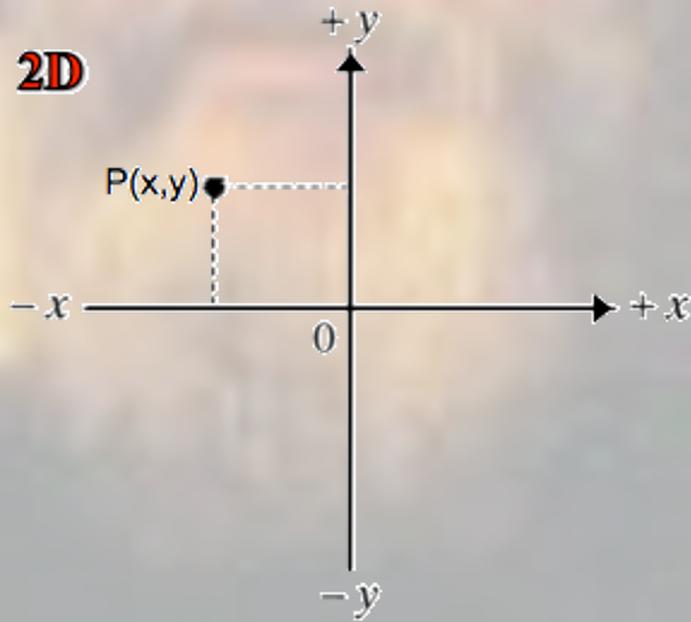
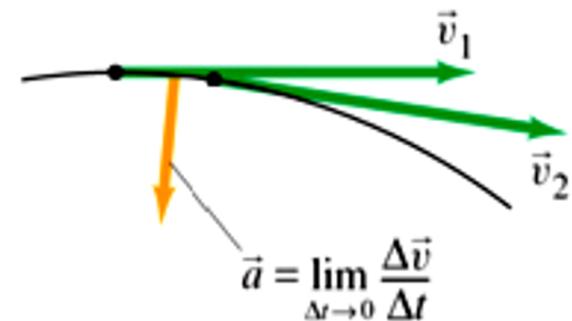
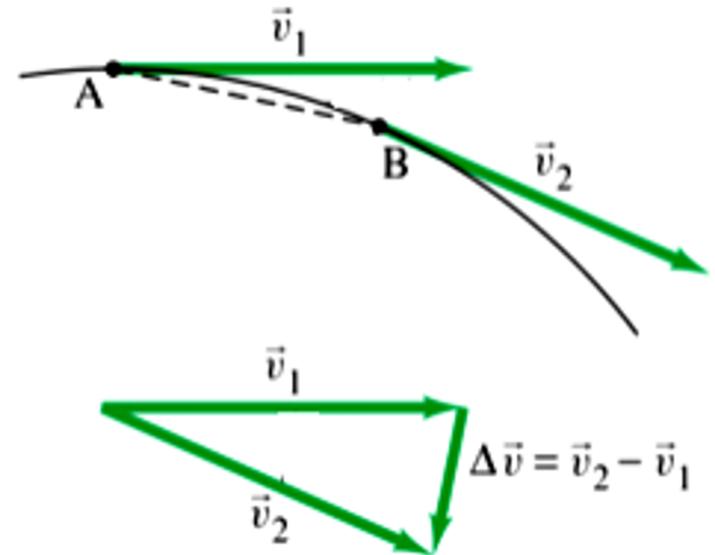
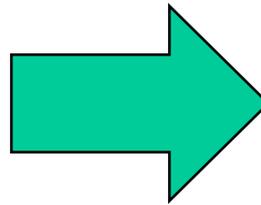
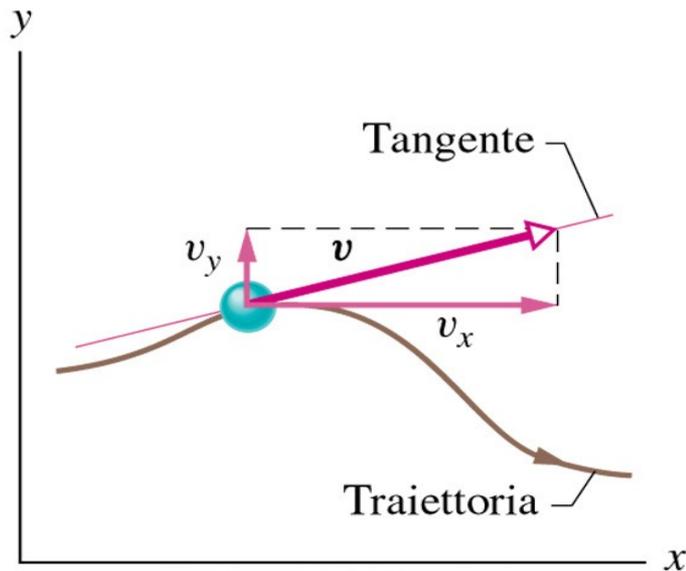


