa 1000 kg viaggia alla velocità di 18 m/s. Quale lavoro devono fare i freni per portare il veicolo ad arrestarsi in 24 m?
- 32 Un proiettile di 1.5 g con velocità pari a 400 m/s colpisce un blocco di legno e si arresta a una profondità di 5 cm. (a) Quanto vale la forza decelerante? (b) Quanto tempo impiega per arrestare il proiettile?
- 33 Un giocatore di football americano di 90 kg che corre a 6 m/s viene placcato da un giocatore avversario dopo aver percorso 1.8 m. (a) Quanto vale la forza media esercitata dall'avversario? (b) Quanto tempo impiega per fermare il giocatore?
- 34 Un ragazzino dà un calcio alla sua slitta di 8 kg su un pendio ghiacciato, imprimendole una velocità iniziale di 2 m/s. Il coefficiente di attrito dinamico fra il fondo della slitta e il ghiaccio è 0.12. Usare il metodo energetico per ricavare la distanza che la slitta percorre prima di fermarsi.

## ► da 5.5 a 5.7

## ► 5.8 e 5.9

- 35 Relativamente al suolo, qual è l'energia potenziale gravitazionale di una palla da bowling di 12 kg in cima a un edificio di 150 m?
- 36 Un vaso di 2 kg è appoggiato su uno scaffale 0.5 m al di sopra del piano di un tavolo, che a sua volta è a una quota di 0.8 m dal pavimento. Qual è l'energia potenziale gravitazionale del vaso rispetto (a) al piano del tavolo e (b) al suolo?
- 37 Due sfere di 5.0 kg e 3.0 kg sono sospese a una carrucola per mezzo di una fune, con quella da 5 kg appoggiata su un tavolo. Qual è la variazione di energia potenziale del sistema se la sfera da 5 kg viene innalzata di 50 cm?
- 38 Uno scalatore di 75 kg sale su una collina alta 600 m. (a) Quanto lavoro compie contro la forza di gravità? (b) Questo lavoro dipende dal percorso che sceglie di seguire? (c) Se impiega 96 min, qual è la potenza media spesa?
- 39 Un furgone di 16000 kg impiega 45 min per salire da una quota di 1500 m a una di 2700 m su una strada di montagna. (a) Quanto lavoro compie contro la forza di gravità? (b) Quale potenza media spende?
- 40 Con quale velocità giungerà al suolo una palla da 0.5 kg se viene lasciata cadere da un'altezza di 40 m? (Trascurare gli attriti.)
- 41 Una scatola di prodotti alimentari scivola senza attrito, partendo da ferma, lungo una rampa inclinata di  $30^\circ$  sull'orizzontale. Qual è la sua velocità dopo aver percorso 2.0 m?
- 42 Un oggetto viene lanciato in alto e sale a una quota  $h$ . A che altezza si trova, in funzione di  $h$ , quando ha perso metà dell'energia cinetica iniziale? Qual è la velocità in quel punto?
- 43 Una scatola da 3 kg lasciata cadere da un'altezza di 10 m ha una velocità di 10 m/s appena prima di toccare il suolo. Quanto vale la forza ritardante media incontrata dalla scatola durante la sua caduta?
- 44 Un motore deve sollevare un ascensore di 960 kg fermo al piano terra in modo che a un'altezza di 24 m possieda una velocità di 3.2 m/s. (a) Quanto lavoro compie il motore? (b) Quale percentuale del lavoro totale va in energia cinetica?
- 45 Una massa di 3.2 kg parte da ferma dalla sommità di una discesa con pendenza  $30^\circ$  lunga 6.0 m; la sua velocità alla base della discesa è 3.0 m/s. Calcolare la forza di attrito che ritarda il moto.
- 46 Una scatola da 2.4 kg ha una velocità di 5.0 m/s alla <sup>base</sup> sommità di una rampa inclinata di  $30^\circ$ . (a) Per che lunghezza della rampa scivolerà la scatola se la rampa è priva di attriti? (b) Per che lunghezza scenderà, invece, se il coefficiente di attrito dinamico è 0.2?
- 47\* Partendo da ferma, una locomotiva traina una fila di vagoni su una pendenza del 3%. Dopo aver percorso 2.4 km, la velocità del treno è 45 km/h. Assumere come massa totale del treno  $6.4 \times 10^5$  kg. (a) Quanto lavoro compie la locomotiva? (b) Quale frazione di esso va a vincere la forza di gravità? (c) Ipotizzando un'accelerazione uniforme, quanto tempo avrà impiegato il treno a raggiungere tale velocità? (d) Qual è la potenza media sviluppata?
- 48\*\* Un motore elettrico deve dare energia a una pompa che solleva 1.0 kg di acqua per un'altezza di 2.2 m in 200 s. Ipotizzare che l'acqua si muova a 1.5 m/s quando esce dalla sommità. Quale potenza dovrebbe avere il motore? Supporre che la velocità iniziale dell'acqua sia trascurabile.
- 49\*\* Una pallina da 240 g viene lanciata verso l'alto con una velocità di 14 m/s. (a) A che altezza sale se le forze di attrito sono trascurabili? (b) Se sale di soli 6.5 m, quanto vale la resistenza media dell'aria che ostacola il moto?

(c) Se è soggetta alla forza di attrito del punto (b), a che velocità ritorna al lanciatore?

■50 Un blocco di ghiaccio di 640 g viene rilasciato dalla sommità di una pendenza di  $30^\circ$  e scivola per 160 cm lungo il piano sino alla sua base. Qual è la velocità del blocco quando raggiunge la base (a) se il piano inclinato è privo di attrito, (b) se la forza di attrito vale 1.0 N?

■51\* Un bambino parte da fermo dalla sommità di uno scivolo di altezza 4 m. Se arriva a terra con una velocità di 6 m/s, quale percentuale della energia totale che possedeva alla sommità dello scivolo è andata persa in conseguenza dell'attrito?

■52 Un vagoncino delle montagne russe di massa  $m$  parte da fermo dal punto A e si muove lungo i binari con il percorso indicato in figura P5.5. Supponendo i binari privi di attrito, trovare la velocità del vagoncino nei punti B e C.

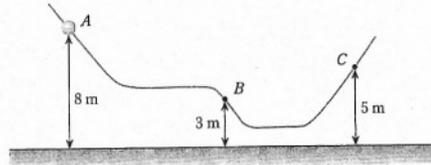


Figura P5.5

■53 Il vagoncino del problema precedente ha una velocità di 1.5 m/s quando oltrepassa A. Trovare le velocità nei punti B e C, nell'ipotesi di assenza di attriti.

■54\* In figura P5.5, il vagoncino da 500 kg parte da fermo in A e passa il punto B con una velocità di 3 m/s. Se la distanza fra A e B lungo i binari è 20 m, quanto vale la forza di attrito che ostacola il moto del vagoncino?

■55 Una sfera di massa  $m$  è sospesa come un pendolo a una corda lunga 3.6 m. Una forza sulla sfera la sposta lateralmente finché la corda forma un angolo di  $60^\circ$  con la verticale, quindi il sistema viene rilasciato. A quale velocità si muoverà la sfera passando direttamente sotto al punto di sospensione?

■56 Per il pendolo del problema precedente, qual è la velocità della sfera quando la corda forma un angolo di  $30^\circ$  con la verticale?

■57\* Ad alte velocità, le forze di attrito che agiscono su un'auto aumentano proporzionalmente a  $v^2$ , dove  $v$  è la velocità dell'auto. Se si deve considerare questo come fattore principale per il consumo di carburante e se il consumo dell'auto è 20 km/l a 80 km/h, qual è il consumo a 100 km/h?

■58\* Un blocco di 625 kg inizia a salire lungo una pendenza di  $30^\circ$  con velocità iniziale di 2.2 m/s. Si ferma dopo aver percorso 40 cm e scivola indietro. Supponendo che la forza di attrito sia costante, (a) quanto vale la forza di attrito? (b) Qual è la velocità del blocco quando raggiunge la base?

■59 Un oggetto di 640 kg deve venire sollevato da un sistema di carrucole mediante una forza di 440 N. La macchina più adatta allo scopo solleva il carico per 0.45 m quando la forza applicata si sposta di 9.6 m. Trovare: (a) il vantaggio reale, (b) il vantaggio ideale, (c) il rendimento della macchina.

■60 Un sistema di carrucole solleva un carico di 240 kg quando vi viene applicata una forza di 180 N. Se il rendimento del sistema è dell'87%, trovare: (a) il vantaggio reale, (b) il vantaggio ideale.

► 5.10

■61 Quale deve essere il rapporto fra i raggi di un'asse nella ruota che debba sollevare 24 kg con una forza applicata di 28 N? Assumere il rendimento della macchina pari all'89%.

■62 Per un particolare tipo di cric, l'operatore muove la mano per 38 cm per ogni centimetro di cui deve essere alzato il carico. Qual è il vantaggio ideale del cric? Assumendo un rendimento del 22%, quanto deve essere grande una forza applicata per sollevare 3600 N?

■63 Un motore elettrico ha una potenza nominale di 0.5 kW. Nell'ipotesi che abbia un rendimento dell'88%, quanti CV può erogare?

■64 Un motore da 1/4 di CV ha attaccato al suo albero di trasmissione una puleggia di diametro 7.2 cm. Se l'albero ruota a 1600 giri/min, quale carico è in grado di trainare? Assumere come rendimento del motore 89%.

■65\* Un motore da 55 W funziona con una velocità di rotazione dell'albero pari a 1800 giri/min. A causa degli ingranaggi riduttori, lo stadio finale dell'albero ruota a 16 giri/min. (a) Se la macchina ha un rendimento del 30%, con quale forza può tirare la cinghia su una puleggia di 32 cm di raggio? (b) Se il sistema di ingranaggi viene invertito, in modo da far ruotare l'albero a 160000 giri/min, quale forza è disponibile per trascinare la cinghia sulla stessa puleggia? Assumere la potenza in uscita pari a 55 W.

**Problemi di riepilogo**

■66 Un oggetto di 6.4 kg viene sollevato verticalmente per una distanza di 6 m da un sottile cavo sottoposto a una tensione di 84 N. La forza di attrito è trascurabile. Trovare: (a) il lavoro fatto dalla tensione, (b) il lavoro fatto dalla forza di gravità, (c) la velocità finale dell'oggetto se parte da fermo.

■67\*\* Un'automobilina per bambini, avente massa 240 g, è spinta da un motore elettrico con erogazione di potenza costante. L'automobile può salire una pendenza di  $24^\circ$  a 16 cm/s e viaggiare in piano alla velocità di 39 cm/s. L'attrito che ostacola il moto è  $k\nu$ , dove  $k$  è una costante e  $\nu$  la velocità. Quale pendenza è in grado di salire alla velocità di 28 cm/s?

■68\* Il sistema privo di attriti di figura P5.6 viene lasciato libero a partire da fermo. Dopo che la massa di destra è salita di 72 cm, l'oggetto di massa  $0.50m$  si stacca dal sistema. Qual è la velocità della massa di destra quando ritorna nella posizione originale?

■69\*\* Un blocco di 2.4 kg viene spostato su una rampa inclinata di  $30^\circ$  sotto l'azione di una forza costante, non parallela alla rampa, di intensità 45 N. Il coefficiente di attrito è 0.12 e il blocco viene spinto 1.8 m sulla rampa. Trovare: (a) il lavoro fatto dalle forze applicate, (b) il lavoro fatto dalla gravità, (c) il lavoro fatto dall'attrito, (d) la variazione di energia cinetica del blocco.

■70\* Due artisti del circo, Orazio e Ofelia, la cui massa complessiva è 120 kg, fanno partire il trapezio lungo 5 m in modo che all'inizio la fune formi un angolo di  $36^\circ$  con l'orizzontale. Nel punto più basso dell'arco, Ofelia, la cui massa è 52 kg, salta. Qual è la massima altezza di una rampa di atterraggio che Orazio può raggiungere se prosegue nell'oscillazione?

■71\* Un paracadutista di 60 kg si lancia da 2400 m. Nel momento in cui è sceso per i primi 1000 m, ha raggiunto una velocità costante di 60 m/s. (a) Quanto lavoro deve essere fatto dalla resistenza dell'aria durante i primi 1000 m di caduta? (b) Quanto lavoro compie questa forza per i successivi 800 m?

■72 Un moderno motore a reazione è capace di esercitare una forza di 222500 N a pieni giri. Se al decollo l'aereo si muove alla velocità di 240 km/h, quale potenza sviluppa il motore?

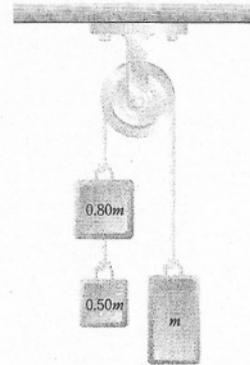


Figura P5.6

Si deve notare, poi, che tale forza è inversamente proporzionale alla distanza di arresto; è per questa ragione che la scocca delle auto moderne è progettata per cedere durante le collisioni, in modo da assorbire l'urto.

**Problema svolto 2**

Come mostrato in figura P6.2, un camion di massa  $3.00 \times 10^4$  kg viaggia a 10.0 m/s e urta contro un'auto che viaggia a 25.0 m/s nel verso opposto. Se in seguito allo scontro i due veicoli rimangono uniti, in quale verso e con quale velocità si muoveranno dopo l'urto?

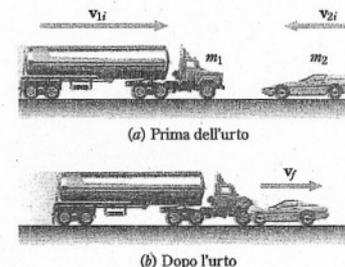


Figura P6.2

**Ragioniamo insieme**

- D** Qual è il sistema isolato?
- R** Le forze tra la strada e i veicoli sono trascurabili in confronto alle forze d'urto, perciò il sistema auto più camion può essere considerato isolato.
- D** Quale principio si applica all'urto?
- R** La conservazione della quantità di moto. Non possiamo ritenere che l'energia cinetica si conservi, perché per essa non esiste un principio simile.
- D** Qual è la quantità di moto del sistema prima dell'urto?
- R** Scegliendo arbitrariamente come positivo il verso della velocità del camion, abbiamo:

$$(P_i)_{\text{camion}} = (3.00 \times 10^4 \text{ kg}) (+ 10.0 \text{ i m/s}) = + 3.00 \times 10^5 \text{ i kg} \cdot \text{m/s}$$

$$(P_i)_{\text{auto}} = (1.20 \times 10^3 \text{ kg}) (- 25.0 \text{ i m/s}) = - 3.00 \times 10^4 \text{ i kg} \cdot \text{m/s} = - 0.300 \times 10^5 \text{ i kg} \cdot \text{m/s}$$

Perciò:

$$(P_f)_{\text{tot}} = + 2.70 \times 10^5 \text{ i kg} \cdot \text{m/s}$$

- D** Qual è l'espressione per la quantità di moto totale dopo l'urto?
- R** Il camion e l'auto rimangono uniti, e quindi hanno la stessa velocità,  $v_f$ . La massa totale è data dalla somma delle loro masse, perciò:

$$(P_f)_{\text{tot}} = (3.00 \times 10^4 \text{ kg} + 1.20 \times 10^3 \text{ kg}) v_f = (3.12 \times 10^4 \text{ kg}) v_f$$

- D** Quale equazione risulta dalla conservazione della quantità di moto?
- R**  $(3.12 \times 10^4 \text{ kg}) v_f = + 2.70 \times 10^5 \text{ i kg} \cdot \text{m/s}$

**73\*** Una persona di 72 kg spende 420 W di potenza camminando su un tappeto mobile in piano alla velocità di 2.0 m/s. Quando il tappeto mobile viene inclinato senza variare la velocità, la potenza spesa aumenta di 640 W. Assumendo che tutto l'aumento di potenza vada a vincere la forza di gravità, trovare l'angolo di inclinazione.

**74\*** Un proiettile di 0.5 kg viene sparato orizzontalmente con velocità iniziale di 2.0 m/s dalla sommità di un edificio alto 100 m. Nell'istante prima di toccare terra, trovare: (a) il lavoro fatto sul proiettile dalla gravità, (b) la variazione di energia cinetica da quando il proiettile è stato sparato, (c) l'energia cinetica finale del proiettile.

