

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!**

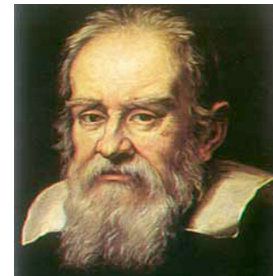
E' questo è appunto quanto afferma l'enunciato del celebre *Principio di Inerzia* galileiano: **ogni corpo tende a mantenere il suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme finchè non intervenga una qualche forza esterna a modificare tale stato.**



Aristotele

VS

Galileo



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 si mantiene per inerzia»

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

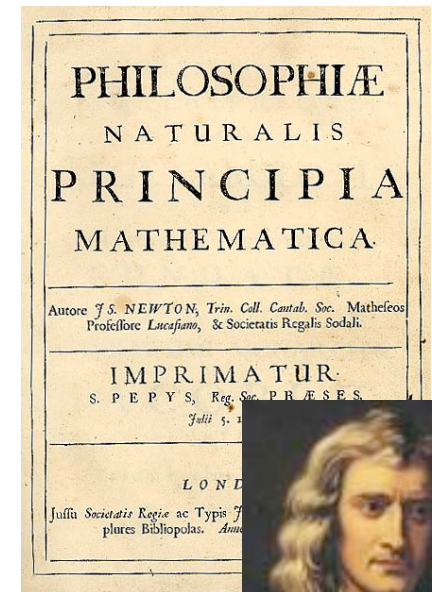
La Prima Legge della Dinamica: il Principio di Inerzia

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.***

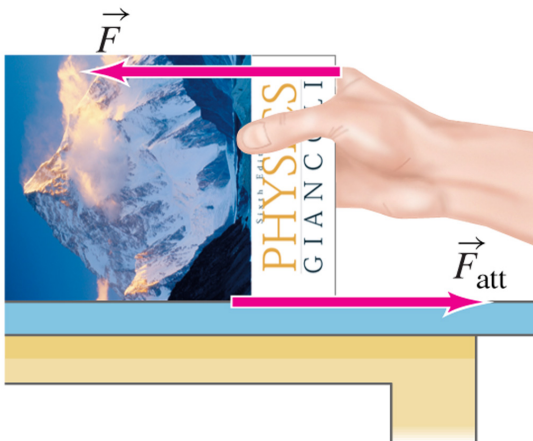
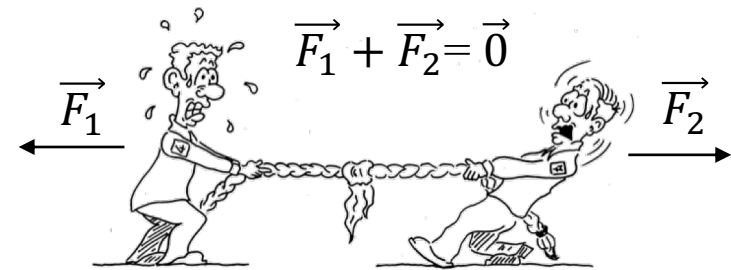


La Prima Legge della Dinamica: il Principio di Inerzia

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.***



Fisica
Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana

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: si muove per inerzia!**

Il principio d'inerzia

Sistemi di riferimento inerziali

I sistemi di riferimento in cui è valida la prima legge di Newton si chiamano **sistemi di riferimento inerziali** e sono essenzialmente sistemi di riferimenti in **moto rettilineo uniforme** gli uni rispetto agli altri.



