

Leggi della Dinamica (Newton)

Altri protagonisti....



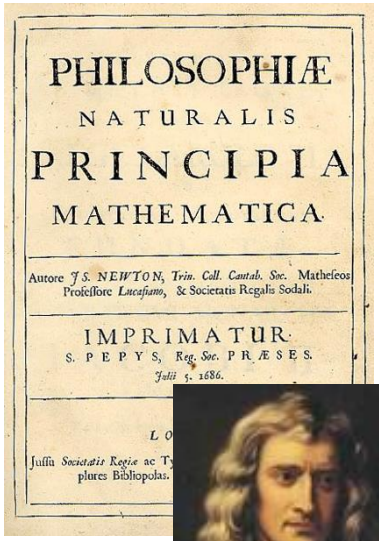
Il Diavoletto:
Aristotele



L'Angioletto:
Galileo

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.***


PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA

Autore *J. S. NEWTON, Trin. Coll. Cantab. Soc.* Matheseos Professore *Lucasiano*, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR
S. PEPYS, *Reg. Soc.* PRÆSES.
Julii 5. 1686.

Isaac Newton
(1642-1727)

Riferimenti inerziali

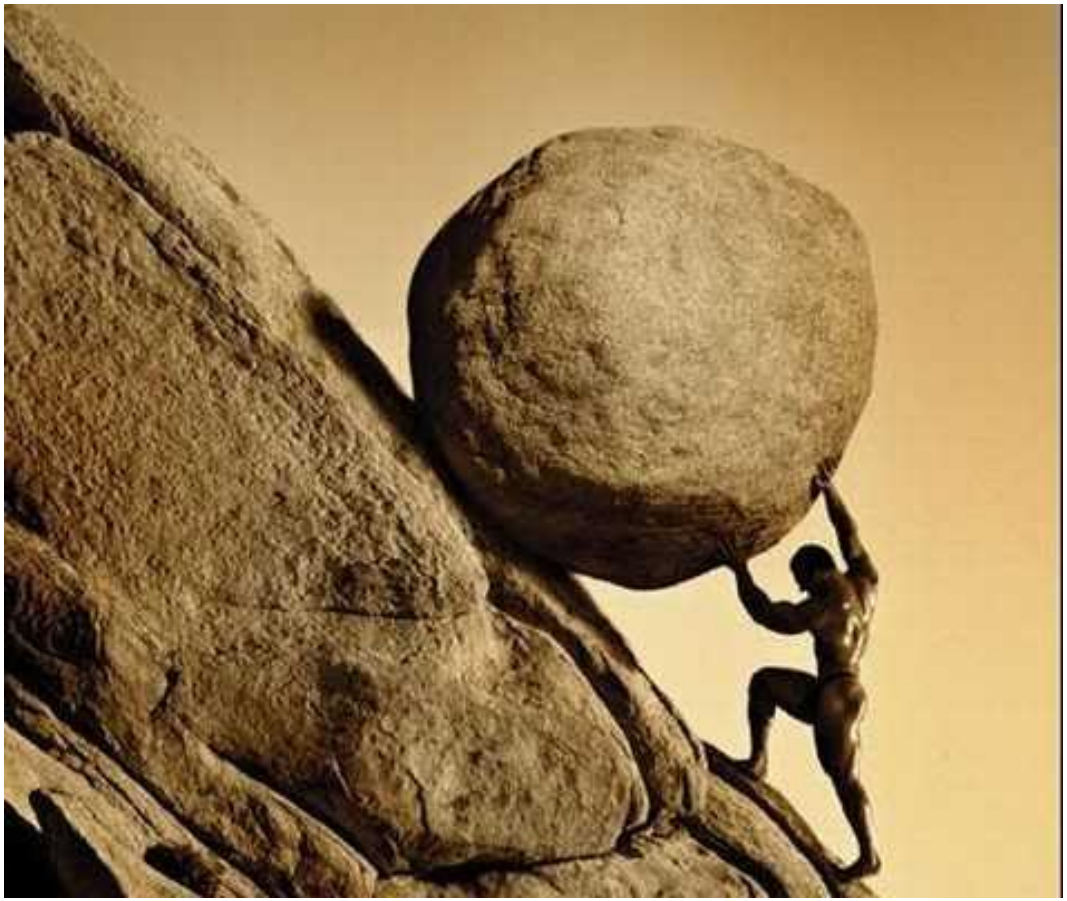


Riferimenti non inerziali



Massa Inerziale

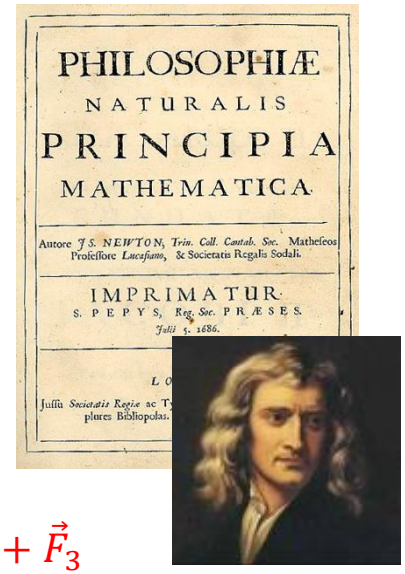
Abbiamo visto che **l'unità di misura della massa nel SI è il Kg** e che, nel contesto delle leggi della dinamica, è utile **definire la «massa inerziale» di un corpo come una misura della sua inerzia**, cioè una misura della **resistenza** che il corpo oppone al tentativo di modificarne il moto: ***maggiore è la massa di un corpo, maggiore sarà la sua inerzia, e minore sarà la variazione di velocità (accelerazione) prodotta da una forza applicata a quel corpo***.



