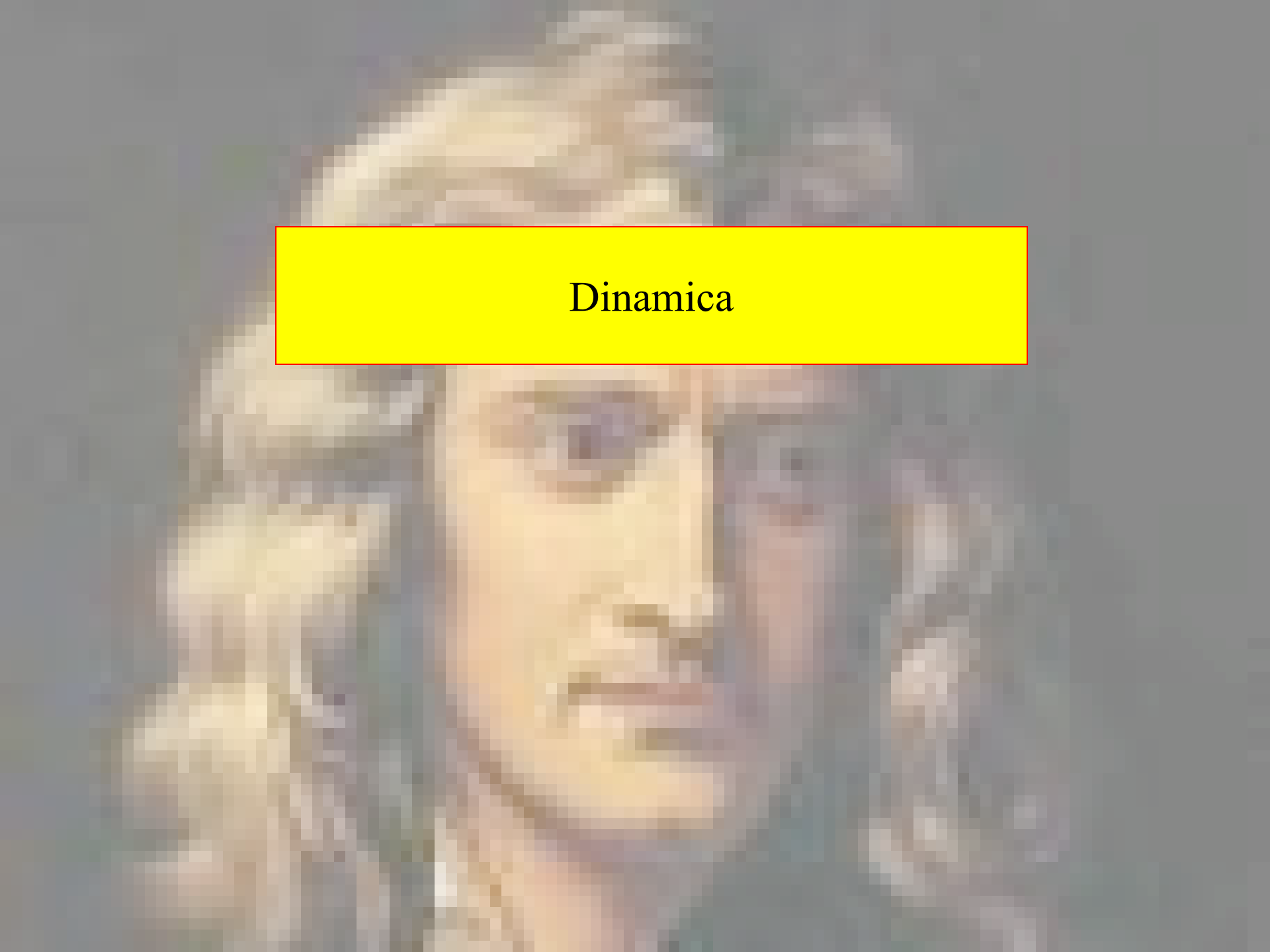




Dinamica

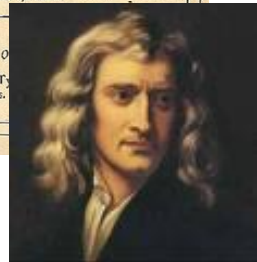
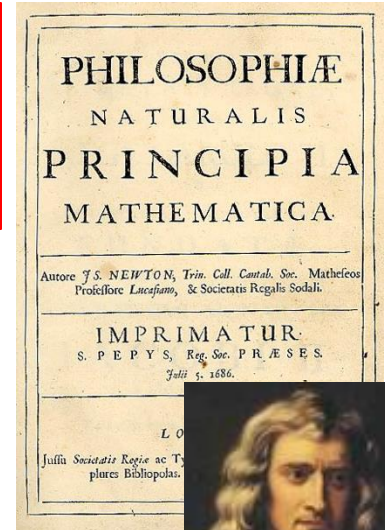
La Prima Legge della Dinamica

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



