



Dinamica

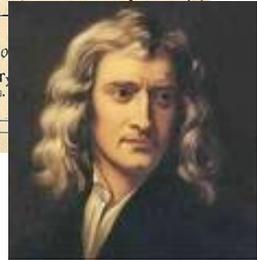
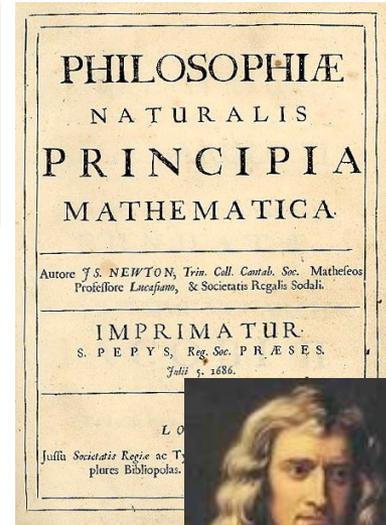
La Prima Legge della Dinamica

L'enunciato originale della prima legge di Newton (o *Principio di Inerzia*) è il seguente: *Ogni corpo persevera nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme fino a quando non agisca su di esso una forza risultante diversa da zero.*

Riferimenti inerziali



Riferimenti non inerziali



**Isaac Newton
(1642-1727)**

La Seconda Legge della Dinamica

La forza netta agente su un corpo è uguale al prodotto della sua massa m per l'accelerazione \vec{a} assunta dal corpo:

$$\vec{F}_{net} = \sum_i \vec{F}_i = m\vec{a} \quad (1)$$

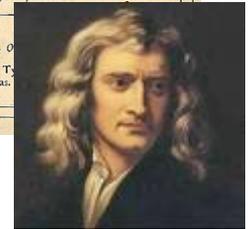
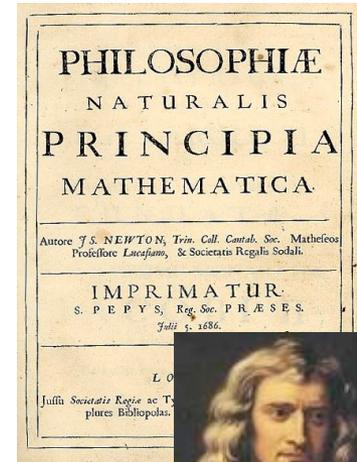
$\vec{F}_{net} = \sum_i \vec{F}_i$ è il **vettore risultante** dalla somma (sommatoria) di **tutte** le forze agenti sul corpo (forza netta)

Osservazioni:

1) Possiamo enunciare la seconda legge anche dicendo che:

L'accelerazione prodotta dall'azione di una forza netta diversa da zero applicata ad un dato corpo è sempre direttamente proporzionale alla forza e inversamente proporzionale alla massa del corpo.

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{net}}{m}$$



La Seconda Legge della Dinamica

La forza netta agente su un corpo è uguale al prodotto della sua massa m per l'accelerazione \vec{a} assunta dal corpo:

$$\vec{F}_{net} = \sum_i \vec{F}_i = m\vec{a} \quad (1)$$

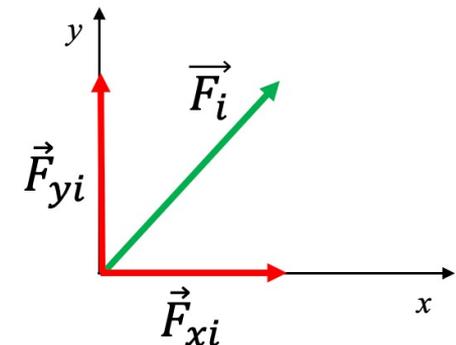
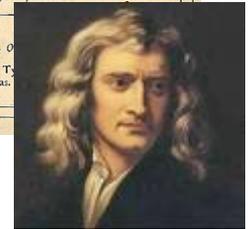
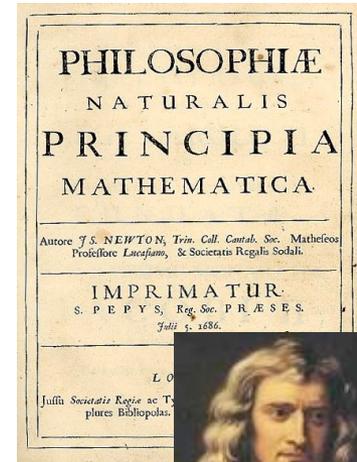
$\vec{F}_{net} = \sum_i \vec{F}_i$ è il **vettore risultante** dalla somma (sommatoria) di **tutte** le forze agenti sul corpo (forza netta)

Osservazioni:

2) L'equazione (1) è **un'equazione vettoriale**. Se ad esempio lavoriamo in un sistema di riferimento bidimensionale, essa può essere scomposta in **due equazioni scalari**, una per ogni componente in coordinate cartesiane:

Somme delle componenti x delle forze applicate $\sum_i F_{xi} = ma_x \longrightarrow a_x = \frac{\sum_i F_{xi}}{m}$

Somme delle componenti y delle forze applicate $\sum_i F_{yi} = ma_y \longrightarrow a_y = \frac{\sum_i F_{yi}}{m}$



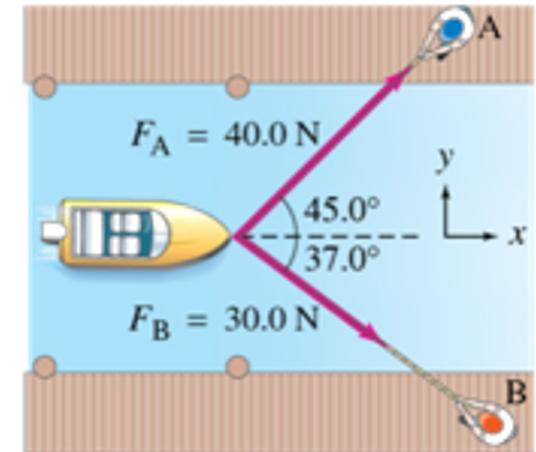
Somma vettoriale delle forze

Esercizio

Calcolare la somma delle due forze applicate su una barca dai due lavoratori A e B, come si vede nella figura (a) qui accanto.