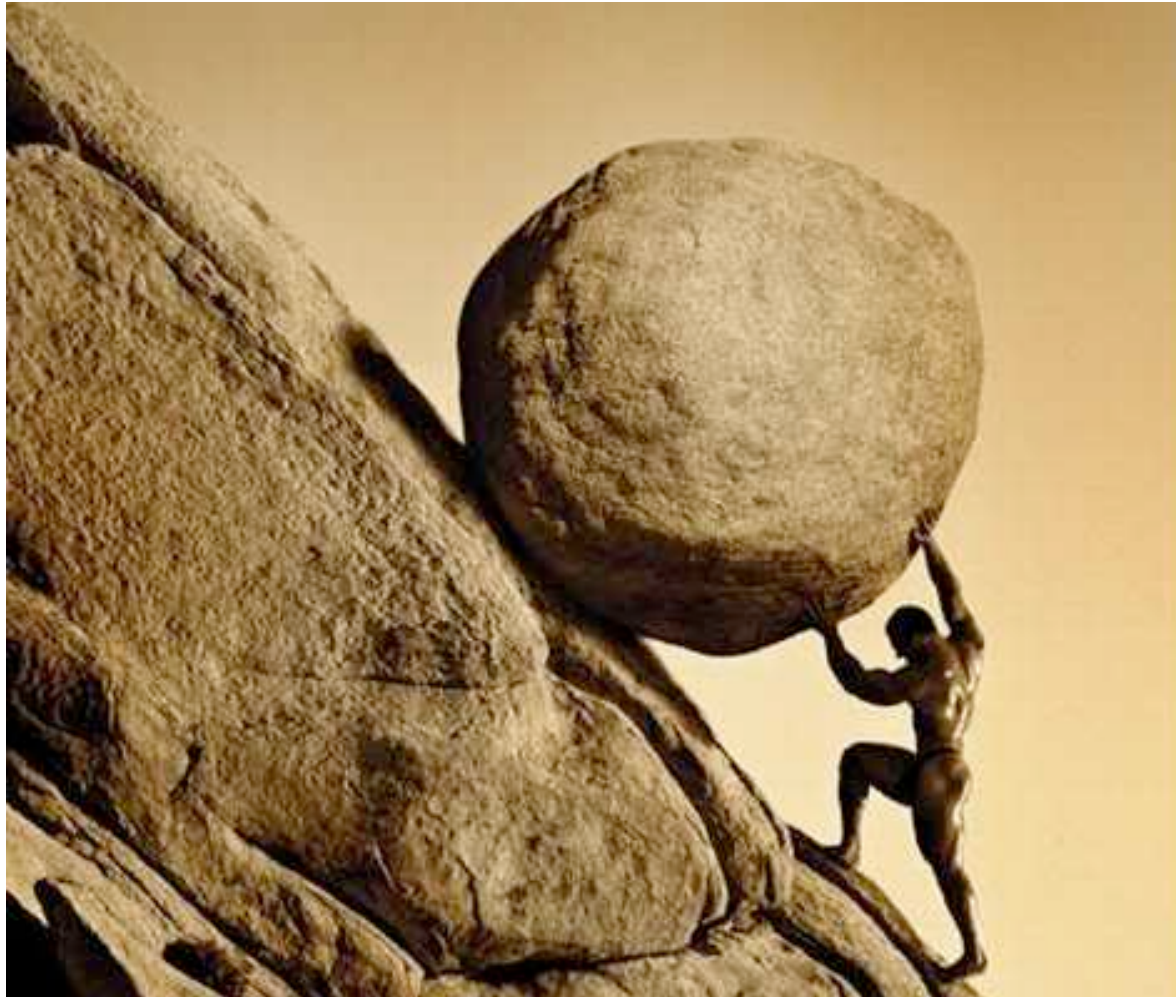
Viceversa, i sistemi di riferimento in cui il principio di inerzia non è valido sono detti “**non inerziali**”, e sono ad esempio sistemi di riferimento in **moto accelerato** o in **rotazione**. Questi sistemi sono caratterizzati dalla presenza di forze apparenti dovute proprio alla loro non inerzialità.

Spesso, per scopi pratici, si suppone che un sistema di riferimento fissato sulla **Terra** sia un **sistema di riferimento inerziale**: ovviamente questo non è rigorosamente vero perché la Terra è in rotazione, ma costituisce comunque una approssimazione abbastanza buona nella maggiorparte dei casi.



La Massa

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**, cioè una misura della **resistenza** che il corpo oppone al tentativo di modificarne il moto: maggiore è tale inerzia, maggiore sarà la massa del corpo. Già sappiamo che l'**unità di misura della massa nel SI è il Kg**.



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:

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

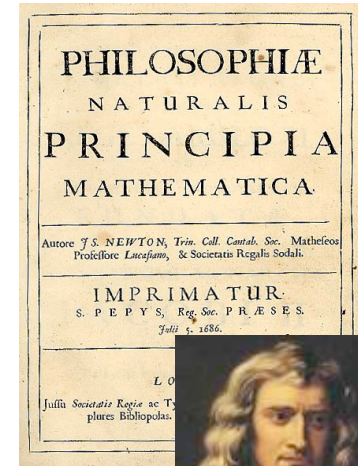
Osservazioni:

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.

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 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)**.