## CINEMATICA del Moto Circolare Uniforme



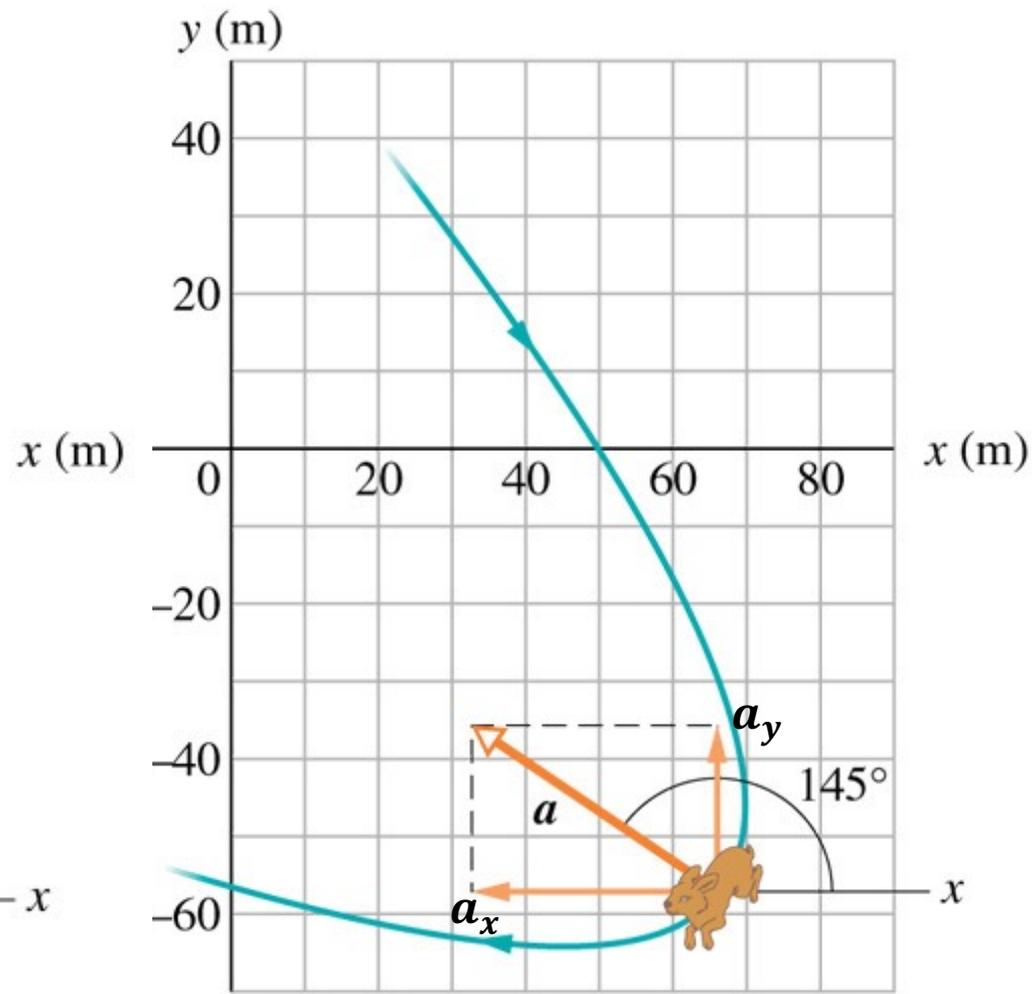
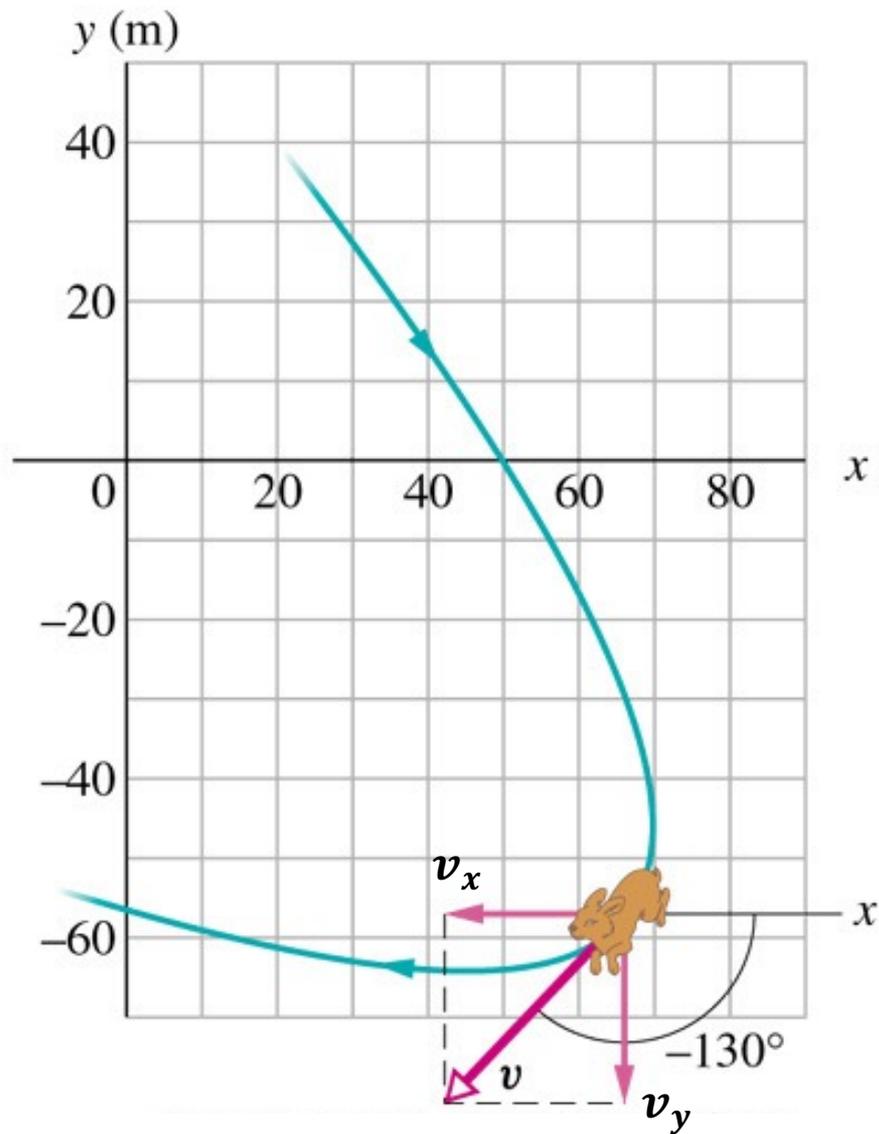
# Velocità e Accelerazione in due dimensioni

Abbiamo visto che, in due dimensioni, la **velocità vettoriale istantanea** è sempre **tangente** in ogni punto alla **traiettoria** del punto materiale in movimento. Dunque, su **traiettorie curve**, il vettore velocità cambia continuamente direzione durante il moto del corpo considerato.