La Seconda Legge della Dinamica

La forza netta (espressa in Newton N) agente su un corpo è uguale al prodotto della sua massa (inerziale) m per l'accelerazione $\vec{a}$ assunta dal corpo:

$$\vec{F}_{net} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i = m\vec{a} \qquad (1)$$



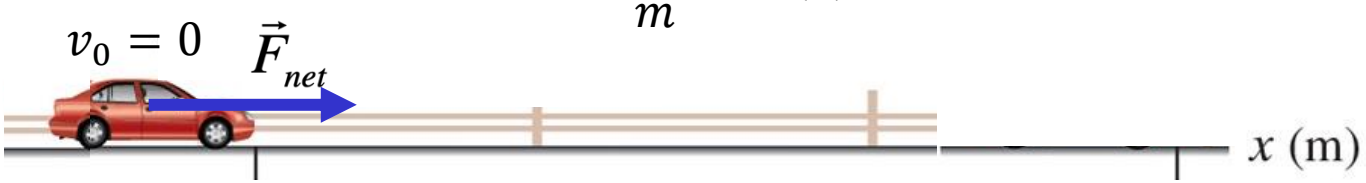
$\vec{F}_{net} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i$ è il **vettore risultante** dalla somma (sommatoria) di **tutte** le forze agenti sul corpo (forza netta)

Ad es., se $n = 3$: $\vec{F}_{net} = \sum_{i=1}^{3} \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$

Osservazioni:

1) Possiamo enunciare la seconda legge anche invertendo l'equazione (1) e dicendo che: **L'accelerazione (cioè la variazione di velocità nel tempo) 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 (inerziale) del corpo:**

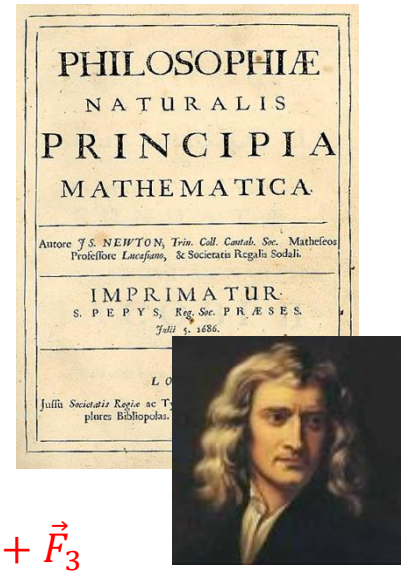
$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{net}}{m} \qquad (2)$$



La Seconda Legge della Dinamica

La forza netta (espressa in Newton N) agente su un corpo è uguale al prodotto della sua massa (inerziale) m per l'accelerazione $\vec{a}$ assunta dal corpo:

$$\vec{F}_{net} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i = m\vec{a} \quad (1)$$



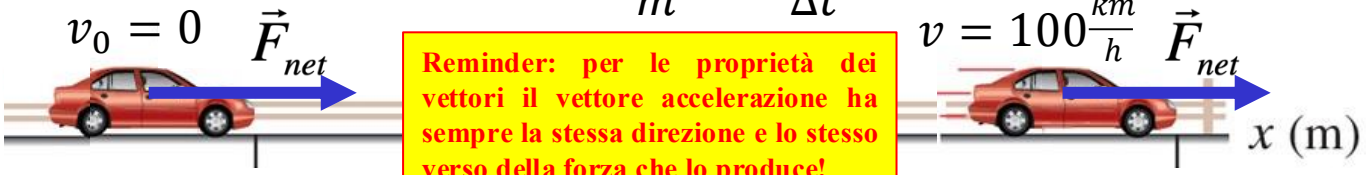
$\vec{F}_{net} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i$ è il **vettore risultante** dalla somma (sommatoria) di **tutte** le forze agenti sul corpo (forza netta)

Ad es., se $n = 3$: $\vec{F}_{net} = \sum_{i=1}^{3} \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$

Osservazioni:

1) Possiamo enunciare la seconda legge anche invertendo l'equazione (1) e dicendo che:
L'accelerazione (cioè la variazione di velocità nel tempo) 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 (inerziale) del corpo:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{net}}{m} \rightarrow \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

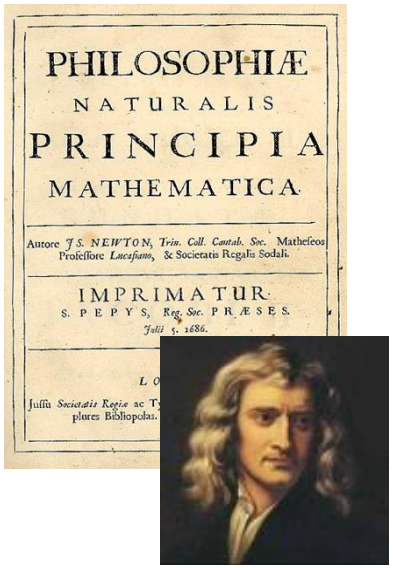


Reminder: per le proprietà dei vettori il vettore accelerazione ha sempre la stessa direzione e lo stesso verso della forza che lo produce!

La Seconda Legge della Dinamica

La forza netta (espressa in Newton N) agente su un corpo è uguale al prodotto della sua massa (inerziale) m per l'accelerazione $\vec{a}$ assunta dal corpo:

$$\vec{F}_{net} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i = m\vec{a} \quad (1)$$

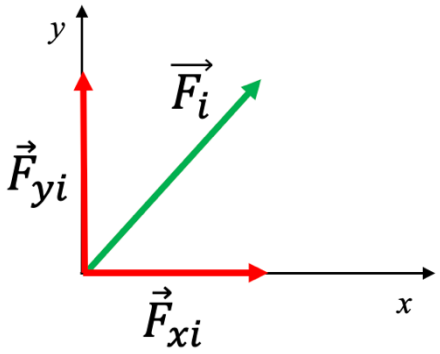


$\vec{F}_{net} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i$ è il **vettore risultante** dalla somma (sommatoria) di **tutte** le forze agenti sul corpo (forza netta)

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:

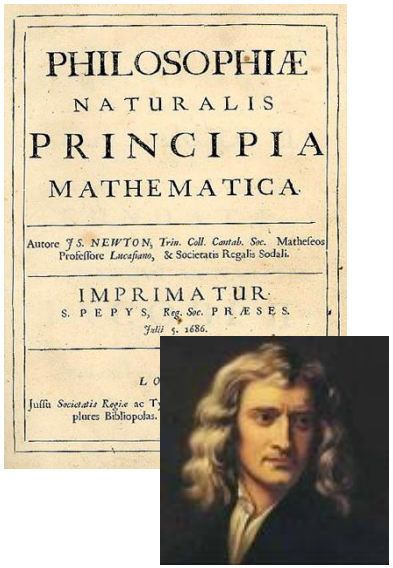
$$\sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i = m\vec{a} \rightarrow \begin{cases} \sum_i F_{xi} = ma_x \\ \sum_i F_{yi} = ma_y \end{cases}$$