Suggerimento

Convieni considerare per semplicità il problema come se fosse bidimensionale (in effetti lo è in buona approssimazione) e fissare il nostro sistema di riferimento x,y come in figura (a).



(a)

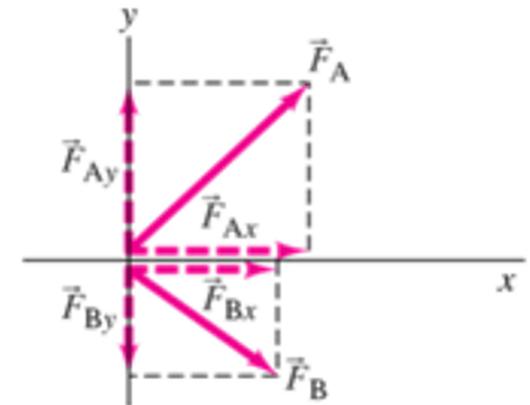
La prima cosa da fare in questi casi è quella di disegnare il cosiddetto **diagramma delle forze** (b), ossia un diagramma in cui si evidenziano tutte e sole le forze agenti sull'oggetto considerato, trattato come se fosse puntiforme. **Sommiamo** dunque le forze in gioco utilizzando il metodo di scomposizione nelle componenti:

$$\vec{F}_A \begin{cases} F_{Ax} = F_A \cos 45.0^\circ = (40.0N)(0.707) = 28.3N \\ F_{Ay} = F_A \sin 45.0^\circ = (40.0N)(0.707) = 28.3N \end{cases}$$

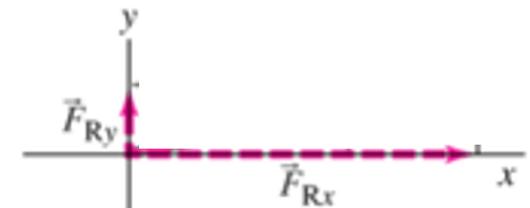
$$\vec{F}_B \begin{cases} F_{Bx} = F_B \cos 37.0^\circ = (30.0N)(0.799) = 24.0N \\ F_{By} = F_B \sin 37.0^\circ = -(30.0N)(0.602) = -18.1N \end{cases}$$

...da cui si ottengono (c) le componenti della **forza risultante**:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_A + \vec{F}_B \begin{cases} F_{Rx} = F_{Ax} + F_{Bx} = 28.3N + 24.0N = 52.3N \\ F_{Ry} = F_{Ay} + F_{By} = 28.3N - 18.1N = 10.2N \end{cases}$$



(b)



(c)

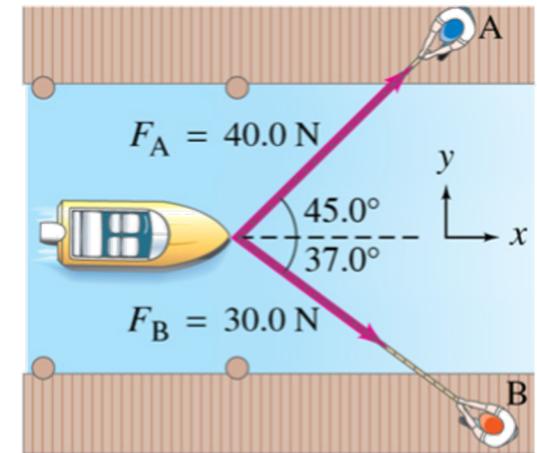
Somma vettoriale delle forze

Esercizio

Calcolare la somma delle due forze applicate su una barca dai due lavoratori A e B, come si vede nella figura (a) qui accanto.

Suggerimento

Convieni considerare per semplicità il problema come se fosse bidimensionale (in effetti lo è in buona approssimazione) e fissare il nostro sistema di riferimento x,y come in figura (a).



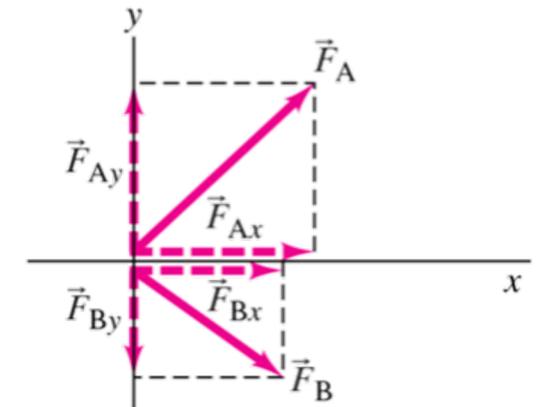
(a)

Non ci resta che calcolare, infine, il **modulo** del vettore della **forza risultante** e l'**angolo** che esso forma con l'asse x (c):

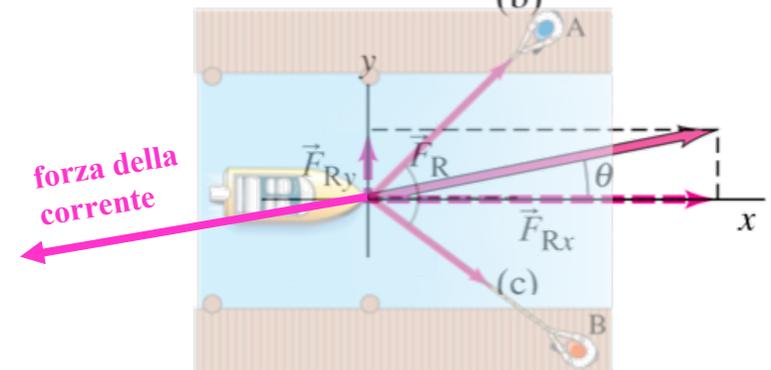
$$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} = \sqrt{(52.3)^2 + (10.2)^2} N = 53.3 N$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{F_{Ry}}{F_{Rx}} = \frac{10.2 N}{52.3 N} = 0.195 \rightarrow \theta = \operatorname{arctg}(0.195) = 11.0^\circ$$