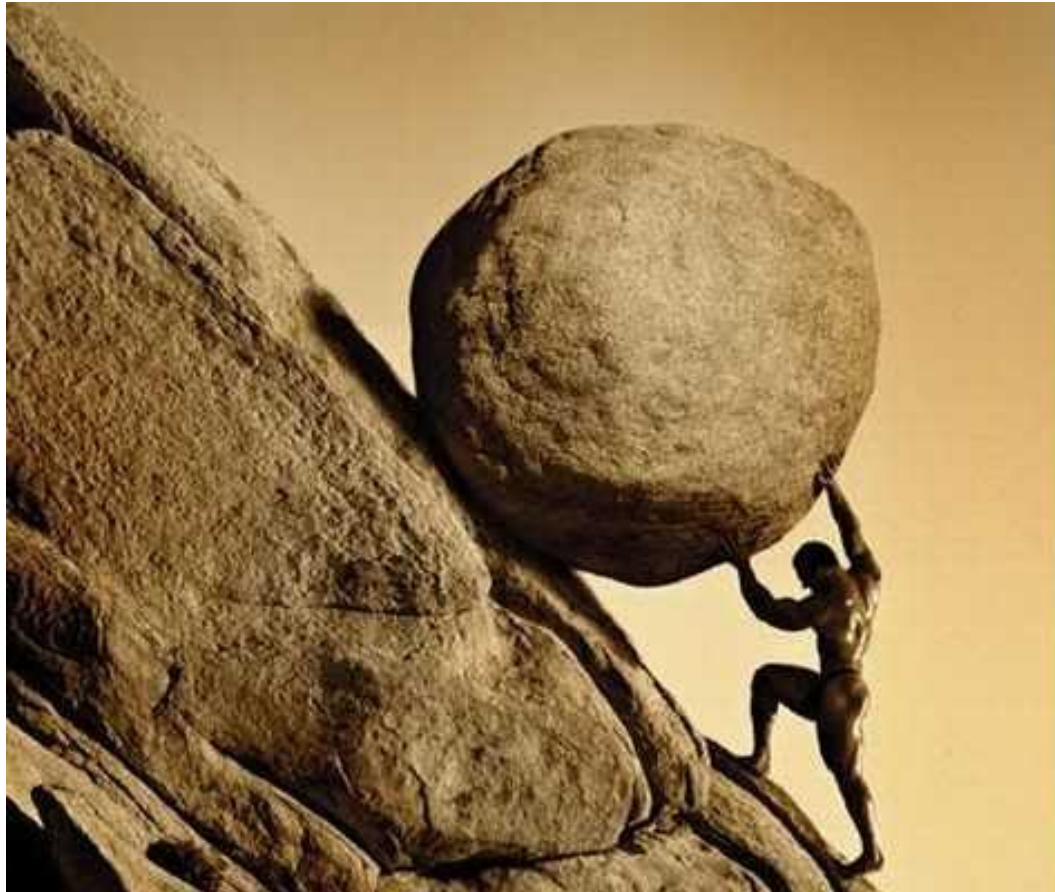
Riferimenti non inerziali



Isaac Newton
(1642-1727)

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 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)

