Esempi di applicazioni del secondo principio della Dinamica del Punto Materiale.

4.7 APPLICAZIONI DELLE LEGGI DI NEWTON

In questo paragrafo presentiamo alcune semplici applicazioni delle leggi di Newton a corpi che si trovano in equilibrio ($\vec{a} = 0$) o accelerati sotto l'azione di forze esterne costanti. Assumeremo che i corpi si comportino come punti materiali (particelle) cosicché non dobbiamo preoccuparci dei moti rotazionali o altre complicazioni. In questo paragrafo applicheremo pure alcuni ulteriori modelli semplificati. Trascureremo anche gli effetti dell'attrito nei problemi di moto, che è equivalente ad asserire che le superfici sono *prive d'attrito* (lisce). Infine, trascureremo, di norma, la massa di qualsiasi fune o molla implicate in un qualche problema. In questa approssimazione il modulo della forza esercitata in un qualsiasi punto della fune è lo stesso in tutti i punti della fune. Negli enunciati dei problemi il termine *leggero* e la locuzione *di massa trascurabile* sono stati usati per indicare che la massa si può trascurare nello svolgimento del problema. Essi sono sinonimi in questo contesto.

Quando un oggetto quale un blocco è tirato da una fune legata ad esso, la fune esercita una forza $\vec{T}$ sull'oggetto. La sua direzione è lungo la fune, nel verso di allontanamento dall'oggetto. Il modulo T di questa forza si chiama **tensione** della fune.

■ Tensione

Consideriamo una cassa tirata verso destra su una superficie orizzontale liscia, come in Figura 4.8a. Supponete che vi sia richiesto di determinare l'accelerazione della cassa e la forza del pavimento su di essa. Si noti che la forza orizzontale $\vec{T}$ applicata alla cassa agisce attraverso la fune.

Siccome siamo interessati solo al moto della cassa, dobbiamo essere in grado di *identificare ognuna e tutte le forze esterne che agiscono su di essa.* Queste forze sono illustrate nel diagramma di corpo libero in Figura 4.8b. Oltre alla forza $\vec{T}$, il diagramma di corpo libero per la cassa include la forza gravitazionale $\vec{F}_g$ e la forza normale $\mathbf{n}$ esercitata dal pavimento sulla cassa. Le *reazioni* alle forze che abbiamo elencato—ossia le forze esercitate dalla cassa sulla fune, sulla Terra e sul pavimento—non sono incluse nel diagramma di corpo libero in quanto agiscono su *altri* oggetti e non sulla cassa.

Applichiamo ora la seconda legge di Newton alla cassa. Per prima cosa dobbiamo scegliere un appropriato sistema di coordinate. In questo caso è conveniente utilizzare il sistema di coordinate mostrato in Figura 4.8b con l'asse x orizzontale e l'asse y verticale. Possiamo applicare la seconda legge di Newton lungo x, lungo y o entrambi, secondo ciò che siamo chiamati a trovare nel problema. Inoltre, saremo in grado di utilizzare le equazioni del moto per la particella con l'accelerazione costante discusse nel Capitolo 2. Tuttavia, tali equazioni andranno usate solo quando l'accelerazione è costante, come nel caso in cui la forza totale sia costante. Ad esempio, se la forza $\vec{T}$ in Figura 4.8 è costante, consegue che anche l'accelerazione nella direzione x è costante, perché $\vec{a} = \vec{T}/m$.

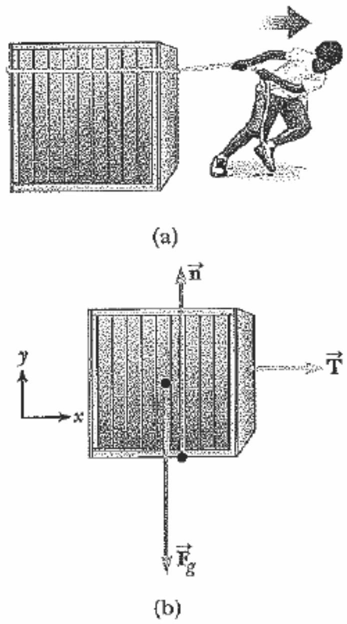
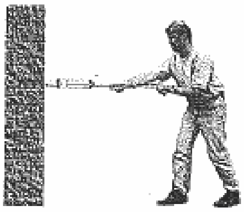


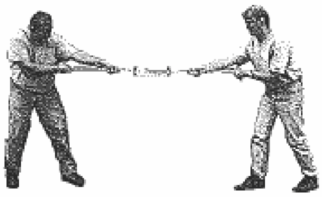
FIGURA 4.8 (a) Una cassa tirata verso destra su una superficie priva di attrito. (b) Il diagramma di corpo libero che rappresenta le forze esterne che agiscono sulla cassa.