**Quantità di moto**

**► Problemi svolti**

**Problema svolto 1**

L'auto di massa 1200 kg di figura P6.1, con velocità iniziale pari a 20 m/s, urta un albero e si arresta in uno spazio  $s = 1.5$  m. Calcolare la forza media che l'albero esercita sull'automobile.

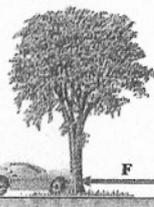


Figura P6.1

**Ragioniamo insieme**

- D** Qual è la relazione tra la forza che ferma l'auto e il cambiamento del moto di quest'ultima?
- R** Per descrivere la variazione di moto abbiamo da scegliere. Possiamo calcolare l'accelerazione o, utilizzando i concetti introdotti in questo capitolo, possiamo dire che vi è stata una variazione nella quantità di moto dell'auto e metterla in relazione direttamente con la forza.
- D** Qual è la variazione della quantità di moto dell'auto?
- R**  $\Delta p = m v_f - m v_i = 0 - (1200 \text{ kg}) (20 \text{ m/s}) = - 24\,000 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$   
Il segno meno indica che il verso della variazione di quantità di moto è opposto a quello della velocità iniziale.
- D** Qual è la relazione tra la forza di arresto e  $\Delta p$ ?
- R** È data dal teorema dell'impulso della forza e della quantità di moto:  $Ft = \Delta p$ .
- D** Come possiamo determinare il tempo durante il quale agisce la forza?
- R** In assenza di altre informazioni, assumiamo che la decelerazione sia uniforme durante la collisione. In tal caso si può trovare la velocità media e porla in relazione con la distanza e il tempo di arresto:

$$\bar{v} = \frac{v_f}{v_i} = 10 \text{ m/s} \quad \text{e} \quad s = \bar{v}t, \quad \text{da cui:} \quad t = \frac{s}{\bar{v}} = \frac{1.5 \text{ m}}{10 \text{ m/s}} = 0.15 \text{ s}$$

**Soluzione e discussione**

Possiamo ora calcolare la forza media di arresto:

$$\bar{F} = \frac{- 24\,000 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{0.15 \text{ s}} = - 1.6 \times 10^5 \text{ N}$$

che è un valore molto alto.

**Soluzione e discussione**

Risolviendo l'equazione precedente rispetto a  $v_f$ , otteniamo:

$$v_f = \frac{2.70 \times 10^5 \text{ m/s}}{3.12 \times 10^4 \text{ kg}} = 8.65 \text{ i m/s}$$

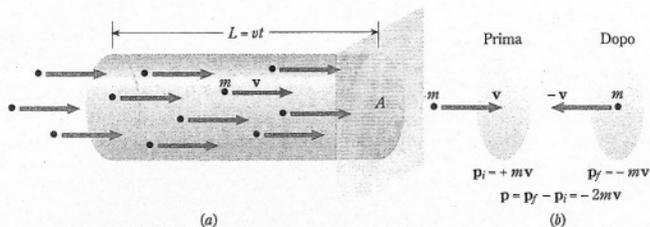
Il segno + indica che il rottame costituito dai due veicoli si muove nella direzione che aveva inizialmente il camion.

Ovviamente questa è la velocità immediatamente dopo la collisione, ma poi l'attrito porta il rottame a fermarsi.

Ricorda inoltre che l'auto e il camion si scontrano con la medesima forza; avendo una massa minore, l'auto subisce la variazione di velocità maggiore.

**Problema svolto 3**

Un fascio di particelle, ciascuna di massa  $m$  e velocità  $v$ , urta perpendicolarmente contro una parete rigida, come in figura P6.3a; ogni collisione è perfettamente elastica. Supponiamo che nel fascio vi siano  $n$  particelle per metro cubo e che quest'ultimo abbia una sezione trasversale di area  $A$ . Usando la formulazione della seconda legge di Newton in termini di quantità di moto, trovare l'espressione della forza media esercitata dal fascio sulla parete.



284

PROBLEMI

**Figura P6.3**  
Un fascio di particelle colpisce un'area  $A$  di una parete.  
(b) La variazione di quantità di moto in un urto elastico contro la parete.

**Ragioniamo insieme**

■ Qual è la causa della forza esercitata sulla parete?

■ Ogni volta che una particella urta contro la parete, rimbalza indietro in un urto perfettamente elastico; perché questo avvenga, la parete deve esercitare una forza sulla particella e, in base alla terza legge di Newton, quest'ultima deve esercitare una forza uguale e opposta sulla parete. In un tempo  $t$ , la forza media esercitata sulla parete è data dal numero di urti che avvengono in tale intervallo temporale moltiplicato per la variazione di quantità di moto in una singola collisione.

■ Che cosa significa "puramente elastico" in questo caso?

■ Puramente elastico significa che l'energia cinetica non varia. La parete rigida non si muove né cede (ha una massa infinita rispetto a quella delle particelle), e quindi non possiede energia cinetica: tutta l'energia cinetica è posseduta dalle particelle; allora quando una di esse urta la parete con una velocità  $v$  deve rimbalzare indietro con la medesima velocità. Ricorda, l'energia cinetica è una grandezza scalare, perciò l'energia cinetica di una particella è la stessa dopo la collisione.

■ Qual è la variazione di quantità di moto in ogni urto?

■ Come mostra la figura P6.3b, la quantità di moto di ogni particella prima della collisione è  $+mv$ . La variazione di quantità di moto (che, come ben sai, è un vettore) è:

$$\Delta p = p_f - p_i = (-mv) - (+mv) = -2mv$$

Ricorda, la direzione e il verso della forza che determina la variazione di quantità di moto è quella della variazione stessa. In questo caso  $\Delta p$  è negativa, quindi essa e la forza sulla particella sono dirette verso sinistra, e perciò la forza esercitata dalla particella sulla parete è diretta verso destra.

■ Quanti urti vi sono al secondo?

■ In figura P6.3a tutte le particelle contenute nel cilindro di lunghezza  $L = vt$  urteranno la parete nel tempo  $t$ ; il volume di tale cilindro è  $AL = Avt$ . Poiché ci sono  $n$  particelle per metro cubo, il numero di urti nel tempo  $t$  è dato da:

$$N = nAL = nAvt$$

Il numero di urti al secondo è, pertanto,  $\frac{N}{t} = nAv$ .

**Soluzione e discussione**

In base a quanto detto, il modulo della forza media che il fascio esercita sulla parete è:

$$\bar{F} = (2mv)(nAv) = 2mv^2nA$$

La forza per unità di superficie, ossia la **pressione** ( $P$ ) è data da:

$$P = \frac{\bar{F}}{A} = 2mv^2n = 4E_c n$$

dove  $E_c$  è l'energia cinetica della singola particella.

Più avanti, nel secondo volume, useremo una formulazione leggermente diversa di questa espressione per ricavare la pressione esercitata dalle molecole di un gas perfetto sulle pareti di un contenitore.

**► Problemi da svolgere**

**► 6.1**

■1 Qual è la quantità di moto di: (a) un'auto di 1350 kg che si muove verso nord con una velocità di 95 km/h, (b) un proiettile di 12.5 g che viaggia verso l'alto a 6223 cm/s, (c) una nave da crociera da  $7.3 \times 10^7$  kg che viaggia verso ovest a 32 km/h? Esprimere le risposte in unità SI.

■2 Qual è la quantità di moto di una pietra da 7.50 kg dopo che è caduta per un'altezza di 15.5 m, essendo partita da ferma?

■3 Ricavare l'espressione generale per la quantità di moto di un oggetto di massa  $m$  che cade da fermo per un'altezza  $h$ .

■4 Qual è la quantità di moto di un'auto di massa 1600 kg la cui energia cinetica è  $8.50 \times 10^5$  J? Qual è la sua velocità?

■5 Ricavare l'espressione generale che mette in relazione l'energia cinetica e la quantità di moto di una massa  $m$ .

285

- 6 Che forza è necessaria per fermare un ciclista e la sua bicicletta (massa totale 115 kg) in 2.1 s se la velocità è 17.1 m/s?
- 7 Determinare la forza media necessaria a variare la velocità di un bus da 22 000 kg da fermo a 13.6 m/s in 10.5 s.
- 8\* Un jet di linea avente tre motori e pesante 1 958 000 N necessita di 1750 m per raggiungere la velocità di decollo di 240 km/h. Quale forza media deve esercitare ciascun motore in fase di decollo? Ignorare l'attrito dell'aria.
- 9 Un proiettile da 12.5 g con velocità 235 m/s attraversa una lastra di plastica spessa 3.4 cm e ne emerge con una velocità di 125 m/s. Il tempo impiegato per l'attraversamento è  $1.90 \times 10^{-4}$  s. Trovare la forza media di arresto esercitata sul proiettile.
- 10\*\* Una palla da 345 g con velocità 15.5 m/s colpisce una parete perpendicolarmente e rimbalza alla velocità di 10.7 m/s. Dopo il contatto iniziale, il centro della palla si avvicina alla parete di 0.225 cm prima di rimbalzare. Nell'ipotesi di decelerazione uniforme, calcolare il tempo in cui la palla rimane a contatto con la parete. Quale forza media viene esercitata da quest'ultima sulla palla?
- 11\* Un protone ( $m = 1.67 \times 10^{-27}$  kg) che si muove a velocità di  $5.8 \times 10^7$  m/s passa attraverso uno spessore di schiuma plastica di 0.33 cm e ne emerge con velocità di  $1.5 \times 10^7$  m/s. Quanto tempo impiega nell'attraversamento, nell'ipotesi di decelerazione uniforme? Quale forza media rallenta il protone?
- 12\* Una freccia di massa 62 g che viaggia a 23.2 m/s colpisce una grossa zucca e la perfora, creando un buco lungo 75 cm. La freccia impiega 0.0375 s a emergere. Quale forza media si oppone al moto?
- 13\* Un getto d'acqua proveniente da un idrante colpisce una finestra verticale. Il getto è orizzontale e l'acqua si arresta quando colpisce il vetro. Circa  $26 \text{ cm}^3$  (ossia 26 g) di acqua con velocità 2.10 m/s colpiscono la finestra ogni secondo. Trovare (a) l'impulso esercitato sulla finestra nel tempo  $t$  e (b) la forza media esercitata sulla finestra.
- 14\* Dei pezzi di carbone cadono verticalmente da uno scivolo al ritmo di 7.5 kg/s su di un nastro trasportatore che si muove orizzontalmente a 2.0 m/s. Quale forza è necessaria per muovere il nastro? Trascurare gli attriti dei meccanismi.

► 6.3 e 6.4

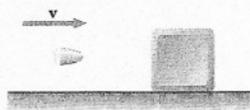


Figura P6.4

- 15 In uno scambio, un vagone di treno di massa  $M_1$  che viaggia liberamente su di un binario dritto con velocità  $v$  colpisce e si aggancia a una motrice di massa  $M_2$  ferma sul binario. Trovare la velocità dei veicoli dopo l'urto.
- 16 Durante un allenamento di tiro, una donna spara una pallottola da 5.25 g con velocità orizzontale pari a 185 m/s in un bersaglio di massa 5.5 kg posto in cima a un palo. Il proiettile si conficca nel bersaglio. Con quale velocità il bersaglio vola via dal palo?
- 17 Due sfere identiche entrano in collisione. La sfera 1 viaggia verso destra a 36 m/s, la sfera 2 viaggia verso sinistra a 12 m/s. Trovare la direzione, il verso e il modulo delle loro velocità dopo l'urto se esse rimangono unite.
- 18 (a) Ripetere il problema precedente nel caso che la sfera 2 abbia massa doppia rispetto alla sfera 1. (b) Se le sfere rimangono ferme dopo l'urto, quale deve essere la massa della sfera 2 rispetto a quella della sfera 1?
- 19\* Il proiettile di massa 17.5 g di figura P6.4 si muove a 5560 cm/s, colpisce un blocco da 8.45 kg appoggiato su un tavolo e rimbalza indietro a

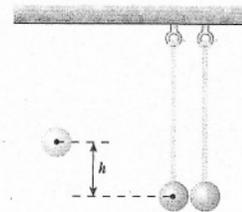


Figura P6.5

► 6.5

- 1260 cm/s. Trovare (a) la velocità del blocco immediatamente dopo l'urto, (b) la forza di attrito fra il tavolo e il blocco se quest'ultimo si sposta di 132 cm prima di fermarsi.
- 20\* Un blocco di massa 2.6 kg è fermo su di un piccolo foro praticato in una tavola. Una donna sotto la tavola spara un proiettile da 12.7 g attraverso il foro nel blocco, nel quale rimane conficcato. Quale velocità aveva il proiettile se il blocco compie un salto sulla tavola di 55 cm di altezza?
- 21\* Una palla è in caduta libera. Quando la sua velocità, diretta verso il basso, raggiunge i 9.2 m/s esplose in due frammenti uguali. Una parte va verso l'alto a un'altezza di 13.7 m sopra il punto di esplosione. Qual è la velocità dell'altro frammento subito dopo l'esplosione? Ripetere il problema nel caso in cui il frammento che va in alto abbia massa doppia dell'altro.
- 22\* In figura P6.5, le due sfere hanno la stessa massa. La sfera sulla sinistra viene spostata dalla sua posizione e poi rilasciata; urta quindi l'altra sfera, ferma, e vi rimane unita. (a) A quale velocità si muovono le sfere subito dopo l'urto? (b) Quale frazione dell'energia cinetica perde la prima sfera nell'urto?
- 23\* Supporre che le due sfere di figura P6.5 abbiano masse diverse, essendo  $m_1$  quella sulla sinistra. Quando viene rilasciata dall'altezza indicata, essa colpisce l'altra sfera e vi rimane unita; il sistema combinato oscilla quindi sino a un'altezza pari a  $h/6$ . Trovare la massa  $m_2$  della seconda sfera in funzione di  $m_1$ .
- 24 In figura P6.5, due masse identiche sono spostate sino a un'altezza  $h$ , una verso destra e una verso sinistra. Esse vengono rilasciate contemporaneamente e subiscono un urto perfettamente elastico nel punto più basso. A che altezza arriva ciascuna delle due sfere dopo l'urto?
- 25\*\* La massa di sinistra in figura P6.5 viene spostata lateralmente e quindi rilasciata. La sua velocità nel punto più basso è  $v_0$ , velocità con la quale urta la seconda sfera in una collisione elastica. Trovare le velocità delle due sfere dopo l'urto se la sfera di sinistra ha una massa 3.5 volte quella di destra.
- 26\* Un neutrone ( $m = 1.67 \times 10^{-27}$  kg) con velocità  $v_i$  colpisce una particella stazionaria di massa ignota in un urto perfettamente elastico e rimbalza indietro con velocità pari a 0.7 volte quella iniziale. Qual è la massa della particella colpita?
- 27\* Un neutrone (massa  $m_n$ ) con velocità  $v_i$  colpisce il nucleo stazionario di un atomo di ferro ( $m = 56 m_n$ ) e rimbalza indietro in un urto perfettamente elastico. Trovare la velocità del nucleo di ferro dopo l'urto, nell'ipotesi che sia libero di muoversi.
- 28\* Quale frazione dell'originaria energia cinetica del neutrone viene persa nel problema precedente?
- 29\*\* Dimostrare che quando un oggetto di massa  $m_1$  con velocità  $v_0$  urta in modo perfettamente elastico una massa  $m_2$  a riposo, la frazione maggiore dell'energia cinetica iniziale di  $m_1$  viene trasferita a  $m_2$  quando  $m_1 = m_2$ . (Suggerimento: porre  $m_2 = k m_1$ , dove  $k$  è un qualsiasi numero, quindi ricavare un'espressione per l'energia cinetica di  $m_2$  dopo la collisione in funzione di  $k$ . Mostrare che essa è massima per  $k=1$ .)
- 30 I primi razzi effettivamente usati come armi a lungo raggio furono i tedeschi V2, sviluppati verso la fine della Seconda Guerra Mondiale. I loro motori bruciavano combustibile approssimativamente al ritmo di 6 kg/s a una velocità di espulsione dei gas di 2000 m/s. Il razzo a pieno carico aveva una

## 6.6

massa al lancio di  $9 \times 10^4$  kg. (a) Qual era la spinta sviluppata dai razzi V2? (b) Con quale accelerazione iniziale si staccavano dalla rampa di lancio? Esprimere il risultato in  $g$ .