La Seconda Legge della Dinamica

La forza netta (espressa in Newton N) agente su un corpo è uguale al prodotto della sua massa (inerziale) m per l'accelerazione $\vec{a}$ assunta dal corpo:

$$\vec{F}_{net} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i = m\vec{a} \quad (1)$$



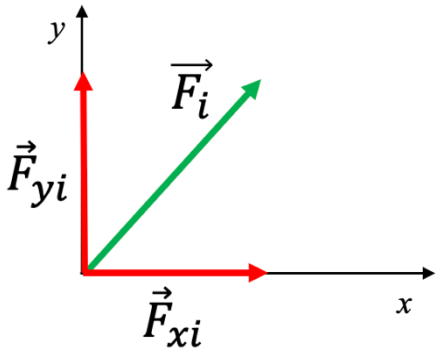
$\vec{F}_{net} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i$ è il **vettore risultante** dalla somma (sommatoria) di **tutte** le forze agenti sul corpo (forza netta)

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:

Somma delle componenti delle forze applicate lungo l'asse *x* $\sum_i F_{xi} = ma_x$ **produce la componente dell' accelerazione lungo l'asse *x***

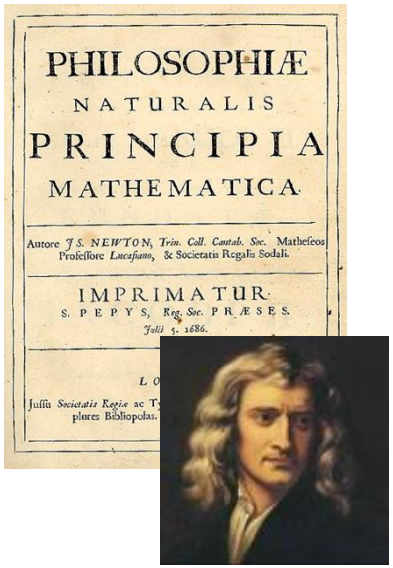
Somma delle componenti delle forze applicate lungo l'asse *y* $\sum_i F_{yi} = ma_y$ **produce la componente dell' accelerazione lungo l'asse *y***



La Seconda Legge della Dinamica

La forza netta (espressa in Newton N) agente su un corpo è uguale al prodotto della sua massa (inerziale) m per l'accelerazione $\vec{a}$ assunta dal corpo:

$$\vec{F}_{net} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i = m\vec{a} \quad (1)$$



$\vec{F}_{net} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i$ 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:

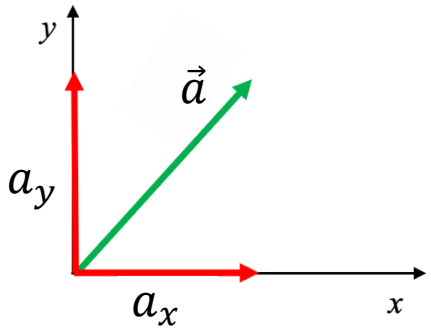
Somma delle componenti delle forze applicate lungo l'asse *x*

$$\sum_i F_{xi} = ma_x \longrightarrow a_x = \frac{\sum_i F_{xi}}{m}$$

Somma delle componenti delle forze applicate lungo l'asse *y*

$$\sum_i F_{yi} = ma_y \longrightarrow a_y = \frac{\sum_i F_{yi}}{m}$$

(2)





Esempio in una dimensione

Quale è la forza netta (evidentemente fornita dai freni) necessaria per fermare, su una distanza di 55m, un'automobile di massa 1500kg che viaggia ad una velocità di 100km/h lungo l'asse *x*?

Suggerimento

Utilizzare l'equazione (1), notando che in questo caso essa si riduce ad una sola *equazione scalare*, essendo il moto unidimensionale lungo l'asse *x*.

$$\vec{F}_{net} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i = m\vec{a} \quad \rightarrow \quad F_x = ma_x$$

…ma ci manca l'accelerazione (negativa) a_x



Esempio in una dimensione

Quale è la forza netta (evidentemente fornita dai freni) necessaria per fermare, su una distanza di 55m, un'automobile di massa 1500kg che viaggia ad una velocità di 100km/h lungo l'asse x?

Suggerimento

Utilizzare l'equazione (1), notando che in questo caso essa si riduce ad una sola *equazione scalare*, essendo il moto unidimensionale lungo l'asse x.

$$\vec{F}_{net} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i = m\vec{a} \quad \rightarrow \quad F_x = ma_x$$

…ma ci manca l'accelerazione (negativa) a_x

Equazioni del moto uniformemente accelerato (a=cost)		Grandezza mancante
(I)	$v = v_0 + at$	$x - x_0$
(II)	$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$	v
(III)	$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$	t



Esempio in una dimensione
Quale è la forza netta (evidentemente fornita dai freni) necessaria per fermare, su una distanza di 55m, un'automobile di massa 1500kg che viaggia ad una velocità di 100km/h lungo l'asse *x*?

Suggerimento
Utilizzare l'equazione (1), notando che in questo caso essa si riduce ad una sola *equazione scalare*, essendo il moto unidimensionale lungo l'asse *x*.

$$\vec{F}_{net} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i = m\vec{a} \quad \rightarrow \quad F_x = ma_x$$

…ma ci manca l'accelerazione (negativa) a_x

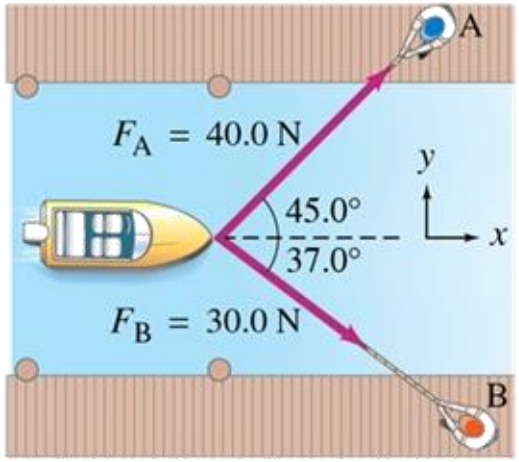
$$v^2 = v_0^{\,2} + 2a_x(x - x_0) \quad \Rightarrow \quad a_x = \frac{v^2 - v_0^{\,2}}{2(x - x_0)} = \frac{0 - (28m/s)^2}{2(55m)} = -7.1m/s^2$$

$$\Rightarrow \quad F_x = ma_x = (1500kg)(-7.1m/s^2) = -1.1 \times 10^4 N$$

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) quì accanto.