La particella in equilibrio

I corpi che sono in quiete o che si muovono con velocità costante sono definiti in equilibrio. Questa condizione di **equilibrio**, dalla seconda legge di Newton con



(i)



(ii)

FIGURA 4.9 (Quiz rapido 4.7) (i) Un individuo tira con una forza di modulo F una molla graduata attaccata ad una parete. (ii) Due individui tirano con forze di modulo F in versi opposti una molla graduata attaccata a due funi.

$\vec{a} = 0$, si può esprimere come

$$\sum \vec{F} = 0 \qquad [4.7]$$

Tale affermazione significa che la somma vettoriale di tutte le forze (la forza risultante) che agiscono su un corpo in equilibrio è zero.[4] Se una particella è soggetta a forze, ma ha accelerazione nulla, usiamo l'Equazione 4.7 per analizzare la situazione, come vedremo in alcuni esempi che seguono.

Di solito, i problemi che incontriamo nel nostro studio dell'equilibrio saranno più facilmente risolti se lavoriamo con l'Equazione 4.7 per i componenti delle forze esterne che agiscono su un corpo. Con ciò s'intende che, in un problema bidimensionale, la somma di tutte le forze esterne nelle direzioni x e y devono separatamente essere uguali a zero; cioè,

$$\sum F_x = 0 \qquad \sum F_y = 0 \qquad [4.8]$$

L'estensione dell'Equazione 4.8 a una situazione tridimensionale può effettuarsi aggiungendo una terza equazione, $\Sigma F_z = 0$.

In una data situazione, possiamo equilibrare le forze agenti su un corpo in una direzione, ma non nell'altra. Quindi, per un dato problema, potremmo avere bisogno di un modello dell'oggetto come una particella in equilibrio per una componente e una particella sottoposta a una forza risultante per l'altra.

QUIZ RAPIDO 4.7 Consideriamo le due situazioni mostrate in Figura 4.9, nelle quali non c'è accelerazione. In ambedue i casi, gli individui tirano con una forza di modulo F attraverso una fune collegata a un dinamometro. La lettura sul dinamometro nella parte (i) della figura è **(a)** maggiore che in (ii), **(b)** minore che in (ii), o **(c)** uguale alla lettura nella parte (ii)?

La particella soggetta ad una forza risultante

In una situazione nella quale una forza risultante agisce su un corpo, il corpo risulta accelerato. Usiamo la seconda legge di Newton per determinare le caratteristiche del moto:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

In pratica, questa equazione è formulata nelle sue componenti, cosicché si possono maneggiare indipendentemente due (o tre) equazioni. I suggerimenti e i problemi rappresentativi che seguono dovrebbero aiutarvi a risolvere i problemi di questa natura.

STRATEGIA PER LA RISOLUZIONE DEI PROBLEMI Applicando le leggi di Newton

Si raccomanda la seguente procedura nel risolvere i problemi che riguardano l'applicazione della legge di Newton.

1. Inquadrate Disegna un semplice, nitido diagramma del sistema per aiutare a stabilire una rappresentazione mentale. Adotta assi coordinati convenienti per ciascun corpo del sistema.

2. Classificate Se una componente dell'accelerazione per un corpo è zero assumere che il corpo sia in equilibrio in questa direzione e $\Sigma F = 0$. Altrimenti, si assume che il corpo sia soggetto ad una forza risultante in questa direzione e $\Sigma F = ma$.

3. Analizzate Isola il corpo in esame. Disegna un diagramma di corpo libero per questo corpo. Per sistemi che contengono più di un corpo, disegna diagrammi di corpo libero *separati* per ciascun corpo. *Non* includere nel diagramma di corpo libero forze esercitate dal corpo su ciò che lo circonda.