■31\* Ti trovi su di una lastra di ghiaccio totalmente priva di attrito, e trasporti una palla da bowling di 7.2 kg. Sei a 21.5 m dalla più vicina striscia di terreno. La tua massa è 72 kg. Per uscire dal ghiaccio, tiri la palla in una direzione esattamente opposta a quella del terreno più vicino alla velocità di 3.3 m/s. Quanto tempo dopo raggiungi il terreno?

■32 Mentre viaggia lungo una strada a 0.65 m/s, una ragazzina di 13.9 kg in una automobilina da 6.4 kg si trova davanti un cane minaccioso. Ha con sé una borsa di 2.27 kg di zucchero che porta a casa dal negozio, e la lancia al cane con una velocità diretta in avanti pari a 4.67 m/s. Qual è la velocità della ragazzina e dell'automobilina dopo il lancio dello zucchero?

■33\* Una pistola da 1.25 kg giace immobile su un banco sostanzialmente privo di attrito. Accidentalmente, parte un colpo e viene sparato un proiettile da 15 g in direzione parallela al banco. Quanto lontano arriva il proiettile nel tempo che la pistola rincula di 3.50 mm?

■34 Una mitragliatrice spara 100 colpi da 13.5 g al minuto a una velocità di 650 m/s. Qual è la forza media di rinculo sull'arma in una raffica della durata di un minuto?

■35\* Una navicella spaziale di massa 18500 kg viaggia nello spazio vuoto. L'equipaggio ritiene necessario ridurre la velocità di 20 m/s. Il motore a razzo sul retro dell'astronave brucia combustibile e ossigeno al ritmo di 85 kg/s, ed espelle gas combusti alla velocità di 2300 m/s. In quale direzione dovrebbe posizionarsi l'astronave e per quanto tempo dovrebbero rimanere accesi i motori per eseguire la desiderata correzione?

■36\* Una bomba di massa  $m_0$  è a riposo quando improvvisamente esplose in tre pezzi di uguale massa. Un frammento vola lungo la direzione positiva dell'asse  $x$  alla velocità di 42 m/s, mentre un altro si muove nella direzione  $-y$  a 25 m/s. Trovare la velocità del terzo frammento. Ripetere il problema nel caso il terzo pezzo abbia una massa  $\frac{m_0}{2}$  e gli altri abbiano massa uguale fra loro.

■37\* Un'auto  $A$  di massa  $M_A$  viaggia verso nord alla velocità  $v_0$ , e l'auto  $B$  (di massa pari ai due terzi di  $A$ ) viaggia alla stessa velocità verso ovest. Le due auto si scontrano in un punto di intersezione delle traiettorie, rimanendo unite. Qual è la velocità delle auto dopo l'urto?

■38\* Due protoni si muovono lungo l'asse  $x$ , uno con velocità  $v_0$ , l'altro con velocità  $-v_0$ . Essi subiscono un urto perfettamente elastico. Dopo la collisione, uno dei due si allontana a un angolo di  $50^\circ$  rispetto alla direzione positiva dell'asse  $x$ . Cosa accade all'altro? Quali sono le velocità dei due protoni dopo l'urto?

■39\* Una particella ha velocità  $\mathbf{v}_1 = -2v_0 \mathbf{i}$  e una seconda particella di uguale massa ha velocità  $\mathbf{v}_2 = \frac{v_0}{2} \mathbf{i} + \frac{v_0}{2} \mathbf{j}$ . Dopo l'urto, una particella ha velocità  $\mathbf{v} = v_0 \mathbf{j}$ . Trovare le componenti della velocità dell'altra particella. L'urto è elastico?

■40 Un disco da hockey scivola sul ghiaccio nella direzione positiva dell'asse  $x$  a velocità  $v_i$ . Urta quindi un altro disco, identico, inizialmente immobile. Dopo la collisione i dischi si allontanano in direzioni formanti rispettivamente  $30^\circ$  e  $60^\circ$  con la direzione  $+x$ . Quali sono le loro velocità?

■41\*\* Una palla di massa  $m$  si muove a velocità  $v$  verso sinistra lungo l'asse  $x$  puntando l'origine. Urta quindi una sfera di massa  $\frac{m}{5}$  immobile nell'origine. Dopo l'urto, la palla che era in arrivo si muove verso sinistra con velocità dimezzata a un angolo di  $40^\circ$  rispetto alla direzione  $-x$ . Trovare la direzione e la velocità dell'altra palla.

■42\*\* Ripetere il problema precedente nel caso in cui la palla in arrivo venga respinta indietro a una direzione di  $40^\circ$  rispetto alla direzione  $+x$  con velocità  $\frac{v}{4}$ .

■43\* Un'auto di 1550 kg di massa viaggia verso nord a 22 m/s. Una seconda auto di massa 1800 kg viaggia verso est a 32 m/s. Esse si incontrano, subiscono un urto e rimangono unite dopo la collisione. Trovare la velocità del sistema combinato immediatamente dopo l'urto.

## Problemi di riepilogo

■44\* Quanto lavoro occorre per raddoppiare la quantità di moto di un'auto di massa 1250 kg che viaggia a velocità 15.2 m/s?

■45\*\* Un astronauta di 65 kg, che si trova nello spazio vuoto, perde il contatto fisico con la propria astronave. È a 30.5 m da essa e si muove a 5.5 m/s in avanti relativamente alla navicella. Per tornare indietro, lancia una chiave inglese da 850 g nella direzione che va in allontanamento dalla navicella, alla velocità di 6.9 m/s. Funzionerà l'operazione? Se sì, quanto tempo impiegherà a raggiungere l'astronave?

■46\* In base a un rapporto di polizia, un'auto era ferma a un semaforo quando venne investita da dietro da un camion che pesava 1.5 volte l'auto. Al momento dell'impatto entrambi i veicoli avevano i freni tirati e le tracce sull'asfalto mostrarono che essi slittarono insieme per 7.8 m prima di fermarsi. Assumendo un coefficiente di attrito pari a 0.8, qual era approssimativamente la velocità del camion al momento dell'urto?

■47\* La sfera  $A$  in figura P6.6 viene rilasciata dal punto  $A$ . Scivola quindi lungo il filo privo di attrito e urta la sfera  $B$ . Se l'urto è perfettamente elastico, trovare di quanto sale la sfera  $B$  se la sua massa è  $\frac{1}{3}$  di quella di  $A$ .

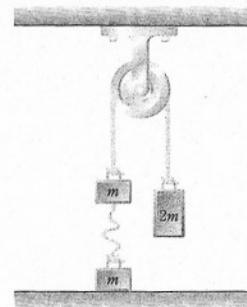


Figura P6.7

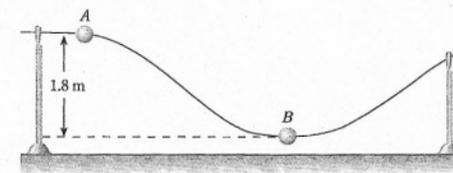


Figura P6.6

■48\*\* La macchina di Atwood di figura P6.7 ha una terza massa agganciata mediante una corda afflosciata. Dopo essere stata rilasciata, la massa  $2m$  scende per una distanza  $D$  prima che la corda afflosciata entri in tensione. In seguito, le masse sulla sinistra salgono insieme. Qual è la velocità di salita? Assumere che le pulegge siano prive di massa e di attrito.

■49\*\* Supporre che la massa  $2m$  in figura P6.7 sia sorretta in modo da non cadere. Quando il supporto per la massa più bassa sulla sinistra viene rimosso, questa massa cade liberamente per una distanza  $L$  prima che la fune che la col-

lega all'altra massa si tenda. In seguito le tre masse si muovono contemporaneamente. Trovare la velocità con cui si muovono.

■50\*\* Una catena omogenea e verticale di massa totale  $M$  e lunghezza  $L$  viene calata su un tavolo a velocità costante  $v$ . Al tempo  $t = 0$  l'estremità inferiore della catena tocca appena il tavolo. Ricavare un'espressione per la forza esercitata dalla catena sul tavolo in funzione del tempo. Riportare in grafico tale relazione per valori di  $t$  per cui la catena viene abbassata e dopo che la catena è stata completamente depositata sul tavolo.

■51\* Una palla da pelota da 50 g urta la parete frontale del campo perpendicolarmente, a un'altezza di 0.5 m sul livello del terreno. La palla viaggia a 50 m/s appena prima dell'urto e rimbalza con velocità iniziale orizzontale. Colpisce il pavimento a 12.4 m dalla parete frontale. (a) Con quale velocità è rimbalzata dal muro? (b) Se la durata dell'impatto è stata di 0.025 s, quale forza media ha esercitato la palla sulla parete?

## Moti circolari

### ► Problemi svolti

#### Problema svolto 1

La figura P7.1 mostra una stazione spaziale di  $1.6 \times 10^{10}$  kg a forma toroidale. Per simulare la gravità terrestre, la stazione ruota attorno al suo asse centrale così da generare una forza centripeta. A causa delle sue caratteristiche meccaniche, la stazione deve ruotare con un periodo di 2.5 minuti.

(a) Calcolare la velocità angolare della stazione. (b) Se gli occupanti della stazione devono essere soggetti a una accelerazione di  $1g$ , quale dovrebbe essere il raggio medio della stazione? (c) La struttura toroidale della stazione è costituita da un tubo metallico di raggio  $r$  di 200 m e di spessore  $s$  di 50 cm. Stimare la densità  $d$  di tale struttura, cioè il rapporto tra la sua massa e il suo volume.

Parte (a)

Ragioniamo insieme

- Come è legata la velocità angolare  $\omega$  al periodo di rotazione  $\tau$ ?
- Il legame è dato dalla formula:

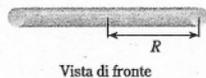
$$\omega = \frac{2\pi}{\tau}$$

nella quale gli angoli devono essere misurati in radianti.

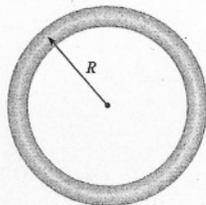
Soluzione e discussione

Sostituiamo il valore numerico dato dal testo, facendo la conversione dei minuti in secondi, e otteniamo:

$$\omega = \frac{2\pi}{(2.5 \text{ min}) \times (60 \text{ s/min})} = 0.042 \text{ rad/s}$$



Vista di fronte



Vista dall'alto

Figura P7.1

Parte (b)

Ragioniamo insieme

- Che cosa simula l'accelerazione di gravità in una stazione rotante?
- L'accelerazione di gravità è simulata dall'accelerazione centripeta.
- Quanto vale l'accelerazione centripeta di un sistema rotante?
- Poiché conosciamo la velocità angolare, possiamo esprimere l'accelerazione centripeta con la formula:

$$a_c = \omega^2 R, \text{ dove } R \text{ è il raggio di rotazione.}$$

- Quanto deve valere tale accelerazione?
- Il testo dice che gli abitanti della stazione devono essere soggetti alla stessa gravità che c'è sulla Terra, per cui l'accelerazione deve essere  $9.8 \text{ m/s}^2$ .

Soluzione e discussione

Ricavando il raggio  $R$  e sostituendo i valori numerici nella formula precedente, otteniamo:

$$R = \frac{a_c}{\omega^2} = \frac{9.8 \text{ m/s}^2}{(0.042 \text{ rad/s})^2} = 5560 \text{ m}$$

Parte (c)

Ragioniamo insieme

- Per trovare la densità, quali grandezze ci servono?
- La massa, data dal testo, e il volume del tubo che costituisce la stazione.
- Come possiamo stimare il volume del tubo toroidale, visto che non conosciamo nessuna formula che ci dia tale volume in modo diretto?
- Dobbiamo cercare di ridurre il problema a uno più semplice, di cui conosciamo il metodo di risoluzione. Se noi "raddrizziamo" il toro, otteniamo un parallelepipedo, lungo quanto la circonferenza media della stazione, come nella figura P7.2a. Se ora tagliamo il tubo e lo "spianiamo", otteniamo un parallelepipedo, lungo quanto la circonferenza della stazione, largo quanto la circonferenza del tubo e alto quanto lo spessore della parete della struttura come nella figura P7.2b.

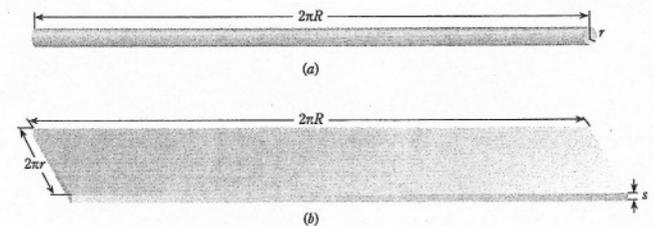


Figura P7.2

- Come possiamo allora trovare il volume della struttura toroidale?
- Calcolando il volume del parallelepipedo.

Soluzione e discussione

Il volume è dato da:

$$V = 2\pi (5560 \text{ m}) \times 2\pi (200 \text{ m}) \times (0.50 \text{ m}) = 2.2 \times 10^7 \text{ m}^3$$

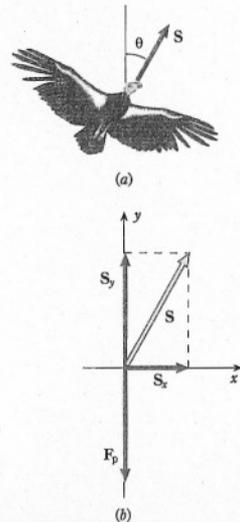


Figura P7.3

La densità è pertanto data da:

$$d = \frac{m}{V} = \frac{1.6 \times 10^{10} \text{ kg}}{2.2 \times 10^7 \text{ m}^3} = 7.3 \times 10^2 \text{ kg/m}^3 = 730 \text{ kg/m}^3$$

Nota che l'accorgimento, usato in questo esercizio, di cercare di ridurre un problema complesso a un altro simile, ma di cui si conosce la soluzione, è un modo tipico di procedere nella risoluzione dei problemi: tienilo presente. E ricorda che per poter usare questo metodo devi in qualche modo memorizzare la situazione che hai già affrontato: non è saggio affrontare una questione e poi dimenticarla.

### Problema svolto 2

Molte specie di uccelli possono librarsi sopra il suolo con un piccolo sforzo a causa delle correnti termiche. Si consideri un'aquila reale, capace di una velocità ottimale di volo di 14 m/s, che stia planando, come nella figura P7.3a, in un cerchio di 60 m di raggio ad altezza costante. La prestazione di qualsiasi oggetto in planata è funzione della sua forza di sospensione  $S$  per unità di massa  $m$ . Trovare il rapporto  $S/m$  per un'aquila.

#### Ragioniamo insieme

Q Che cosa significa che il cerchio di planata è ad altezza costante?

R Significa che la forza verticale che agisce sull'aquila è nulla.

Q Di che tipo di moto si muove l'aquila?

R Di moto circolare uniforme.

Q Quali forze agiscono sull'aquila?

R Il suo peso  $F_p$  e la forza di sospensione  $S$ , che rappresentiamo nel diagramma di corpo libero della figura P7.3b.

Q Qual è l'effetto di tali forze?

R Il componente verticale di  $S$ ,  $S_y = S \cos \theta$ , deve annullare il peso  $F_p$ , perché il volo è orizzontale, e il componente orizzontale,  $S_x = S \sin \theta$ , è la forza centripeta che genera il moto circolare. Abbiamo cioè in formule, per le intensità:

$$mg = S \cos \theta \quad (1)$$

$$m \frac{v^2}{r} = S \sin \theta \quad (2)$$

Q Come possiamo risolvere il sistema costituito dalle equazioni (1) e (2) che contengono come incognita l'angolo  $\theta$ ?

R Ricordandoci che  $S_x^2 + S_y^2 = S^2$ , abbiamo  $(S \sin \theta)^2 + (S \cos \theta)^2 = S^2$ , cioè  $(\sin \theta)^2 + (\cos \theta)^2 = 1$  (relazione che vale per ogni angolo) e possiamo quindi elevare a quadrato entrambi i membri delle equazioni (1) e (2) e poi sommarle membro a membro. Otteniamo:

$$m^2 g^2 = S^2 (\cos \theta)^2 \quad (1a)$$

$$m^2 \frac{v^4}{r^2} = S^2 (\sin \theta)^2 \quad (2a)$$

cioè:

$$m^2 g^2 + m^2 \frac{v^4}{r^2} = S^2 [(\cos \theta)^2 + (\sin \theta)^2]$$

da cui, per quanto osservato in precedenza,

$$m^2 \left( g^2 + \frac{v^4}{r^2} \right) = S^2 \quad (3)$$

#### Soluzione e discussione

Dalla (3), estraendo la radice quadrata, otteniamo che il rapporto  $\frac{S}{m}$  è dato da:

$$\frac{S}{m} = \sqrt{g^2 + \frac{v^4}{r^2}}$$

Sostituendo nella precedente uguaglianza i valori numerici dati, otteniamo:

$$\frac{S}{m} = \sqrt{(9.8 \text{ m/s}^2)^2 + \frac{(14 \text{ m/s})^4}{(60 \text{ m})^2}} = 10 \text{ N/kg}$$

È interessante notare che questo valore è simile a quello di una persona su un deltaplano.

