

Dinamica,
ovvero le cause del movimento...

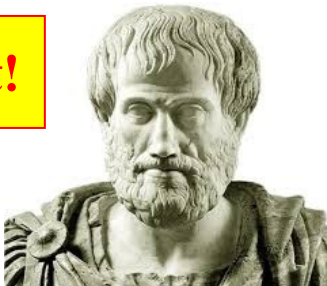


La Prima Legge della Dinamica: il Principio di Inerzia

Ben 2000 anni dopo Aristotele, **Galileo** mise in discussione le intuizioni del grande filosofo greco affermando che, **per un corpo, trovarsi in moto rettilineo con velocità costante è altrettanto naturale quanto essere fermo!**

E' questo è appunto quanto afferma l'enunciato del celebre *Principio di Inerzia* galileiano: **ogni corpo tende a mantenere il suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme finchè non intervenga una qualche forza esterna a modificare tale stato.**

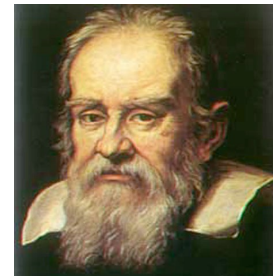
Iipse dixit!



Aristotele

VS

Galileo



**Metodo
scientifico**

1) «Per mettere in moto un oggetto a riposo, ossia per accelerarlo da velocità zero a velocità non nulla, occorre applicare una forza»

2) «L'applicazione di una forza è necessaria anche per mantenere l'oggetto in moto rettilineo a velocità costante»

3) «Maggiore è la forza esercitata su un corpo, maggiore sarà la sua velocità»

1) «VERO: per mettere in moto un oggetto a riposo, ossia per accelerarlo, occorre applicare una forza»

2) «FALSO: non serve una forza per mantenere un oggetto in moto a velocità costante; il moto rettilineo uniforme tende a mantenersi per inerzia.»

3) «FALSO: vedremo che maggiore è la forza esercitata su un corpo, maggiore sarà la sua accelerazione»

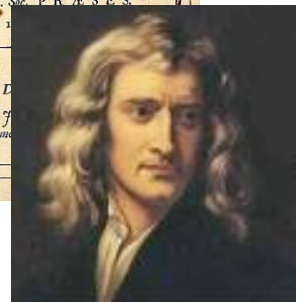
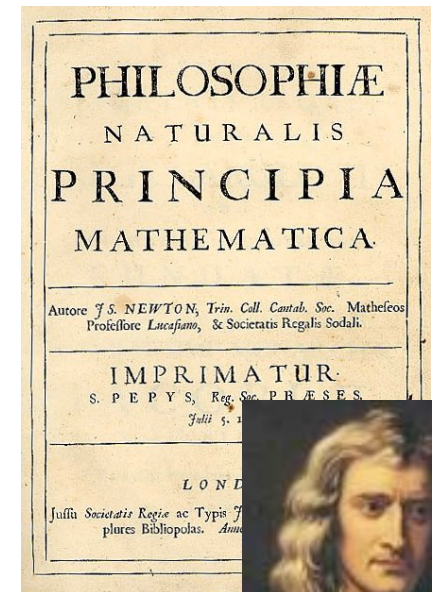
La Prima Legge della Dinamica: il Principio di Inerzia

Ben 2000 anni dopo Aristotele, **Galileo** mise in discussione le intuizioni del grande filosofo greco affermando che, **per un corpo, trovarsi in moto rettilineo con velocità costante è altrettanto naturale quanto essere fermo!**

E' questo è appunto quanto afferma l'enunciato del celebre *Principio di Inerzia* galileiano: **ogni corpo tende a mantenere il suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme finchè non intervenga una qualche forza esterna a modificare tale stato.**

Isaac Newton riconobbe subito l'importanza del concetto di **inerzia**, cioè di questa tendenza di un oggetto a mantenere il suo stato di quiete o di moto rettilineo, tanto che nei suoi famosi “**Principia Mathematica**” (1687), opera che per trecento anni costituì la base della Meccanica classica, promosse il principio di inerzia a **Prima Legge della Dinamica**.