Trova le componenti delle forze lungo gli assi coordinati. Applica la seconda legge di Newton $\Sigma\vec{F} = m\vec{a}$, in componenti. Controlla le dimensioni per esser sicuro che tutti i termini abbiano le stesse unità di forza.

Risolvi le equazioni per le componenti rispetto alle incognite. Ricorda che per ottenere una soluzione completa si deb-

[4] Questa è soltanto una condizione di equilibrio per un oggetto. Una seconda condizione di equilibrio riguarda l'equilibrio rotazionale. Questa condizione sarà discussa nel Capitolo 10. L'Equazione 4.7 è sufficiente per analizzare oggetti in moto traslazionale che sono quelli di interesse per noi in questo momento.

bono avere tante equazioni indipendenti quante sono le incognite.

4. **Concludete** Assicurati che i tuoi risultati siano consistenti con il diagramma di corpo libero. Controlla pure le previsioni delle tue soluzioni per valori estremi delle variabili. Così facendo, puoi spesso individuare errori nei tuoi risultati.

Seguono una serie di esempi che dimostrano come risolvere i problemi che coinvolgono una particella in equilibrio o una particella sottoposta a una forza risultante non nulla. Dovresti leggere e studiare questi esempi molto accuratamente.

ESEMPIO 4.2 Un semaforo sospeso

Un semaforo di peso 122 N pende da un cavo legato a due altri cavi trattenuti da un supporto come in Figura 4.10a. I cavi superiori formano due angoli di 37.0° e 53.0° con l'orizzontale. Questi cavi superiori non sono così robusti come il cavo verticale, e si romperebbero se la tensione in essi superasse 100 N. Il semaforo rimarrà in questa situazione oppure uno dei cavi si romperà?

Soluzione Assumiamo che i cavi non si rompano cosicché non c'è alcuna accelerazione in qualsiasi direzione. Quindi, usiamo il modello di una particella in equilibrio per ambedue le componenti x e y. Dobbiamo costruire due diagrammi di corpo libero. Il primo di questi si riferisce al semaforo, mostrato in Figura 4.10b; il secondo è relativo al nodo che tiene i tre cavi insieme, come in Figura 4.10c. Conviene scegliere il punto di questo nodo poiché tutte le forze che ci interessano agiscono in questo punto. Poiché l'accelerazione del sistema è zero, possiamo usare la condizione di equilibrio in cui la forza risultante sul semaforo è nulla, e in cui la forza risultante sul nodo è nulla.

Considerando la Figura 4.10b, applichiamo la condizione di equilibrio nella direzione y, $\Sigma F_y = 0 \rightarrow T_3 - F_g = 0$. Ciò conduce a $T_3 = F_g = 122$ N. Quindi, la forza $\vec{\mathbf{T}}_3$ esercitata dal cavo verticale equilibra il peso del semaforo.

Poi, considerando il nodo, scegliamo gli assi coordinati come è mostrato in Figura 4.10c e scomponiamo le forze nelle loro componenti x e y, così come viene mostrato nella seguente tabella:

Forza	Componente x	Componente y
$\vec{\mathbf{T}}_1$	$-T_1 \cos 37.0°$	$T_1 \operatorname{sen} 37.0°$
$\vec{\mathbf{T}}_2$	$T_2 \cos 53.0°$	$T_2 \operatorname{sen} 53.0°$
$\vec{\mathbf{T}}_3$	0	-122 N

Le Equazioni 4.8 ci danno

$$(1)\ \sum F_x = T_2 \cos 53.0° - T_1 \cos 37.0° = 0$$

$$(2)\ \sum F_y = T_1 \operatorname{sen} 37.0° + T_2 \operatorname{sen} 53.0° - 122\ \text{N} = 0$$

Risolviamo la (1) per T_2 in funzione di T_1 per ottenere

$$T_2 = T_1 \left(\frac{\cos 37.0°}{\cos 53.0°} \right) = 1.33 T_1$$

Questo valore di T_2 sostituito nella (2) dà

$$T_1 \operatorname{sen} 37.0° + (1.33 T_1)(\operatorname{sen} 53.0°) - 122\ \text{N} = 0$$

$$T_1 = 73.4\ \text{N}$$

Quindi, calcoliamo T_2:

$$T_2 = 1.33 T_1 = 97.4\ \text{N}$$

Ambedue questi valori sono inferiori a 100 N (appena meno per T_2!), Cosicché i cavi non si romperanno.