### Problema svolto 3

Supponiamo che una scodella emisferica di raggio  $r_0$  ruoti con velocità angolare  $\omega$  attorno al suo asse di simmetria verticale (figura P7.4a). Una biglia è posta sulla superficie interna della scodella, che non presenta alcun tipo di attrito, e si osserva che rimane ferma rispetto alla scodella rotante. Determinare la distanza  $R$  della biglia dall'asse di rotazione.

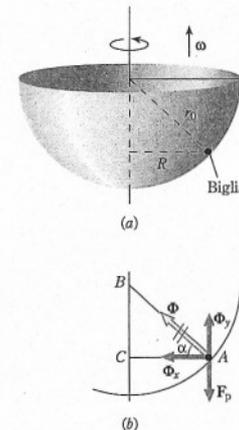


Figura P7.4

#### Ragioniamo insieme

Q Che cosa significa che la biglia rimane ferma rispetto alla scodella rotante?

R Significa che anche la biglia ruota con velocità angolare  $\omega$  e non sale né scende lungo la parete della scodella.

Q Come è possibile che ciò avvenga?

R La forza risultante sulla biglia deve essere orizzontale e diretta verso il centro di rotazione per generare il moto rotatorio.

Q Quali sono le forze agenti sulla biglia?

R Sono il suo peso  $F_p$  e la reazione vincolare  $\Phi$  della parete della scodella.

Q Come sono disposte tali forze?

R Il peso è verticale e la reazione vincolare è perpendicolare alla parete, visto che non ci sono attriti.

Q Che cosa sappiamo dell'intensità della reazione vincolare  $\Phi$ ?

R Sappiamo che la sua componente verticale deve uguagliare il peso della biglia, visto che non c'è spostamento verticale, e che la sua componente orizzontale, unica forza orizzontale agente sulla biglia, è la forza centripeta che genera il moto circolare.

Q Come possiamo determinare le componenti di  $\Phi$ ?

R Osservando la figura P7.4b, abbiamo che, essendo  $m$  la massa della biglia:

$$\Phi_y = mg \quad (1)$$

$$\Phi_y = \Phi_x \operatorname{tg} \alpha \quad (2)$$

② Come possiamo trovare  $\text{tg } \alpha$ ?

③ Prendendo in considerazione il triangolo  $ABC$ , abbiamo:

$$\text{tg } \alpha = \frac{BC}{AC} \quad (3)$$

④ Qual è il legame tra la forza centripeta, cioè  $\Phi_c$ , e la velocità di rotazione della scodella?

⑤ Il legame è dato da:

$$F_c = m a_c = m \omega^2 R \quad (4)$$

**Soluzione e discussione**

Abbiamo che:

$$F_c = \Phi_c$$

cioè, per la (2),

$$F_c = \frac{\Phi_y}{\text{tg } \alpha}$$

e, per la (1),

$$F_c = \frac{mg}{\text{tg } \alpha},$$

che, per la (3) e la (4), diventa:

$$\omega^2 R = g \frac{AC}{BC}$$

Nel triangolo  $ABC$  abbiamo  $BC = \sqrt{r_0^2 - R^2}$  e  $AC = R$ , che, sostituiti nella precedente uguaglianza, danno:

$$\omega^2 R = g \frac{R}{\sqrt{r_0^2 - R^2}}$$

da cui:

$$\omega^2 \sqrt{r_0^2 - R^2} = g$$

Elevando a quadrato, otteniamo:

$$\omega^4 (r_0^2 - R^2) = g^2$$

da cui, finalmente:

$$R = \sqrt{r_0^2 - \frac{g^2}{\omega^4}}$$

## ► da 7.1 a 7.4

## ► Problemi da svolgere

■1 Esprimere ciascuna delle seguenti misure in gradi, giri, radianti: (a)  $32^\circ$ , (b) 2.65 rad, (c) 0.67 giri.

■2 Esprimere ciascuna delle seguenti misure in gradi, giri, radianti: (a) 0.29 giri, (b)  $195^\circ$ , (c) 1.35 rad.

■3 La ruota di una roulette di raggio 85 cm ha due numeri sul perimetro. L'arco di circonferenza fra essi è di 2.8 cm. Trovare l'angolo al centro sotteso da tale arco, esprimendo la risposta in radianti, gradi e giri.

■4 Una sfera di raggio 33 cm ha due punti tracciati sulla superficie. La distanza sulla superficie fra di essi è 4.1 cm. Trovare l'angolo al centro sotteso dai due punti, esprimendo la risposta in radianti, gradi e giri.

■5 Calcolare la velocità angolare della lancetta dei secondi di un orologio in rad/s e giri/min.

■6 Calcolare la velocità angolare della lancetta dei minuti di un orologio in gradi/s e rad/ora.

■7 Un disco gira a 33.3 giri/min. (a) Qual è la sua velocità angolare in rad/s? (b) Quanti gradi percorre in 0.225 s?

■8 (a) Quanto vale la velocità angolare della lancetta delle ore di un orologio, in rad/s? (b) Quanti gradi percorre in 18 s?

■9 Un giradischi accelera partendo da fermo sino alla velocità angolare di 33.3 giri/min in 0.77 s. Quanto vale l'accelerazione angolare media in giri al minuto quadrato e in radianti al secondo quadrato?

■10 Un giradischi che gira inizialmente a 33.3 giri/min si ferma in 10.5 s. Quanto vale l'accelerazione angolare media in giri al secondo quadrato e in radianti al secondo quadrato?

■11 Una giostra impiega 22 s per accelerare da ferma sino a 3.75 giri/min. Trovare (a) la sua accelerazione in giri al secondo quadrato e (b) il numero di giri compiuti in tale tempo.

■12 Quale accelerazione in radianti al secondo quadrato deve essere impressa a una ruota per accelerarla da ferma sino a 540 rad/s in 7 giri?

■13 Una ruota di roulette si ferma in 18.5 s. Se in tale tempo compie 9.5 giri, qual era la sua velocità iniziale?

■14 Una ruota che gira a 32 giri/min accelera sino a 48 giri/min; ciò avviene in 17.5 s. Trovare (a) l'accelerazione angolare in radianti al secondo quadrato e (b) i gradi che percorre in questo tempo.

## ► 7.5

■15 Un ventilatore da soffitto ruota a 0.67 giri/s. La punta della pala è a 95 cm dal centro. A che velocità si muove la punta della pala in cm/s?

■16 Una giostra ruota a 3.65 giri/min. A che velocità, in m/s, si muove un bambino posto a distanza di 2.75 m dal centro?

■17 Una palla da bowling del diametro di 23.5 cm rotola per 16.5 m lungo il pavimento senza slittare. Quanti giri su se stessa compie?

■18 Quanti giri compie una ruota di auto di diametro 72 cm quando l'auto percorre 550 m?

■19 Qual è l'accelerazione angolare di una ruota del diametro di 65 cm se il veicolo cui appartiene ha un'accelerazione di  $0.375 \text{ m/s}^2$ ?

■20 Un oggetto viene alzato da una corda che si arrotola su un rocchetto di diametro 43 cm. Se quest'ultimo accelera a  $0.36 \text{ rad/s}^2$ , qual è l'accelerazione dell'oggetto in metri al secondo quadrato?

■21 Il raggio della Terra è  $6.36 \times 10^6 \text{ m}$ . (a) Qual è la velocità di un

albero all'Equatore, in m/s, a causa della rotazione terrestre? (b) E quella di un orso polare al Polo Nord?

■22 La Terra orbita intorno al Sole in 365.25 giorni. Quanto vale la velocità in m/s? La distanza Sole-Terra è di  $1.50 \times 10^{11}$  m.

■23 Una ruota del diametro di 35.5 cm gira alla velocità di 0.71 giri/s avvolgendo un filo sul suo contorno. Quanto filo viene arrotolato in 20 s?

■24 Una ruota del diametro di 7.8 cm gira alla velocità di 2450 giri/min. Quanto filo verrebbe avvolto su di essa in 5.0 s?

■25 Un veicolo viaggia alla velocità di 25.5 m/s; se il diametro delle sue ruote è di 106 cm, qual è la loro velocità in giri al secondo, radianti al secondo e gradi al secondo?

■26 Una ruota del diametro di 55 cm si stacca da un'auto che viaggia a 27 m/s, rotolando accanto a essa. Trovare la velocità angolare della ruota in giri/s, rad/s e gradi/s.

■27 Una bicicletta con ruote del diametro di 62.5 cm viaggia a 6.6 m/s. Decelera uniformemente e si ferma in 38 s. (a) Quanta strada percorre in questo tempo? (b) Quanti giri compie ciascuna ruota?

■28 Un'auto con ruote del diametro di 72.5 cm parte da ferma e accelera uniformemente in 36 s sino a 21.5 m/s. Quanti giri compie ciascuna delle ruote?

■29\* Un motore che gira a 1660 giri/min si arresta gradualmente in 16 s. (a) Trovare la decelerazione angolare e il numero di giri compiuti in 16 s. (b) Se il motore ha una ruota di raggio 6.25 attaccata all'albero, quale lunghezza di cinghia viene avvolta in tale tempo?

■30\* Due ingranaggi agganciati tra loro hanno raggi pari a 0.65 e 0.15 m. Quanti giri compie l'ingranaggio più piccolo quando quello grande ne compie 4.5?

■31\* Un'auto accelera uniformemente da ferma sino a 17.5 m/s in 23.6 s. Trovare l'accelerazione angolare e il numero di giri della sua ruota, sapendo che ha il raggio di 0.40 m.

■32 Una cinghia si arrotola su di una ruota avente il raggio di 44 cm. Nel tempo durante il quale la ruota si arresta uniformemente da una velocità iniziale di 1.8 giri/s, 29.5 m di cinghia passano sulla ruota. Trovare la decelerazione angolare della ruota e il numero di giri compiuti prima che la ruota si fermi.

■33 Un'auto di massa 1420 kg ha velocità 21.2 m/s e affronta una curva di raggio 37.5 m. Quale forza orizzontale è necessaria per mantenerla in traiettoria?

■34 Una massa di 380 g attaccata all'estremità di una corda viene fatta roteare in cerchio orizzontalmente; l'orbita ha raggio 75 cm. Se la sua velocità è 7.7 m/s, quanto deve valere la tensione della corda?

■35 Un cartone di uova è posto sul sedile di un'auto, quando quest'ultima affronta una curva di 26 m di raggio alla velocità di 16.5 m/s. Qual è il coefficiente di attrito minimo fra cartone e sedile perché le uova non scivolino?

■36 Un baco di massa 22.7 mg si trova sul perimetro di un disco di raggio 30 cm quando questo viene portato gradualmente alla velocità di rotazione di 33.3 giri/min. Quanto deve valere il coefficiente di attrito tra baco e disco affinché il baco non cada? (Trascurare l'attrito dell'aria.)

■37 In un apparato di laboratorio, un uomo è soggetto a un'accelerazione di 5.3 g, mediante rotazione ad alta velocità in un piano orizzontale. Il sedile su cui è posto è lontano 11.3 m dall'asse di rotazione. A quale velocità si muove l'uomo, in giri/s?

## ►7.6 e 7.7

$$m \omega g = \frac{m v^2}{R}$$

$$m \omega g = m \omega^2 R$$

$$g = \omega^2 R$$

## ►7.9

■38\* Un vecchio trucco consiste nel fare ruotare un secchio pieno d'acqua in un piano verticale: se la velocità è sufficiente, l'acqua non cadrà dal secchio quando questo è rovesciato. Qual è la velocità minima che la mano deve avere nel punto più alto della traiettoria? Usare 0.72 m come lunghezza del braccio.

■39\* Il progettista di un impianto di montagne russe desidera che i viaggiatori provino l'assenza di peso in cima a una delle montagne. Se il raggio di curvatura di questa è 30 m, quanto deve valere la velocità?

■40 In una centrifuga viene fatta ruotare una soluzione con velocità angolare di 5000 giri/s in una traiettoria di raggio 15 cm. Quanto vale l'accelerazione centripeta di ciascuna particella in soluzione? Confrontare il peso  $mg$  di una particella con la forza necessaria a tenerla in traiettoria.

■41 I globuli rossi e le altre particelle in sospensione nel plasma sono troppo leggere per emergere spontaneamente quando questo è immobile. A quale velocità deve essere centrifugato un campione di sangue in un'orbita di raggio 8.5 cm se la forza centripeta necessaria a tenere una delle particelle in traiettoria è 12 000 volte il suo peso? Perché in una centrifuga le particelle si separano dalla soluzione?

■42 Un'auto di massa  $m$  ha come massima forza di attrito fra essa e l'asfalto il valore di  $0.85 mg$ . A quale velocità può andare se deve affrontare una curva di raggio 31.5 m?

■43 Un neutrone è una particella priva di carica elettrica di massa pari a  $1.67 \times 10^{-27}$  kg e raggio dell'ordine di  $10^{-15}$  m. Trovare la forza di attrazione gravitazionale fra due neutroni i cui centri distino  $1.00 \times 10^{-12}$  m e confrontare il risultato con il peso del neutrone sulla Terra.

■44 Trovare la forza di attrazione gravitazionale esercitata dalla Luna su una persona di massa 70 kg. La massa della Luna è  $7.3 \times 10^{22}$  kg, e la sua distanza dalla Terra è  $3.8 \times 10^5$  km. Confrontare il risultato con il peso della persona sulla Terra.

■45 Confrontare l'attrazione gravitazionale sentita da una navicella spaziale sulla superficie della Terra con quella che sente a una quota di 5000 km (il raggio della Terra è 6380 km).

■46 Il pianeta Giove ha una massa che è 314 volte quella della Terra, e un raggio pari a 11.3 volte maggiore di quello terrestre. Trovare la forza di gravità su Giove.

■47 L'accelerazione di gravità sulla Luna è solo 1/6 di quella esistente sulla Terra. Supponendo che Terra e Luna abbiano la stessa composizione media, quale risulterebbe la stima del raggio lunare rispetto a quello terrestre? (Il valore esatto è  $0.27 R_T$ : come spieghi tale differenza?)

■48\* Un satellite orbita intorno alla Terra in circa 80 min se il suo raggio orbitale è 6500 km. Usare questi dati per trovare la massa della Terra.

■49\* Un satellite di Giove, Callisto, orbita compiendo un giro completo ogni 16.8 giorni, e il suo raggio orbitale è  $1.88 \times 10^5$  m. Usare questi dati per trovare la massa di Giove.

## Problemi di riepilogo

■50\*\* Una sfera di 450 g attaccata all'estremità di una corda viene fatta ruotare su di una traiettoria circolare pressoché orizzontale di raggio 1.25 m. La sua velocità tangenziale in traiettoria è 8.5 m/s. Non trascurare il peso della

sfera, ossia tenere presente che la corda non può essere perfettamente orizzontale. (a) Quale deve essere la tensione della corda? (b) Quale angolo forma la corda con l'orizzontale?

➔ **51\*\*** Come mostrato in figura P7.5, un uomo su una piattaforma rotante tiene in mano un pendolo. La sfera del pendolo si trova a 6.8 m dal centro della piattaforma, la velocità di rotazione di questa è 0.045 giri/s e il pendolo forma un angolo  $\theta$  con la verticale. Trovare  $\theta$ .

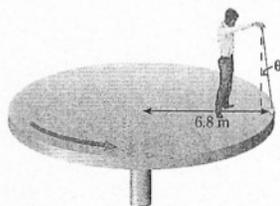


Figura P7.5



Figura P7.6

**52\*\*** La coccinella di figura P7.6 ha appena perso la presa vicino alla sommità di una palla da bowling. Essa scivola lungo la palla con un attrito trascurabile. Dimostrare che perderà il contatto con la superficie in corrispondenza dell'angolo  $\theta$  mostrato in figura, per il quale  $\cos \theta = \frac{2}{3}$ .