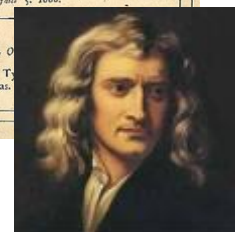
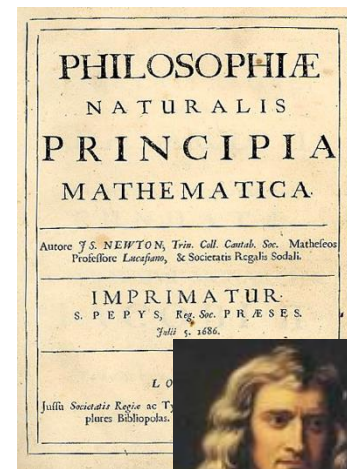
Ad es. $\vec{F}_{net} = \sum_{i=1}^3 \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$

Osservazioni:

1) Possiamo enunciare la seconda legge anche dicendo che:

L'accelerazione (cioè la variazione di velocità) 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)

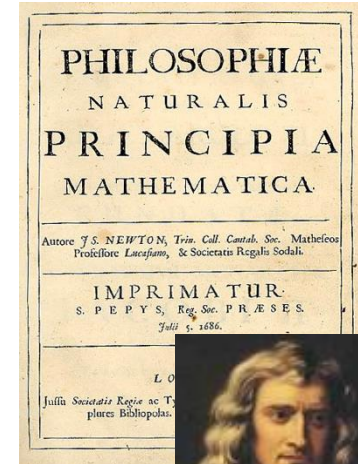
Ad es. $\vec{F}_{net} = \sum_{i=1}^3 \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$

Osservazioni:

1) Possiamo enunciare la seconda legge anche dicendo che:

L'accelerazione (cioè la variazione di velocità) 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.

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

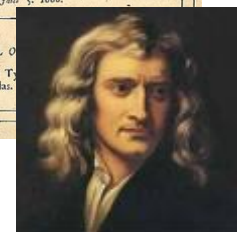
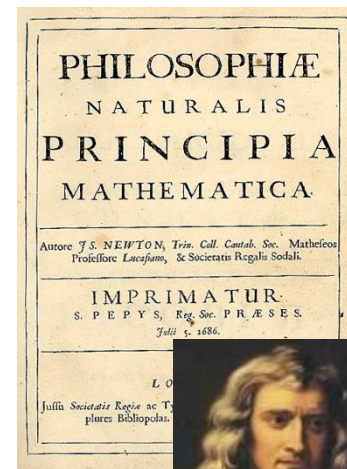


La Seconda Legge della Dinamica

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

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

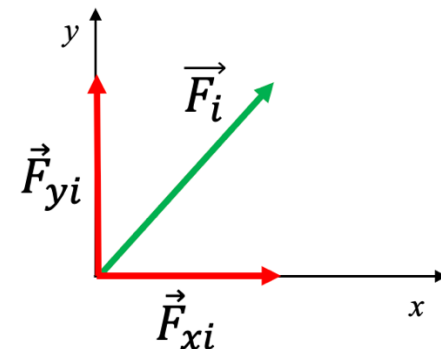
$\vec{F}_{net} = \sum_i \vec{F}_i$ è il **vettore risultante** dalla somma (sommatoria) di **tutte** le forze agenti sul corpo (forza netta)



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:

$$\begin{aligned} \text{Somme delle componenti } x \text{ delle forze applicate} \quad \sum_i F_{xi} = ma_x &\longrightarrow a_x = \frac{\sum_i F_{xi}}{m} \\ \text{Somme delle componenti } y \text{ delle forze applicate} \quad \sum_i F_{yi} = ma_y &\longrightarrow a_y = \frac{\sum_i F_{yi}}{m} \end{aligned}$$





Esercizio

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?

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 .

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

...ma ci manca l'accelerazione a_x



Esercizio

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?

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 .

Per usare la **seconda legge della dinamica** dobbiamo prima calcolare la decelerazione dell'automobile, di cui conosciamo solo la massa m . Supponendo che tale accelerazione sia costante possiamo utilizzare una delle *equazioni cinematiche del moto unidimensionale uniformemente accelerato*...