Suggerimento
Conviene considerare per semplicità il problema come se fosse bidimensionale (in effetti lo è in buona approssimazione) e fissare il nostro sistema di riferimento $\{xOy\}$ come in figura (a).

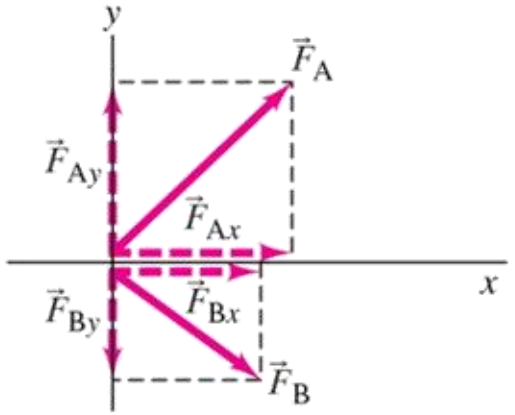


(a)

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:

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

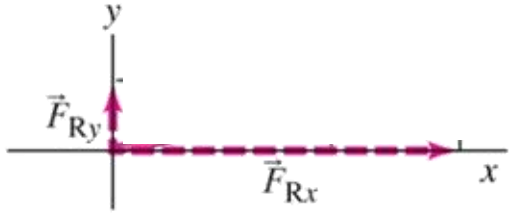
$$\vec{F}_B \begin{cases} F_{Bx} = F_B \cos 37.0° = (30.0N)(0.799) = 24.0N \\ F_{By} = F_B \sin 37.0° = -(30.0N)(0.602) = -18.1N \end{cases}$$



(b)

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

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

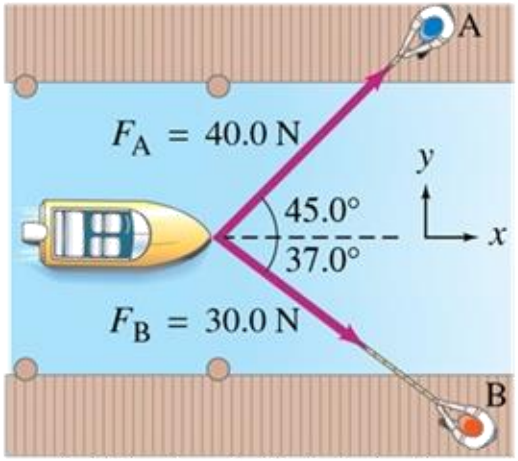


(c)

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) quì accanto.

Suggerimento
Conviene considerare per semplicità il problema come se fosse bidimensionale (in effetti lo è in buona approssimazione) e fissare il nostro sistema di riferimento $\{xOy\}$ come in figura (a).

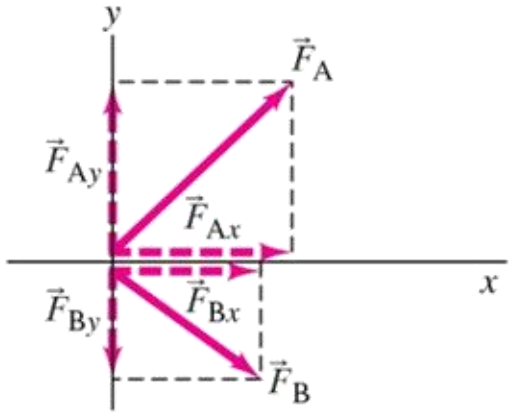


(a)

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

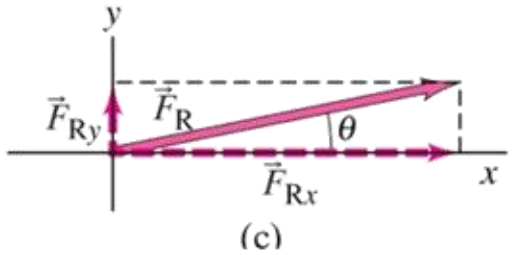
$$F_R = \sqrt{F_{Rx}{}^2 + F_{Ry}{}^2} = \sqrt{(52.3)^2 + (10.2)^2}\,N = 53.3N$$

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



(b)

Il vettore risultante (in rappresentazione polare) si può disegnare col metodo del parallelogramma (che quando si applica alle componenti è sempre un rettangolo)

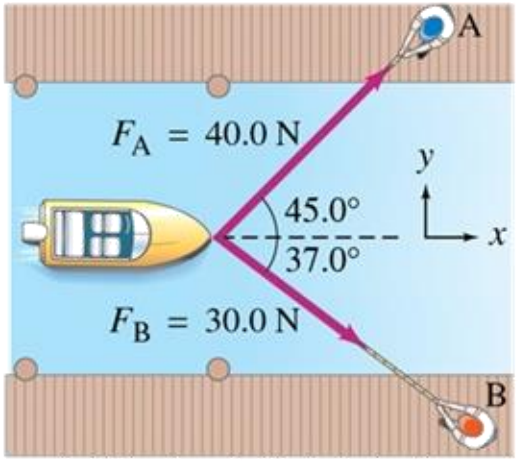


(c)

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) quì accanto.

Suggerimento
Conviene considerare per semplicità il problema come se fosse bidimensionale (in effetti lo è in buona approssimazione) e fissare il nostro sistema di riferimento $\{xOy\}$ come in figura (a).