L'enunciato originale della prima legge di Newton (o *Principio di Inerzia*) è quindi: ***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.***

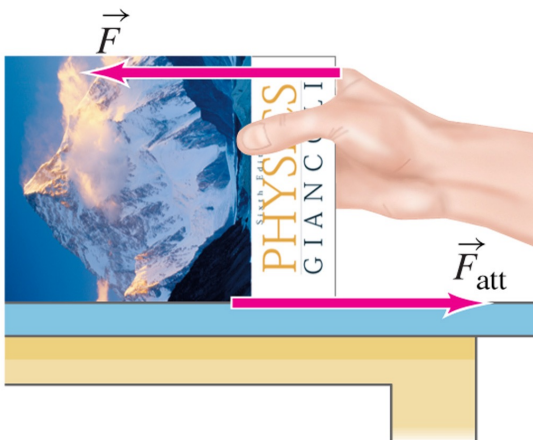
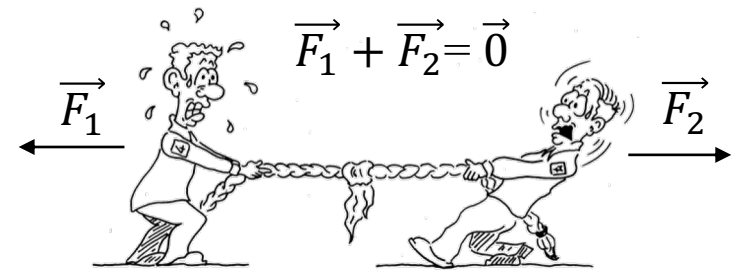


La Prima Legge della Dinamica: il Principio di Inerzia

Dall'enunciato della prima legge di Newton si deduce che la forza è una grandezza vettoriale, quindi le forze si sommano tra loro con le regole della **somma vettoriale** (metodo coda-punta o metodo del parallelogramma). Dunque, per sapere quale sia la forza effettiva che agisce su un corpo, cioè la cosiddetta **forza netta**, occorre calcolare la **risultante** vettoriale di tutte le forze in gioco (**principio di sovrapposizione delle forze**):

$$\vec{F}_{net} = \sum_i \vec{F}_i$$

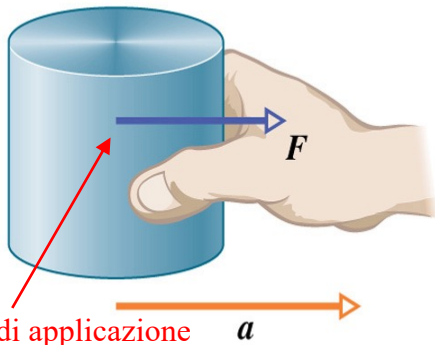
La prima legge della dinamica si può quindi enunciare anche così: ***Quando la forza netta agente su un corpo è nulla, la velocità del corpo non può cambiare, ossia il corpo non può accelerare.***



Nell'**esempio** di un libro che viene spinto lungo un tavolo ruvido e si muove a velocità costante, evidentemente la **somma** del vettore della forza applicata al libro (diretto verso sinistra) e del vettore della forza d'attrito (diretto verso destra) deve essere zero: se infatti le due forze avessero un **vettore risultante** di modulo diverso da zero (cioè se i due vettori non fossero uguali ed opposti e dunque la forza netta fosse non nulla), il libro subirebbe necessariamente un'**accelerazione**! Dunque la forza applicata non serve a far muovere il libro ma solo ad annullare la forza di attrito. **Ma allora chi fa muovere il libro? Nessuno: diciamo che si muove «per inerzia»!**

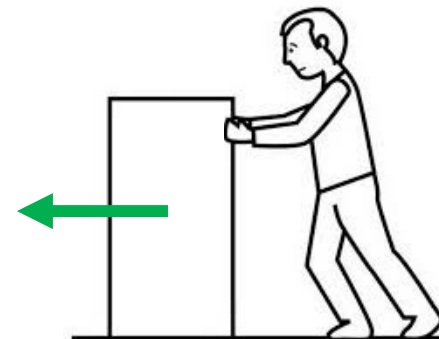
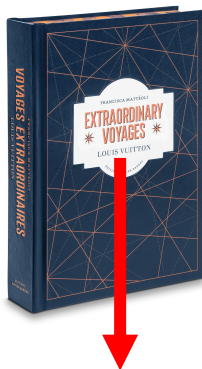
Forza e accelerazione

Riassumendo, dalla prima legge della dinamica abbiamo dunque appreso che **la forza non è la causa del movimento**, come si potrebbe intuitivamente pensare e come in effetti l'umanità intera ha pensato per migliaia di anni influenzata dal pensiero di Aristotele. Come vedremo meglio tra poco con la seconda legge della dinamica, **la forza causa invece una VARIAZIONE del movimento**. In altre parole, *una forza che agisce su un corpo deve necessariamente modificare la sua velocità*, in modulo, direzione o verso, cioè deve necessariamente **produrre un'accelerazione**.