**Equazioni del moto
uniformemente accelerato
($a = \text{cost}$)**

Grandezza mancante

(I) $v = v_0 + at$ $\longrightarrow$ $x - x_0$

(II) $x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2$ $\longrightarrow$ v

(III) $v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$ $\longrightarrow$ t



Esercizio

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?

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 .

Per usare la **seconda legge della dinamica** dobbiamo prima calcolare la decelerazione dell'automobile, di cui conosciamo solo la massa m . Supponendo che tale accelerazione sia costante possiamo utilizzare una delle *equazioni cinematiche del moto unidimensionale uniformemente accelerato* (più precisamente la terza), sapendo che la velocità iniziale è $v_0=100\text{km/h}=28\text{m/s}$, che quella finale è $v=0$ e che la distanza percorsa è $x-x_0=55\text{m}$:

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

da cui la forza netta risultante sarà:

$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} \quad \square \quad F_x = ma_x = (1500\text{kg})(-7.1\text{m/s}^2) = -1.1 \times 10^4 \text{ N}$$

dove il segno meno indica che la forza deve essere esercitata (come è evidente) in *direzione opposta* a quella della velocità iniziale.

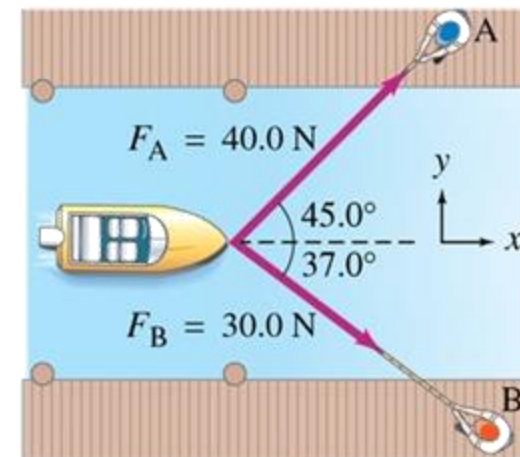
Somma vettoriale delle forze

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)

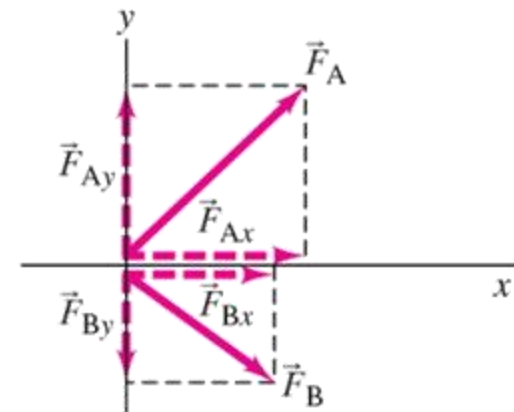
La prima cosa da fare in questi casi è quella di disegnare il cosiddetto **diagramma delle forze** (b), ossia un diagramma in cui si evidenziano tutte e sole le forze agenti sull'oggetto considerato, trattato come se fosse puntiforme. **Sommiamo** dunque le forze in gioco utilizzando il metodo di scomposizione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

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

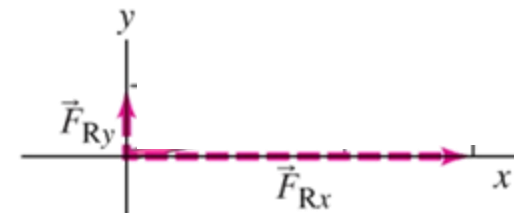
$$\begin{cases} F_{Bx} = F_B \cos 37.0^\circ = (30.0\text{ N})(0.799) = 24.0\text{ N} \\ F_{By} = F_B \sin 37.0^\circ = -(30.0\text{ N})(0.602) = -18.1\text{ N} \end{cases}$$

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

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



(b)



(c)

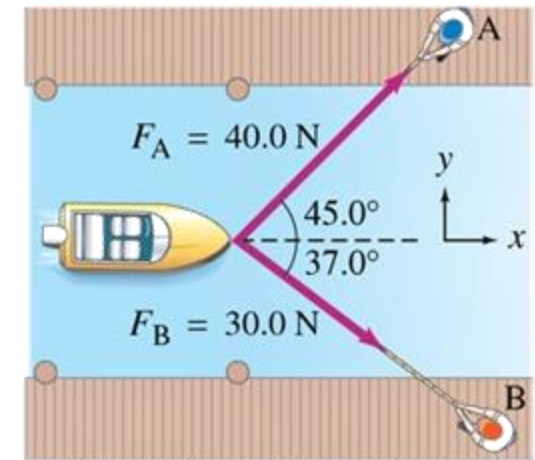
Somma vettoriale delle forze

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

Convienne 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).