**53\*\*** La figura P7.7 mostra un progetto di colonizzazione spaziale. Consiste in un cilindro di diametro 7 km e lunghezza 30 km che galleggia nello spazio. Al suo interno è ricostruito un ambiente terrestre, e il cilindro è in rotazione sul suo asse al fine di riprodurre la condizione di gravità terrestre. Quale dovrebbe essere la sua velocità di rotazione perché una persona in piedi sulla terraferma eserciti una forza pari al suo peso sulla Terra?

**54\*\*** Una particella deve muoversi lungo una traiettoria orizzontale sulle pareti dell'imbuto mostrato in figura P7.8, che sono prive di attrito. Quale deve essere la velocità  $v$ , in funzione di  $r$  e  $\theta$ , perché questo moto sia possibile?

**55\*\*** Un pendolo, costituito da una massa di 140 g appesa all'estremità di una corda lunga 225 cm, viene rilasciato da fermo a un angolo di 65° rispetto alla verticale. Trovare la tensione della corda in corrispondenza di un angolo di 25°.

**56\*\*** Le sferette di massa  $m$  e  $M$  di figura P7.9 sono libere di scivolare lungo il filo metallico; esse si trovano ferme nelle posizioni indicate, successivamente  $M$  viene rilasciata e subisce un urto elastico con  $m$ . Qual è il massimo valore possibile di  $\frac{m}{M}$  se la sferetta  $m$  deve superare il punto più alto senza esercitare sul filo, in tal punto, una forza verso il basso?

**57\*\*** Un razzo spaziale riceve durante il decollo un'accelerazione massima diretta verso l'alto pari a  $40 \text{ m/s}^2$ , la quale dura sino a 16 km dalla superficie terrestre. Quale sarebbe il peso apparente di un astronauta di massa 80 kg?

**58\*\*** Ripetere il problema precedente nel caso in cui l'astronave raggiunga l'accelerazione indicata a 1500 m dalla superficie. L'accelerazione è radiale e diretta in uscita dalla Terra.

**59\*\*** Le sfere  $A$  e  $B$ , entrambe di massa  $m$ , sono unite da una corda di lunghezza  $L$ ; una seconda corda, identica alla prima e anch'essa di lunghezza  $L$ , è legata alla massa  $A$ . Una donna regge il sistema delle due sfere tenendo l'estre-

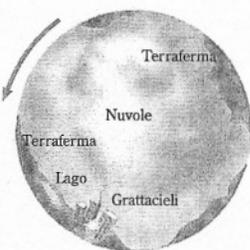


Figura P7.7



Figura P7.8

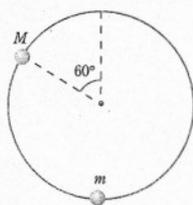
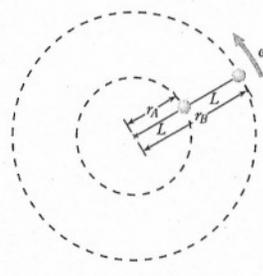


Figura P7.9



Vista dall'alto

Figura P7.10

mità libera della seconda corda, e lo fa ruotare in un piano orizzontale come è mostrato in figura P7.10. Se la donna fa ruotare il sistema sempre più velocemente, quale delle corde si romperà per prima? In corrispondenza di quale velocità angolare ciò avverrà? I dati sono:  $m = 500 \text{ g}$ ,  $L = 0.6 \text{ m}$ , tensione di rottura delle corde = 235 N. Trascurare il peso delle sfere, ossia supporre che la traiettoria sia completamente orizzontale.

**60\*\*** Un'auto da corsa di massa 800 kg guidata da un pilota di peso 700 N incontra un avvallamento il cui raggio di curvatura è 60 m. Ciò fa sì che l'auto subisca una compressione totale degli ammortizzatori, per la quale sono necessari 5000 N di forza oltre al peso della vettura. A che velocità andava l'auto al momento di incappare nell'avvallamento? Qual era il peso apparente del pilota in quel momento?

## Energia di rotazione e momento angolare

### ► Problemi svolti

#### Problema svolto 1

Trovare l'energia cinetica di rotazione della Terra dovuta alla sua rotazione intorno al proprio asse. Ipotizzare che la Terra sia una sfera omogenea di massa  $m = 5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$  e raggio  $r = 6.37 \times 10^6 \text{ m}$ .

#### Ragioniamo insieme

- D** Di quali informazioni abbiamo bisogno per calcolare  $E_{\text{rot}}$ ?
- R** Del momento di inerzia e della velocità angolare:  $E_{\text{rot}} = \frac{1}{2} I \omega^2$ .
- D** Qual è il momento di inerzia di una sfera?
- R** Dalla tabella 8.1 risulta:  $I = \frac{2}{5} MR^2$ .
- D** Come possiamo trovare la velocità angolare della Terra?
- R** Tutti sanno che la Terra compie una rotazione completa su se stessa ogni 24 ore.
- D** Dobbiamo convertire questa misura in altre unità?
- R** Sì;  $\omega$  deve essere espressa in radianti al secondo.

#### Soluzione e discussione

Convertiamo le unità di misura della velocità angolare. Abbiamo:

$$\omega = (1.00 \text{ giro/giorno}) (1 \text{ giorno}/24 \text{ h}) (1.00 \text{ h}/3600 \text{ s}) (2\pi \text{ rad/giro}) = 7.27 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$$

Il momento di inerzia è:

$$I = \frac{2}{5} (5.98 \times 10^{24} \text{ kg}) (6.37 \times 10^6 \text{ m})^2 = 9.71 \times 10^{37} \text{ kg m}^2$$

Infine, l'energia cinetica di rotazione risulta:

$$E_{c, \text{rot}} = \frac{1}{2} (9.71 \times 10^{37} \text{ kg m}^2) (7.27 \times 10^{-5} \text{ rad/s})^2 = 2.56 \times 10^{29} \text{ J}$$

### Problema svolto 2

Una ruota di raggio 40 cm ha una massa di 30 kg e un raggio giratore pari a 25 cm. Una corda avvolta sul suo contorno fornisce alla ruota una forza tangenziale di 1.8 N, ruota che è libera di ruotare intorno a un asse passante per il suo centro. Trovare l'accelerazione angolare della ruota.

#### Ragioniamo insieme

- D** Che cosa determina l'accelerazione angolare  $\alpha$ ?
- R** In base all'equazione (8.4a), l'accelerazione risulta determinata dal momento risultante applicato all'oggetto e dal suo momento di inerzia.
- D** Sono date sufficienti informazioni per calcolare il momento risultante?
- R** Sì. C'è una sola forza, applicata tangenzialmente a 40 cm dall'asse. Quindi:

$$\tau = (1.8 \text{ N}) (0.40 \text{ m}) = 0.72 \text{ N m}$$

- D** Per trovare il momento di inerzia, non dobbiamo conoscere la forma della ruota?
- R** Una volta che abbiamo il raggio giratore  $k$  non è più necessario; si può, infatti, calcolare direttamente:  $I = mk^2$ .
- D** Qual è l'equazione che permette di determinare  $\alpha$ ?
- R** Come detto in precedenza, è sufficiente invertire la (8.4a):

$$\alpha = \frac{\tau}{I}$$

#### Soluzione e discussione

Calcoliamo  $I$ :

$$I = (30 \text{ kg}) (0.25 \text{ m})^2 = 1.9 \text{ kg m}^2$$

Quindi:

$$\alpha = \frac{0.72 \text{ N m}}{(1.9 \text{ kg m}^2)} = 0.38 \text{ rad/s}^2$$

Nota che, semplificando le unità di misura come abbiamo sempre fatto, nel risultato finale non dovrebbero comparire i radianti. Ciò succede perché il radiante è una unità di misura adimensionale; è quindi importante che tu tenga sempre presente le unità di misura delle grandezze che stai trattando.

### Problema svolto 3

Il contenitore di figura P8.1 è posto su di un piatto rotante, il quale ruota intorno a un albero privo di attrito; per il sistema costituito da piatto più contenitore vale  $I = 8.0 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ . Dell'acqua viene fatta cadere goccia a goccia nel contenitore, nella direzione dell'asse; se la velocità di rotazione iniziale, a contenitore vuoto, è 2.0 giri al minuto, quanto vale la velocità dopo che si sono versati 300 g di acqua? Il raggio interno del contenitore è pari a 3.5 cm.



Figura P8.1

#### Ragioniamo insieme

- D** Vale la conservazione del momento angolare?
- R** Sì. Poiché l'acqua entra lungo l'asse di rotazione, la forza che ne risulta non può esercitare un momento sul sistema in rotazione.
- D** Quale proprietà cambia man mano che viene versata l'acqua?
- R** La massa sul disco rotante aumenta, e con essa il momento di inerzia; di conseguenza, deve diminuire proporzionalmente la velocità di rotazione, affinché si conservi il momento angolare  $L$ .
- D** Qual è il momento di inerzia dell'acqua?
- R** A questa bassa velocità di rotazione possiamo assumere che l'acqua sia in pratica un disco di raggio pari a quello interno del recipiente. Pertanto, dopo il versamento della quantità d'acqua indicata, si ha:

$$I_a = \frac{1}{2} (0.30 \text{ kg}) (0.035 \text{ m})^2 = 1.8 \times 10^{-4} \text{ kg m}^2$$

- D** Quale equazione risulta dall'applicazione della conservazione del momento angolare?
- R** Applicando la conservazione del momento angolare otteniamo l'equazione seguente:

$$I_i \omega_i = (I_i + I_a) \omega_f$$

#### Soluzione e discussione

L'ultima equazione dà:

$$\begin{aligned} \omega_f &= \frac{\omega_i I_i}{I_i + I_a} = \frac{(2.0 \text{ giri/min}) (8.0 \times 10^{-4} \text{ kg m}^2)}{(8.0 \times 10^{-4} + 1.8 \times 10^{-4}) \text{ kg m}^2} = \\ &= 2.0 \text{ giri/min} (8.0/9.8) = 1.6 \text{ giri/min} \end{aligned}$$

## ► Problemi da svolgere

### ► 8.1

- 1** Una forza di 6 N è applicata a una corda avvolta intorno a una ruota di raggio 9 cm. Quale lavoro viene compiuto da tale forza se la ruota gira di un angolo pari a 36°?
- 2** Il momento della forza di attrito su un sistema asse-ruota è pari a 0.060 N m. Quale lavoro compie tale momento sul sistema se la ruota esegue quattro giri completi?
- 3** Quale lavoro deve essere compiuto su una ruota con momento di inerzia  $I = 0.4 \text{ kg m}^2$  per accelerarla da ferma sino alla velocità angolare pari a 150 giri/min?
- 4** Una ruota da vasaio con momento di inerzia pari a 1.5 kg m<sup>2</sup> ruota a 36 giri/min quando inizia a rallentare spontaneamente sino a fermarsi. Quale lavoro compiono le forze di attrito per arrestare completamente la ruota?
- 5** Il piatto di un giradischi con momento di inerzia pari a 0.0015 kg m<sup>2</sup> ruota a 45 giri/min. (a) Quale lavoro compiono le forze di attrito per fermare il piatto una volta che l'apparecchio è stato spento? (b) Quanto vale il momento medio delle forze di attrito se la ruota impiega 25 s a fermarsi?

■6 Quale momento delle forze è necessario per imprimere un'accelerazione angolare di  $2.4 \text{ rad/s}^2$  a una ruota con momento di inerzia  $0.25 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ?

■7 Un momento di una forza pari a  $15 \text{ N} \cdot \text{m}$  è applicato a una ruota pesante con momento di inerzia pari a  $30 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ . Qual è l'accelerazione angolare della ruota?

■8 Una ruota con momento di inerzia pari a  $24 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  è soggetta a un momento di una forza in senso orario, pari a  $18 \text{ N} \cdot \text{m}$ . Se la ruota, nell'istante in cui viene applicato tale momento, sta girando in senso antiorario alla velocità di 6 giri/min, quanto tempo impiegherà ad arrestarsi?

■9 Una forza tangenziale di 40 N applicata al bordo di una ruota di raggio 16 cm imprime alla ruota stessa un'accelerazione angolare di  $0.5 \text{ rad/s}^2$ . Qual è il momento di inerzia della ruota?

■10 Durante un esperimento viene applicato un momento di una forza di  $0.200 \text{ N} \cdot \text{m}$  a una sbarra sottile, causandone la rotazione intorno a un asse passante per il centro e perpendicolare alla sbarra con accelerazione angolare di  $0.45 \text{ rad/s}^2$ . Qual è il momento di inerzia della sbarra?

■11 Una giostra da 120 kg a forma di disco orizzontale con momento di inerzia  $175 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  viene posta in rotazione mediante il movimento di una cinghia avvolta sul suo bordo. Quale forza costante deve essere esercitata sulla cinghia per portare la giostra da velocità zero a velocità di 30 giri/min in 3 s?

■12 L'albero di un motore con potenza di 3 CV gira a 5 giri/s. (a) Quanto lavoro può compiere il motore al secondo? (b) Quale momento può produrre il motore quando opera a tale velocità?

■13\* L'albero di un sistema di ingranaggi è collegato a un motore che ha una potenza di 0.2 W; sull'albero è montata una ruota con momento di inerzia  $0.8 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ . Calcolare il tempo minimo che il motore impiega per accelerare la ruota da zero a 24 giri/min.

■14\* Una ruota montata su di un asse ha una corda avvolta intorno al suo bordo. Il momento di inerzia della ruota è  $0.1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ , e la ruota viene accelerata dalla quiete da una forza di 25 N che tira l'estremità della corda per una distanza di 0.8 m. Qual è la velocità angolare finale della ruota?

■15 Una ruota di raggio 10 cm con momento di inerzia  $I = 0.08 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  gira a 180 giri/min quando viene applicata tangenzialmente al bordo una forza di attrito di 1.0 N. Quanti giri compie la ruota prima di fermarsi?

■16 Qual è l'energia cinetica di un piatto di giradischi con momento di inerzia di  $0.012 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  che ruota a 45 giri/min?

■17 Qual è la lunghezza della sbarra del problema 10 se essa ha massa 0.50 kg?

■18 I raggi lunghi 0.5 m della figura P8.2 hanno massa trascurabile rispetto alle 8 masse di 3 kg. Trovare il momento di inerzia del sistema (a) rispetto a un asse passante per il centro e perpendicolare al piano della figura e (b) rispetto all'asse  $AA'$ .

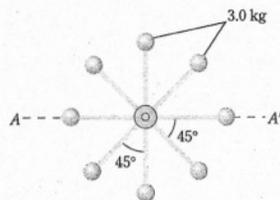


Figura P8.2

■19 Ciascuna delle masse di figura P8.3 vale  $m$ ; le sbarre che le collegano hanno invece massa trascurabile. Trovare il momento di inerzia del sistema di quattro masse (a) rispetto all'asse  $AA'$ , (b) rispetto all'asse  $BB'$  e (c) rispetto a un asse passante per il centro  $O$  e perpendicolare al piano della figura. Considerare le sfere come masse puntiformi.

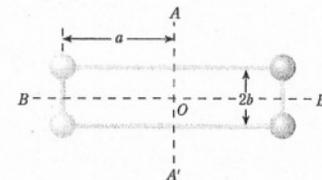


Figura P8.3

■20 I due anelli di figura P8.4 sono uniti da raggi di massa trascurabile. Quello interno ha massa  $m_i$ , quello esterno  $m_e$ ; i raggi dell'anello interno e di quello esterno sono rispettivamente  $a$  e  $b$ . Trovare il momento di inerzia del sistema rispetto a un asse per il centro e perpendicolare al piano degli anelli.

■21\* L'anello di massa  $M$  di figura P8.5 è attraversato lungo il diametro da una sbarra molto leggera che reca due masse identiche alle sue estremità. Trovare il momento di inerzia del sistema rispetto a un asse passante per il centro dell'anello e perpendicolare al piano che lo contiene.

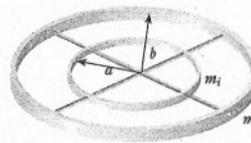


Figura P8.4

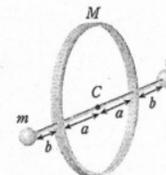


Figura P8.5

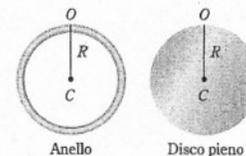


Figura P8.6

■22\* Un disco pieno omogeneo ha un momento di inerzia  $I_d$  rispetto a un asse passante per il centro e perpendicolare al piano che lo contiene. Un anello di raggio 40 cm e massa 1.8 kg viene attaccato al disco. Trovare il momento di inerzia del sistema combinato, rispetto all'asse indicato.

