

## Ripasso

A. *Obiettivi.* Dopo aver studiato questo capitolo si dovrebbe:

1. essere in grado di definire i concetti di forza e di massa e di enunciare le leggi di Newton sul moto;
2. essere in grado di distinguere tra massa e peso;
3. avere familiarità con le seguenti unità di misura e conoscerne le definizioni: kilogrammo, newton, dina e libbra-forza;
4. essere in grado di distinguere tra coppie di forze del tipo azione-reazione che agiscono su corpi diversi e forze, agenti sullo stesso corpo, che si fanno equilibrio;
5. essere in grado di applicare le leggi di Newton in modo sistematico alla risoluzione di diversi problemi di meccanica.

B. *Si definisca, si spieghi o si identifichi altrimenti quanto segue:*

forza, 4.1	grammo, 4.3
kilogrammo, 4.1	dina, 4.3
massa, 4.1	libbra-forza, 4.3
peso, 4.2	diagramma del corpo libero, 4.6
peso apparente, 4.2	forza normale, 4.6
newton, 4.3	vincolo, 4.6

C. *Si scrivano i passi compresi nel metodo generale per risolvere problemi usando le leggi del moto di Newton.*

D. *Vero o falso: se l'affermazione è vera, se ne spieghi il perché; se è falsa, si dia un controesempio.*

1. Se su un corpo non agiscono forze, esso non accelera.
2. Se un corpo non accelera, non possono esserci forze che agiscono su di esso.
3. Il moto di un corpo è sempre nella direzione orientata della forza risultante.
4. Le forze del tipo azione-reazione non agiscono mai sullo stesso corpo.
5. La massa di un corpo dipende dal luogo in cui esso si trova.
6. L'azione è uguale alla reazione solo se i corpi non accelerano.

## Esercizi

Paragrafo 4.1 - Forza e massa

1. Una forza di 15 N è applicata a una scatola di massa  $m$ . La scatola si muove in linea retta con velocità che aumenta di 10 m/s ogni 2 s. Si trovi la massa della scatola.
2. Una scatola di 3 kg viene tirata in linea retta lungo una superficie orizzontale priva d'attrito da una forza costante  $F_0$ . La sua velocità aumenta di 5 km/h in 10 s. (a) Si trovi  $F_0$  in newton. (b) Se, in aggiunta alla prima forza, si applica una seconda forza costante nella stessa direzione orientata, la velocità aumenta di 15 km/h in 10 s. Si trovi il modulo della seconda forza.
3. Un corpo è soggetto a un'accelerazione di  $4 \text{ m/s}^2$  se su di esso agisce una certa forza  $F_0$ . (a) Qual è l'accelerazione se la forza viene raddoppiata? (b) Un secondo corpo è soggetto a un'accelerazione di  $8 \text{ m/s}^2$  sotto l'azione della forza  $F_0$ . Qual è il rapporto tra le masse dei due corpi? (c) Se i due corpi sono fissati l'uno all'altro, che accelerazione produrrà la forza  $F_0$ ?

4. La figura 4.15 mostra il percorso seguito da un'automobile: esso è costituito da linee rette e archi di circonferenza. L'automobile parte da ferma dal punto A e la sua velocità aumenta finché essa non raggiunge il punto B. Poi procede a velocità di modulo costante finché non raggiun-

ge il punto E. Oltre il punto E rallenta fino a fermarsi nel punto F. Qual è la direzione orientata della forza risultante, se esiste, che agisce sull'automobile nel punto centrale di ciascuna sezione del percorso?

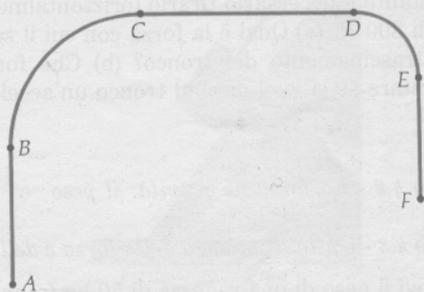


Figura 4.15. Il percorso seguito dall'automobile dell'esercizio 4.

5. Una certa forza applicata a una particella di massa  $m_1$  le dà l'accelerazione di  $20 \text{ m/s}^2$ . La stessa forza applicata a una particella di massa  $m_2$  le dà l'accelerazione di  $30 \text{ m/s}^2$ . Si trovi l'accelerazione se le due particelle sono fissate l'una all'altra e ad esse viene applicata la stessa forza.