I due lavoratori A e B applicano questa forza risultante alla barca in modo da contrastare la **forza della corrente** esercitata dall'acqua su cui la barca galleggia: se queste due forze fossero esattamente uguali ed opposte, la loro risultante sarebbe nulla e quindi la barca si muoverebbe di **moto rettilineo uniforme** all'interno del canale.



(b)



(c)

La Terza Legge della Dinamica

La seconda legge della dinamica, o seconda legge del moto di Newton, descrive quantitativamente come le forze applicate ai corpi influenzano il loro moto. Ma lo stesso Newton si accorse che la questione non poteva finire lì. La natura delle forze, infatti, è un po' più complicata...

Come mai quando camminiamo lungo una certa direzione esercitiamo una forza nel verso opposto a quello del moto?



Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana

Come mai quando una pattinatrice esercita una forza contro un muro si sposta nel verso opposto?



Fisica

Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana

La Terza Legge della Dinamica

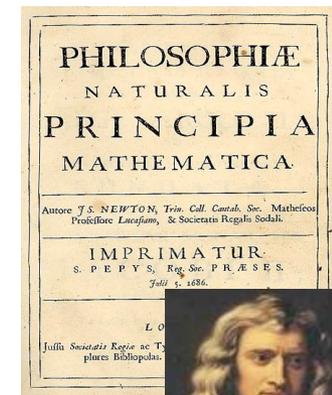
La seconda legge della dinamica, o seconda legge del moto di Newton, descrive quantitativamente come le forze applicate ai corpi influenzano il loro moto. Ma lo stesso Newton si accorse che la questione non poteva finire lì. La natura delle forze, infatti, è un po' più complicata...



Fisica
Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana

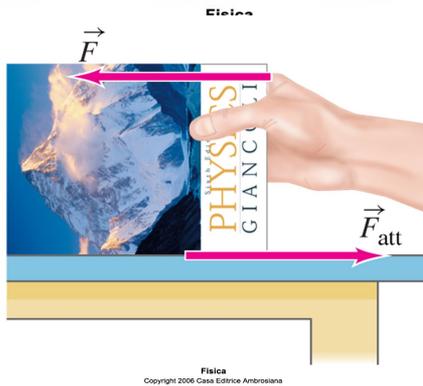
L'osservazione mostra che ogni volta che un corpo esercita una forza (azione) su un secondo corpo, il secondo esercita sul primo **una forza (reazione) uguale in modulo e direzione ma di verso opposto**. Ad esempio, se premete la vostra mano contro lo spigolo del banco che avete di fronte, sentirete che il banco esercita sulla vostra mano una forza esattamente uguale e contraria. E più forte premerete contro il banco, più forte sarà la reazione che il banco opporrà alla vostra spinta.

La *terza legge della dinamica* formulata da Newton, conosciuta anche come “*Principio di azione e reazione*”, sintetizza queste osservazioni ed afferma che: **Ad ogni azione corrisponde una reazione uguale e contraria.**

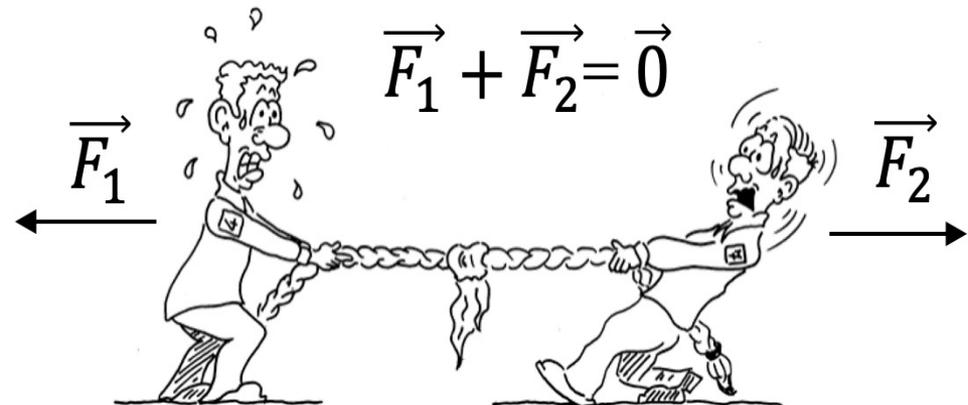


Il Principio di Azione e Reazione

Ma allora sorge spontanea una domanda: **come mai, se ad ogni forza applicata ne corrisponde un'altra uguale e contraria, queste due forze non si annullano tra di loro?**

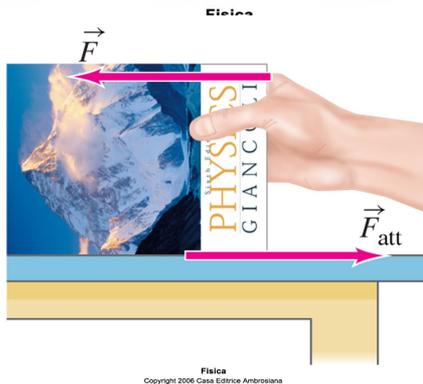


Pensate a cosa accade quando una **pattinatrice sul ghiaccio** esercita una forza (spinta) su un muro per ricevere a sua volta una spinta all'indietro da parte del muro: **come mai queste due forze uguali ed opposte non si elidono** per dare una risultante vettoriale nulla come accadeva invece nell'**esempio del libro** spinto sul tavolo, dove la spinta e l'attrito si annullavano permettendo al libro di muoversi a velocità costante, oppure come accadeva nel **caso della corda** tirata da una parte e dall'altra con forze uguali ed opposte, dove i due contendenti restavano fermi?