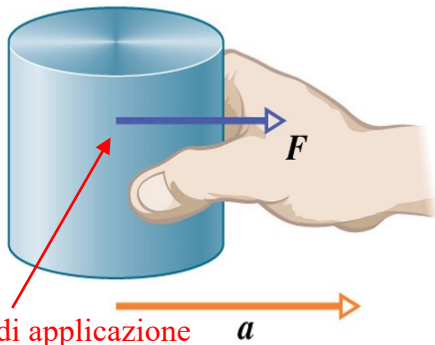
Abbiamo poi anche capito che, proprio come l'accelerazione, anche **la forza è una grandezza vettoriale**, dotata di modulo, direzione e verso, e possiamo quindi rappresentarla con una freccia la cui direzione e verso saranno quelle della spinta o della trazione esercitata e la cui lunghezza sarà proporzionale al modulo della forza stessa.

Per le forze è molto importante il punto di applicazione (coda del vettore) che, se non diversamente specificato, coincide col baricentro del corpo a cui la forza è applicata.



Forza e accelerazione

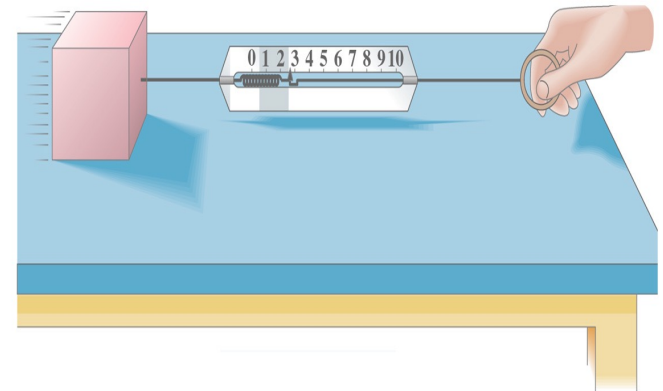
Riassumendo, dalla prima legge della dinamica abbiamo dunque appreso che **la forza non è la causa del movimento**, come si potrebbe intuitivamente pensare e come in effetti l'umanità intera ha pensato per migliaia di anni influenzata dal pensiero di Aristotele. Come vedremo meglio tra poco con la seconda legge della dinamica, **la forza causa invece una VARIAZIONE del movimento**. In altre parole, *una forza che agisce su un corpo deve necessariamente modificare la sua velocità*, in modulo, direzione o verso, cioè deve necessariamente **produrre un'accelerazione**.



Abbiamo poi anche capito che, proprio come l'accelerazione, anche **la forza è una grandezza vettoriale**, dotata di modulo, direzione e verso, e possiamo quindi rappresentarla con una freccia la cui direzione e verso saranno quelle della spinta o della trazione esercitata e la cui lunghezza sarà proporzionale al modulo della forza stessa.