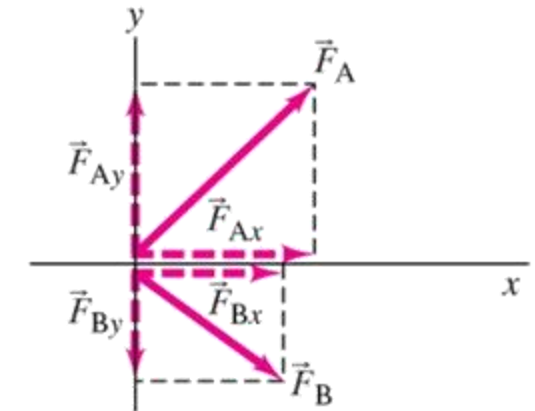
(a)

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

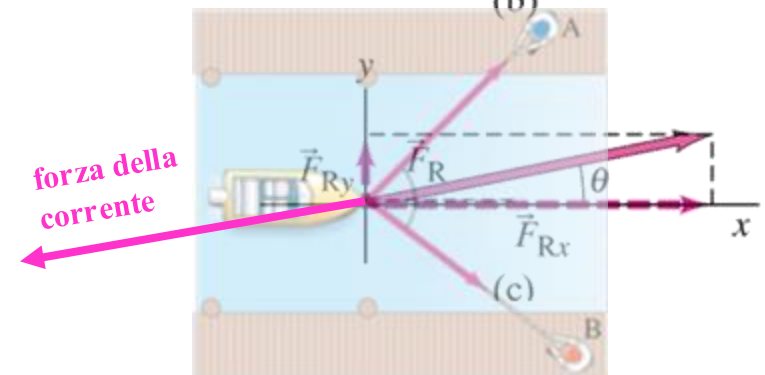
$$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} = \sqrt{(52.3)^2 + (10.2)^2} N = 53.3 N$$

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

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...** Ad esempio, abbiamo visto finora che l'accelerazione (cioè la variazione di velocità di un corpo), ha sempre la stessa direzione e verso della forza applicata...

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



Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana

E 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

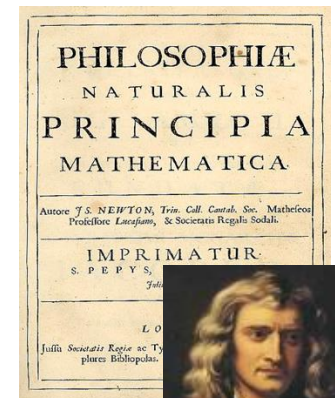
La seconda legge della dinamica, o seconda legge del moto di Newton, descrive quantitativamente come le forze applicate ai corpi influenzano il loro moto. Ma lo stesso Newton si accorse che la questione non poteva finire lì. **La natura delle forze, infatti, è un po' più complicata...** Ad esempio, abbiamo visto finora che l'accelerazione (cioè la variazione di velocità di un corpo), ha sempre la stessa direzione e verso della forza applicata...