■23 Determinare il momento di inerzia rispetto a un asse passante per il punto  $O$  perpendicolare al piano dell'oggetto per (a) un anello e (b) un disco uniforme di massa  $M$  e raggio  $R$  (figura P8.6).

■24\* Una sfera di massa  $M$  e raggio  $R$  è sospesa mediante una corda di massa trascurabile di lunghezza  $L$  (figura P8.7). Determinare il momento di inerzia della sfera rispetto a un asse perpendicolare al piano della pagina e passante per  $O$ .

■25\* Determinare il momento di inerzia di una sottile sbarra omogenea e cilindrica, rispetto a un asse passante per un'estremità ( $O$ ) e perpendicolare alla sua lunghezza (figura P8.8). Qual è il momento di inerzia di questa sbarra rispetto a un asse distante  $L/3$  da  $O$  e perpendicolare alla sua lunghezza?

■26 Un cavo passa sopra una puleggia, che può essere considerata come un disco omogeneo di massa 2.4 kg e raggio 0.6 m. A causa dell'attrito fra la puleggia e il cavo, la tensione della corda non è la stessa da parti opposte della puleggia stessa. La forza da una parte è 150 N e quella dall'altra è 120 N. Determinare l'accelerazione angolare della puleggia.

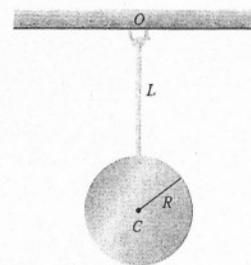


Figura P8.7

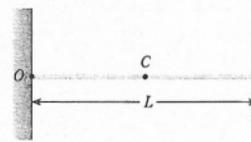


Figura P8.8

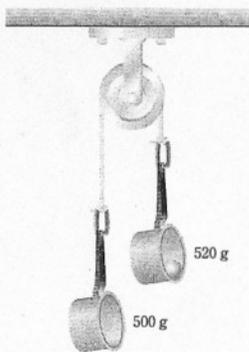


Figura P8.9

- 27 La ruota di un'auto è assimilabile a un disco pieno di raggio 35 cm e massa 6.5 kg. Qual è la sua energia cinetica di rotazione quando gira a 3 giri/s?
- 28 Quale velocità angolare (in giri/s) deve possedere un cilindro pieno di raggio 0.5 m e massa 4 kg per avere la stessa energia cinetica di rotazione di una sfera omogenea di stessa massa e rotante a 6 giri/s?
- 29 Qual è l'energia cinetica di rotazione di una ruota di bicicletta di diametro 60 cm e massa 4.0 kg quando la bicicletta viaggia a 4 m/s? Assumere come raggio giratore della ruota  $k = 50$  cm.
- 30 Una ruota ha massa 54 kg e raggio giratore 30 cm. (a) Quale momento di forza è necessario per accelerarla da ferma sino a 0.5 giri/s in 25 s? (b) Quale distanza percorre la ruota in tale tempo?
- 31 Un cilindro solido di massa 1.8 kg e raggio 20 cm gira intorno a un asse passante per il centro nel senso della lunghezza, a 2 giri/s. Quale momento di forza è necessario per fermarlo in 15 s?
- 32 Una forza di 2.2 N agisce tangenzialmente al bordo di un disco di massa 52 kg e raggio 32 cm. (a) Quanto impiega ad accelerarlo, ponendolo in rotazione intorno a un asse per il centro e perpendicolare al piano che lo contiene, da zero a 210 giri/min? (b) Quanti giri completi compie il disco in tale tempo?
- 33 Una giostra orizzontale di 100 kg e raggio 1.6 m viene messa in rotazione da ferma da una forza orizzontale di 60 N applicata tangenzialmente al bordo. Trovare l'energia cinetica del sistema dopo 3 s.
- 34 Un cilindro pieno di raggio 5.0 cm e massa 6 kg è montato su un asse coincidente con l'asse geometrico del cilindro. Una corda avvolta su di esso fornisce una forza tangenziale di 3.6 N per 3 s. Se il cilindro è inizialmente fermo, (a) a che velocità (in giri/s) gira dopo i 3 s? (b) Qual è la sua energia cinetica in quel momento?
- 35\* Una ruota di raggio 8.0 cm è montata su un asse orizzontale. Una corda di massa trascurabile è avvolta su di essa, e appesa alla corda vi è una massa di 60 g. Dopo che la massa viene rilasciata (da ferma), il sistema accelera in modo che la massa cade per 3 m in 5 s. Qual è il momento di inerzia della ruota? Qual è la tensione della corda in fase di discesa della massa?
- 36\* Un cilindro di raggio 24 cm è montato su un asse orizzontale coincidente con l'asse geometrico del cilindro. Una corda di massa trascurabile è avvolta su di esso e appesa alla corda vi è una massa di 100 g. Dopo che la massa viene rilasciata (da ferma), il sistema accelera in modo che la massa cade per 180 cm in 1.5 s. Qual è il momento di inerzia del cilindro? Qual è la tensione della corda in fase di discesa della massa?
- 37\* Una massa di 80 g pende dal bordo di una ruota di diametro 100 cm mediante una corda arrotolata su di essa. La ruota ha momento di inerzia  $I = 0.1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  ed è montata su un asse privo di attrito; viene quindi accelerata da ferma lasciando cadere la massa. (a) Qual è la velocità della ruota (in giri/s) dopo che la massa è scesa di 1 m? (b) Qual è l'energia cinetica di rotazione della ruota in quell'istante?
- 38\* Un cilindro avente momento di inerzia  $I = 900 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  ruota a 21.0 giri/min quando viene fatto partire un meccanismo che fa sì che una corda avvolta sul cilindro sollevi una massa di 6.0 kg mentre il cilindro si ferma. Per quale altezza la corda può sollevare la massa? Trascurare ogni variazione di energia cinetica di rotazione durante l'inserimento del meccanismo.
- 39\* Il sistema di figura P8.9 viene rilasciato da fermo. (a) A quale velocità si muove la ruota priva di attrito ( $I = 0.008 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  e raggio  $r = 8.0$  cm) dopo che la massa di 520 g è scesa di 2.4 m? (b) Quanto impiega la massa a scendere di tale distanza?



Figura P8.10

## ► 8.3

- 40\* Il sistema di figura P8.10 viene rilasciato da fermo; non c'è attrito fra il blocco e il tavolo, e la puleggia priva di attrito ha raggio 8.0 cm e momento di inerzia  $I = 0.008 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ . (a) A quale velocità si muove la massa di destra dopo che è scesa di 100 cm? (b) Quanto impiega la massa a scendere di tale distanza? (c) Qual è l'energia cinetica di rotazione della puleggia in quell'istante?

- 41\* Un anello di raggio 6 cm parte da fermo e rotola senza slittare per un pendio. (a) Qual è la sua velocità lineare quando raggiunge un punto 50 cm più in basso del punto di partenza? (b) A quale velocità (in giri/s) si muove in quell'istante?
- 42\* Ripetere il problema precedente per (a) un disco di raggio di 6 cm e raggio giratore di 5 cm e (b) un disco omogeneo di raggio 6 cm.
- 43\* Un cuscinetto a sfera di raggio 0.6 cm rotola senza slittare lungo un tavolo a 45 cm/s quando inizia a salire su un piano inclinato. A che altezza rispetto al tavolo riesce ad arrivare prima di arrestarsi? Ignorare gli attriti.
- 44\* Una sfera piena ha un raggio di 30 cm e una massa di 80 kg. Quale lavoro è necessario per farla rotolare lungo un piano a 40 rad/s di velocità angolare? (La sfera parte da ferma e non slitta.)
- 45\* Una palla da bowling di raggio 12 cm e massa 8 kg rotola senza slittare sulla corsia con velocità lineare di 1.6 m/s. Qual è l'energia cinetica totale della palla?
- 46\* Un disco omogeneo rilasciato dalla sommità di un piano inclinato raggiunge il fondo avendo una velocità di 12 m/s. Quanto è alto il lato verticale del piano inclinato? (Il disco parte da fermo e non slitta.)
- 47\* Una palla piena di raggio 0.6 m e massa 2.2 kg parte da un'altezza di 3.2 m e rotola da un pendio inclinato di  $24^\circ$  rispetto all'orizzontale. Un disco solido e un anello aventi esattamente la stessa massa e lo stesso raggio della palla fanno lo stesso. Se i tre oggetti rotolano senza slittare, quale arriva in fondo per primo? Quale per ultimo?
- 48\*\* Una sfera piena, un disco e un anello con lo stesso momento di inerzia  $I = 0.05 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  partono contemporaneamente da fermi dalla sommità di un pendio a quota 3 m dal livello del suolo. Se i tre oggetti rotolano senza slittare, quale arriva in fondo per primo?

## ► 8.4

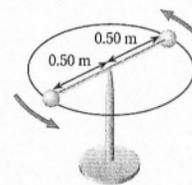


Figura P8.11

- 49 Determinare il modulo del momento angolare di un disco omogeneo di raggio 50 cm e massa 2.4 kg in rotazione a 6 giri/s intorno a un asse passante per il suo centro e perpendicolare al piano che lo contiene.
- 50 Ripetere il problema precedente nel caso di una sfera piena, di massa e raggio uguali, e che sia in rotazione con la stessa velocità.
- 51 In figura P8.11 due piccole sfere identiche, ciascuna di massa 1.2 kg, sono agganciate alle estremità di una sottile sbarra metallica lunga 1 m. La sbarra è impernata nel centro e ruota a 10 giri/s. Un meccanismo interno può muovere le sfere verso il perno. (a) Trovare il momento di inerzia del dispositivo nel momento iniziale. (b) Se le sfere vengono improvvisamente portate a 30 cm dal perno, qual è la nuova velocità di rotazione?
- 52\* Una donna è in piedi al centro di una piattaforma che ruota liberamente a 2 giri/s intorno a un asse verticale per il centro. La donna tiene in mano due masse da 2 kg, vicino al corpo. Il momento di inerzia composto

della donna, della piattaforma e delle masse è  $1.8 \text{ kg m}^2$ . La donna allarga quindi le braccia tenendo le masse distanti dal corpo. Facendo questo, aumenta il momento di inerzia sino a  $2.4 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ . (a) Qual è la velocità di rotazione finale della piattaforma? (b) L'energia cinetica del sistema è variata? Perché?

■53\* Un disco di musica di raggio  $12 \text{ cm}$  e massa  $0.1 \text{ kg}$  ruota liberamente intorno a un asse per il suo centro a  $45 \text{ giri/min}$ . Un insetto di massa  $18 \text{ g}$  salta sul disco in un punto distante  $4 \text{ cm}$  dal centro. Qual è la nuova velocità angolare del disco?

■54\* Un pattinatore su ghiaccio ruota su se stesso a velocità angolare  $3 \text{ giri/s}$  con le braccia tese. Abbassa quindi le braccia in modo tale che il suo momento di inerzia si riduce del  $15\%$ . Determinare (a) la nuova velocità di rotazione, (b) la variazione percentuale di energia cinetica.

■55\*\* Un pattinatore su ghiaccio che si muove a velocità  $v_0$  oltrepassa un palo e afferra l'estremità di una fune legata al palo. La lunghezza originaria della fune è  $L_0$ . Girando intorno al palo, la fune vi si arrotola, diventando via via più corta. Supponendo che il pattinatore non tenti di fermarsi, a quale velocità si muoverà quando la lunghezza della fune (il raggio del cerchio) è: (a)  $3 L_0/4$ , (b)  $L_0/2$ , (c)  $L_0/3$ ? Trascurare il diametro del palo.

■56\* Una giostra è costituita essenzialmente da un disco omogeneo di massa  $150 \text{ kg}$  e raggio  $6.0 \text{ m}$ , e ruota a  $15 \text{ giri/min}$  intorno a un asse verticale per il suo centro. Una persona di  $80 \text{ kg}$  è in piedi sul bordo della giostra. (a) A quale velocità si muoverà la giostra se la persona si sposta per  $3 \text{ m}$  verso il centro? (b) Qual è la variazione di energia cinetica del sistema?

■57\* Supporre che nel problema precedente non vi sia nessuno sulla giostra e che questa ruoti a  $12 \text{ giri/min}$ . Se ora un uomo di  $80 \text{ kg}$  salta sul bordo, quanto vale la nuova velocità angolare?

■58\*\* La figura P8.12 mostra un disco (di momento di inerzia  $I_1$ ) che ruota con velocità angolare  $\omega_1$ . Un disco non in rotazione di momento di inerzia  $I_2$  viene appoggiato sul primo disco. (a) Trovare la velocità angolare dei dischi accoppiati. (b) Ripetere il problema nel caso in cui il secondo disco abbia velocità angolare iniziale  $\omega_2$  nella stessa direzione di  $\omega_1$ . (c) Ripetere il problema nel caso in cui  $\omega_1 = \omega_2$ , ma le due velocità siano opposte. (d) Che cosa accade all'energia cinetica del sistema? Determinare il rapporto fra l'energia cinetica iniziale e quella finale.

**Problemi di riepilogo**

■59 Le stelle con massa superiore a 1.5 volte quella del Sole sono instabili. A causa di forze gravitazionali, esse a volte collassano formando stelle di neutroni. Queste sono stelle incredibilmente dense in cui tutti gli atomi sono collassati, nei quali cioè gli elettroni e i protoni si sono combinati formando neutroni. La stella alla fine ha un raggio pari a solo  $10^{-5}$  volte quello iniziale. Il Sole ruota intorno al proprio asse compiendo un giro ogni 25 giorni. (a) Quanto tempo impiegherebbe il Sole a fare un giro completo se subisse un simile collassamento? (b) Trovare il rapporto fra l'energia cinetica rotazionale iniziale della stella e quella finale. Spiegare tale variazione. Trattare il Sole come una sfera uniforme.

■60\*\* Un blocco da  $25 \text{ g}$  (figura P8.13) gira in circolo su un tavolo privo di attrito. Esso è legato a una corda che passa per un piccolo foro al centro del tavolo. La velocità angolare è  $30 \text{ giri/min}$  e il raggio del cerchio vale  $72 \text{ cm}$ . (a) Quanto vale il modulo di  $F$ ? (b) Se la corda viene tirata verso il basso di  $12 \text{ cm}$ , qual è la nuova velocità angolare del blocco? (c) Quanto lavoro compie

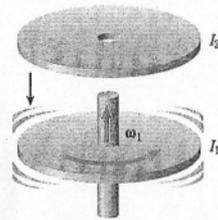


Figura P8.12

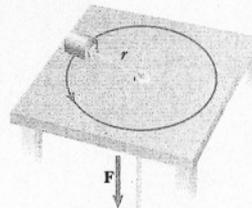


Figura P8.13

306

PROBLEMI

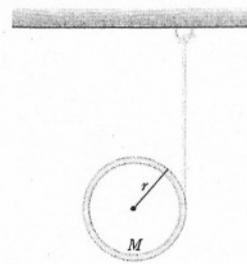


Figura P8.14

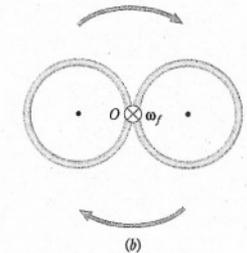
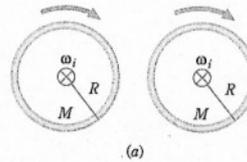


Figura P8.15

$F$  per accorciare il raggio del cerchio di  $60 \text{ cm}$ ? Supporre che il blocco sia piccolo rispetto al raggio del cerchio e che quindi sia possibile trattarlo come massa puntiforme.

■61\*\* Un cilindro di massa  $M$  e raggio  $R$  ruota con velocità angolare  $\omega_0$  avvolgendo una fune allentata. Quest'ultima è attaccata a una massa  $m$  appoggiata sul pavimento vicino al cilindro. Alla fine tutta la corda è avvolta sul cilindro e la massa viene sollevata. Mostrare che la frazione di energia cinetica totale persa nel processo che solleva la massa è  $\frac{2m}{(M+2m)}$ . Trascurare le variazioni di energia potenziale gravitazionale.