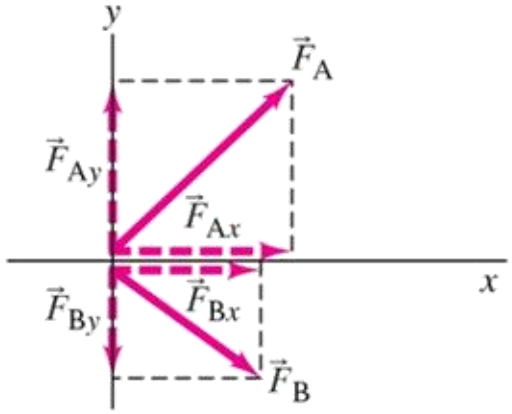


(a)

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

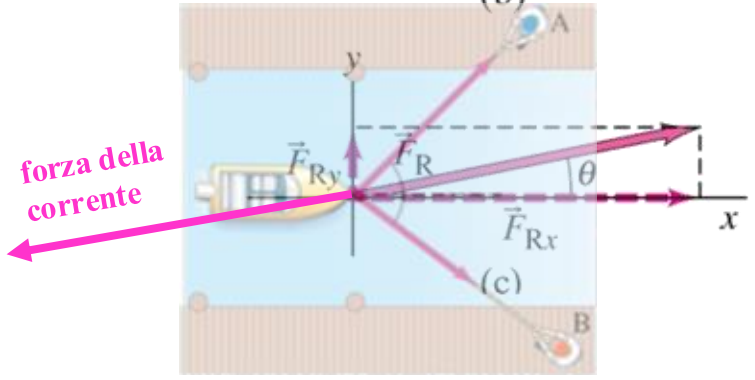
$$F_R = \sqrt{F_{Rx}{}^2 + F_{Ry}{}^2} = \sqrt{(52.3)^2 + (10.2)^2}\,N = 53.3N$$

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



(b)

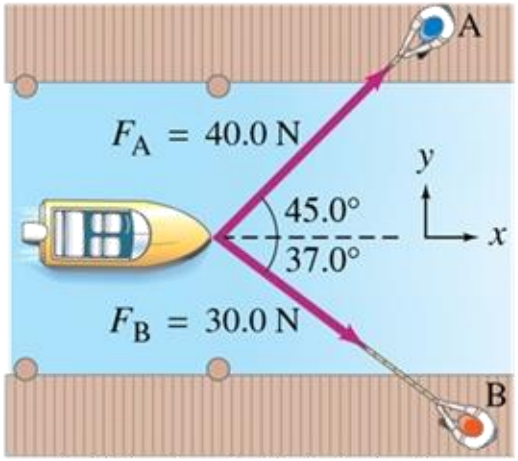
I due lavoratori A e B applicano questa forza risultante alla barca in modo da contrastare la **forza della corrente** esercitata dall'acqua su cui la barca galleggia: se queste due forze fossero esattamente uguali ed opposte, la loro risultante sarebbe nulla e osserveremmo la barca muoversi di **moto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



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) quì accanto.

Suggerimento
Conviene considerare per semplicità il problema come se fosse bidimensionale (in effetti lo è in buona approssimazione) e fissare il nostro sistema di riferimento $\{xOy\}$ come in figura (a).

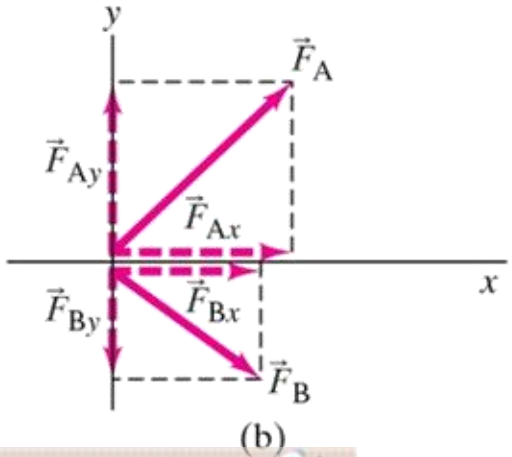


(a)

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

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

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



(b)

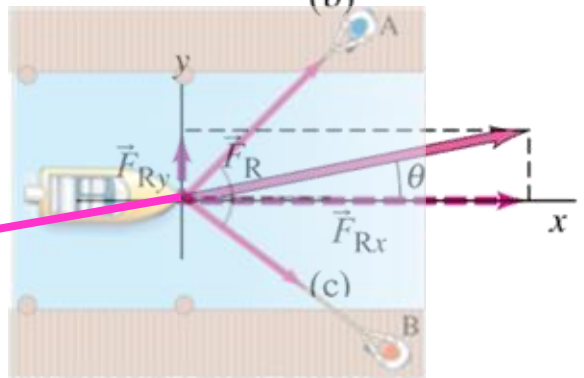


«Ma se la risultante delle due forze (quella complessiva applicata dai lavoratori e quella della corrente) è nulla... chi diavolo muove la barca???»



«L'inerzia legata alla massa della barca!»

forza della corrente



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 e che **la natura delle forze è un po' più complicata...** Abbiamo visto infatti che l'accelerazione (cioè la variazione di velocità di un corpo) deve avere sempre la **stessa direzione e stesso verso della forza applicata**...

Allora come mai, quando camminiamo, per accelerare in avanti esercitiamo una forza nel verso opposto a quello del moto?



Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana

E come mai, un altro esempio, se una pattinatrice esercita una forza contro un muro, accelera nel verso opposto?



Fisica
Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana

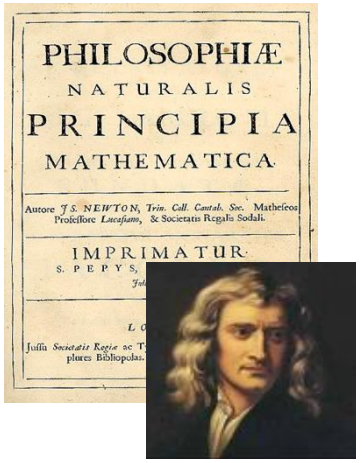
La Terza Legge della Dinamica

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 e che **la natura delle forze è un po' più complicata...** Abbiamo visto infatti che l'accelerazione (cioè la variazione di velocità di un corpo) deve avere sempre la **stessa direzione e stesso verso della forza applicata**...