Il Principio di Azione e Reazione

Ma allora sorge spontanea una domanda: **come mai, se ad ogni forza applicata ne corrisponde un'altra uguale e contraria, queste due forze non si annullano tra di loro?**



Pensate a cosa accade quando una **pattinatrice sul ghiaccio** esercita una forza (spinta) su un muro per ricevere a sua volta una spinta all'indietro da parte del muro: **come mai queste due forze uguali ed opposte non si elidono** per dare una risultante vettoriale nulla come accadeva invece nell'**esempio del libro** spinto sul tavolo, dove la spinta e l'attrito si annullavano permettendo al libro di muoversi a velocità costante, oppure come accadeva nel **caso della corda** tirata da una parte e dall'altra con forze uguali ed opposte?

Semplicemente perchè mentre nel caso del libro o della corda **le forze uguali ed opposte sono applicate sullo stesso oggetto** (il libro o la corda) e dunque è lecito sommarle, le forze in gioco nell'esempio della pattinatrice **sono applicate ad oggetti diversi** (il muro e la pattinatrice) e dunque **non possono essere sommate!**

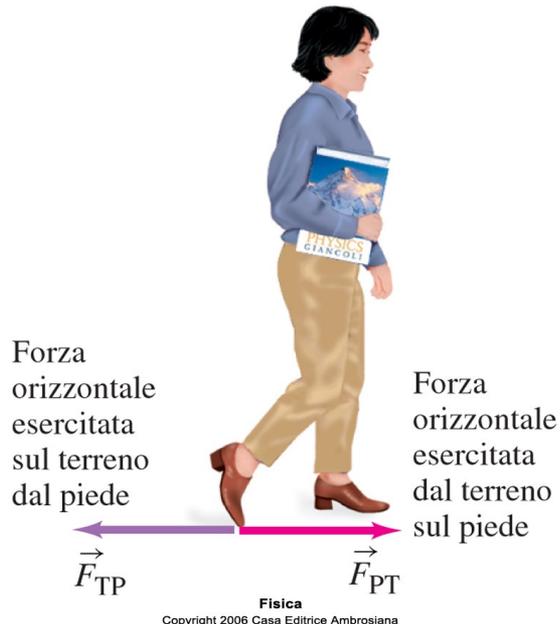
Importante: due o più forze possono essere sommate vettorialmente tra loro solo ed esclusivamente se sono applicate allo stesso corpo!

Il Principio di Azione e Reazione

Dunque una forza influenza il moto di un oggetto solo quando è applicata a quell'oggetto. Invece, la forza eventualmente esercitata **da** quell'oggetto non ha influenza sull'oggetto medesimo. Di conseguenza a volte è utile, quando ci sono più forze in gioco, usare **due pedici** per chiarire chi o cosa esercita la forza e chi o cosa la subisce.

Il principio di azione e reazione ci permette di camminare...

...e permette ai razzi di decollare (con dei motori a reazione appunto!)



Ma cos'è che provoca il movimento di un'automobile? Chi o che cosa esercita la forza che spinge l'automobile in avanti?

Il Principio di Azione e Reazione

Perchè se il principio di azione e reazione è perfettamente **simmetrico**, quando una bambina imprime al terreno una spinta per giocare a saltare con la corda è lei a spostarsi verso l'alto e **non è invece la Terra a spostarsi verso il basso?**

Ovviamente è una questione di inerzia!



Seconda legge

$$\vec{F}_{BT} \rightarrow \vec{a}_B = \frac{\vec{F}_{BT}}{m_B}$$

$$\vec{F}_{TB} \rightarrow \vec{a}_T = \frac{\vec{F}_{TB}}{m_T}$$

$$\left. \begin{array}{l} \vec{F}_{BT} \rightarrow \vec{a}_B = \frac{\vec{F}_{BT}}{m_B} \\ \vec{F}_{TB} \rightarrow \vec{a}_T = \frac{\vec{F}_{TB}}{m_T} \end{array} \right\} m_T \gg m_B \rightarrow a_T \ll a_B$$

Maggiore inerzia...

...minore accelerazione!

Il Principio di Azione e Reazione

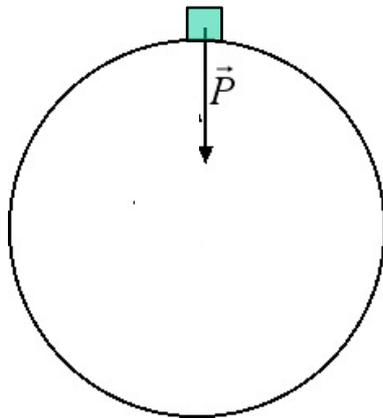
Immaginate di trovarvi nei panni (in questo caso nella tuta) dell'**astronauta** del film Gravity (2013) e di aver **esaurito il carburante** dei piccoli motori a reazione montati sul vostro zaino: **come farete a muovervi per raggiungere la vostra astronave?**



**Il principio
di azione e reazione**

La forza di Gravità e il Peso

Abbiamo già visto, con Galileo, che tutti gli oggetti lasciati cadere vicino alla superficie della Terra cadono con la stessa **accelerazione g** , se si trascura la resistenza dell'aria. Ora possiamo definitivamente confermare che tale accelerazione deriva da una forza, la **forza di gravità** o **forza gravitazionale** che, come mostreremo meglio più avanti, è la forza che la **Terra** esercita su tutti gli oggetti che si trovano su di essa e attorno ad essa.