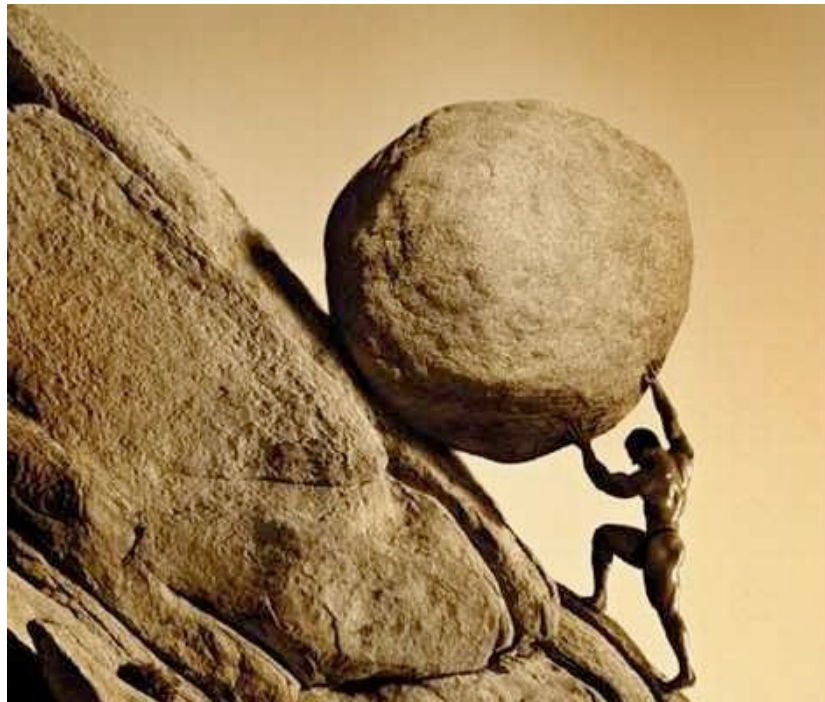
Per le forze è molto importante il punto di applicazione (coda del vettore) che, se non diversamente specificato, coincide col baricentro del corpo a cui la forza è applicata.

Un modo per misurare il modulo (o l'intensità) di una forza è, ad esempio, quello di utilizzare un **dinamometro**: si tratta di un oggetto dotato di una molla e di una scala graduata che, una volta calibrato, è in grado di quantificare la trazione esercitata su un dato oggetto oppure, se si tratta della forza di gravità, di misurare il peso dell'oggetto stesso.



Massa e Inerzia

Per comprendere qual è la relazione precisa tra forza e accelerazione ci serve a questo punto introdurre una nuova grandezza fisica fondamentale, già abbondantemente evocata: **la massa**. Già sappiamo che **l'unità di misura della massa nel SI è il Kg**. Di solito il termine “massa” viene usato come sinonimo di “quantità di materia”, ma è meno ambiguo **definire la massa di un corpo come una misura della sua inerzia**, quindi 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***. Questo, come vedremo tra un attimo, è uno dei modi di descrivere la **seconda legge della dinamica** che, appunto, esprime la relazione matematica tra forza, massa e accelerazione...



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:

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

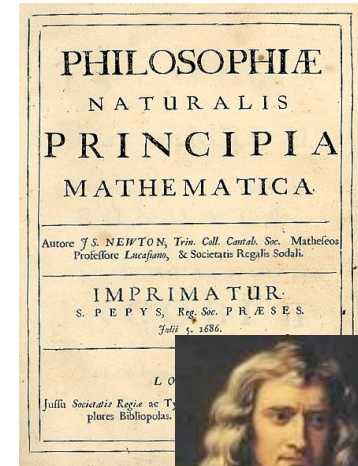
Osservazioni:

1) L'equazione della **seconda legge della dinamica di Newton** può essere utilmente riscritta in modo da mettere in evidenza la **relazione di causa-effetto** tra la forza netta applicata ad un corpo di massa m e l'accelerazione prodotta, sottolineando nel contempo anche il ruolo della massa come misura dell'inerzia (per questo si parla anche di «massa inerziale»)

Infatti 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 (inerziale) del corpo:

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



Unità di misura della forza

Dall'**analisi dimensionale** della seconda legge della dinamica ricaviamo che la forza è una grandezza derivata e che l'unità di misura della sua intensità, nel SI (detto anche **MKS**), deve essere:

$$[F] = [m][a] = kg \cdot m / s^2$$

Data però l'importanza della forza come grandezza fisica, la sua unità di misura è stata battezzata con un nome proprio: il **Newton (N)**.