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

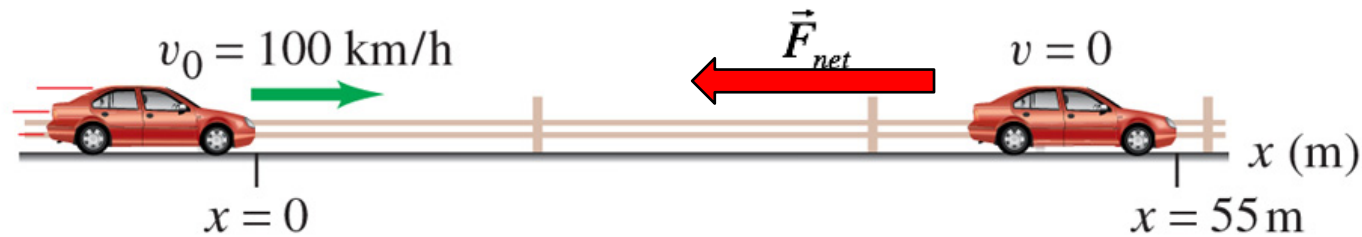
Un **Newton** corrisponde quindi alla forza richiesta per imprimere alla massa di 1kg un'accelerazione di 1 m/s².

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 vettoriale (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:

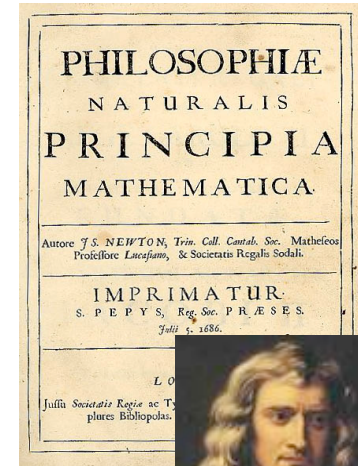
$$\vec{F}_{net} = \sum_i \vec{F}_i = m\vec{a} \quad (1)$$

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 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:

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



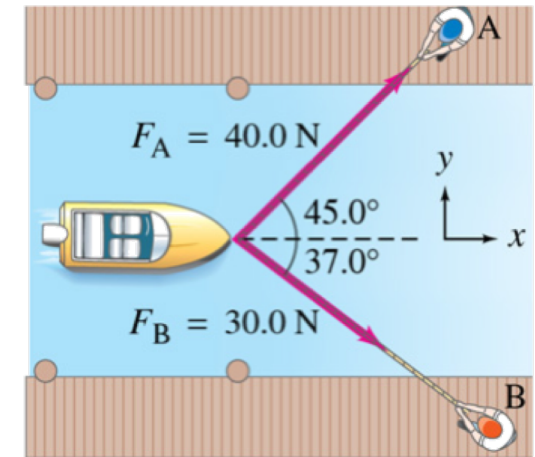
Somma vettoriale delle forze

Esercizio

Calcolare la somma delle due forze esercitate sulla barca dai due lavoratori A e B 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)

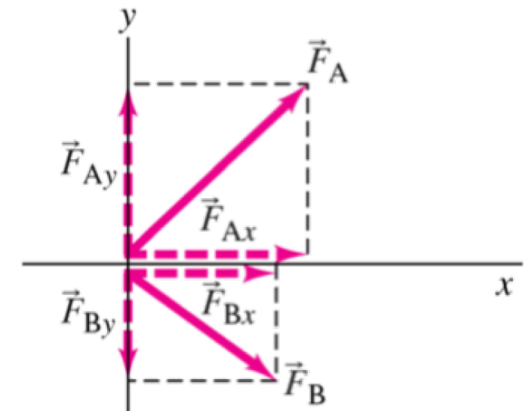
La prima cosa da fare in questi casi è quella di disegnare il cosiddetto **diagramma delle forze** (b), ossia un diagramma in cui si evidenziano tutte e sole le forze agenti sull'oggetto considerato, trattato come se fosse puntiforme. **Sommiamo** dunque le forze in gioco utilizzando le loro componenti:

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

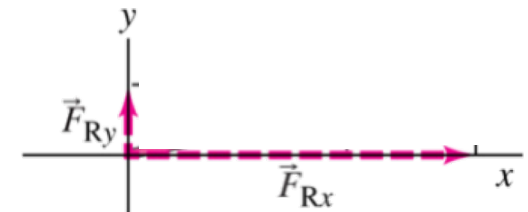
$$\vec{F}_B \begin{cases} F_{Bx} = F_B \cos 37.0^\circ = (30.0N)(0.799) = 24.0N \\ F_{By} = F_B \sin 37.0^\circ = -(30.0N)(0.602) = -18.1N \end{cases}$$

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

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



(b)



(c)