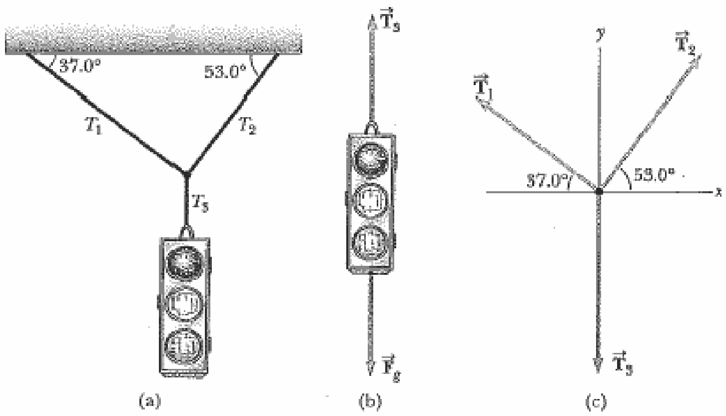


FIGURA 4.10 (Esempio 4.2) (a) Un semaforo sospeso da cavi. (b) Il diagramma di corpo libero del semaforo. (c) Il diagramma di corpo libero del nodo nei cavi.

ESEMPIO 4.3 Una slitta sulla neve priva d'attrito

Un bambino su una slitta viene lasciato andare lungo un pendio privo di attrito che forma un angolo θ, come in Figura 4.11a.

A Determinare l'accelerazione della slitta dopo che è stata lasciata andare.

Soluzione Identifichiamo il sistema della slitta e del bambino come gli oggetti di nostro interesse. Assimiliamo il sistema a una particella di massa m. Si può usare la seconda legge di Newton per determinare l'accelerazione della particella. Prima, costruiamo il diagramma di corpo libero della particella come in Figura 4.11b. Le sole forze che agiscono sulla particella sono la forza normale $\vec{n}$ agente perpendicolarmente al piano inclinato e la forza di gravità $m\vec{g}$ che agisce verticalmente verso il basso. Per i problemi di questo tipo che coinvolgono i piani inclinati, è conveniente scegliere gli assi coordinati con l'asse x *lungo* il piano inclinato e y *perpendicolare* a esso. Allora, sostituiamo $m\vec{g}$ con una combinazione di un vettore componente di modulo mg sen θ lungo l'asse *x positivo* (verso il basso del piano inclinato) e uno di modulo $mg \cos\theta$ nella direzione delle *y negative*.

Applicando la seconda legge di Newton nella forma delle sue componenti alla particella e notando che $a_y = 0$ si ottiene

$$(1) \quad \sum F_x = mg \operatorname{sen}\theta = ma_x$$

$$(2) \quad \sum F_y = n - mg\cos\theta = 0$$

Dalla (1) vediamo che l'accelerazione lungo il piano inclinato è fornita dalla componente della forza di gravità parallela al piano inclinato, la quale ci dà

$$(3) \quad a_x = g \operatorname{sen}\theta$$

Notiamo che l'accelerazione data dalla (3) è *indipendente* dalla massa della particella; essa dipende soltanto dall'angolo d'inclinazione e da g. Dalla (2) concludiamo che la componente della forza di gravità perpendicolare al piano inclinato è *equilibrata* dalla forza normale; cioè, $n = mg\cos\theta$. (Si noti, come abbiamo sottolineato in "Attenti alle insidie 4.6", che n non è uguale in questo caso a mg).

Casi particolari Quando $\theta = 90°$, la (3) ci dà $a_x = g$ e la (2) ci dà $n = 0$. Questo caso corrisponde alla particella in caduta libera. (A causa della nostra scelta del sistema di coordinate, le x sono positive verso il basso quando $\theta = 90°$, che è la ragione per la quale l'accelerazione è $+g$ piuttosto che $-g$). Quando $\theta = 0°$, $a_x = 0$ e $n = mg$ (il suo valore massimo). Ciò corrisponde alla situazione in cui la particella si trova su una superficie orizzontale e non accelera.