■62\*\* Un cilindro pieno omogeneo ha un largo nastro arrotolato su di sé. Un'estremità del nastro è agganciata al soffitto (figura P8.14); il cilindro viene rilasciato da fermo, e mentre scende il nastro si svolge senza slittare. La massa del cilindro è  $0.60 \text{ kg}$  e il suo raggio è  $20 \text{ cm}$ . Determinare: (a) l'accelerazione angolare del cilindro, (b) la tensione del nastro, (c) la velocità angolare nell'istante in cui il cilindro è sceso di  $2.5 \text{ m}$  dalla posizione iniziale.

■63\*\* Usare considerazioni energetiche per determinare la velocità del centro di massa del cilindro del problema precedente nell'istante in cui esso è sceso di  $2.5 \text{ m}$ . Mostrare che tale risultato è in accordo con la risposta data alla parte (c) del problema precedente.

■64\*\* Due dischi identici di massa  $M$  e raggio  $R$  si trovano su un tavolo privo di attrito, e sono entrambi in rotazione intorno all'asse passante per il centro con velocità angolare  $\omega_i$  (figura P8.15a). Si spostano gradualmente uno verso l'altro e quando si toccano si uniscono nel punto di contatto  $O$ . In conseguenza di ciò, essi ruotano intorno all'asse per il punto  $O$  con velocità angolare  $\omega_f$  (figura P8.15b). Determinare  $\omega_f$  in funzione di  $\omega_i$ .

■65\*\* Due cilindri partono da fermi a  $3 \text{ m}$  dal livello del suolo su di un piano inclinato a  $30^\circ$  sull'orizzontale. Entrambi hanno massa di  $1 \text{ kg}$  e raggio  $10 \text{ cm}$ , ma uno dei due è pieno, mentre l'altro è cavo. Quando quello pieno raggiunge il fondo del piano inclinato quanto spazio ha percorso l'altro?

Cons 
$$\text{magh} = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} I \frac{v^2}{r^2} =$$

$$\text{magh} = \gamma m v^2 \quad v = \sqrt{\frac{gh}{\gamma}}$$

$$gh = \frac{v^2}{\gamma} \quad \gamma = \frac{v^2}{gh}$$

$$\int_0^h \rho \omega dt = \frac{\rho \omega h}{\rho \omega \alpha}$$

# Risultati dei problemi

## CAPITOLO 1

- 1** (a) 16.7 km/h; (b)  $3.16 \times 10^7$  s;  
 (c) 666.7 m/min; (d)  $\frac{5\pi}{6}$  rad  
**2** (a) 22.2 m/s; (b)  $1.9 \times 10^7$  s;  
 (c) 36 km/h; (d) 86400 s; (e)  $57.3^\circ$   
**3** (a)  $6.28 \times 10^4$  m; (b)  $2.26 \times 10^{-6}$  m;  
 (c)  $3.33 \times 10^{-8}$  m; (d)  $1.358 \times 10^{-4}$  m;  
 (e)  $3.0002 \times 10^1$  m  
**4** (a)  $7.45 \times 10^5$  g; (b)  $6.69 \times 10^{-8}$  g;  
 (c)  $3.255 \times 10^{-8}$  g; (d)  $2.31 \times 10^{-10}$  g;  
 (e)  $7.48 \times 10^1$  g; (f)  $4.1 \times 10^8$  g  
**5**  $1.31 \times 10^{-1}$   
**6**  $4.62 \times 10^{24}$   
**7** (a) 4; (b) 5; (c) 3; (d) 2; (e) ambigua  
**8** (a) 4; (b) 4; (c) 1; (d) ambiguo; (e) 3  
**9**  $5.83 \times 10^9$   
**10**  $1 \times 10^{-5}$   
**11** 152 m  
**12** 13.43 m  
**13** (a)  $4.0 \times 10^{-18}$ ; (b)  $1.17 \times 10^{-9}$ ;  
 (c)  $6 \times 10^{29}$ ; (d)  $2.96 \times 10^{-2}$   
**14** (a)  $8.3 \times 10^{-13}$ ; (b)  $7.52 \times 10^{-59}$ ;  
 (c)  $3.0 \times 10^3$ ; (d)  $19 \times 10^2$   
**20** 19.0 m; 29.0 m; -18.0 m; 30.0 m;  
 -18.0 m; -30.0 m  
**21** 78.0 cm,  $23^\circ$ ; -78.0 cm,  $203^\circ$   
**22** 95.0 cm; 48.0 cm,  $2.50^\circ$   
**23** 553 m,  $134^\circ$ ; 553 m,  $314^\circ$   
**24** -2.75 j km; 13.5 km  
**25** 128 passi;  $241^\circ$   
**26** 240 km;  $135.5^\circ$   
**27** 268.4 km;  $0.5^\circ$   
**28** 7.64 m;  $18.0^\circ$   
**29** 48.0 m; 28.0 m  
**30** 66 cm,  $70^\circ$ ; 50 cm,  $184^\circ$   
**31** 0.93 cm; 0.56 cm; 1.15 cm  
**32** 2 m;  $43^\circ$ ;  $27^\circ$   
**33** 135 m,  $35^\circ$   
**35** 743 km,  $225^\circ$ ; 907 km,  $260^\circ$

## CAPITOLO 2

- 1** 760 km/h; 211 m/s  
**2**  $1.67 \times 10^{-11}$  s  
**3**  $1.34 \times 10^{-9}$  s  
**4** 595 m

- 5** (a) 2.6 cm/s,  $159^\circ$ ; (b) 3.4 cm/s  
**6** (a) 18 km/h,  $319.5^\circ$ ; (b) 21.1 km/h  
**7** (a) 1.00 cm/s; (b) 0.86 cm/s;  
 (c) -0.40 cm/s; (d) -1.00 cm/s;  
 (e) 0.00 cm/s  
**8** (a) 1.60 cm/s; (b) -1.00 cm/s;  
 (c) 1.50 cm/s; (d) 1.33 cm/s  
**9** 11.2 s  
**10** 38 m  
**11** 0 m/min; 16.7 i m/min; 0 m/min;  
 -32.5 i m/min  
**12** 12 i m/min; 0 m/min; -32.5 i m/min  
**13** 7.3 i cm/s; -7.0 i cm/s; 20 i cm/s  
**14** -5.0 i cm/s; 5.6 i cm/s; 0 cm/s  
**15** 59.1 m  
**16** 233 s  
**17** 0.97 i m/s<sup>2</sup>  
**18** -0.718 i m/s<sup>2</sup>  
**19** -2.19 i m/s<sup>2</sup>; 128 m  
**20** 17.8 i m/s<sup>2</sup>; 222 m  
**21** 33.73 i m/s<sup>2</sup>; 164 m  
**22** -5.59  $\times 10^3$  i m/s<sup>2</sup>;  $3.94 \times 10^{-4}$  s  
**23**  $1.79 \times 10^{-10}$  s;  $6.98 \times 10^{17}$  i m/s<sup>2</sup>  
**24** (a) 9.91 s; (b) 112 m; (c) 16.8 m  
**25** -5.85 i m/s<sup>2</sup>;  $1.88 \times 10^{-4}$  s  
**26** -400 i m/s<sup>2</sup>  
**27** (a) 113 s; (b) 5.6 i m/s  
**28**  $5.66 \times 10^{-3}$  L i m/s<sup>2</sup>; 133 s  
**29** (a) 106 s; (b) 20.3 s  
**30** 16.1 s; 39.2 i m/s; 316 m  
**31** 3.72 m/s<sup>2</sup>  
**32** -20.4 j m/s; 2.1 s  
**33** 8.54 m; -12.9 j m/s  
**34** 29.1 m; 2.44 s  
**35** 1.09 s; -29.2 j m/s  
**36** 106 m; -45.6 j m/s  
**37** 3.2 s; -23 j m/s  
**38** 6.79 m  
**39** 143 m  
**40** 0.505 s  
**41** 0.43 s  
**42** 1.83 m; 0 s  
**43** 115 m  
**44** (a) 59.9 m; (b) 3.82 s  
**45**  $4.23 \times 10^3$  m; 25.8 s  
**46** 13.9 m/s  
**47** 100 km/h,  $103^\circ$ ; 33.3 km

- 48** (a)  $113.9^\circ$ ; (b) 23.4 s  
**49** 83 km/h  
**50** 11.6 m  
**51** 1322 m  
**52** 10.4 m  
**54** 0.95 m  
**55** 9.1 m  
**56** (a) 80.4 m; (b) 2.00 s; (c) salendo  
**57** 13.8 s

## CAPITOLO 3

- 1** 157 N; 29.5 m/s  
**2** (a) 2.79 m/s<sup>2</sup>; (b) 7.60 s  
**3** (a) 3.03 m/s<sup>2</sup>; (b) 4100 N  
**4** 26.7 N  
**5** 325 N  
**6** 165 N  
**7** (a) 706 N; (b) 770 N  
**8** 4548 N  
**9** 2506 N  
**10** 386 N  
**11** 2544 N  
**12** (a) -5 j N; (b) 5 j N  
**13** (a) 0 N; (b) -5 j N, 5 j N  
**14** -26000 N  
**15** 5645 N  
**16** (a) 0.932 i m/s<sup>2</sup>; (b) 3.82 i N;  
 (c) -0.932 i m/s<sup>2</sup>, 2.98 i N  
**17** (a) 9.80 N; (b) 588 N;  
 (c)  $13.2 \times 10^3$  N; (d)  $9.8 \times 10^3$  N;  
 (e) 4.45 N  
**18** (a) 1.53 kg; (b) 179 kg; (c)  $10^3$  kg  
**19** 58.2 j N  
**20** 198 j N  
**21** (a) 160 N; (b) 98.0 kg; (c) 98.0 kg  
**22** (a) 70.0 N; (b) 48.9 N; (c) 60.6 N  
**23** (a) 47.0 N; (b) 69.4 N; (c) 37.5 N  
**24** (a) 14.5 N, 22.0 N, 11.6 N; (b) 4.1  
 m/s<sup>2</sup>, 0.49 m/s<sup>2</sup>, non c'è movimento  
**25** (a) 54.0 N, 30.6 N, 46.8 N; (b) 2.9  
 m/s<sup>2</sup>, 3.3 m/s<sup>2</sup>, non c'è movimento  
**26** 24.5 N  
**27** 0.80; attrito statico  
**28** 410 N  
**29** 35.3 m  
**30** 4.29 m  
**31** 71.9 m  
**32**  $2.00 \times 10^{-13}$  N;  $2.30 \times 10^{16}$   
**33**  $2.05 \times 10^3$  N  
**34** 3710 N  
**35** 36.1 m/s<sup>2</sup>  
**36** 3.53 m/s<sup>2</sup>  
**37** 107 m  
**38** 0.560  
**39** 5.27 m/s<sup>2</sup>, 15.8 N; 2.04 m/s<sup>2</sup>, 15.8 N  
**40** (a) 6.82 N; (b) 53.1 N; (c) 1.86 N, 14.5 N

- 41** (a) 3.62 m/s<sup>2</sup>, 11.8 N; (b) 1.63 m/s<sup>2</sup>, 15.5 N  
**42** 13.5 N  
**43** 163 N, 0.821 s  
**44**  $\frac{F}{2m}$ ;  $\frac{F-2f}{2m}$   
**45** 0.268 N, 0.980 m/s  
**46** 0.053  
**47** 0.892 N, 2.82 N, 2.07 m/s<sup>2</sup>  
**48** (a) 4.14 m/s<sup>2</sup>, 35.6 N; (b) 3.41 m/s<sup>2</sup>,  
 $\frac{g[m_2 - m(\mu \cos \theta + \sin \theta)]}{m_1 + m_2}$   
 40.3 N;

- 49**  $\frac{(M+m)g}{\mu}$   
**50** (a) 0.438; (b) 3.43 m/s<sup>2</sup>  
**51** (a) 13.8 m/s<sup>2</sup>; (b) 3.49 m/s<sup>2</sup>  
**52** (a) 26.0 N; (b) 37.8 N  
**53** 35.0 N; 0.363  
**54** (a) 605 N; (b) 320 N  
**55** (a) 4.85 N, 2.70 N; (b) 13.0 N, 7.23 N;  
 (c) 0.990 N, 0.550 N; (d) 0 N;  
 (e) 4.85 N, 2.70 N  
**56** (a) 18.9 m; (b) 3.78 m  
**57** (a) 46.4 m; (b) 5.39 m  
**58** (a)  $\frac{M_1 D}{M_1 + M_2}$ ; (b)  $\frac{M_2}{M_1}$   
**59**  $(\mu \cos \theta + \sin \theta) g$   
**60** (a) 14.2 N; (b) 7.99 m/s<sup>2</sup>, 8.70 m/s<sup>2</sup>;  
 (c) 64.2 N, non c'è movimento  
**61** 1.54 mg  
**62** 1.11 m/s<sup>2</sup>  
**63** 0.107 g

## CAPITOLO 4

- 1** 60.0 N, 25.0 N  
**2** (a) 44.0 N; (b) 12.0 N  
**3** (-47.8 i - 397 j) N  
**4** (38.1 i + 138 j) N  
**5** (a) 180 j N, -90 j N, -90 j N; (b) 205 j  
 N, -90 j N, -90 j N  
**6** (a) 582 N; (b) 1703 N  
**7** 1072 N  
**8** 416 N  
**9** 22.7°  
**10** 653 N  
**11** 50.0 N  
**12** (a) 95.5 N; (b) 33.0 N  
**13** 650 N, 862 N  
**14** 940 N, 604 N  
**15** 230 N, 193 N  
**16** 1382 N, 783 N, 1470 N, 503 N  
**17** 1128 N, 489 N, 639 N  
**18** 261 N; 210 N  
**19** 300 N, 300 N, 300 N, 600 N, 300 N  
**20** 180 N  
**21** 0; 120 N · m, -150 N · m, 303 N · m, 0

- 222  $-463 \text{ N} \cdot \text{m}, -193 \text{ N} \cdot \text{m}, 240 \text{ N} \cdot \text{m}, 0, 0$   
 223 (a)  $2.00 \text{ m}, 0, 0, 2.00 \text{ m}, 2.83 \text{ m}$ ;  
 (b)  $-2.00 F_1, 0, 0, 2.00 F_1, 2.83 F_2$   
 224 (a)  $57.6 \text{ N} \cdot \text{m}$ ; (b)  $28.8 \text{ N} \cdot \text{m}$   
 225  $400 \text{ N}$   
 226  $1000 \text{ N} \cdot \text{m}$   
 227  $2.00 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}$   
 228  $0.655 \text{ m}$   
 229  $120 \text{ N}$   
 230  $1.0 \text{ m}$   
 231  $253 \text{ N}, 293 \text{ N}$   
 232  $320 \text{ N}$   
 233  $4000 \text{ N}$   
 234  $0.870 \text{ m}$   
 235  $1279 \text{ N}, 822 \text{ N}, 140 \text{ N}$   
 236 (a)  $11.20 \text{ N}$ ; (b)  $2800 \text{ N}, 11.65 \text{ N}$   
 237  $6.00 \text{ m}$   
 238  $630 \text{ N}, 470 \text{ N}$   
 239 (a)  $1987 \text{ N}$ ; (b)  $-320 \text{ N}, 2491 \text{ N}$   
 240  $1396 \text{ N}, 970 \text{ N}, 485 \text{ N}, 2570 \text{ N}$   
 241  $21.8^\circ$   
 242  $52.2 \text{ N}, 70.4 \text{ N}$   
 243  $F_P \left(1 + \frac{L}{2b}\right) \cos \theta$   
 244  $0.152$   
 245  $23.4^\circ$   
 246 (a)  $285 \text{ N}, 1062 \text{ N}$ ; (b)  $1386 \text{ N}$   
 247  $1512 \text{ N}$   
 248  $559 \text{ N}$   
 249  $1.13 \text{ m}$   
 250  $F_2 > F_1$

## CAPITOLO 5

- 1  $70.0 \text{ J}$   
 2  $2078 \text{ J}$   
 3  $8222 \text{ J}$   
 4  $8575 \text{ N}, -3.09 \times 10^5 \text{ J}$   
 5  $720 \text{ J}$   
 6  $40.0 \text{ m}$   
 7  $4.00 \text{ m/s}$   
 8  $1176 \text{ J}$   
 9  $3528 \text{ J}$   
 10  $1116 \text{ J}$   
 11  $1868 \text{ J}$   
 12  $720 \text{ J}$   
 13  $0.136 \text{ CV}$   
 14  $200 \text{ W}$   
 15  $12.0 \text{ W}$   
 16  $1960 \text{ W}$   
 17  $4650 \text{ N}$   
 18  $3.00 \times 10^4 \text{ W}, 40.8 \text{ CV}$   
 19  $0.239 \text{ m/s}$   
 20  $0.294 \text{ W}, 4.0 \times 10^{-4} \text{ CV}$   
 21  $1.31 \text{ s}$