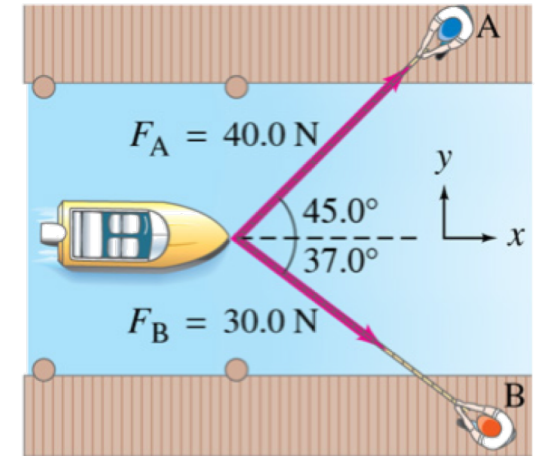
Somma vettoriale delle forze

Esercizio

Calcolare la somma delle due forze esercitate sulla barca dai due lavoratori A e B 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).



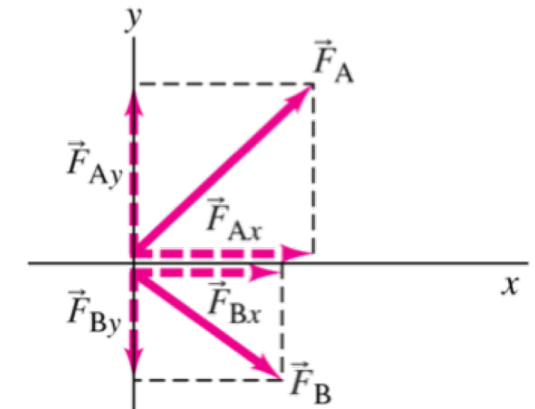
(a)

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

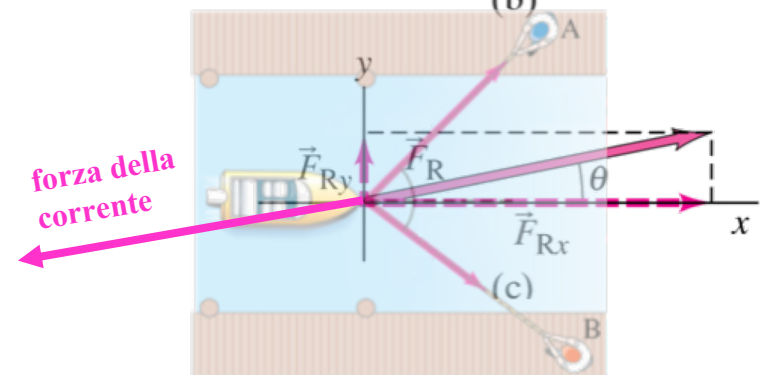
$$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} = \sqrt{(52.3)^2 + (10.2)^2} N = 53.3 N$$

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

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



(b)



(c)

La Terza Legge della Dinamica

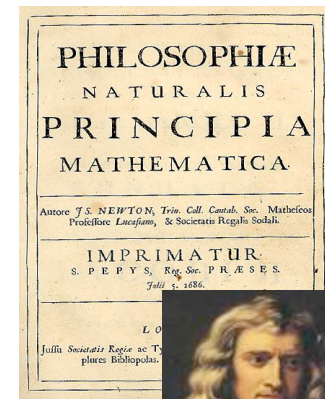
La seconda legge della dinamica, o seconda legge del moto di Newton, descrive quantitativamente come le forze influenzano il moto. **Ma come si originano le forze?**



Fisica
Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana

L'osservazione mostra che ogni volta che un corpo esercita una forza su un secondo corpo, il secondo esercita sul primo **una forza 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.**