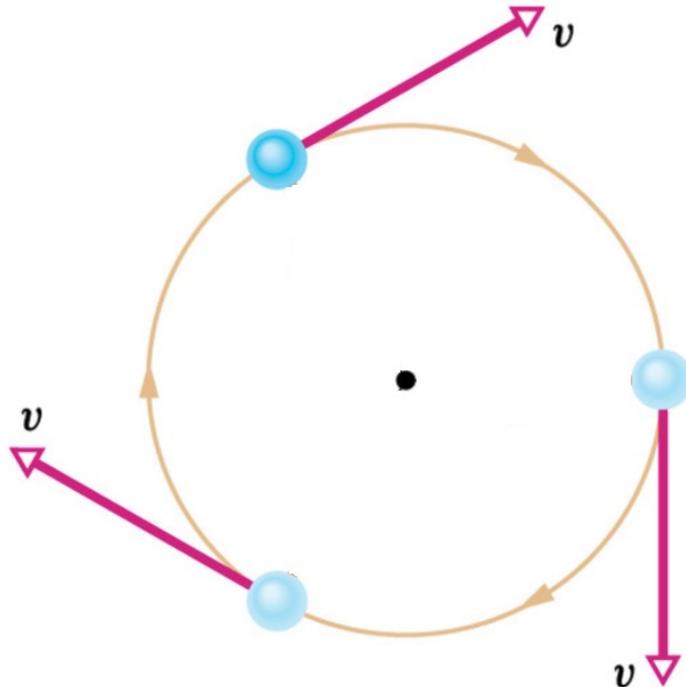


Questo cambiamento di direzione della velocità è causato da un'accelerazione vettoriale istantanea che risulta essere rappresentata da un vettore **perpendicolare alla velocità e diretto sempre verso l'interno della curva**.

# Velocità e Accelerazione in due dimensioni



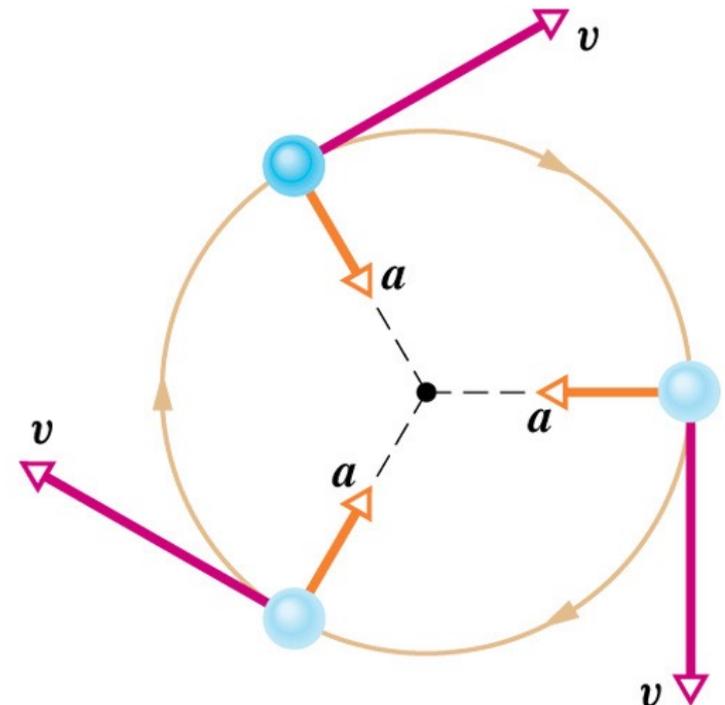
# Moto circolare uniforme



Fondamenti di Fisica - 6° ed.  
Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana

Un oggetto (particella) si definisce in **moto circolare uniforme** se si muove lungo una circonferenza con una velocità scalare costante  $v$ . Poichè il **vettore velocità  $v$**  è tangente in ogni punto alla traiettoria, **anche se il suo modulo resta costante** (e pari appunto alla velocità scalare  $v$ ) **la sua direzione cambia ad ogni istante**.