Applicando la **seconda legge di Newton** ad un oggetto di massa **m** soggetto **all'accelerazione di gravità g** avremo infatti:

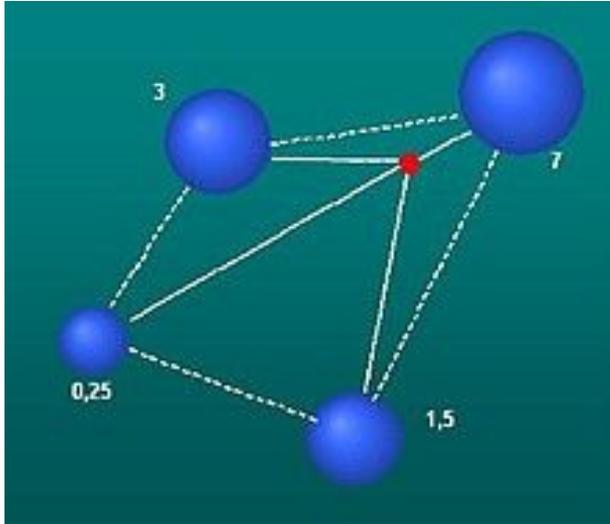
$$\vec{F}_G = m\vec{g}$$

che è appunto l'espressione della forza di gravità, rappresentata da un **vettore applicato al baricentro dell'oggetto e diretto verso il centro della Terra**. Il modulo di questa forza è quello che comunemente chiamiamo **peso** dell'oggetto, tant'è che la forza di gravità viene chiamata anche **forza peso** e indicata con: $\vec{P} = m\vec{g}$

Nelle unità del Sistema Internazionale si ha $g = 9.80 \text{ m/s}^2$, quindi il **peso** di un oggetto di massa 1.00kg sulla superficie della **Terra** equivale a $1.00 \text{ kg} \times 9.80 \text{ m/s}^2 = 9.80 \text{ N}$, quindi circa 10 N ; viceversa, **un oggetto che pesa 1.00 N avrà una massa di circa $0.1 \text{ kg} = 100\text{g}$** . Sulla **Luna**, dove l'accelerazione di gravità è un sesto di quella della Terra, la forza peso che agisce su un oggetto di massa 1.00kg sarà invece pari a soli 1.70 N .

Il Centro di Massa (Baricentro)

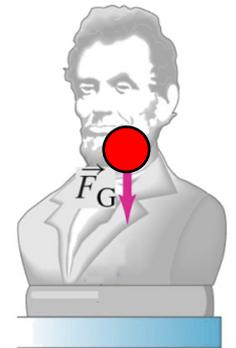
Abbiamo già detto che, di norma, se non diversamente specificato, **le forze agenti su un corpo rigido si intendono applicate nel suo centro di massa o baricentro**. In fisica, il **baricentro** di un sistema è il punto geometrico corrispondente al **valor medio** della distribuzione della massa del sistema nello spazio. Il baricentro risulta quindi ben definito per un qualunque sistema di corpi massivi, indipendentemente dalle forze, interne o esterne, che agiscono sui corpi; in generale, la sua posizione **può non coincidere** con la posizione di alcuno dei punti materiali che costituiscono il sistema fisico. Nel caso particolare di un **corpo rigido**, il baricentro ha invece una posizione fissa rispetto al sistema, spesso coincidente col suo centro geometrico.



Centro di massa di un sistema di quattro sfere di massa diversa



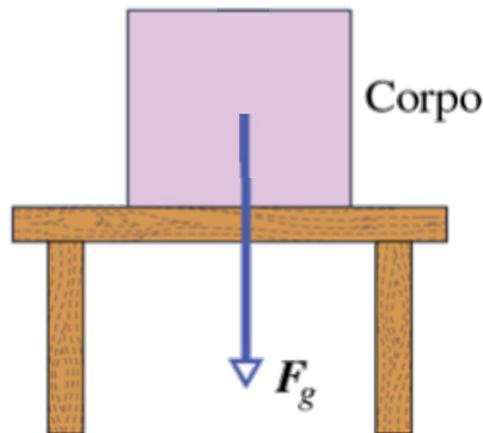
Centro di massa della Terra



Centro di massa di un oggetto

Forza Peso e Forza Normale

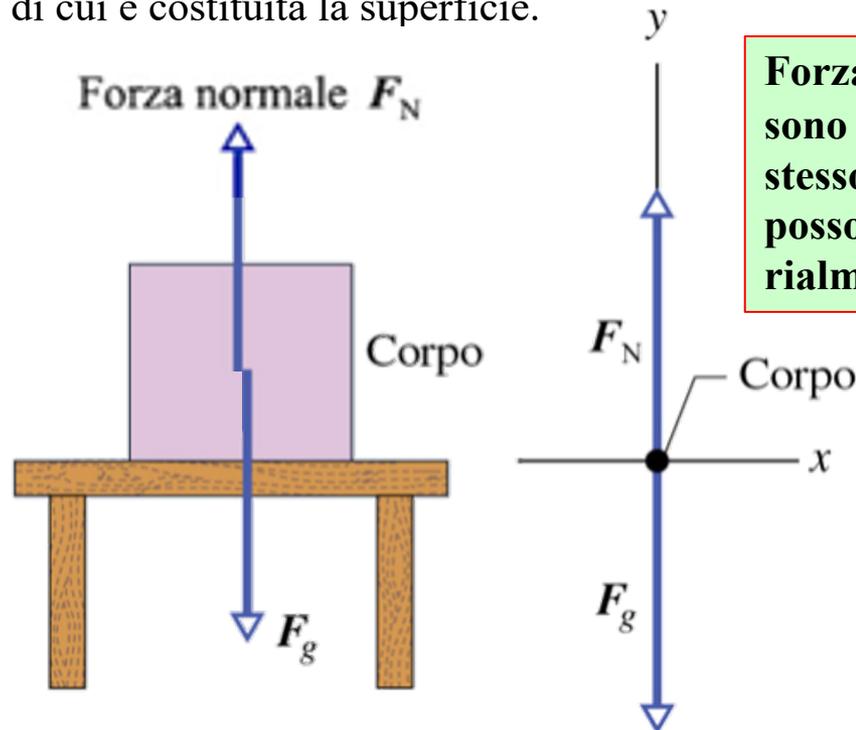
Ovviamente quando un oggetto è **fermo** in prossimità della superficie della Terra, come ad esempio una scatola poggiata su un tavolo, la forza peso non scompare: se dunque l'oggetto non si muove, per la seconda legge di Newton deve evidentemente esistere un'altra forza agente sull'oggetto, opposta alla forza peso, tale da **bilanciare** quest'ultima ed annullare così la forza risultante.