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**. 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»

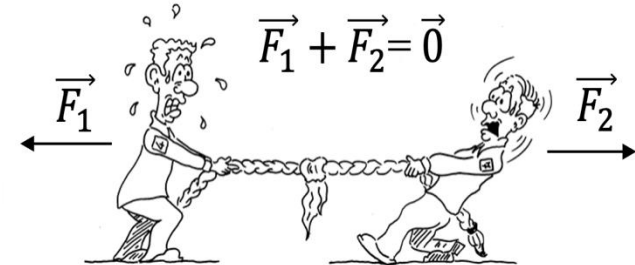
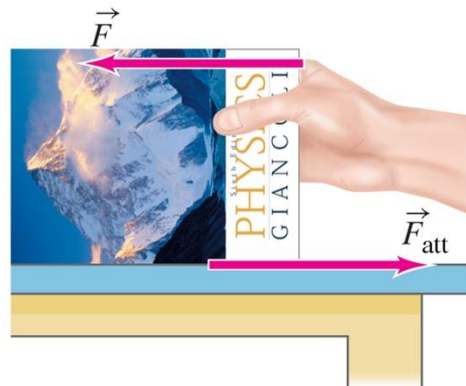


Il Principio di Azione e Reazione

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?**



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?



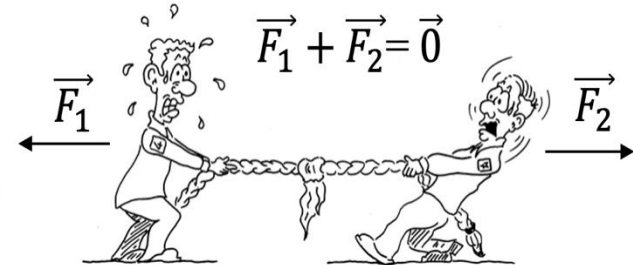
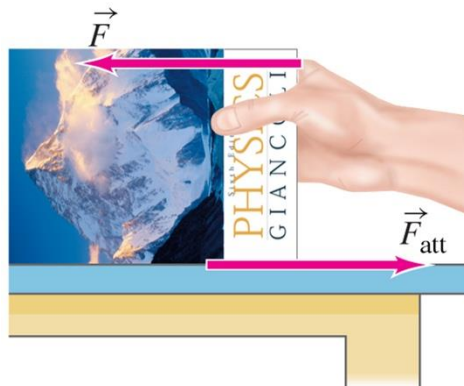
Il Principio di Azione e Reazione

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?**



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!**

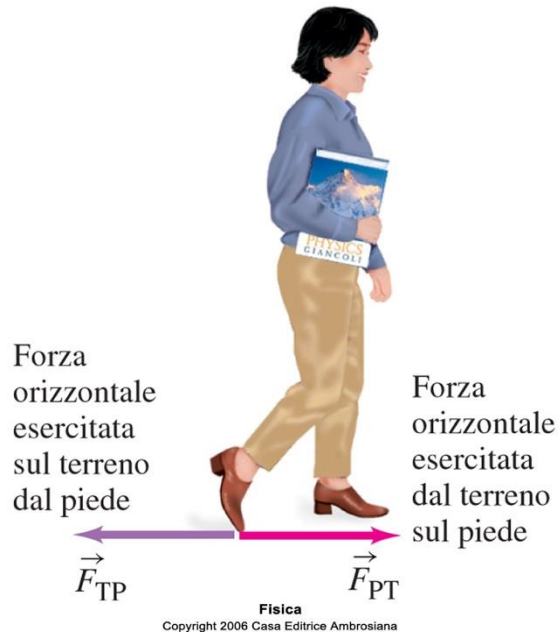
Importante: due o più forze possono essere sommate vettorialmente tra loro solo ed esclusivamente se sono applicate allo stesso corpo!



Il Principio di Azione e Reazione

Dunque **una forza influenza il moto di un oggetto** solo quando è applicata **a** quell'oggetto. 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!)



Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana



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

$$\begin{array}{l} \vec{F}_{BT} \quad \square \quad a_B = \frac{\vec{F}_{BT}}{m_B} \\ \vec{F}_{TB} \quad \square \quad a_T = \frac{\vec{F}_{TB}}{m_T} \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} \vec{F}_{BT} \\ \vec{F}_{TB} \end{array}} \right\} m_T \gg m_B \quad \square \quad a_T \ll a_B$$

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?**



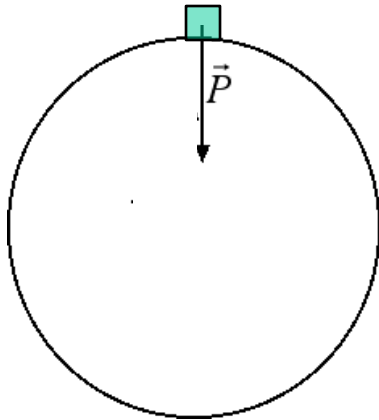
Sganciate
lo zaino e
lo lanciate
lungo una
certa
direzione
...