Una forza costante  $F_0$  provoca un'accelerazione di  $5 \text{ m/s}^2$  e agisce su un corpo di massa  $m$ . Si trovi l'accelerazione della stessa massa se su di essa agiscono le forze mostrate nelle figure 4.16a e 4.16b.

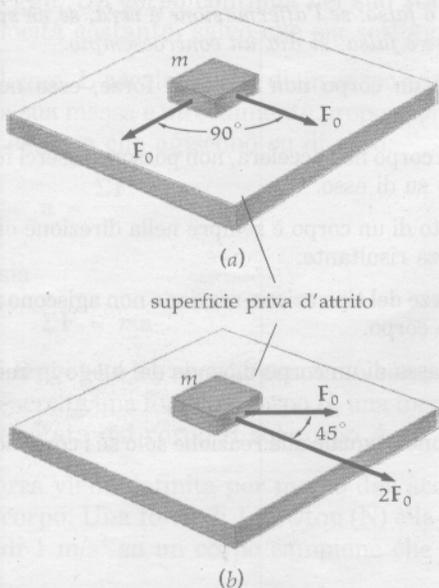


Figura 4.16. Le forze che agiscono sul corpo nell'esercizio 6.

Una singola forza di 10 N agisce su una particella di massa  $m$ . La particella, inizialmente ferma, percorre in linea retta un tratto di 18 m in 6 s. Si trovi  $m$ .

Si trovi la forza media esercitata su un proiettile di 5,00 kg per fargli acquistare la velocità di 600 m/s nella canna di un fucile lunga 65 cm. (La reazione esercitata dal proiettile sul fucile viene trasmessa alla spalla di chi spara e viene chiamata « rinculo ».)

Per trascinare un tronco di 100 kg sul suolo con velocità costante è necessario tirarlo (orizzontalmente) con una forza di 300 N. (a) Qual è la forza con cui il suolo reagisce al trascinamento del tronco? (b) Che forza bisogna esercitare se si vuol dare al tronco un'accelerazione di  $2 \text{ m/s}^2$ ?

Paragrafo 4.2 - La forza di gravità: il peso

Paragrafo 4.3 - Unità di misura della forza e della massa

Si trovi il peso di una ragazza di 50 kg (a) in newton (b) in libbre-forza.

Si trovi la massa di un uomo di 175 lbf (a) in kilogrammi e (b) in grammi.

Un giornale riferisce che sono state trovate 6000 lb di «erba» in una nave nel porto di Los Angeles. Qual è la massa corrispondente in kilogrammi?

Si trovi il peso di un oggetto di 50 g (a) in dine e (b) in newton.

Paragrafo 4.4 - La terza legge di Newton

14. Un corpo di 2 kg è sospeso a una corda attaccata al soffitto ed è fermo. (a) Si tracci un diagramma che mostri le forze agenti sul corpo e indichi ogni reazione. (b) Si faccia lo stesso per le forze che agiscono sulla corda.

15. Due squadre si misurano in una gara di tiro alla fune. Ognuna cerca di costringere l'altra a superare una linea di demarcazione posta a metà tra le loro posizioni iniziali. Per la terza legge di Newton, le forze esercitate (mediante la corda) da ognuna delle due squadre sull'altra sono uguali e opposte. Con un diagramma delle forze si dimostri come può fare una squadra a vincere.



16. Una scatola scende strisciando lungo un piano inclinato ruvido («ruvido» vuol dire che c'è attrito tra il piano e la scatola). Si tracci un diagramma che mostri le forze agenti sulla scatola; per ogni forza si indichi la reazione.

17. Una mano spinge due corpi su una superficie orizzontale priva di attrito, com'è mostrato dalla figura 4.17. Le masse dei corpi sono 2 kg e 1 kg. La mano esercita la forza di 5 N sul corpo di 2 kg. (a) Qual è l'accelerazione del sistema? (Suggerimento: poiché i due corpi si muovono insieme, possono essere considerati come un corpo unico avente la massa di 3 kg.) (b) Qual è l'accelerazione del corpo di 1 kg? Si trovi la forza risultante che agisce su questo corpo. Qual è l'origine della forza esercitata su questo corpo? (c) Si mostrino tutte le forze che agiscono sul corpo di 2 kg. Qual è la forza risultante che agisce su di esso?