$$1N = 1kg \cdot 1m / s^2$$

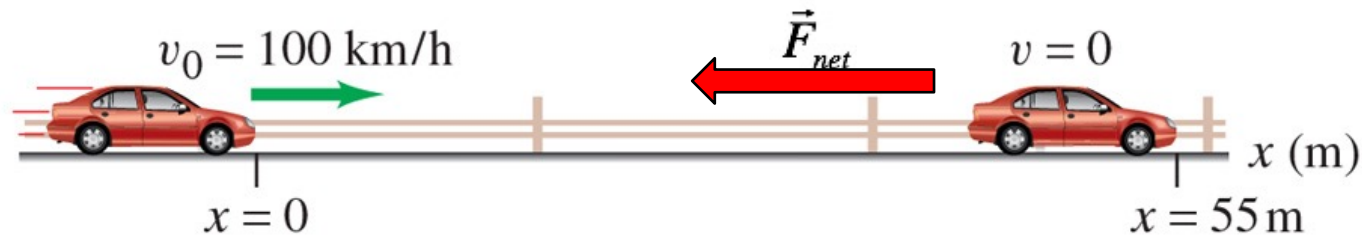
Un **Newton** corrisponde quindi alla forza richiesta per imprimere alla massa di 1kg un'accelerazione di 1 m/s².

Nel **Sistema CGS**, un sistema alternativo al sistema internazionale e così chiamato perchè al posto di metri, kilogrammi e secondi si utilizzano (come unità di misura principali per spazio, massa e tempo) i centimetri, grammi e secondi, l'unità di misura della forza è la **dyna**, definita come la forza necessaria ad imprimere ad una massa di 1g una accelerazione di 1cm/s²:

$$1dyna = 1g \cdot 1cm / s^2$$

Ovviamente nei problemi occorre **scegliere un unico sistema di unità di misura in cui lavorare**, convertendo eventualmente le unità di misura le une nelle altre. Ad esempio, se sappiamo che una forza di 2.0N è applicata lungo l'asse x a un oggetto di massa 500g, avremo:

$$a_x = \frac{2.0N}{0.50kg} = \frac{2.0kg \cdot m / s^2}{0.50kg} = 4.0m / s^2$$



Esercizio

Quale è la forza netta 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 le *equazioni cinematiche del moto unidimensionale uniformemente accelerato*, 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 $x - x_0 = 55 \text{ m}$:

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

da cui la forza netta risultante sarà:

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

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

Ancora sulla 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:

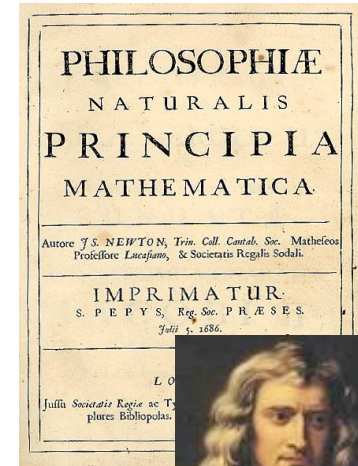
$$\vec{F}_{net} = \sum_i \vec{F}_i = m\vec{a} \quad (1)$$

Osservazioni:

1) L'equazione della **seconda legge della dinamica di Newton** può essere utilmente riscritta in modo da mettere in evidenza la **relazione di causa-effetto** tra la forza netta applicata ad un corpo di massa inerziale m e l'accelerazione prodotta.

2) L'equazione (1) è un'**equazione vettoriale**, valida in ogni sistema di riferimento inerziale. 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:

$$\begin{aligned} \sum_i F_{xi} = ma_x &\longrightarrow a_x = \frac{\sum_i F_{xi}}{m} \\ \sum_i F_{yi} = ma_y &\longrightarrow a_y = \frac{\sum_i F_{yi}}{m} \end{aligned}$$



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).

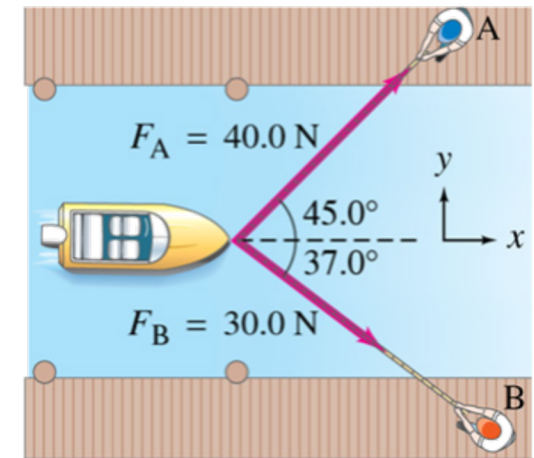
La prima cosa da fare in questi casi è quella di disegnare il cosiddetto **diagramma delle forze** (b), ossia un diagramma in cui si evidenziano tutte e sole le forze agenti sull'oggetto considerato, trattato come se fosse puntiforme. **Sommiamo** dunque le forze in gioco utilizzando le loro componenti:

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

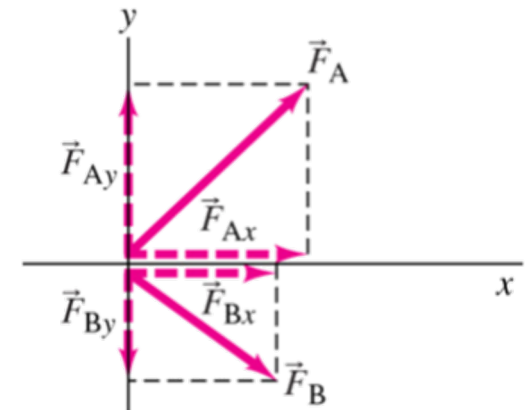
$$\vec{F}_B \begin{cases} F_{Bx} = F_B \cos 37.0^\circ = (30.0N)(0.799) = 24.0N \\ F_{By} = F_B \sin 37.0^\circ = -(30.0N)(0.602) = -18.1N \end{cases}$$

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

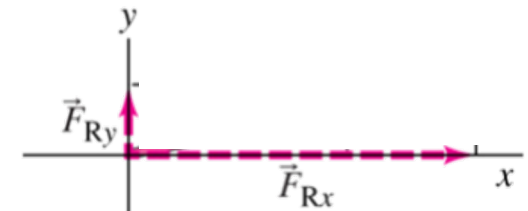
$$\vec{F}_R = \vec{F}_A + \vec{F}_B \begin{cases} F_{Rx} = F_{Ax} + F_{Bx} = 28.3N + 24.0N = 52.3N \\ F_{Ry} = F_{Ay} + F_{By} = 28.3N - 18.1N = 10.2N \end{cases}$$



(a)



(b)



(c)

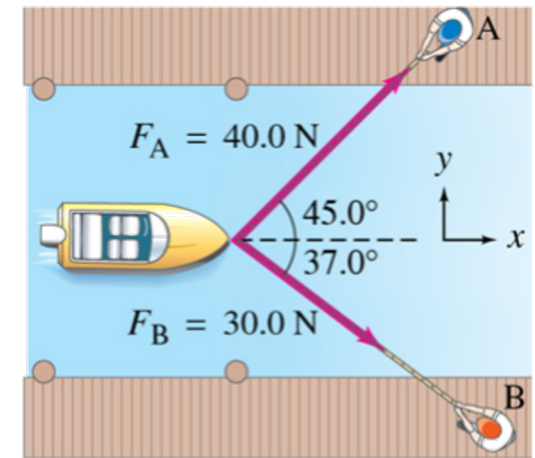
Somma vettoriale delle forze

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).



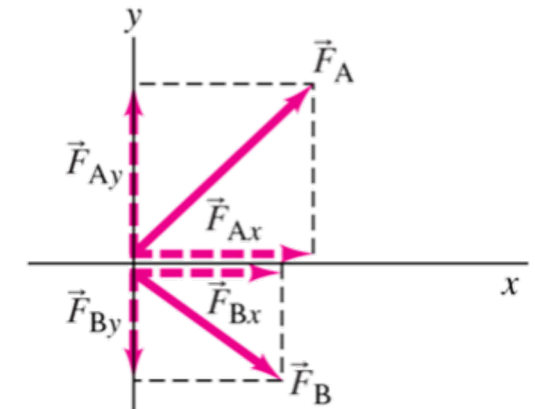
(a)

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

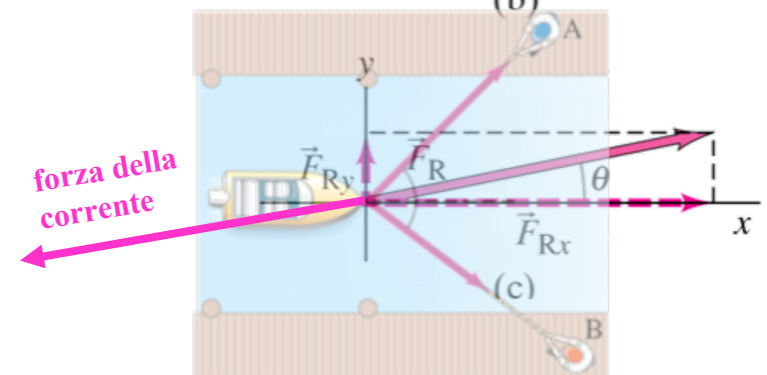
$$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} = \sqrt{(52.3)^2 + (10.2)^2} N = 53.3 N$$

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

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 barca si muoverebbe di **moto rettilineo uniforme** all'interno del canale.



(b)



(c)

La massa inerziale

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 finiva qui. La natura delle forze, infatti, è un po' più complicata...

Come mai quando camminiamo in una direzione esercitiamo una forza nella direzione opposta?



Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana

Come mai quando una pattinatrice esercita una forza contro un muro si sposta nella direzione opposta?



Fisica

Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana

La Terza Legge della Dinamica

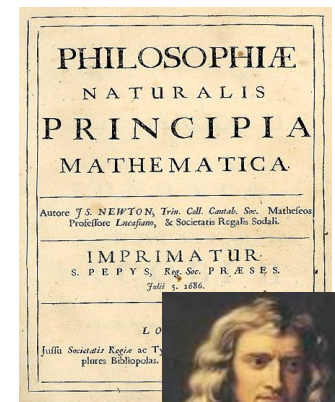
La seconda legge della dinamica, o seconda legge del moto di Newton, descrive quantitativamente come le forze applicate ai corpi influenzano il loro moto. Ma lo stesso Newton si accorse che la questione non finiva qui. La natura delle forze, infatti, è un po' più complicata...



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.**



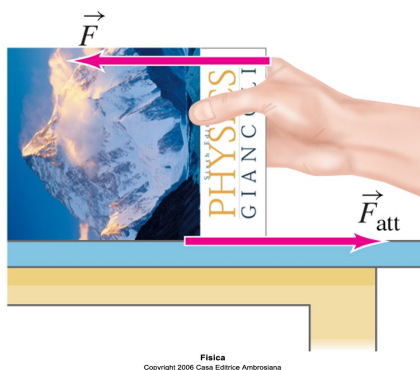
Il Principio di Azione e Reazione

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?

Semplicemente perchè mentre nel caso del libro **entrambe le forze in gioco, la spinta e l'attrito, agiscono sul libro** e dunque è lecito sommarle, le forze in gioco nell'esempio della pattinatrice **sono esercitate su oggetti diversi** (il muro e la pattinatrice) e dunque **non possono essere sommate!**

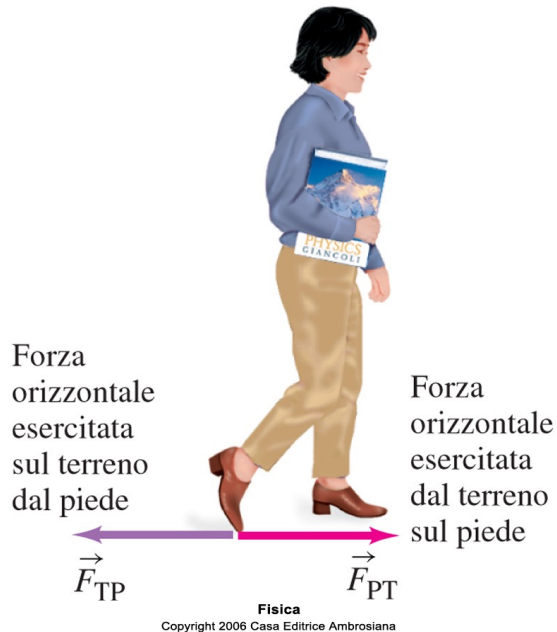


Importante: due o più forze possono essere sommate vettorialmente tra loro solo ed esclusivamente se agiscono sullo stesso corpo!

Il Principio di Azione e Reazione

Dunque una forza influenza il moto di un oggetto solo quando è applicata **su** quell'oggetto. Invece, la forza eventualmente esercitata **da** quell'oggetto non ha invece 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!)



Fisica
Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana

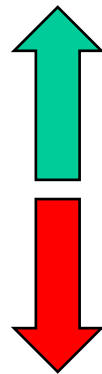


Ma cos'è che provoca il movimento di un'automobile? Chi o che cosa esercita la forza che spinge l'automobile in avanti?

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?**

E' solo 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?**



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