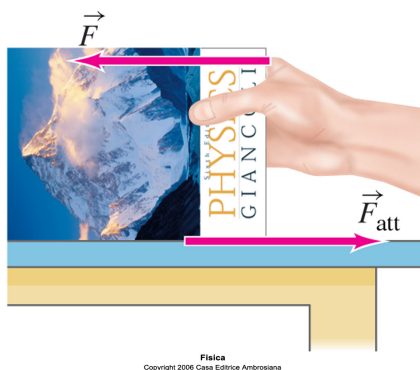
Il Principio di Azione e Reazione

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!**

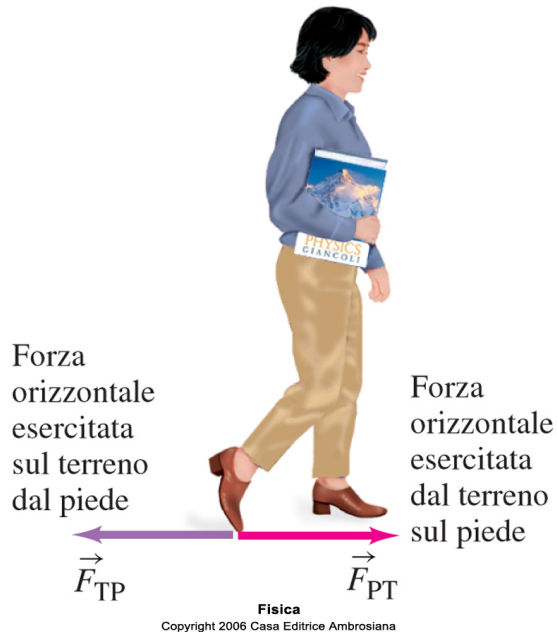


Importante: due o più forze possono essere sommate vettorialmente tra loro solo ed esclusivamente se agiscono sullo stesso corpo!

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...



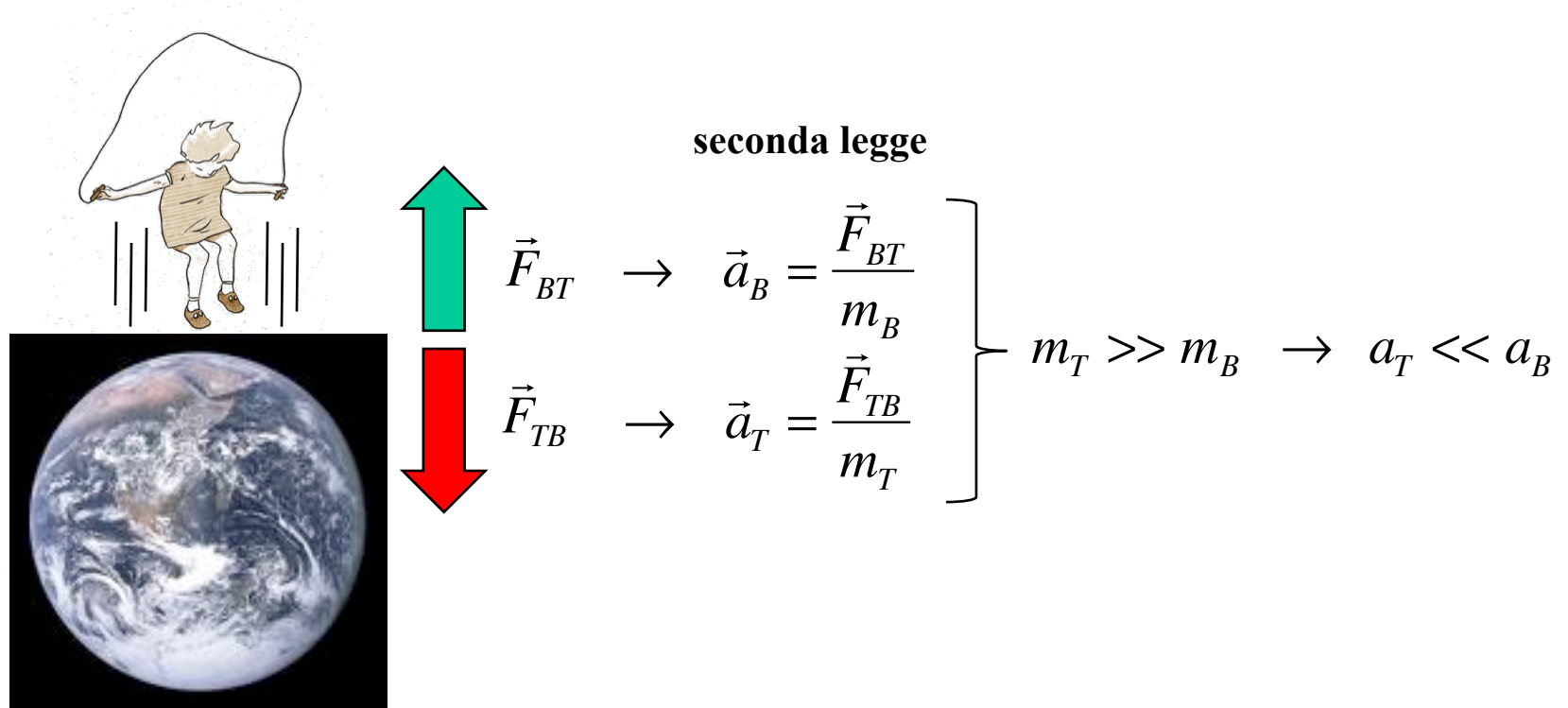
Ma cos'è che provoca il movimento di un'automobile? Chi o che cosa esercita la forza che spinge l'automobile in avanti?

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



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?**



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!