Questa tecnica di considerare i casi particolari di situazioni limite è spesso utile per mettere alla prova una risposta. In questa situazione, se l'angolo θ va a 90°, noi sappiamo intuitivamente che l'oggetto cade parallelamente alla superficie del piano inclinato. Il fatto che la (3) si riduca matematicamente ad $a_x = g$ quando $\theta = 90°$ rende affidabile la nostra risposta. Ciò non prova che la risposta è corretta, ma se l'accelerazione non tendesse a g, ciò ci assicurerebbe che la risposta è sbagliata.

B Supponiamo che la slitta sia lasciata andare dalla quiete alla sommità del pendio, e la distanza tra la parte anteriore della slitta ed il fondo del pendio sia d. Quanto tempo impiegherà la parte anteriore della slitta per raggiungere il fondo, e quale sarà la sua velocità proprio quando arriva in questo punto?

Soluzione Nella parte A, abbiamo trovato $a_x = g$ sen θ, che è costante. Quindi, possiamo assimilare il sistema al modello della particella con accelerazione costante per il moto parallelo al piano inclinato. Usiamo l'Equazione 2.12, $x_f = x_i + v_{xi}t + \frac{1}{2}a_xt^2$, per descrivere la posizione della parte frontale della slitta. Definiamo la posizione iniziale $x_i = 0$ e la posizione finale $x_f = d$. Poiché la slitta inizia a scivolare da ferma, $v_{xi} = 0$. Con questi valori, l'Equazione 2.12 diventa semplicemente $d = \frac{1}{2}a_xt^2$, ossia

$$t = \sqrt{\frac{2d}{a_x}} = \sqrt{\frac{2d}{g \operatorname{sen}\theta}}$$

Ciò risponde alla prima domanda sul tempo necessario a raggiungere il fondo. Ora, per determinare la velocità quando la slitta arriva in fondo, usiamo l'Equazione 2.13, $v_{xf}^2 = v_{xi}^2 + 2a_x(x_f - x_i)$ con $v_{xi} = 0$, e troviamo che $v_{xf}^2 = 2a_xd$, ossia

$$v_{xf} = \sqrt{2a_xd} = \sqrt{2gd \operatorname{sen}\theta}$$

Come con l'accelerazione parallela al piano inclinato, t e v_{xf} sono *indipendenti* dalla massa della slitta e del bambino.

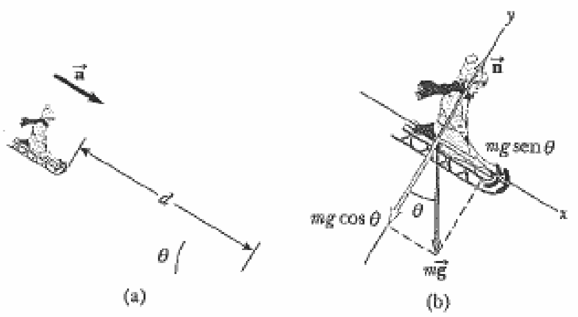


FIGURA 4.11 (Esempio 4.3) (a) Un bambino su una slitta scivola giù su un pendio privo d'attrito. (b) Il diagramma di corpo libero del sistema.

ESEMPIO 4.4 **La macchina di Atwood**

Quando due oggetti con masse diverse sono sospesi verticalmente tramite una puleggia leggera e priva di attrito come in Figura 4.12a, il dispositivo viene chiamato *macchina di Atwood*. Essa viene a volte adoperata in laboratorio per misurare l'accelerazione di gravità. Calcolare il modulo dell'accelerazione delle due masse e la tensione della fune.

Soluzione *Inquadrare* il problema mediante una rappresentazione mentale suggerita dalla Figura 4.12a. Un oggetto che sale, e l'altro che scende. Poiché gli oggetti sono collegati da una fune inestensibile, essi devono avere lo stesso modulo di accelerazione. Gli oggetti nella macchina di Atwood sono soggetti tanto alla forza di gravità quanto alle forze esercitate dalla fune cui sono collegati. Nel *classificare* questo problema, assimileremo gli oggetti a particelle soggette a una forza risultante.

Cominciamo con l'*analizzare* il problema disegnando i diagrammi di corpo libero per i due oggetti, come mostrato in Figura 4.12b. Su ciascun oggetto agiscono due forze: la forza $\vec{\mathbf{T}}$ verso l'alto esercitata dalla fune e la forza di gravità verso il basso. In un problema come questo in cui la puleggia è assunta priva di massa e di attrito, la tensione della fune su ambedue i lati della puleggia è la stessa. Se la puleggia avesse massa o fosse soggetta alla forza d'attrito, la tensione su entrambi i lati non sarebbe la stessa e la situazione richiederebbe le tecniche del Capitolo 10.