Forza Peso e Forza Normale

Ovviamente quando un oggetto è **fermo** in prossimità della superficie della Terra, come ad esempio una scatola poggiata su un tavolo, la forza peso non scompare: se dunque l'oggetto non si muove, per la seconda legge di Newton deve evidentemente esistere un'altra forza agente sull'oggetto, opposta alla forza peso, tale da **bilanciare** quest'ultima ed annullare così la forza risultante.

Questa forza è la cosiddetta **forza di contatto**, o **reazione vincolare**, esercitata sull'oggetto dalla superficie su cui è appoggiato e che, se l'oggetto è fermo, agisce sempre perpendicolarmente a tale superficie, per cui è anche chiamata **forza normale** \vec{F}_N . Essa è dovuta essenzialmente all'**elasticità** del materiale di cui è costituita la superficie.

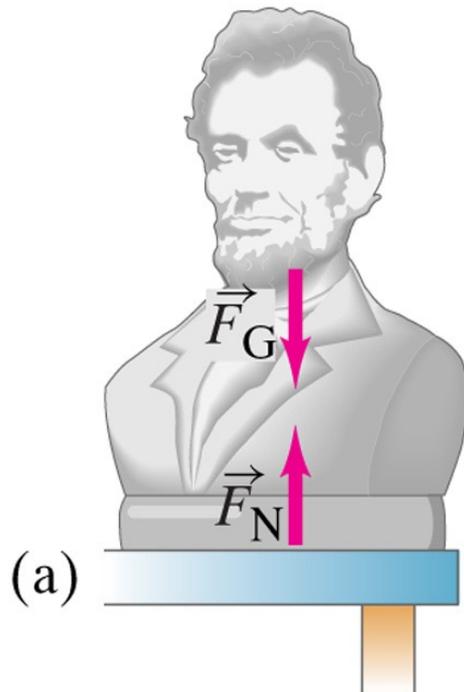


Forza peso e forza normale sono sempre applicate allo stesso oggetto, quindi si possono sommare vettorialmente e annullare.

Forza Peso e Forza Normale

Poiché la forza peso e la forza normale **agiscono entrambe sullo stesso oggetto**, esse evidentemente **NON** costituiscono una coppia di forze uguali ed opposte derivanti dal principio di azione-reazione, che agiscono invece sempre su oggetti diversi...

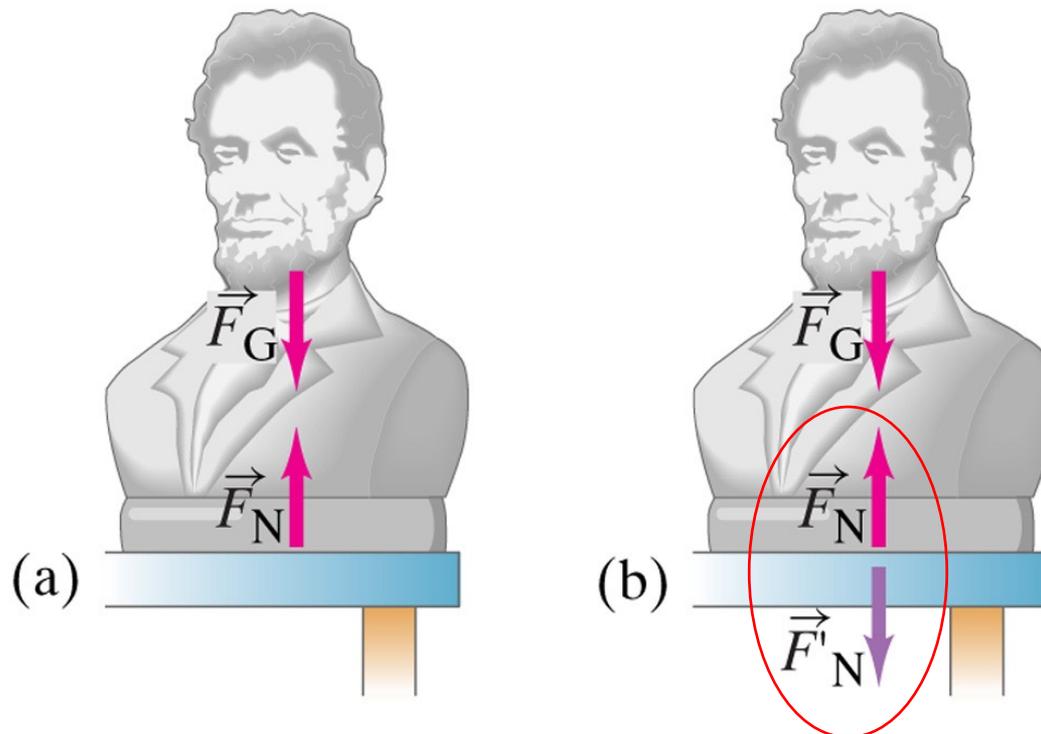
Sapreste dire quale è e dove è, in questo esempio, la forza di reazione, per il terzo principio, della forza normale?