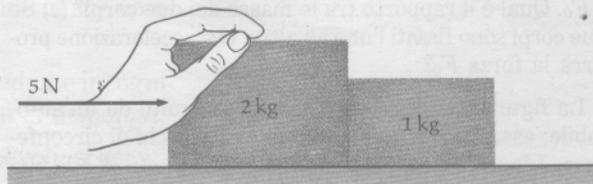


Figura 4.17. Esercizio 17.

Paragrafo 4.5 - Molle, corde e forze di sostegno

18. Una molla ha una costante elastica  $k=200$  N/m. Un oggetto di 5 kg è sospeso alla molla ed è fermo. Si trovino (a) i valori numerici di tutte le forze che agiscono sull'oggetto e (b) l'allungamento della molla dalla sua posizione d'equilibrio.

19. Un blocco di 100 kg viene tirato con accelerazione costante lungo un tavolo privo d'attrito da un cavo che si allunga di 3 cm. Il blocco è inizialmente fermo e percorre 4 m in 4 s. Supponendo che il cavo obbedisca alla legge di Hooke, si trovi (a) la sua costante elastica e (b) di quanto si allunga il cavo se il blocco è sospeso a esso verticalmente e fermo.

20. Un corpo di massa  $m$  è attaccato a due molle disposte in linea retta, com'è mostrato nella figura 4.18. Ogni molla è allungata rispetto alla sua posizione d'equilibrio. Le costanti elastiche delle molle sono  $k_1$  e  $k_2$ . (a) Si trovi il rapporto tra gli allungamenti delle molle. (b) Si dimostri che, se il corpo viene spostato di un piccolo tratto  $x$  dalla posizione d'equilibrio, la forza risultante di richiamo è uguale a quella che sarebbe applicata al corpo se esso fosse attaccato a una sola molla avente la costante elastica  $k=k_1+k_2$ .

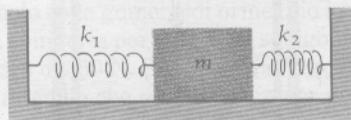


Figura 4.18. Esercizio 20.

21. Una scatola di 2 kg è ferma su un piano privo d'attrito, inclinato di un angolo di  $30^\circ$ , sospesa a una molla (vedi figura 4.19). La molla si allunga di 3 cm. (a) Si trovi la costante elastica della molla. (b) Se si sposta la scatola verso il basso lungo il piano inclinato, allontanandola di 5 cm dalla sua posizione d'equilibrio, e poi la si lascia andare, quale sarà la sua accelerazione iniziale?

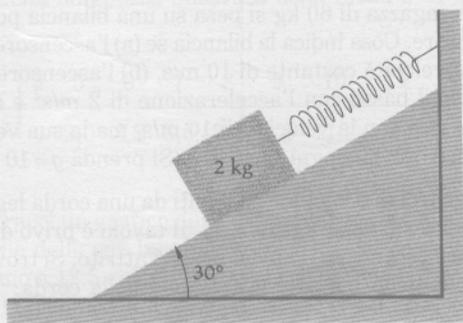


Figura 4.19. Esercizio 21.

Paragrafo 4.6 - Applicazione delle leggi di Newton alla risoluzione di problemi: forze costanti

22. Nella figura 4.20 i corpi sono attaccati a dinamometri a molla (bilance a molla) tarati in newton. Si trovino le indicazioni dei dinamometri in ciascun caso, supponendo che le corde siano prive di massa e che il piano inclinato sia privo d'attrito.

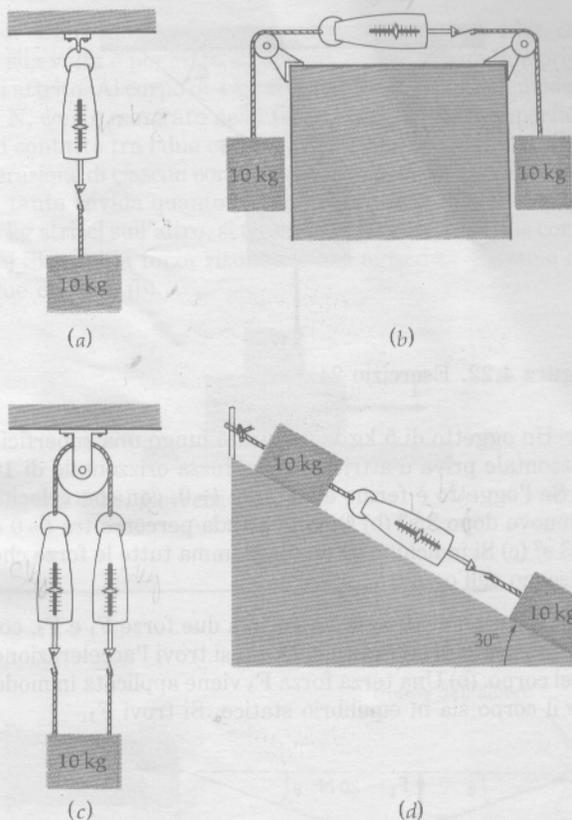


Figura 4.20. Esercizio 22.