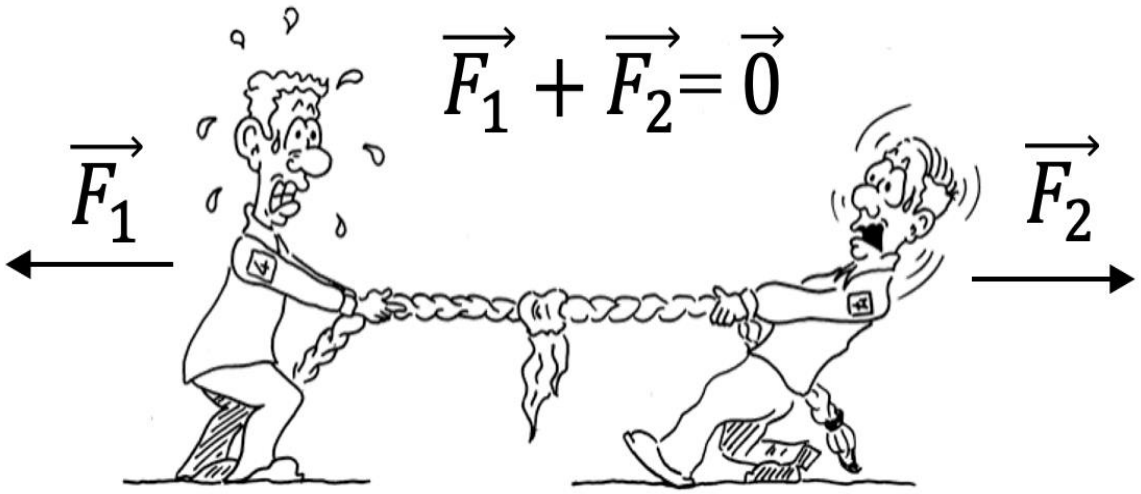
Di fatto l'osservazione mostra che ogni volta che un corpo esercita una forza (**azione**) su un secondo corpo, il secondo esercita sul primo **una forza (reazione) uguale in modulo e direzione ma di verso opposto**. Ad esempio, se premete la vostra mano contro lo spigolo del banco che avete di fronte, 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.** Più precisamente, dovremmo dire che «**ogni volta che un corpo A esercita una forza su un corpo B, il corpo B eserciterà sul corpo A una forza uguale ed opposta**»



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?**

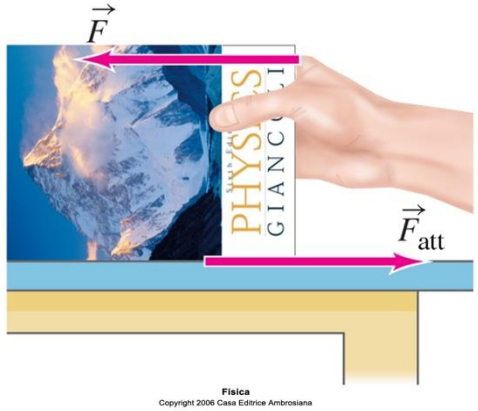


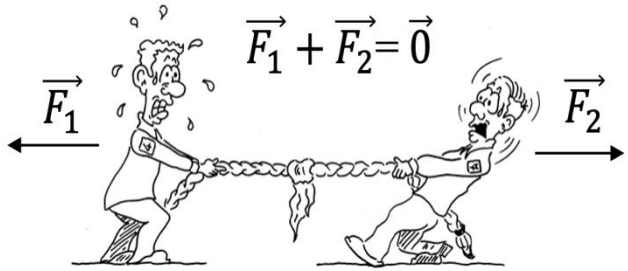
Il Principio di Azione e Reazione

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?**



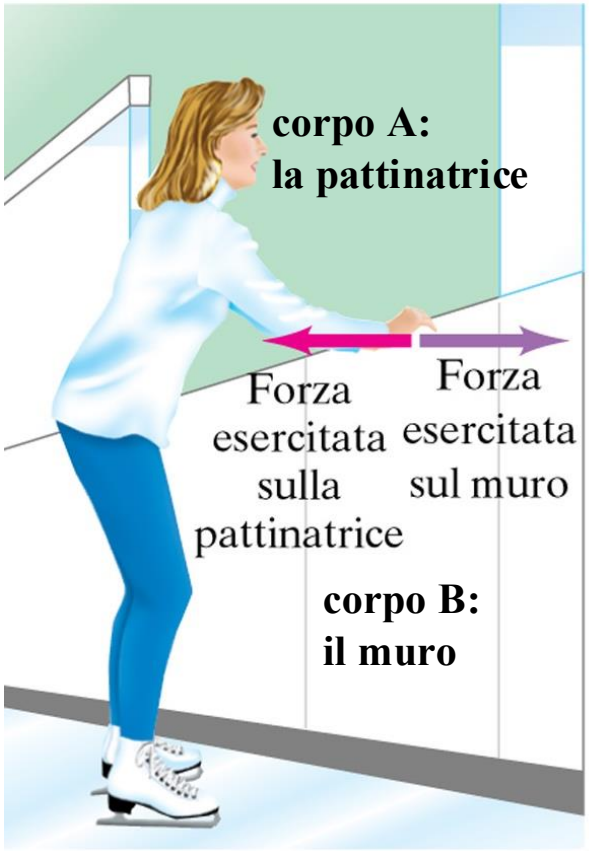
Pensate a cosa accade quando una **pattinatrice sul ghiaccio** esercita una forza di spinta (azione) su un muro per ricevere a sua volta una spinta all'indietro (reazione) da parte del muro: **come mai queste due forze uguali ed opposte non si annullano** per dare una risultante vettoriale uguale a zero come accadeva invece nell'**esempio del libro** spinto sul tavolo, dove la spinta della mano 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?