- 22  $2279 \text{ N}$   
 23  $4.00 \times 10^5 \text{ J}$   
 24  $1.23$   
 25  $89.4 \text{ m}$   
 26  $2.27 \text{ m/s}$   
 27  $70000 \text{ J}, 0.777$   
 28  $3.76 \times 10^{-11} \text{ N}$   
 29  $3006 \text{ W}$   
 30  $104 \text{ J}$   
 31  $-1.62 \times 10^5 \text{ J}$   
 32 (a)  $-2400 \text{ N}$ ; (b)  $2.50 \times 10^{-4} \text{ s}$   
 33 (a)  $-900 \text{ N}$ ; (b)  $0.600 \text{ s}$   
 34  $1.70 \text{ m}$   
 35  $17640 \text{ J}$   
 36 (a)  $9.80 \text{ J}$ ; (b)  $25.5 \text{ J}$   
 37  $9.80 \text{ J}$   
 38 (a)  $4.41 \times 10^5 \text{ J}$ ; (b) no; (c)  $76.6 \text{ W}$   
 39 (a)  $1.88 \times 10^8 \text{ J}$ ; (b)  $69.7 \text{ kW}$   
 40  $28.0 \text{ m/s}$   
 41  $4.43 \text{ m/s}$   
 42  $\frac{b}{2}, \sqrt{gb}$   
 43  $14.4 \text{ N}$   
 44 (a)  $2.31 \times 10^5 \text{ J}$ ; (b)  $2.13\%$   
 45  $13.3 \text{ N}$   
 46 (a)  $2.55 \text{ m}$ ; (b)  $1.89 \text{ m}$   
 47 (a)  $83.8 \times 10^7 \text{ J}$ ; (b)  $0.940$ ; (c)  $384 \text{ s}$ ;  
 (d)  $2182 \text{ kW}$   
 48  $0.113 \text{ W}$   
 49 (a)  $10.0 \text{ m}$ ; (b)  $1.27 \text{ N}$ ; (c)  $7.66 \text{ m/s}$   
 50 (a)  $3.96 \text{ m/s}$ ; (b)  $3.27 \text{ m/s}$   
 51  $54.1\%$   
 52  $9.90 \text{ m/s}, 7.67 \text{ m/s}$   
 53  $10.0 \text{ m/s}, 7.81 \text{ m/s}$   
 54  $890 \text{ N}$   
 55  $5.94 \text{ m/s}$   
 56  $5.08 \text{ m/s}$   
 57  $12.8 \text{ km/l}$   
 58 (a)  $0.719 \text{ N}$ ; (b)  $1.73 \text{ m/s}$   
 59 (a)  $14.3$ ; (b)  $21.3$ ; (c)  $67.0\%$   
 60 (a)  $13.1$ ; (b)  $15.0$   
 61  $9.44$   
 62 (a)  $38.0$ ; (b)  $431 \text{ N}$   
 63  $0.599 \text{ CV}$   
 64  $27.5 \text{ N}$   
 65 (a)  $339 \text{ N}$ ; (b)  $0.0339 \text{ N}$   
 66 (a)  $504 \text{ J}$ ; (b)  $-376 \text{ J}$ ; (c)  $6.32 \text{ m/s}$   
 67  $7.78^\circ$   
 68  $1.85 \text{ m/s}$   
 69 (a)  $70.1 \text{ J}$ ; (b)  $-21.2 \text{ J}$ ; (c)  $-9.25 \text{ J}$ ;  
 (d)  $39.7 \text{ J}$   
 70  $2.06 \text{ m}$   
 71 (a)  $480 \text{ kJ}$ ; (b)  $470 \text{ kJ}$   
 72  $14.83 \text{ kW}$   
 73  $8.97^\circ$   
 74 (a)  $490 \text{ J}$ ; (b)  $490 \text{ J}$ ; (c)  $491 \text{ J}$

## CAPITOLO 6

- 1 (a)  $35630 \text{ j kg} \cdot \text{m/s}$ ;  
 (b)  $7.779 \times 10^{-1} \text{ j kg} \cdot \text{m/s}$ ;  
 (c)  $-6.5 \times 10^8 \text{ i kg} \cdot \text{m/s}$   
 2  $-131 \text{ j kg} \cdot \text{m/s}$   
 3  $m \sqrt{2gh}$   
 4  $5.22 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ;  $32.6 \text{ m/s}$   
 5  $\frac{p^2}{2m}$   
 6  $936 \text{ N}$   
 7  $28.5 \text{ kN}$   
 8  $2.537 \times 10^5 \text{ N}$   
 9  $7236 \text{ N}$   
 10  $7.11 \times 10^{-4} \text{ s}, 1.27 \times 10^4 \text{ N}$   
 11  $9.04 \times 10^{-11} \text{ s}, 7.94 \times 10^{-10} \text{ N}$   
 12  $10.6 \text{ N}$   
 13 (a)  $0.0546 \text{ t N} \cdot \text{s}$ ; (b)  $0.0546 \text{ N}$   
 14  $15.0 \text{ N}$   
 15  $\frac{VM_1}{M_1 + M_2} a$   
 16  $0.176 \text{ m/s}$   
 17  $12 \text{ i m/s}$   
 18 (a)  $4.0 \text{ i m/s}$ ; (b)  $3 \text{ m}_1$   
 19 (a)  $0.141 \text{ m/s}$ ; (b)  $0.064 \text{ N}$   
 20  $674 \text{ m/s}$   
 21  $16.4 \text{ m/s}, 34.8 \text{ m/s}$ ;  $16.4 \text{ m/s}, 60.4 \text{ m/s}$   
 22 (a)  $\sqrt{\frac{gh}{2}}$ ; (b)  $50\%$   
 23  $1.45 \text{ m}_1$   
 24  $h$   
 25  $\frac{5v_0}{g}, \frac{14v_0}{g}$   
 26  $9.46 \times 10^{-27} \text{ kg}$   
 27  $0.0351 v_i$   
 28  $6.9\%$   
 29  $\frac{\Delta E_x}{E_x} = \frac{4k}{(k+1)^2}$   
 30 (a)  $1200 \text{ kN}$ ; (b)  $0.36 \text{ g}$   
 31  $65 \text{ s}$   
 32  $-0.128 \text{ i m/s}$   
 33  $28.8 \text{ cm}$   
 34  $14.6 \text{ N}$   
 35 opposta al moto,  $1.9 \text{ s}$   
 36  $(-42.0 \text{ i} + 25.0 \text{ j}) \text{ m/s}$ ;  
 $(-21.0 \text{ i} + 12.5 \text{ j}) \text{ m/s}$   
 37  $-\frac{2v_0}{5} \text{ i} + \frac{3v_0}{5} \text{ j}$   
 38  $v_0$  in versi opposti  
 39  $-\frac{v_0}{2} \text{ i} - \frac{v_0}{2} \text{ j}$ , sì  
 40  $0.866 v_0, \frac{v_0}{2}$   
 41  $207.6^\circ, 3.48 v$

- 42  $187.7^\circ, 6.01 v$   
 43  $(17.5 \text{ i} + 10.0 \text{ j}) \text{ m/s}$   
 44  $432 \text{ kJ}$   
 45 sì,  $854 \text{ s}$   
 46  $18.4 \text{ m/s}$   
 47  $4.05 \text{ m}$   
 48  $\sqrt{\frac{3gD}{8}}$   
 49  $\sqrt{\frac{gL}{8}}$   
 50  $\frac{Mv}{L} (v + gt)$   
 51 (a)  $38.9 \text{ m/s}$ ; (b)  $178 \text{ N}$

## CAPITOLO 7

- 1 (a)  $0.089 \text{ giri}, 0.559 \text{ rad}$ ; (b)  $152^\circ$ ,  
 $0.422 \text{ giri}$ ; (c)  $241^\circ, 4.21 \text{ rad}$   
 2 (a)  $104^\circ, 1.82 \text{ rad}$ ; (b)  $0.542 \text{ giri}, 3.40$   
 $\text{rad}$ ; (c)  $77.3^\circ, 0.215 \text{ giri}$   
 3  $0.0329 \text{ rad}, 1.89^\circ, 5.24 \times 10^{-3} \text{ giri}$   
 4  $0.124 \text{ rad}, 0.0198 \text{ giri}, 7.12^\circ$   
 5  $0.105 \text{ rad/s}, 1.00 \text{ giri/min}$   
 6  $0.100^\circ/\text{s}, 2\pi \text{ rad/h}$   
 7 (a)  $3.46 \text{ rad/s}$ ; (b)  $44.6^\circ$   
 8 (a)  $1.45 \times 10^{-4} \text{ rad/s}$ ; (b)  $0.150^\circ$   
 9  $2595 \text{ giri/min}^2, 4.53 \text{ rad/s}^2$   
 10  $-0.0529 \text{ giri/s}^2, -0.332 \text{ rad/s}^2$  (il disco  
 gira in senso orario)  
 11 (a)  $0.00284 \text{ giri/s}^2$ ; (b)  $0.688 \text{ giri}$   
 12  $3315 \text{ rad/s}^2$   
 13  $1.03 \text{ giri/s}$   
 14 (a)  $0.0957 \text{ rad/s}^2$ ; (b)  $4200^\circ$   
 15  $400 \text{ cm/s}$   
 16  $1.05 \text{ m/s}$   
 17  $22.3 \text{ giri}$   
 18  $243 \text{ giri}$   
 19  $1.15 \text{ rad/s}^2$   
 20  $0.0774 \text{ m/s}^2$   
 21 (a)  $463 \text{ m/s}$ ; (b)  $0$   
 22  $2.98 \times 10^4 \text{ m/s}$   
 23  $15.8 \text{ m}$   
 24  $50.0 \text{ m}$   
 25  $7.66 \text{ giri/s}, 48.1 \text{ rad/s}, 2757^\circ/\text{s}$   
 26  $15.6 \text{ giri/s}, 98.2 \text{ rad/s}, 5625^\circ/\text{s}$   
 27 (a)  $125 \text{ m}$ ; (b)  $63.9 \text{ giri}$   
 28  $170 \text{ giri}$   
 29 (a)  $10.9 \text{ rad/s}^2, 221 \text{ giri}$ ; (b)  $87.0 \text{ m}$   
 30  $19.5 \text{ giri}$   
 31  $1.85 \text{ rad/s}^2, 81.5 \text{ giri}$   
 32  $0.152 \text{ giri/s}^2, 10.7 \text{ giri}$   
 33  $17.040 \text{ N}$   
 34  $30.0 \text{ N}$   
 35  $1.07$   
 36  $0.372$

- 37 0.340 giri/s  
 ■38 2.66 m/s  
 ■39 17.1 m/s  
 ■40  $1.48 \times 10^8 \text{ m/s}^2$ ,  $\frac{a}{g} = 1.51 \times 10^7$   
 ■41 1176 rad/s  
 ■42 16.2 m/s  
 ■43  $1.86 \times 10^{-40} \text{ N}$ ;  $\frac{F_G}{F_P} = 1.14 \times 10^{-4}$   
 ■44  $2.36 \times 10^{-3} \text{ N}$ ;  $\frac{F}{F_P} = 3.44 \times 10^{-6}$   
 ■45 0.314  
 ■46 24.1 m/s<sup>2</sup>  
 ■47 0.167  
 ■48  $5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$   
 ■49  $1.87 \times 10^{27} \text{ kg}$   
 ■50 (a) 26.4 N; (b) 9.62°  
 ■51 3.18°  
 ■53 30.3 giri/h  
 ■54  $v = \sqrt{\frac{r \cdot g}{\text{tg } \theta}}$   
 ■55 2.57 N  
 ■56 0.549  
 ■57  $4.0 \times 10^3 \text{ N}$   
 ■58  $4.0 \times 10^3 \text{ N}$   
 ■59 La corda più interna, 2.57 giri/s  
 ■60 18.6 m/s; 1100 N

## CAPITOLO 8

- 1 0.339 J  
 ■2 1.51 J  
 ■3 49.3 J  
 ■4 10.7 J  
 ■5 (a)  $1.67 \times 10^{-2} \text{ J}$ ; (b)  $2.83 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m}$   
 ■6 0.600 N · m  
 ■7 0.500 rad/s<sup>2</sup>  
 ■8 0.840 s  
 ■9 12.8 kg · m<sup>2</sup>  
 ■10 0.444 kg · m<sup>2</sup>  
 ■11 107 N  
 ■12 (a) 2210 J; (b) 70 N · m  
 ■13 12.6 s  
 ■14 20.0 rad/s  
 ■15 22.6 giri  
 ■16 0.133 J  
 ■17 3.26 m  
 ■18 (a) 6.00 kg · m<sup>2</sup>; (b) 3.00 kg · m<sup>2</sup>  
 ■19 (a)  $4ma^2$ ; (b)  $4mb^2$ ; (c)  $4m(a^2 + b^2)$   
 ■20  $m_i a^2 + m_e b^2$   
 ■21  $Ma^2 + 2m(a + b)^2$   
 ■22  $(I_d + 0.288) \text{ kg} \cdot \text{m}^2$   
 ■23 (a)  $2MR^2$ ; (b)  $\frac{3MR^2}{2}$   
 ■24  $M \left( \frac{7R^2}{5} + L^2 + 2RL \right)$   
 ■25  $\frac{ML^2}{3}$ ;  $\frac{ML^2}{9}$   
 ■26 41.7 rad/s<sup>2</sup>  
 ■27 70.7 J  
 ■28 5.37 giri/s  
 ■29 89 J  
 ■30 (a) 0.619 N · m; (b) 38.7 rad  
 ■31 0.0302 N · m  
 ■32 (a) 83.1 s; (b) 145 giri  
 ■33 324 J  
 ■34 (a) 11.5 giri/s; (b) 19.4 J  
 ■35 0.0153 kg · m<sup>2</sup>; 0.577 N  
 ■36 0.0295 kg · m<sup>2</sup>; 0.820 N  
 ■37 (a) 0.58 giri/s; (b) 0.650 J  
 ■38 37.0 m  
 ■39 (a) 8.05 rad/s; (b) 7.46 s  
 ■40 (a) 2.09 m/s; (b) 0.960 s; (c) 2.73 J  
 ■41 (a) 2.21 m/s; (b) 5.87 giri/s  
 ■42 (a) 2.41 m/s, 6.38 giri/s; (b) 2.56 m/s, 6.78 giri/s  
 ■43 1.45 cm  
 ■44 8064 J  
 ■45 14.3 J  
 ■46 11.0 m  
 ■47 la sfera; l'anello  
 ■48 la sfera  
 ■49 11.3 kg · m<sup>2</sup>/s  
 ■50 9.05 kg · m<sup>2</sup>/s  
 ■51 (a) 0.600 kg · m<sup>2</sup>; (b) 27.8 giri/s  
 ■52 (a) 1.50 giri/s; (b) è diminuita, perché si è compiuto lavoro  
 ■53 43.3 giri/min  
 ■54 (a) 3.53 giri/s; (b) 17.7%  
 ■55 (a)  $\frac{4v_0}{3}$ ; (b)  $2v_0$ ; (c)  $3v_0$   
 ■56 (a) 24.5 giri/min; (b) 4354 J  
 ■57 5.81 giri/min  
 ■58 (a)  $\frac{I_1 \omega_1}{I_1 + I_2}$ ; (b)  $\frac{I_1 \omega_1 + I_2 \omega_2}{I_1 + I_2}$ ;  
 (c)  $\frac{\omega_1 (I_1 - I_2)}{I_1 + I_2}$ ; (d)  $\frac{I_1}{I_1 + I_2}$ ,  
 $\frac{(I_1 \omega_1 + I_2 \omega_2)^2}{(I_1 \omega_1^2 + I_2 \omega_2^2) (I_1 + I_2)}$ ,  $\left( \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2} \right)^2$   
 ■59 (a)  $2.16 \times 10^{-4} \text{ s}$ ; (b)  $1.00 \times 10^{10}$   
 ■60 (a) 0.178 N; (b) 43.2 giri/min; (c) 0.0281 J  
 ■62 (a) 33 rad/s<sup>2</sup>; (b) 2.0 N; (c) 29 rad/s  
 ■64  $\frac{\omega_i}{3}$   
 ■65 4.52 m