23. Un corpo è tenuto fermo da un cavo lungo un piano inclinato privo d'attrito (vedi figura 4.21). (a) Se  $\theta=60^\circ$ ,  $m=50$  kg, si trovino la tensione nel cavo e la forza normale esercitata dal piano inclinato. (b) Si trovi la tensione in funzione di  $\theta$  e di  $m$  e si controlli il risultato per  $\theta=0$  e  $\theta=90^\circ$ .

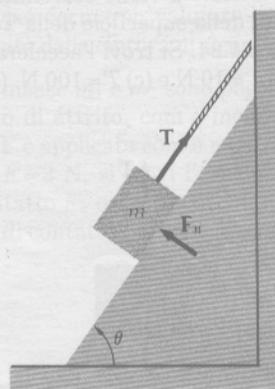


Figura 4.21. Il corpo tenuto su un piano inclinato privo d'attrito, per l'esercizio 23.

24. Un quadro di 2 kg è sospeso a due fili di lunghezza uguale che formano un angolo  $\theta$  con l'orizzontale, com'è mostrato nella figura 4.22. (a) Se  $\theta=30^\circ$ , si trovi la tensione nei fili. (b) Si trovi la tensione per valori generici di  $\theta$  e del peso  $P$  del quadro. Per quale angolo  $\theta$  la tensione è minima? E massima?

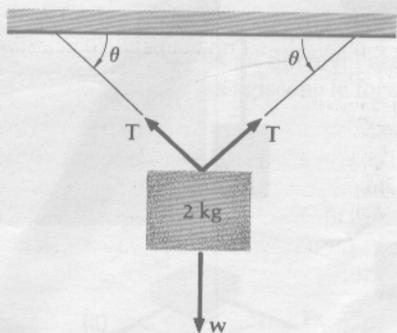


Figura 4.22. Esercizio 24.

25. Un oggetto di 5 kg viene tirato lungo una superficie orizzontale priva d'attrito da una forza orizzontale di 10 N. Se l'oggetto è fermo all'istante  $t=0$ , con che velocità si muove dopo 3 s? (b) Quanta strada percorre tra  $t=0$  e  $t=3$  s? (c) Si indichino su un diagramma tutte le forze che agiscono sull'oggetto.

26. Un corpo di 10 kg è soggetto a due forze  $F_1$  e  $F_2$ , com'è mostrato nella figura 4.23. (a) si trovi l'accelerazione a del corpo. (b) Una terza forza  $F_3$  viene applicata in modo che il corpo sia in equilibrio statico. Si trovi  $F_3$ .

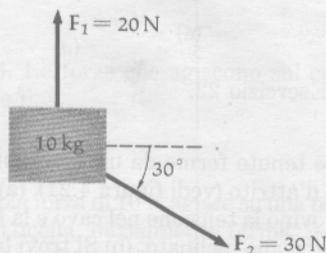


Figura 4.23. Esercizio 26.

27. Una forza verticale  $T$  viene esercitata su un corpo di 5 kg in prossimità della superficie della Terra, com'è mostrato nella figura 4.24. Si trovi l'accelerazione del corpo se (a)  $T=5$  N, (b)  $T=10$  N e (c)  $T=100$  N. (Si prenda  $g=10$  m/s<sup>2</sup>.)

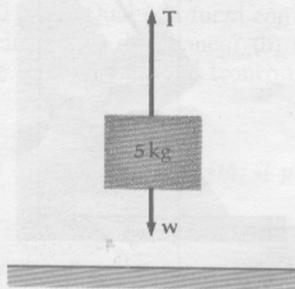


Figura 4.24. Esercizio 27.

28. Un carico di 1 t (1000 kg) viene sollevato da una gru. Si trovi la tensione nel cavo che regge il carico se (a) il carico viene accelerato verso l'alto con un'accelerazione di 2 m/s<sup>2</sup>, (b) il carico viene sollevato con velocità costante e (c) il carico sale, ma la sua velocità diminuisce di 2 m/s ogni secondo.