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

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 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: $P = mg$

Nelle unità del Sistema Internazionale si ha $g = 9.80 \text{ m/s}^2$, quindi il **peso** di un oggetto di massa 1.00 kg 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 1.00 kg sarà invece pari a soli 1.70 N .

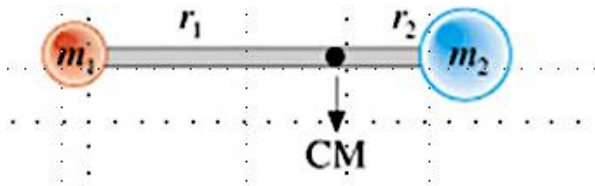
Il Baricentro e il Centro di Massa

Abbiamo appena visto che il peso di un corpo è una forza, 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 è definito proprio come il punto di applicazione della forza peso. Per i corpi che si trovano sulla superficie terrestre il baricentro coincide con il **centro di massa**, che può essere definito più in generale per un qualunque sistema di masse m_i e rappresenta la **media ponderata** delle loro posizioni $\vec{r}_i$ in un certo sistema di riferimento:

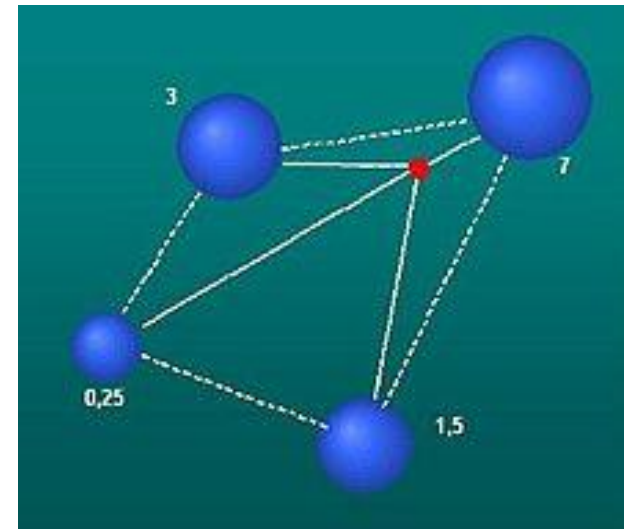
$$\vec{r}_{CM} = \frac{\sum_i m_i \vec{r}_i}{\sum_i m_i}$$

Se le masse sono **due**, ad esempio, il **centro di massa** si calcola facilmente e si vede subito che corrisponde al punto in cui possiamo immaginare concentrata tutta la massa del sistema:

$$\vec{r}_{CM} = \frac{m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2}{m_1 + m_2} = \frac{m_1}{M} \vec{r}_1 + \frac{m_2}{M} \vec{r}_2 \longrightarrow M \cdot \vec{r}_{CM} = \sum_i m_i \cdot \vec{r}_i$$



Nella figura a destra è invece rappresentato il **centro di massa** di un sistema di **quattro** masse, e così via... Da questi esempi si vede che il centro di massa può cadere **all'esterno** di tutte le masse che compongono il sistema considerato.



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

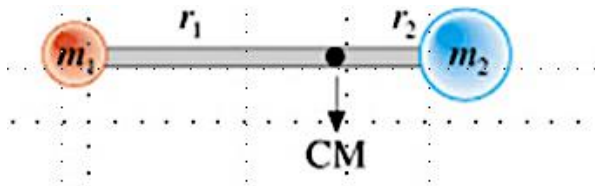
Il Baricentro e il Centro di Massa

Abbiamo appena visto che il peso di un corpo è una forza, 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 è definito proprio come il punto di applicazione della forza peso. Per i corpi che si trovano sulla superficie terrestre il baricentro coincide con il **centro di massa**, che può essere definito più in generale per un qualunque sistema di masse m_i e rappresenta la **media ponderata** delle loro posizioni $\vec{r}_i$ in un certo sistema di riferimento:

$$\vec{r}_{CM} = \frac{\sum_i m_i \vec{r}_i}{\sum_i m_i}$$

Se le masse sono **due**, ad esempio, il **centro di massa** si calcola facilmente e si vede subito che corrisponde al punto in cui possiamo immaginare concentrata tutta la massa del sistema:

$$\vec{r}_{CM} = \frac{m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2}{m_1 + m_2} = \frac{m_1}{M} \vec{r}_1 + \frac{m_2}{M} \vec{r}_2 \longrightarrow M \cdot \vec{r}_{CM} = \sum_i m_i \cdot \vec{r}_i$$



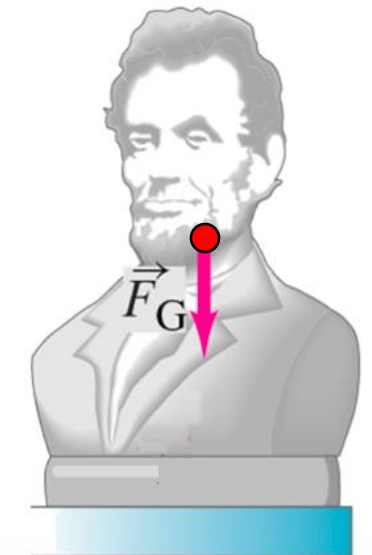
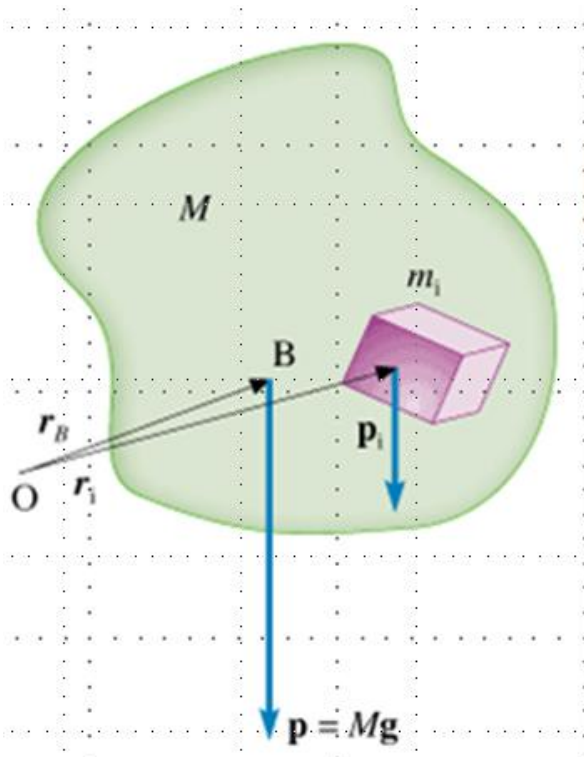
Il **centro di massa della Terra** invece corrisponderà al suo punto centrale, interno alla sfera 3D, in cui possiamo immaginare concentrata tutta la massa del nostro pianeta!



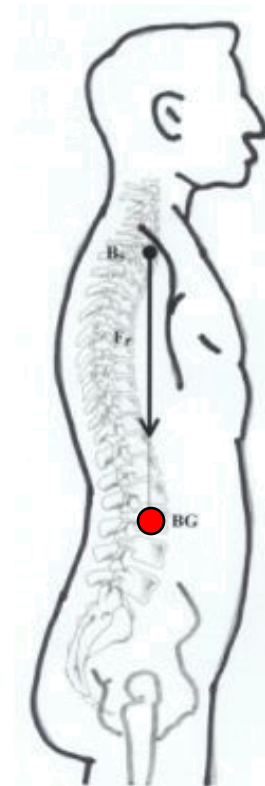
Centro di massa della Terra

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, il centro di massa coincide – come si è detto – con il **baricentro**. Potendo immaginare tutta la massa del corpo concentrata nel baricentro, si comprende perché esso sia stato definito come il **punto di applicazione della forza peso**. Tipicamente, il baricentro 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