In questo tipo di problemi, che coinvolgono funi che passano attraverso pulegge, dobbiamo prestare attenzione alla convenzione sui segni. Si noti che se m_1 sale, allora m_2 deve scendere. Quindi, m_1 che sale e m_2 che scende dovrebbero essere rappresentati equivalentemente da una convenzione sui segni. Possiamo ottenere ciò definendo l'andare su come positivo per m_1 e l'andare giù come positivo per m_2, come in Figura 4.12a.

Con questa convenzione sui segni, il modulo della forza risultante agente su m_1 è $T - m_1 g$, mentre il modulo della forza risultante su m_2 è $m_2 g - T$. Abbiamo scelto il segno delle forze in accordo con la scelta del verso positivo per ciascun oggetto.

Quando applichiamo la seconda legge di Newton a m_1, troviamo

$$(1) \quad \sum F_y = T - m_1 g = m_1 a$$

Analogamente, per m_2 troviamo

$$(2) \quad \sum F_y = m_2 g - T = m_2 a$$

Notare che a è la stessa per entrambi gli oggetti. Quando (2) e (1) si sommano, T si elimina e abbiamo

$$-m_1 g + m_2 g = m_1 a + m_2 a$$

Risolvendo per l'accelerazione a

$$(3) \quad a = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}\right) g$$

Se $m_2 > m_1$, l'accelerazione data dalla (3) è positiva: m_1 sale e m_2 scende. Ciò è coerente con la vostra rappresentazione mentale? Se $m_1 > m_2$, l'accelerazione è negativa e le masse si muovono in verso opposto.

Se sostituiamo la (3) nella (1), troviamo

$$(4) \quad T = \left(\frac{2 m_1 m_2}{m_1 + m_2}\right) g$$

Per *concludere* il problema, consideriamo alcuni casi particolari. Per esempio, quando $m_1 = m_2$, la (3) e la (4) ci danno $a = 0$ e $T = m_1 g = m_2 g$, come ci aspetteremmo intuitivamente nel caso di equilibrio. Ancora, se $m_2 \gg m_1$, $a \approx g$ (un oggetto in caduta libera) e $T \approx 0$. Per una massa m_2 così grande, ci aspettiamo che m_1 abbia un effetto piccolo, cosicché m_2 semplicemente cade. Quindi, i nostri risultati sono coerenti con le nostre previsioni intuitive in ambedue i casi limite considerati.

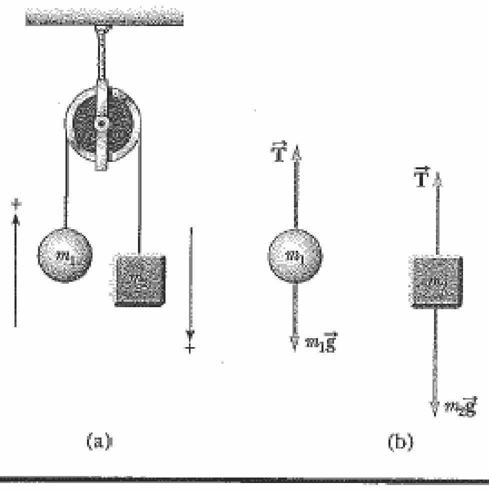


FIGURA 4.12 (Esempio 4.4) La macchina di Atwood. (a) Due corpi connessi tra loro da una corda di massa trascurabile che corre su di una puleggia priva di attrito. (b) I diagrammi di corpo libero per m_1 e m_2.

ESEMPIO 4.5 Un blocco ne spinge un altro

Due blocchi di massa m_1 e m_2, con $m_1 > m_2$, sono posti a contatto tra loro su un piano liscio e orizzontale, come riportato in Figura 4.13a. Una forza costante orizzontale $\vec{F}$ viene applicata a m_1 come indicato.

A Determinare il modulo dell'accelerazione del sistema dei due blocchi.

Soluzione I due blocchi devono avere la *stessa* accelerazione, poiché sono a contatto tra loro e rimangono a contatto. Assimiliamo il sistema dei due blocchi a una particella sottoposta a una forza risultante. Poiché $\vec{F}$ è la sola forza orizzontale agente sul sistema, abbiamo

$$\sum F_x \text{ (sistema)} = F = (m_1 + m_2)a$$

$$(1) \quad a = \frac{F}{m_1 + m_2}$$

B Determinare il modulo della forza di contatto tra i due blocchi.

Soluzione La forza di contatto è interna al sistema dei due blocchi. Quindi, non possiamo trovare questa forza assimilando l'intero sistema a una singola particella. Abbiamo bisogno di trattare i due blocchi separatamente ognuno come una particella soggetta a una forza risultante. Costruiamo per prima cosa il diagramma di corpo libero per ciascun blocco, come mostrato nelle Figure 4.13b e 4.13c, dove la forza di contatto è indicata da $\vec{P}$. Dalla Figura 4.13c, si vede che l'unica forza orizzontale agente su m_2 è la forza di contatto $\vec{P}_{12}$ (la forza esercitata da m_1 su m_2), diretta verso destra. Applicando la seconda legge di Newton a m_2 si ottiene

$$(2) \quad \sum F_x = P_{12} = m_2 a$$

Sostituendo il valore dell'accelerazione a dato dalla (1) nella (2) si ottiene

$$(3) \quad P_{12} = m_2 a = \left(\frac{m_2}{m_1 + m_2}\right) F$$

Analizzando questo risultato si osserva che la forza di contatto P_{12} è *minore* della forza applicata F. Ciò è in accordo con il fatto che la forza richiesta per accelerare solamente m_2 deve essere minore di quella necessaria per produrre la stessa accelerazione del sistema dei due blocchi. Confrontare ciò con le forze di aggancio nel treno di "Fisica ragionata 4.1".

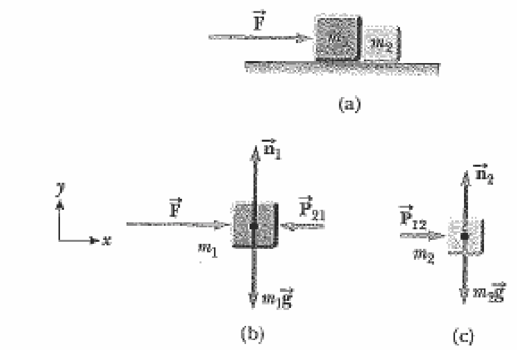


FIGURA 4.13 (Esempio 4.5) Una forza è applicata ad un blocco di massa m_1 che spinge un secondo blocco di massa m_2. (b) Il diagramma di corpo libero per m_1. (c) Il diagramma di corpo libero per m_2.

È istruttivo verificare questa espressione per P_{12}, considerando le forze agenti su m_1, come indicato in Figura 4.13b. In questo caso, le forze orizzontali agenti su m_1 sono la forza applicata $\vec{F}$, verso destra, e la forza di contatto $\vec{P}_{21}$, verso sinistra (la forza esercitata da m_2 su m_1). Dalla terza legge di Newton, $\vec{P}_{21}$ è la reazione a $\vec{P}_{12}$, cosicché $P_{21} = P_{12}$. Applicando la seconda legge di Newton a m_1, si ha

$$(4) \quad \sum F_x = F - P_{21} = F - P_{12} = m_1 a$$

Risolvendo per P_{12}, e sostituendo il valore di a, dalla (1) nella (4) si ottiene

$$P_{12} = F - m_1 a$$
$$= F - m_1\left(\frac{F}{m_1 + m_2}\right) = \left(\frac{m_2}{m_1 + m_2}\right) F$$

Il risultato è in accordo con la (3), come deve.

C S'immagini che la forza $\vec{F}$ nella Figura 4.13 sia applicata verso sinistra sul blocco di destra di massa m_2. Il modulo della forza $\vec{P}_{12}$ sarà lo stesso di quando la forza era applicata verso destra su m_1?

Soluzione Con la forza applicata verso sinistra su m_2, la forza di contatto deve far accelerare m_1. Nella situazione di partenza, la forza di contatto fa accelerare m_2. Siccome $m_1 > m_2$, si richiede maggior intensità di forza, perciò il modulo di $\vec{P}_{12}$ è maggiore.