Forza Peso e Forza Normale

Poiché la forza peso e la forza normale **agiscono entrambe sullo stesso oggetto**, esse evidentemente **NON** costituiscono una coppia di forze uguali ed opposte derivanti dal principio di azione-reazione, che agiscono invece sempre su oggetti diversi. Se consideriamo ad esempio una statua su un tavolo, vediamo infatti che la **forza normale** \vec{F}_N esercitata dal tavolo sulla statua produce una *forza di reazione* (\vec{F}'_N) esercitata dalla statua sul tavolo, in accordo alla terza legge di Newton. **E' questa seconda forza, non la forza peso, che, se troppo elevata, può rompere il tavolo!**

Ma allora anche la **forza peso** \vec{F}_G deve avere una sua *forza di reazione*. In questo caso però è più difficile da individuare... voi ci riuscite?



...si trova al centro della Terra!



Esercizio

E' Natale e vi hanno fatto dono di una **scatola** di massa $m=10.0\text{kg}$ contenente una misteriosa sorpresa. La scatola è ferma sulla superficie orizzontale di un tavolo.

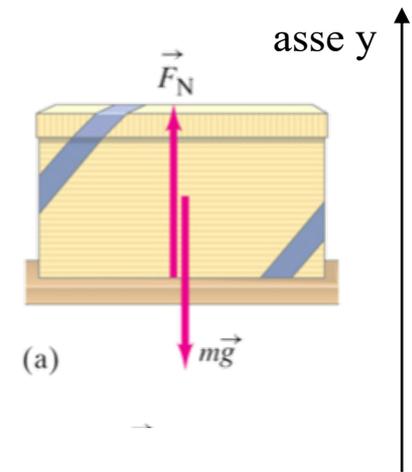
(a) **Determinare il peso della scatola e la forza normale esercitata su di essa dal tavolo;**

(a) La scatola è ferma, quindi la forza risultante agente su di essa deve essere nulla per la seconda legge di Newton. Le uniche due forze agenti sulla scatola sono la **forza peso**, di intensità mg e diretta verso il basso, e la **forza normale** F_N esercitata dal tavolo e diretta verso l'alto (verso delle y positive).

Imponendo che la forza risultante debba essere nulla (problema di **statica**), possiamo quindi ricavare l'intensità della forza normale:

$$\sum_i F_{yi} = F_N - mg = 0 \rightarrow F_N = mg = (10.0\text{kg})(9.80\text{m/s}^2) = 98.0\text{N}$$

che è appunto diretta verso l'alto e di modulo uguale al peso della scatola. Si noti che bisogna sempre ricordarsi di **anteporre il segno meno** alle componenti delle forze dirette nel verso opposto a quello positivo degli assi.



Esercizio

E' Natale e vi hanno fatto dono di una **scatola** di massa $m=10.0\text{kg}$ contenente una misteriosa sorpresa. La scatola è ferma sulla superficie orizzontale di un tavolo.

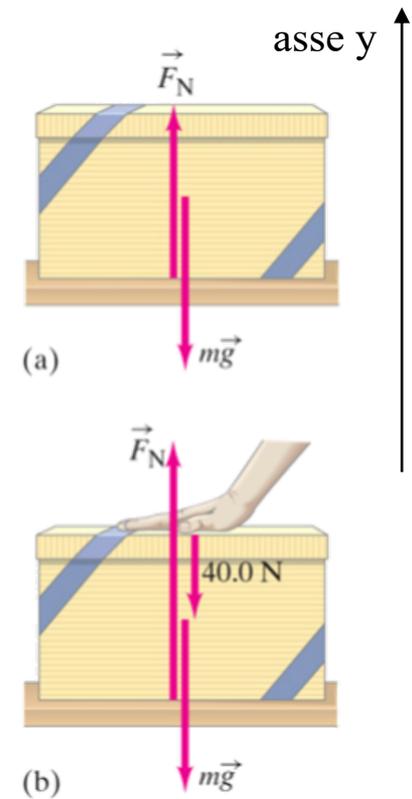
- (a) Determinare il peso della scatola e la forza normale esercitata su di essa dal tavolo;
- (b) **Determinare la forza normale nel caso in cui qualcuno preme sulla scatola con una forza di 40.0N ;**

- (b) Se qualcuno preme sulla scatola, alla forza peso (sempre pari ad mg) e alla forza normale si aggiunge una **terza forza**, in questo caso di intensità 40.0N e diretta verso il basso (quindi a favore della forza peso). Poichè la scatola resta **ferma**, la forza risultante deve ancora essere nulla e dunque:

$$\sum_i F_{yi} = F_N - mg - 40.0\text{N} = 0$$

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

che è **maggiore** di quella trovata nel caso precedente. Questo significa che, evidentemente, il tavolo respinge la scatola con più forza quando una persona spinge sulla scatola verso il basso, e ci dice anche che **la forza normale non è sempre uguale al peso** (ad ulteriore prova che forza normale e forza peso non sono legate dal principio di azione-reazione)