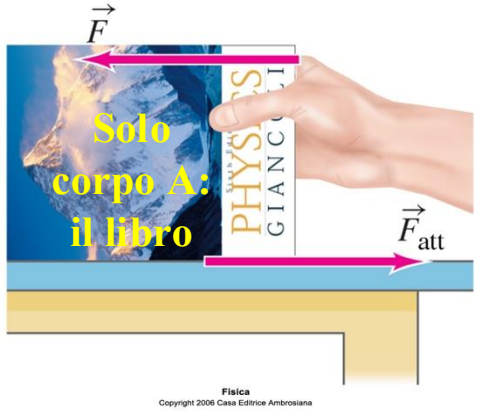
Il Principio di Azione e Reazione

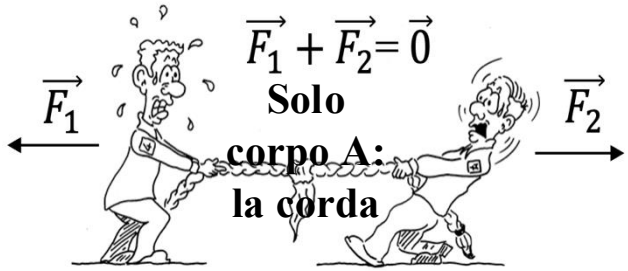
Ma allora sorge spontanea una domanda: **come mai, se ad ogni forza applicata ne corrisponde un'altra uguale e contraria, queste due forze non si annullano tra di loro?**



Semplicemente perchè mentre nel caso del libro o della corda **le forze uguali ed opposte sono applicate sullo stesso corpo** (il libro o la corda) e dunque è lecito sommarle, le forze in gioco nell'esempio della pattinatrice **sono applicate a corpi 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! Per questo è fondamentale precisare sempre qual è il punto di applicazione delle forze

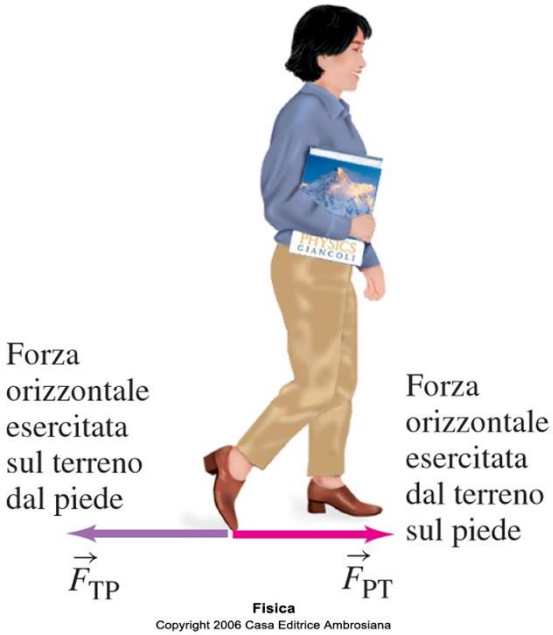




Il Principio di Azione e Reazione

Dunque **una forza influenza il moto di un corpo** solo quando è applicata **a** quel corpo. Per questo, quando si usa la definizione del terzo principio, è importante capire e specificare bene qual è il *corpo A* e qual è il *corpo B*. A questo proposito spesso conviene usare **due pedici** per chiarire chi o cosa esercita la forza considerata (corpo A) e chi o cosa la subisce (corpo B).

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



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



Il razzo (corpo A) espelle un flusso di gas caldi (corpo B) verso il basso e i gas espulsi lo spingono verso l'alto!

Ma identificare i due corpi non è sempre facile... Ad esempio, cos'è che provoca il movimento di un'automobile? Chi o che cosa esercita la forza che spinge l'automobile in avanti?

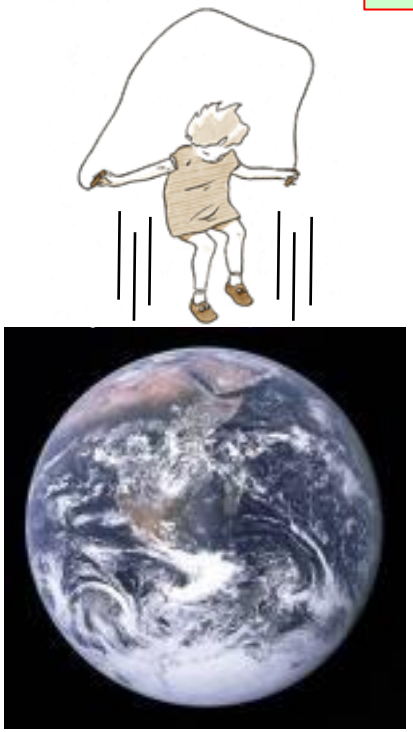


Il terreno con la sua forza di attrito!

Il Principio di Azione e Reazione

Altra domanda: 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

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

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

$$m_T >> m_B \quad \square \quad a_T << a_B$$

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?**

Sganciate lo zaino e lo lanciate lungo una certa direzione …



Per il terzo principio vi sposterete nella stessa direzione ma nel verso opposto!

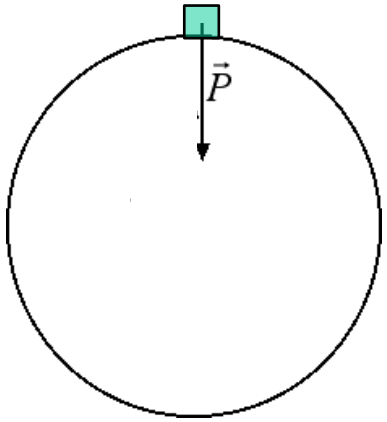
YouTube IT https://www.youtube.com/watch?v=M_S39U2IKU4



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 spiegheremo meglio più avanti, 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:

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

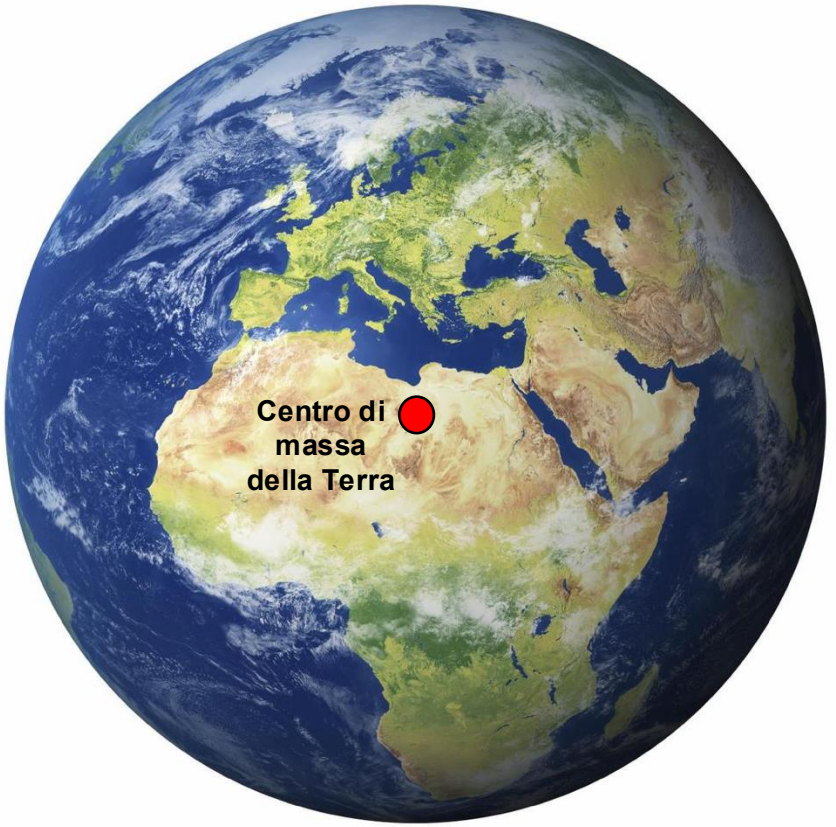
che è appunto l'espressione della **forza di gravità**, rappresentata da un **vettore applicato all'oggetto e diretto verso il centro della Terra**. Il modulo di questa forza è quello che comunemente chiamiamo **peso** dell'oggetto, tant'è che la forza di gravità viene chiamata anche **forza peso** e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

Nelle unità del Sistema Internazionale si ha g = 9.80 m/s^2 , quindi il **peso** di un oggetto di massa 1.00kg sulla superficie della **Terra** equivale a 1.00 kg x 9.80 m/s^2 = 9.80 N, quindi circa 10 N; viceversa, **un oggetto che pesa 1.00 N avrà una massa di circa 0.1 kg = 100g**. 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 Baricentro e il Centro di Massa

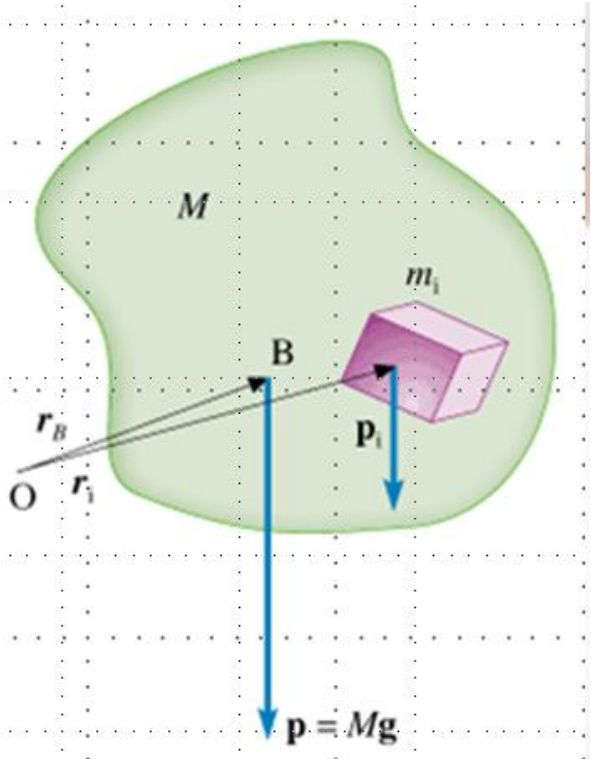
Abbiamo appena visto che il peso di un corpo è una forza, quindi un vettore, a differenza della sua massa che è uno scalare. Ma a quale punto dell'oggetto bisogna applicare, esattamente, il vettore che rappresenta la forza peso? Nel suo **baricentro,** che per i corpi che si trovano sulla superficie terrestre coincide con il cosiddetto **centro di massa**, ossia con il punto in cui possiamo immaginare concentrata tutta la massa del sistema.

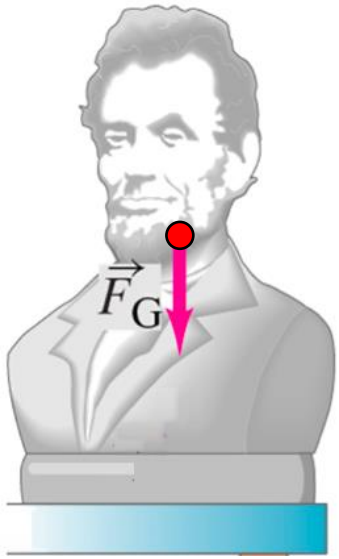
Ad esempio, il **centro di massa della Terra** corrisponde al centro della sfera che (in buona approssimazione) la rappresenta , ed è in quel punto che possiamo immaginare concentrata tutta la massa del nostro pianeta!



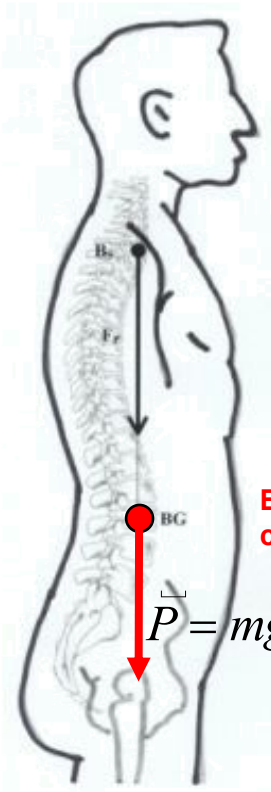
Il Baricentro e il Centro di Massa

Per un **corpo rigido** (ossia un sistema di punti materiali le cui distanze reciproche restano costanti) situato in prossimità della superficie terrestre, poichè il centro di massa coincide – come si è appena detto – con il **baricentro**, possiamo immaginare tutta la massa del corpo concentrata in questo punto. Si comprende quindi perché il baricentro sia stato definito come il **punto di applicazione della forza peso**. Tipicamente, esso coincide con il centro geometrico del corpo, il che vale anche per il corpo umano, il cui baricentro si trova più o meno all'altezza dell'ombelico.





Baricentro di un corpo rigido



Baricentro del corpo umano

Postura ideale