29. Un uomo, con uno spago che può sopportare una tensione di 160 N, regge un corpo di 12 kg ed entra in ascensore. Quando l'ascensore comincia a salire, lo spago si rompe. Qual è stata la minima accelerazione dell'ascensore?

30. Un corpo di 2 kg è sospeso a un dinamometro (tarato in newton) attaccato al soffitto di un ascensore (figura 4.25). Che cosa indica il dinamometro (a) se l'ascensore sale con la velocità costante di 30 m/s, (b) se l'ascensore scende con la velocità costante di 30 m/s e (c) se l'ascensore accelera verso l'alto con l'accelerazione di 10 m/s<sup>2</sup>? (d) Da  $t=0$  a  $t=2$  s l'ascensore sale a 10 m/s; poi la velocità viene ridotta uniformemente a zero nei 2 s successivi, così che esso si ferma per  $t=4$  s. Si descriva l'indicazione del dinamometro nell'intervallo di tempo tra  $t=0$  e  $t=4$  s.

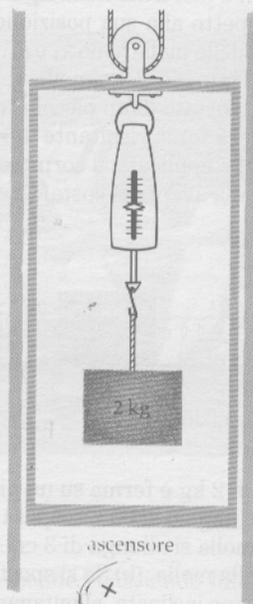


Figura 4.25. Esercizio 30.

31. Una ragazza di 60 kg si pesa su una bilancia posta in un ascensore. Cosa indica la bilancia se (a) l'ascensore scende con la velocità costante di 10 m/s, (b) l'ascensore accelera verso il basso con l'accelerazione di 2 m/s<sup>2</sup> e (c) l'ascensore sale con la velocità di 10 m/s, ma la sua velocità diminuisce di 2 m/s ogni secondo? (Si prenda  $g=10$  m/s<sup>2</sup>.)

32. Due corpi di 5 kg sono collegati da una corda leggera, com'è mostrato nella figura 4.26. Il tavolo è privo d'attrito e la corda scorre su un piolo privo d'attrito. Si trovi l'accelerazione delle masse e la tensione nella corda.

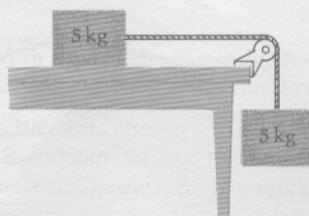


Figura 4.26. Esercizio 32.

33. Un corpo di 2,8 kg striscia su un piano privo di attrito. Esso è attaccato a un corpo di 0,2 kg con uno spago, com'è mostrato nella figura 4.27. Si trovi il tempo che impiega il corpo di 0,2 kg per scendere di 2 m, se il sistema è inizialmente fermo.

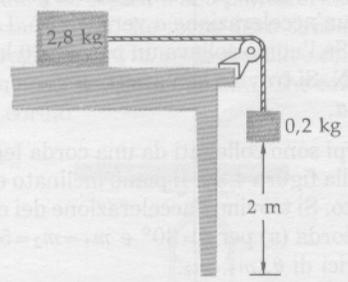


Figura 4.27. Esercizio 33.

34. Un corpo di 2 kg è poggiato su un corpo di 4 kg, che a sua volta è poggiato su una superficie orizzontale priva di attrito. Al corpo di 4 kg si applica una forza  $F$  di modulo 3 N, com'è mostrato nella figura 4.28. (a) Se la superficie di contatto tra i due corpi è priva d'attrito, si trovi l'accelerazione di ciascun corpo. (b) Se la superficie tra i due corpi è tanto ruvida quanto basta per impedire che il corpo di 2 kg strisci sull'altro, si trovi l'accelerazione dei due corpi. (c) Si trovi la forza risultante che agisce su ciascuno dei due corpi in (b).

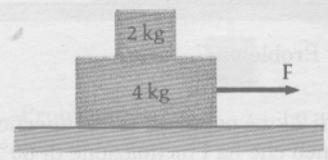


Figura 4.28. Esercizio 34.

**Problemi**

- Due studenti in vacanza visitano una nave da crociera di 20 000 t ( $1 \text{ t} = 1000 \text{ kg}$ ). Avendo constatato che la nave è vicina al molo colle gomene di ormeggio lente, decidono di provare a spingerla per 1 m. Essi spingono con una forza complessiva di 350 N. Si trovino (a) l'accelerazione della nave, (b) il tempo che essa impiega per percorrere 1 m e (c) la velocità finale della nave.
- Una madre tiene in grembo il suo bambino di 10 kg mentre si trova in un'automobile che viaggia a 11 m/s. L'automobile si scontra con un'altra auto e si ferma in 1 m. Supponendo che la madre abbia allacciato la sua cintura di sicurezza, con che forza deve reggere il bambino per trattenerlo in braccio, nell'ipotesi che anche il bambino percorra 1 m durante l'urto? Si dia la risposta in newton.
- Una massa di 0,5 kg viene tirata lungo un tavolo privo di attrito da una molla; l'accelerazione della massa in funzione della lunghezza misurata della molla è

$L, \text{ cm}$	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14
$a, \text{ m/s}^2$	0	2,0	3,8	5,6	7,4	9,2	11,2	12,8	14,6	14,6

(a) Si tracci un grafico della forza esercitata dalla molla in funzione della sua lunghezza. (b) Se la molla viene allungata fino a 12,5 cm, che forza esercita? (c) Di quanto si allunga la molla se la massa viene sospesa a essa, ferma, al livello del mare, dove  $g = 9,81 \text{ N/kg}$ ?

4. Un'automobile è bloccata in una pozzanghera; il guidatore è solo, ma ha una fune lunga e robusta. Avendo studiato fisica, lega saldamente la fune a un albero, e la tira lateralmente, com'è mostrato nella figura 4.29. (a) Si trovi la forza esercitata dalla fune sull'automobile se l'angolo  $\theta$  è  $3^\circ$  e il guidatore tira con una forza di 400 N, ma l'automobile non si muove. (b) Quanto dev'essere resistente la fune se ci vuole una forza di 600 N con un angolo  $\theta = 3^\circ$  per muovere l'automobile?

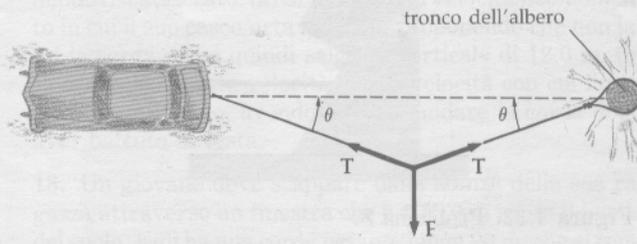


Figura 4.29. Problema 4.

5. Un'automobile che viaggia a 90 km/h frena bruscamente per evitare un incidente; fortunatamente il guidatore ha allacciato la cintura di sicurezza. Usando valori ragionevoli per la massa del guidatore e per il tempo che l'automobile impiega per fermarsi, valutate la forza (supposta costante) esercitata dalla cintura di sicurezza sul guidatore.

6. Due corpi di masse  $m_1$  e  $m_2$  sono poggiati su un tavolo orizzontale privo di attrito, com'è mostrato nella figura 4.30. Una forza  $F$  è applicata com'è mostrato. (a) Se  $m_1 = 2 \text{ kg}$ ,  $m_2 = 4 \text{ kg}$  e  $F = 3 \text{ N}$ , si trovi l'accelerazione dei corpi e la forza di contatto  $F_c$  esercitata da un corpo sull'altro. Si trovi la forza di contatto per valori generici delle masse dei corpi.

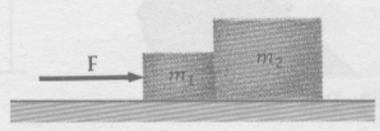


Figura 4.30. Problema 6.

7. Un blocco di 100 kg viene tirato lungo una superficie priva di attrito da una forza  $F$ , in modo che la sua accelerazione sia  $6 \text{ m/s}^2$  (vedi figura 4.31). Un blocco di 20 kg striscia sopra quello di 100 kg e ha un'accelerazione di  $4 \text{ m/s}^2$  (quindi striscia indietro rispetto al blocco di 100 kg). (a) Quanto vale la forza di attrito esercitata dal blocco di

100 kg su quello di 20 kg? (b) Qual è la forza risultante che agisce sul blocco di 100 kg? Quanto vale la forza  $F$ ? (c) Dopo che il blocco di 20 kg è caduto da quello di 100 kg, qual è l'accelerazione di quest'ultimo?

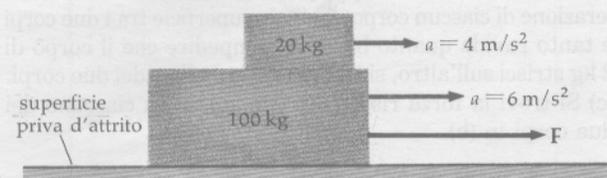


Figura 4.31. Problema 7.

8. Un corpo di 2 kg è poggiato sulla superficie priva di attrito di un cuneo che ha l'inclinazione di  $60^\circ$  (figura 4.32) e un'accelerazione  $a$  verso destra, tale che il corpo rimanga fermo rispetto al cuneo. (a) Si trovi  $a$ . (b) Che succederebbe se si desse al cuneo un'accelerazione maggiore?

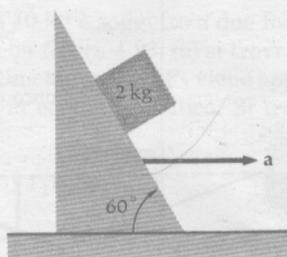


Figura 4.32. Problema 8.

9. Due alpinisti in cordata legati da una corda di 30 m si trovano su un pendio ghiacciato (privo di attrito) nell'imbarazzante situazione illustrata nella figura 4.33. All'istante  $t = 0$  la loro velocità è nulla, ma l'alpinista più in alto, Paolo (massa 52 kg), ha fatto un passo di troppo e il suo amico Pietro (massa 74 kg) ha lasciato cadere la sua piccozza. (a) Si trovi la tensione nella corda mentre Paolo cade e la sua velocità subito prima che egli urti il suolo. (b) Appena ha toccato il suolo, Paolo slega la corda; si trovi la velocità di Pietro quando anch'egli arriva al suolo.

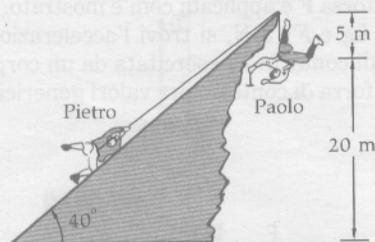


Figura 4.33. Problema 9.

10. Un pendolo semplice viene usato come accelerometro. Un piccolo corpo viene sospeso a una corda, attaccato a un punto fisso del corpo che accelera, per esempio al soffitto di un'automobile. Se c'è un'accelerazione, il corpo si sposterà e la corda formerà un certo angolo con la verticale. (a) Qual è la direzione in cui si sposta il corpo sospeso rispetto alla direzione dell'accelerazione? (b) Si dimostri che l'accelerazione  $a$  è legata all'angolo  $\theta$  formato dalla corda

dalla relazione  $a = g \tan \theta$ . (c) Si supponga che l'accelerometro sia attaccato al soffitto di un'automobile, che frena fino a fermarsi in 60 m, partendo da una velocità di 50 km/h. Che angolo formerà l'accelerometro? Il corpo si sposterà in avanti o all'indietro?

11. Un uomo sta in piedi su una bilancia posta in un ascensore che ha un'accelerazione  $a$  verso l'alto. La bilancia indica 960 N. Se l'uomo solleva un peso di 20 kg, la bilancia indica 1200 N. Si trovino la massa dell'uomo, il peso e l'accelerazione  $a$ .

12. Due corpi sono collegati da una corda leggera, com'è mostrato nella figura 4.34. Il piano inclinato e il piolo sono privi d'attrito. Si trovino l'accelerazione dei corpi e la tensione nella corda (a) per  $\theta = 30^\circ$  e  $m_1 = m_2 = 5$  kg e (b) per valori generici di  $\theta$ ,  $m_1$ ,  $m_2$ .

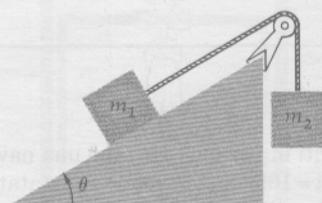


Figura 4.34. Problema 12.

13. Una ragazza di 65 kg si pesa mentre è in equilibrio su una bilancia fissata su uno skateboard che scende lungo un piano inclinato, com'è mostrato nella figura 4.35. Si supponga nullo l'attrito, così che la forza esercitata dal piano inclinato sullo skateboard sia perpendicolare al piano inclinato. Qual è l'indicazione della bilancia se  $\theta = 30^\circ$ ?

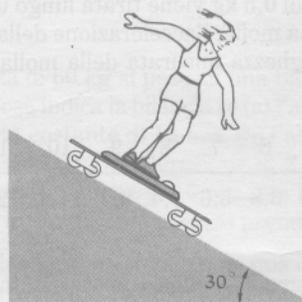


Figura 4.35. Problema 13.

14. Accade a volte che si metta un piede in fallo per un gradino o per un marciapiede inattesi e che si tocchi il suolo con la gamba tesa e il ginocchio bloccato cosicché il moto verso il basso è fermato nel breve tratto di cui possono contrarsi la gamba e la spina dorsale — forse 2,0 cm. Se il gradino è alto 15 cm e la massa di un uomo è 80 kg, si trovino la sua velocità nel momento in cui la gamba tesa tocca il suolo e l'accelerazione media e la forza media esercitata dal suolo su di lui per fermarlo in un tratto di 2 cm

5. Una ragazza di 60 kg sta in piedi su una piattaforma di alluminio di 15 kg per dipingere una casa. Una fune attaccata alla piattaforma e passante su una carrucola fissata al soffitto consente alla ragazza di sollevare se stessa e la piattaforma (vedi figura 4.36). (a) Per muoversi la ragazza imprime a se stessa e alla piattaforma un'accelerazione di  $0,8 \text{ m/s}^2$ . Con che forza deve tirare la corda? (b) Dopo 1 s la ragazza tira in modo da salire con la piattaforma con la velocità costante di  $1 \text{ m/s}$ . Che forza deve esercitare sulla corda?

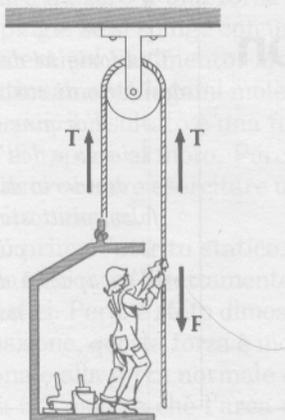


Figura 4.36. Problema 15.

16. L'apparecchio mostrato nella figura 4.37, chiamato macchina di Atwood, viene usato per misurare l'accelerazione di gravità  $g$ , determinando l'accelerazione dei corpi. Supponendo che la corda abbia massa trascurabile e il pino sia privo di attrito, si dimostri che il modulo dell'accelerazione di entrambi i corpi e la tensione nella corda sono

$$a = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} g \quad \text{e} \quad T = \frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2} g$$

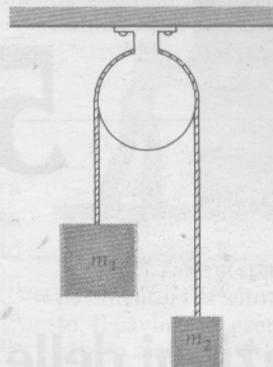


Figura 4.37. Problema 16.

17. Una carrucola è attaccata a una trave posta a una distanza di  $12,0 \text{ m}$  dal suolo. Un operaio di  $90 \text{ kg}$  solleva con una corda un bidone vuoto mediante la carrucola e lega la corda al livello del suolo. Poi si arrampica e riempie il bidone di calcinacci finché la massa totale del bidone carico non è  $180 \text{ kg}$ . Quindi scende al suolo e slega la corda tenendosi attaccato. (a) Si trovi la sua velocità nel momento in cui il suo casco urta la trave, supponendo che non lasci la corda e che quindi salga in verticale di  $12,0 \text{ m}$ . (b) Si confronti questa velocità con la velocità con cui l'operaio tocca il suolo, avendo lasciato andare la corda dopo aver battuto la testa.

18. Un giovane deve scappare dalla stanza della sua ragazza attraverso un finestra che è a  $15,0 \text{ m}$  sopra il livello del suolo. Egli ha una corda pesante lunga  $20 \text{ m}$ , che si romperebbe se la tensione superasse  $360 \text{ N}$ . Egli pesa  $600 \text{ N}$ . Il giovane riporterebbe danni se, cadendo, urtasse il suolo con velocità maggiore di  $10 \text{ m/s}$ . (a) Si dimostri che egli non può scendere lungo la corda rimanendo indenne. (b) Si trovi una strategia, sempre usando la corda, che gli permetta di raggiungere indenne il suolo.