Esercizio

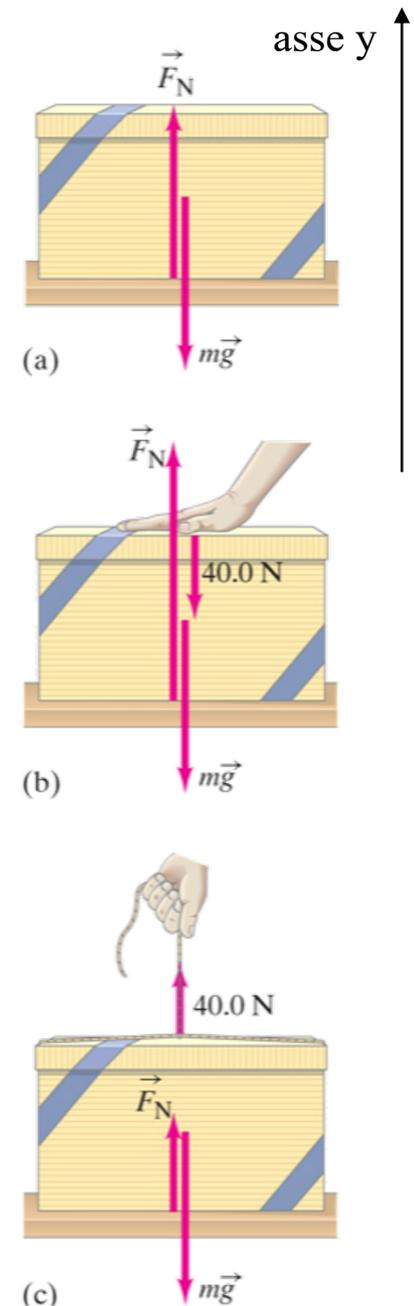
E' Natale e vi hanno fatto dono di una **scatola** di massa $m=10.0\text{kg}$ contenente una misteriosa sorpresa. La scatola è ferma sulla superficie orizzontale di un tavolo.

- (a) Determinare il peso della scatola e la forza normale esercitata su di essa dal tavolo;
- (b) Determinare la forza normale nel caso in cui qualcuno preme sulla scatola con una forza di 40.0N ;
- (c) **Determinare la forza normale se qualcuno tira invece verso l'alto la scatola con una forza di 40.0N .**

(c) Se qualcuno tira invece la scatola verso l'alto con una forza di 40.0N , tale forza andrà stavolta a **contrastare** la forza peso (che è sempre pari ad mg), ma essendo ad essa inferiore in intensità la scatola resterà ancora una volta **ferma**. Per la seconda legge di Newton la forza risultante dovrà quindi ancora essere nulla e avremo:

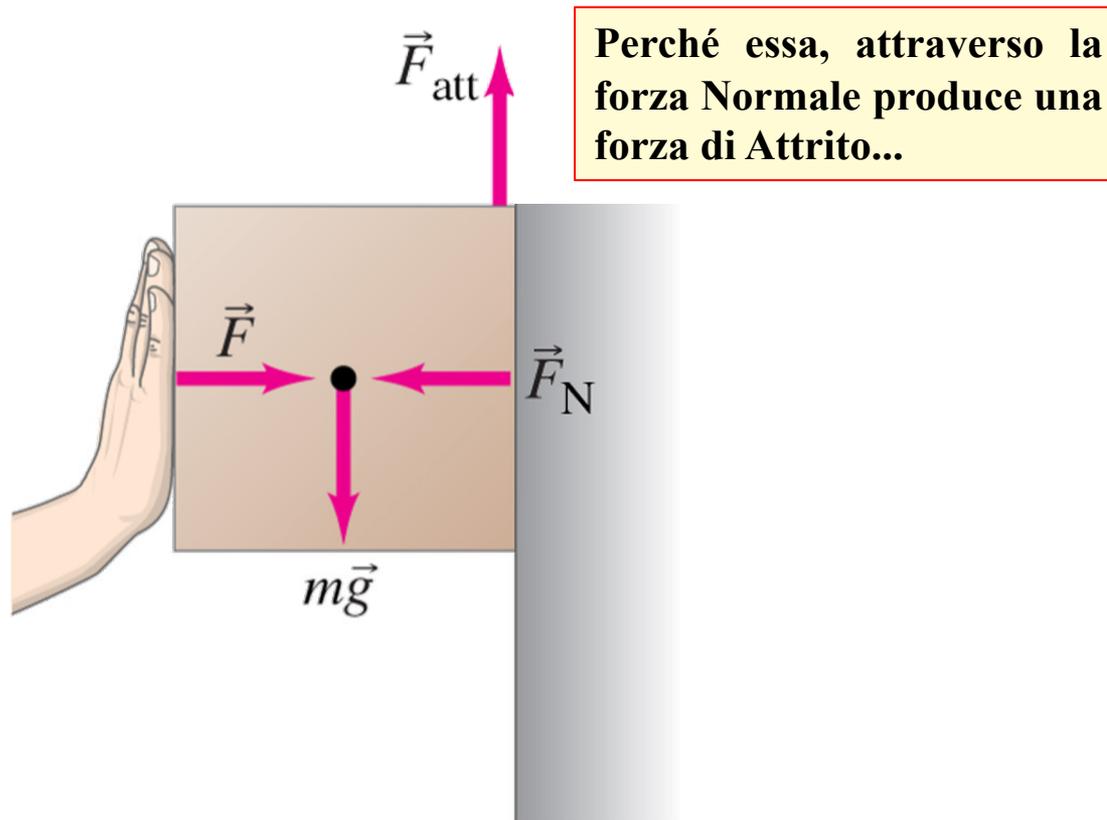
$$\sum_i F_{yi} = F_N - mg + 40.0\text{N} = 0$$
$$\rightarrow F_N = mg - 40.0\text{N} = 98.0\text{N} - 40.0\text{N} = 58.0\text{N}$$

Osserviamo dunque che il tavolo non esercita sulla scatola una forza normale pari al suo peso, e questo appunto a causa della trazione verso l'alto.



Quesito

Sappiamo che è possibile impedire ad una **scatola** di cadere verso il basso spingendola, ad esempio, contro un **muro**. Ci si potrebbe chiedere: come fa l'applicazione di una forza **orizzontale** a impedire ad un oggetto di muoversi **verticalmente**?



Fisica

Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana