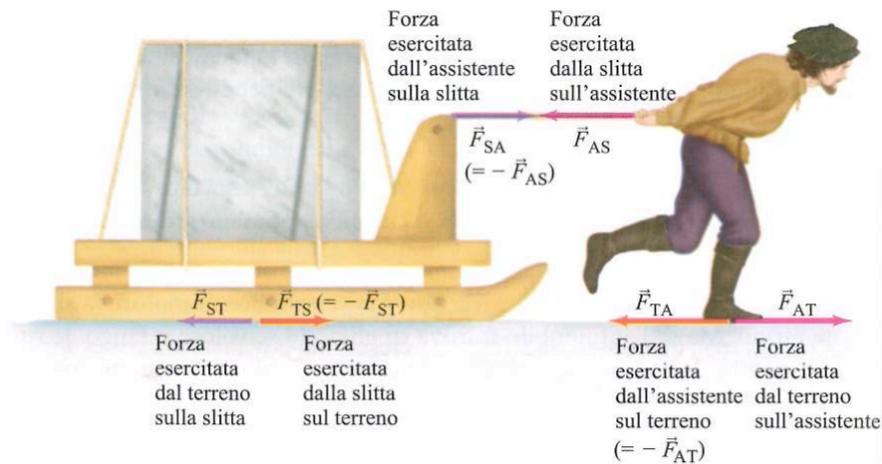


ESEMPIO CONCETTUALE 4-5 Chiarimento sulla terza legge del moto.

All'assistente di Michelangelo è stato assegnato il compito di spostare un blocco di marmo usando una slitta (fig. 4-12). L'assistente chiede al suo capo: «Maestro, quando esercito una forza in avanti sulla slitta, la slitta esercita una forza uguale e opposta all'indietro. Perciò come posso anche solo cominciare a spostarla? Non importa quanto tenacemente io tiri, la reazione all'indietro della forza uguaglia sempre la mia forza in avanti, perciò la forza risultante deve essere zero. Non sarò mai in grado di muovere questo carico». È corretto?



RISPOSTA No. Sebbene sia vero che le forze di azione e reazione sono uguali in modulo, l'assistente ha dimenticato che esse vengono esercitate su oggetti differenti. La forza in avanti (“azione”) viene esercitata dall'assistente sulla slitta (fig. 4-12), mentre la forza di “reazione” all'indietro viene esercitata dalla slitta sull'assistente. Per determinare se l'assistente si muove o no, dobbiamo considerare solo le forze agenti sull'assistente e poi applicare la relazione $\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$, dove $\Sigma \vec{F}$ è la forza risultante sull'assistente, \vec{a} è l'accelerazione dell'assistente e m è la massa dell'assistente. Ci sono due forze agenti sull'assistente che influenzano il suo moto in avanti: sono mostrate come frecce rosso magenta nelle figure 4-12 e 4-13; esse sono (1) la forza orizzontale \vec{F}_{AT} esercitata sull'assistente dal terreno – più forte egli spinge indietro contro il terreno, più forte il terreno spinge in avanti su di lui (terza legge di Newton) – e (2) la forza \vec{F}_{AS} esercitata sull'assistente dalla slitta, che lo spinge indietro (fig. 4-13). Se egli spinge abbastanza forte sul terreno, la forza esercitata su di lui dal terreno, \vec{F}_{AT} , sarà più grande di quella della slitta che spinge all'indietro, \vec{F}_{AS} , e l'assistente accelera in avanti (seconda legge di Newton). La slitta, d'altro canto, accelera in avanti quando la forza esercitata su di essa dall'assistente è maggiore della forza d'attrito esercitata all'indietro su di essa dal terreno (cioè, quando \vec{F}_{SA} ha modulo maggiore di \vec{F}_{ST} in figura 4-12).

ESEMPIO 4-6**Il peso, la forza normale e una scatola.**

Un amico vi ha fatto un dono speciale, una scatola di massa 10.0 kg contenente una misteriosa sorpresa. La scatola è ferma sulla superficie orizzontale liscia (senza attrito) di un tavolo (fig. 4-15a). (a) Determinate il peso della scatola e la forza normale esercitata su di essa dal tavolo. (b) Ora il vostro amico preme sulla scatola con una forza di 40.0 N, come in figura 4-15b. Determinate di nuovo la forza normale esercitata sulla scatola dal tavolo. (c) Se il vostro amico tira verso l'alto la scatola con una forza di 40.0 N (fig. 4-15c), qual è ora la forza normale esercitata dal tavolo sulla scatola?

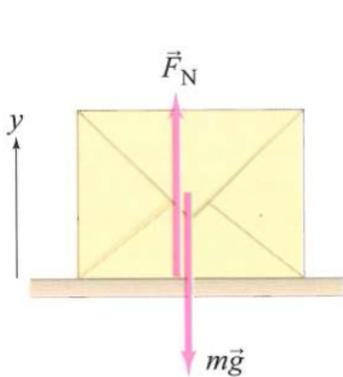
APPROCCIO La scatola è ferma sul tavolo e quindi la forza risultante sulla scatola in ogni caso è zero (seconda legge di Newton). Il peso della scatola è uguale a mg in tutti e tre i casi.

SOLUZIONE (a) Il peso della scatola è $mg = (10.0 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2) = 98.0 \text{ N}$ e questa forza agisce verso il basso. L'unica altra forza agente sulla scatola è la forza normale esercitata su di essa verso l'alto dal tavolo, come mostrato in figura 4-15a. Scegliamo la direzione verso l'alto come direzione delle y positive; allora la forza risultante ΣF_y agente sulla scatola è $\Sigma F_y = F_N - mg$; il segno meno significa che mg agisce nella direzione negativa delle y (m e g sono moduli). Poiché la scatola è ferma, la forza risultante su di essa deve essere zero (per la seconda legge di Newton $\Sigma F_y = ma_y$ e $a_y = 0$). Perciò

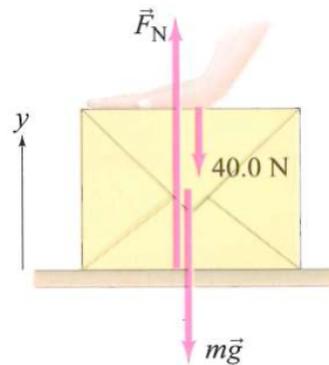
$$\begin{aligned}\Sigma F_y &= ma_y \\ F_N - mg &= 0\end{aligned}$$

quindi abbiamo

$$F_N = mg.$$



$$(a) \Sigma F_y = F_N - mg = 0$$



$$(b) \Sigma F_y = F_N - mg - 40.0 \text{ N} = 0$$

La forza normale esercitata dal tavolo e agente sulla scatola è 98.0 N, diretta verso l'alto e di modulo uguale al peso della scatola.

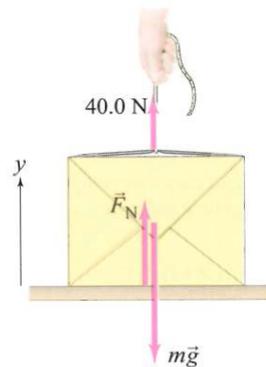
(b) Il vostro amico spinge sulla scatola con una forza di 40.0 N. Così, invece di due forze, ora ne abbiamo tre che agiscono sulla scatola, come mostrato in figura 4-15b. Il peso della scatola è ancora $mg = 98.0$ N. La forza risultante è $\Sigma F_y = F_N - mg - 40.0$ N, ed è uguale a zero, perché la scatola rimane ferma. Perciò, poiché $a = 0$, la seconda legge di Newton dà

$$\Sigma F_y = F_N - mg - 40.0 \text{ N} = 0.$$

Risolviamo questa equazione per la forza normale

$$F_N = mg + 40.0 \text{ N} = 98.0 \text{ N} + 40.0 \text{ N} = 138.0 \text{ N},$$

che è più grande di quella trovata in (a). Il tavolo respinge la scatola con più forza quando una persona spinge sulla scatola verso il basso. La forza normale non è sempre uguale al peso!



$$(c) \Sigma F_y = F_N - mg + 40.0 \text{ N} = 0$$

(c) Il peso della scatola è ancora 98.0 N ed è diretto verso il basso. La forza esercitata dal vostro amico e la forza normale agiscono entrambe verso l'alto (direzione positiva), come mostrato in figura 4-15c. La scatola non si muove perché la forza diretta verso l'alto esercitata dal vostro amico è minore del peso. La forza risultante, di nuovo uguale a zero in base alla seconda legge di Newton (poiché $a = 0$), è

$$\Sigma F_y = F_N - mg + 40.0 \text{ N} = 0,$$

perciò

$$F_N = mg - 40.0 \text{ N} = 98.0 \text{ N} - 40.0 \text{ N} = 58.0 \text{ N}.$$

Il tavolo non esercita una forza pari all'intero peso della scatola, a causa della trazione verso l'alto del vostro amico.

NOTA Il peso della scatola ($= mg$) non cambia per effetto del fatto che il vostro amico tiri o spinga. Solo la forza normale ne viene influenzata.

ESEMPIO 4-7 Accelerazione della scatola. Che cosa accade quando una persona tira verso l'alto la scatola dell'esempio 4-6 (c) con una forza uguale o più grande del peso della scatola? Per esempio, prendiamo $F_p = 100.0 \text{ N}$ (fig. 4-16) anziché 40.0 N , come mostrato in figura 4-15c.

APPROCCIO Possiamo cominciare nello stesso modo dell'esempio 4-6, ma siate preparati a una sorpresa.

SOLUZIONE La forza risultante sulla scatola è ora

$$\begin{aligned}\Sigma F_y &= F_N - mg + F_p \\ &= F_N - 98.0 \text{ N} + 100.0 \text{ N}.\end{aligned}$$

Se la poniamo uguale a zero (pensando che l'accelerazione possa essere zero), otteniamo $F_N = -2.0 \text{ N}$. Questo risultato non ha senso, in quanto il segno negativo implica che F_N sia diretta verso il basso, ma il tavolo sicuramente non può tirare la scatola verso il basso (a meno che essa non vi sia incollata). Il valore minimo che F_N può assumere è zero, come capita effettivamente in questo caso. Ciò che realmente accade nel nostro caso è che la scatola accelera verso l'alto ($a \neq 0$) perché la forza risultante non è zero. La forza risultante (ponendo la forza normale $F_N = 0$) è

$$\begin{aligned}\Sigma F_y &= F_p - mg = 100.0 \text{ N} - 98.0 \text{ N} \\ &= 2.0 \text{ N}\end{aligned}$$

diretta verso l'alto (fig. 4-16). Applichiamo la seconda legge di Newton e vediamo che la scatola si muove verso l'alto con un'accelerazione

$$\begin{aligned}a_y &= \frac{\Sigma F_y}{m} = \frac{2.0 \text{ N}}{10.0 \text{ kg}} \\ &= 0.20 \text{ m/s}^2.\end{aligned}$$

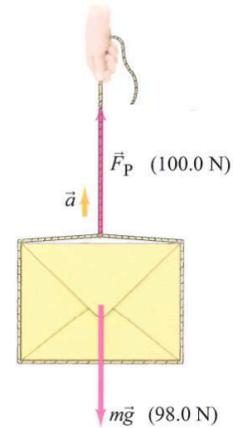


FIGURA 4-16 Esempio 4-7. La scatola accelera verso l'alto perché $F_p > mg$.

RISULTANTE DELLE FORZE

La seconda legge di Newton ci dice che l'accelerazione di un corpo è proporzionale alla *forza risultante* agente sul corpo. La **forza risultante**, come detto prima, è il *vettore somma* di tutte le forze agenti sul corpo. Infatti, numerosi esperimenti hanno mostrato che le forze si sommano come vettori in accordo con le regole che abbiamo esposto nel Capitolo 3. Per esempio, siano date due forze di ugual modulo (100 N ciascuna) agenti su un oggetto, ad angolo retto l'una rispetto all'altra (fig. 4-18). Intuitivamente possiamo prevedere che l'oggetto comincerà a muoversi in direzione 45° e quindi la forza risultante deve agire in direzione 45° . Questo è proprio il risultato che si ottiene tramite la regola della somma di vettori. Dal teorema di Pitagora, il modulo della forza risultante è $F_R = \sqrt{(100 \text{ N})^2 + (100 \text{ N})^2} = 141 \text{ N}$.

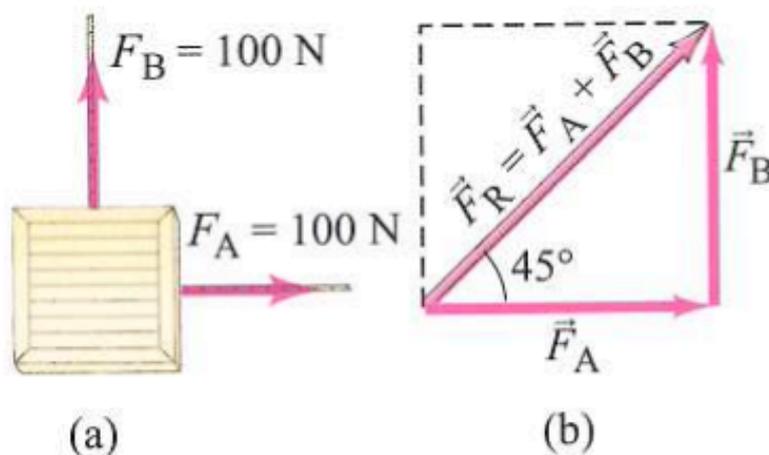


FIGURA 4-18 (a) Due forze orizzontali, \vec{F}_A e \vec{F}_B , esercitate dagli operai A e B, agiscono su una cassa (stiamo guardando dall'alto verso il basso). (b) La somma, o risultante, di \vec{F}_A e \vec{F}_B è \vec{F}_R .

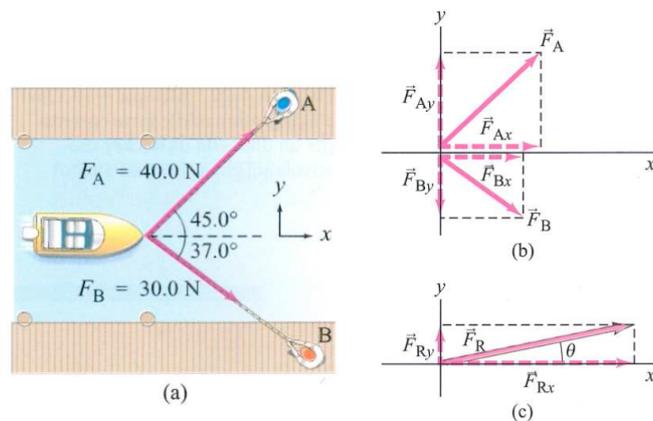
ESEMPIO 4-9 **Somma di vettori forza.** Calcolate la somma delle due forze esercitate sulla barca dai due lavoratori A e B in figura 4-19a.

APPROCCIO Sommiamo le forze come qualsiasi altro vettore, come descritto nel Capitolo 3. Per prima cosa dobbiamo scegliere il sistema di coordinate xy (fig. 4-19a), e poi scomporre i vettori nelle loro componenti.

SOLUZIONE I due vettori forza sono scomposti nelle loro componenti in figura 4-19b. Sommiamo le forze usando il metodo delle componenti. Le componenti di \vec{F}_A sono

$$F_{Ax} = F_A \cos 45.0^\circ = (40.0 \text{ N})(0.707) = 28.3 \text{ N}$$

$$F_{Ay} = F_A \sin 45.0^\circ = (40.0 \text{ N})(0.707) = 28.3 \text{ N}.$$



Le componenti di \vec{F}_B sono

$$F_{Bx} = F_B \cos 37.0^\circ = +(30.0 \text{ N})(0.799) = +24.0 \text{ N}$$

$$F_{By} = F_B \sin 37.0^\circ = -(30.0 \text{ N})(0.602) = -18.1 \text{ N}.$$

F_{By} è negativa perché in direzione dell'asse y negativo. Le componenti della forza risultante sono (fig. 4-19c)

$$F_{Rx} = F_{Ax} + F_{Bx} = 28.3 \text{ N} + 24.0 \text{ N} = 52.3 \text{ N}$$

$$F_{Ry} = F_{Ay} + F_{By} = 28.3 \text{ N} - 18.1 \text{ N} = 10.2 \text{ N}.$$

Per trovare il modulo della forza risultante utilizziamo il teorema di Pitagora:

$$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} = \sqrt{(52.3)^2 + (10.2)^2} \text{ N} = 53.3 \text{ N}.$$

L'ultima incognita che rimane è l'angolo θ tra la forza risultante \vec{F}_R e l'asse x . Utilizziamo:

$$\text{tg } \theta = \frac{F_{Ry}}{F_{Rx}} = \frac{10.2 \text{ N}}{52.3 \text{ N}} = 0.195$$

e $\text{arctg}(0.195) = 11.0^\circ$. La forza risultante che agisce sulla barca ha modulo 53.3 N e agisce nella direzione che forma un angolo di 11.0° rispetto all'asse x .