Questo cambiamento uniforme di direzione del **vettore velocità** deve essere prodotto, come abbiamo visto, da una **accelerazione vettoriale** costante, perpendicolare in ogni punto al vettore della velocità istantanea: dunque, in questo caso, il vettore accelerazione sarà diretto verso il centro del cerchio considerato, per cui si parla di **accelerazione centripeta**.



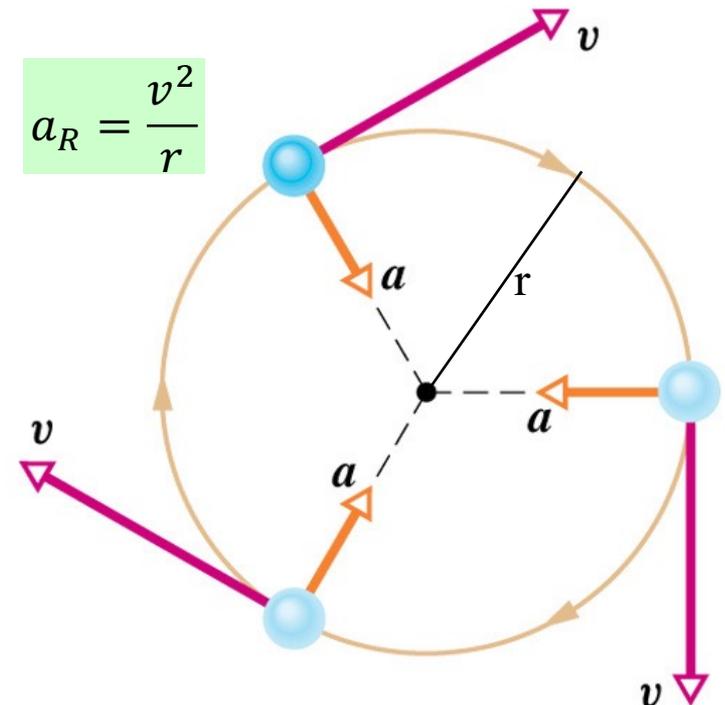
Fondamenti di Fisica - 6° ed.  
Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana

# Accelerazione Centripeta

Si può dimostrare che *per un oggetto che si muove lungo una circonferenza di raggio  $r$ , con velocità scalare costante  $v$ , l'accelerazione centripeta – costante e diretta verso il centro del cerchio – ha modulo  $a_R = v^2 / r$ .*

## Osservazioni

- 1) Nel moto circolare uniforme i vettori velocità e accelerazione sono **perpendicolari** tra di loro in ogni punto della traiettoria: questo è un ulteriore esempio che illustra l'errore che si compie pensando che velocità e accelerazione debbano avere sempre la stessa direzione.
- 2) Non sorprende il fatto che il **modulo** dell'accelerazione centripeta sia *direttamente proporzionale* a  $v$  (al quadrato) e *inversamente proporzionale* a  $r$ : infatti, maggiore è la velocità scalare  $v$ , più rapidamente il vettore velocità cambia direzione, mentre all'aumentare del raggio questo cambiamento di direzione avviene sempre più lentamente.



# Periodo e frequenza nel moto circolare uniforme

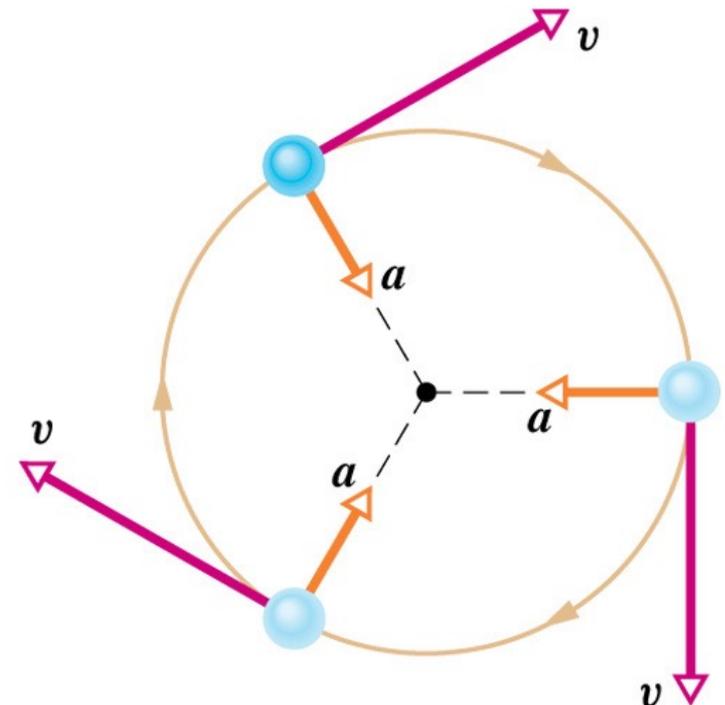
Il moto circolare uniforme è spesso descritto in termini di **frequenza**  $f$ , intesa come numero di giri al secondo (Hertz) compiuti dall'oggetto che ruota, e di **periodo**  $T$ , che rappresenta invece il tempo necessario affinché l'oggetto compia un giro completo della circonferenza.

Periodo e frequenza sono legati dall'ovvia relazione:  $T = \frac{1}{f}$

Se infatti, ad esempio, l'oggetto ruota con una frequenza di 3Hz (cioè di 3 giri al secondo, o  $3 \text{ s}^{-1}$ ), il suo periodo sarà evidentemente pari a  $1/3 \text{ s}$ .

Osserviamo inoltre che per un oggetto che ruoti a velocità scalare costante su una circonferenza di lunghezza  $C = 2\pi r$ , la **velocità scalare**  $v$  sarà legata al periodo di rotazione  $T$  o alla frequenza  $f$  dalla importante relazione:

$$v = \frac{C}{\Delta t} = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi r f$$



## **Il moto circolare uniforme**

# Accelerazione centripeta della Luna

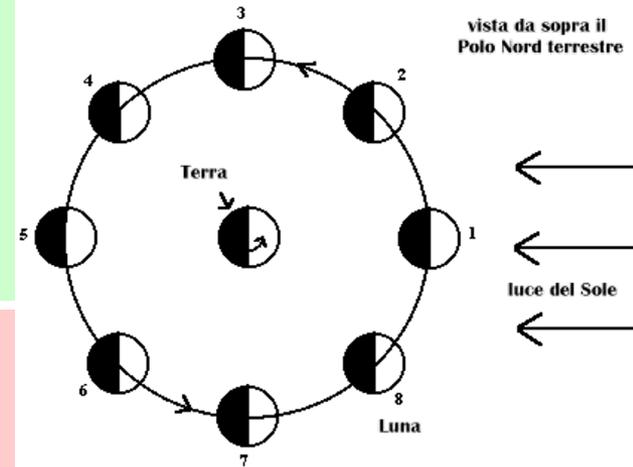
## Esempio

La Luna gira attorno alla Terra seguendo una traiettoria (orbita) approssimativamente circolare con un raggio di circa 384.000 km, e impiega un tempo  $T=27.3$  giorni (periodo) a percorrere un'orbita completa a velocità scalare uniforme.

Determinare l'accelerazione della Luna rispetto alla Terra.

## Suggerimento

Occorre servirsi della velocità di rotazione  $v$ , convertendo le grandezze disponibili in unità del Sistema Internazionale (SI).



La **lunghezza** dell'orbita lunare è pari a  $C = 2\pi r$ , con  $r = 3.84 \cdot 10^8 m$

Il **periodo** di rotazione, espresso in secondi, è  $T = (27.3 \text{giorni}) \frac{24.0h}{\text{giorno}} \frac{3600s}{h} = 2.36 \cdot 10^6 s$

Dunque, essendo la velocità scalare di rotazione  $v = 2\pi r / T$ , avremo una **accelerazione centripeta** di modulo pari a :

$$a_R = \frac{v^2}{r} = \frac{(2\pi r)^2}{T^2 r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2} = \frac{4\pi^2 (3.84 \cdot 10^8 m)}{(2.36 \cdot 10^6 s)^2} = 0.00272 \text{ m/s}^2 = 2.72 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$$

Riscrivendo questo risultato in termini della **accelerazione di gravità**  $g=9.80\text{m/s}^2$ , avremo:

$$a_R = 2.72 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2 \left( \frac{g}{9.80 \text{m/s}^2} \right) = 2.78 \cdot 10^{-4} g \ll g$$

# LA MECCANICA CLASSICA



```
graph TD; A[LA MECCANICA CLASSICA] --> B[Cinematica]; A --> C[Dinamica]; C --> D[Statica];
```

The diagram illustrates the structure of Classical Mechanics. At the top is a yellow box labeled 'LA MECCANICA CLASSICA'. Two teal arrows point downwards from this box to 'Cinematica' (left) and 'Dinamica' (center). From 'Dinamica', a teal arrow points to 'Statica' (right). Each branch has a corresponding yellow box with a red border containing a description of the field.

## Cinematica

Studia il movimento dei corpi  
(cioè *come* essi si muovono)

## Dinamica

Studia le cause del movimento dei corpi  
(cioè *perchè* essi si muovono)

## Statica

Si occupa delle condizioni di equilibrio dei corpi  
(è un caso particolare della Dinamica)



Dinamica,  
ovvero le cause del movimento...

# Dalla Cinematica alla Dinamica...



Già Aristotele, intorno al 350 a.C., osservando i fenomeni del mondo intorno a lui, si era reso conto che per **mettere in moto** un oggetto a riposo, ossia per **accelerarlo** da velocità zero a velocità non nulla, occorreva applicare un qualche tipo di forza. E tale forza sembrava necessaria anche per **mantenere l'oggetto in moto** a velocità costante, oltre che per fargli cambiare velocità, in modulo, direzione o verso.

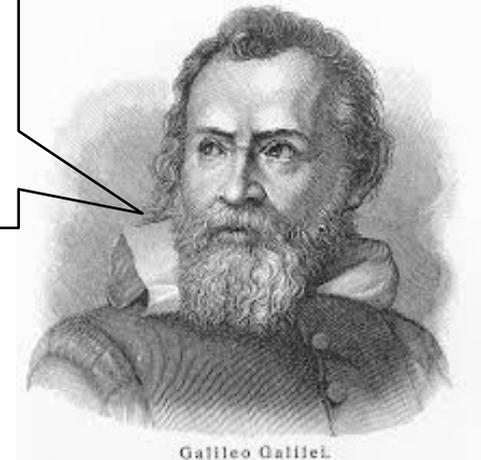
Da queste osservazioni il buon Aristotele si era dunque legittimamente convinto che:

- (1) *Lo stato naturale di un corpo è la quiete;*
- (2) *Serve una forza per mantenere in moto il corpo;*
- (3) *Più grande è la forza esercitata sul corpo, maggiore sarà la sua velocità.*



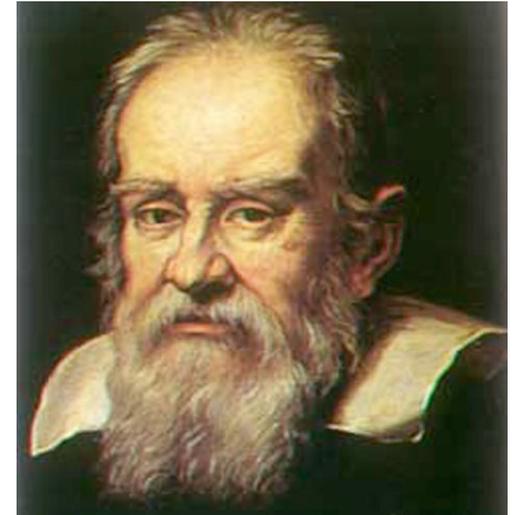
**Belin!  
Ma perché?  
Cosa c'è di  
sbagliato in  
queste  
affermazioni?**

**Tutto!**



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

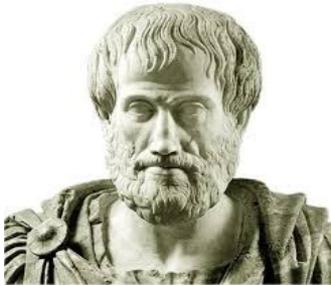
Galileo arrivò a queste conclusioni osservando il moto di oggetti lungo un piano orizzontale, ad esempio un libro che viene spinto sulla superficie ruvida di un tavolo. Ovviamente per mantenere in moto il libro occorre applicare una certa **forza**, ma è chiaro che l'entità della forza applicata dipende dal grado di ruvidità del tavolo, cioè dalla **forza di attrito** che si oppone al moto.



Immaginando di **ridurre progressivamente l'attrito**, è chiaro che sarà necessaria una forza sempre minore per mantenere in moto l'oggetto finché, e questa fu **l'intuizione fondamentale di Galileo**, se idealmente pensiamo di eliminare completamente ogni resistenza al moto, **l'oggetto si muoverà lungo il tavolo lungo seguendo una traiettoria rettilinea e mantenendo la sua velocità costante senza bisogno che ad esso sia applicata alcuna forza!**

# Il Principio di Inerzia

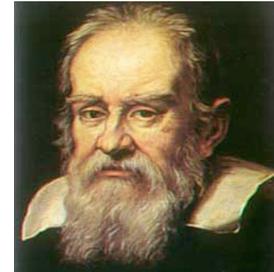
E' questo è appunto quanto afferma l'enunciato del celebre *Principio di Inerzia* galileiano: **ogni corpo tende a mantenere il suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme finchè non intervenga una qualche forza esterna a modificare tale stato.**



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»

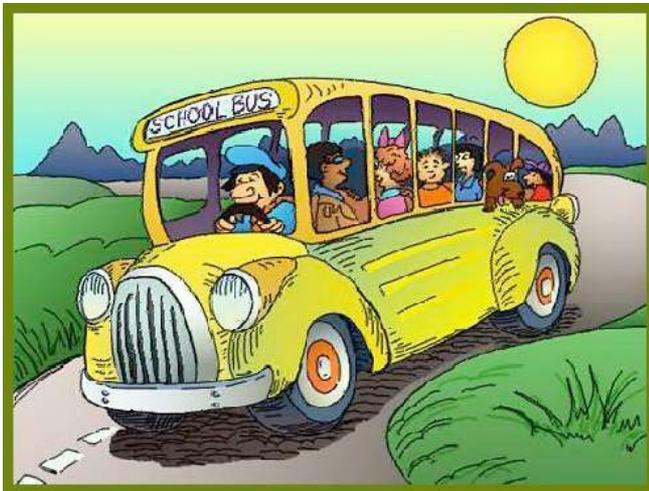
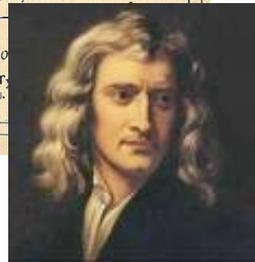
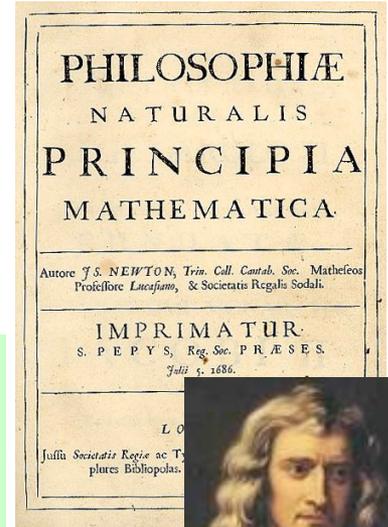
2) «FALSO: non serve una forza per mantenere un oggetto in moto a velocità costante; il moto rettilineo uniforme tende a mantenersi per inerzia.»

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

# La Prima Legge della Dinamica

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.***



## Esempio concettuale

Uno scuolabus fa una brusca frenata e tutti gli zaini appoggiati sul pavimento scivolano in avanti. Quale forza produce questo movimento?

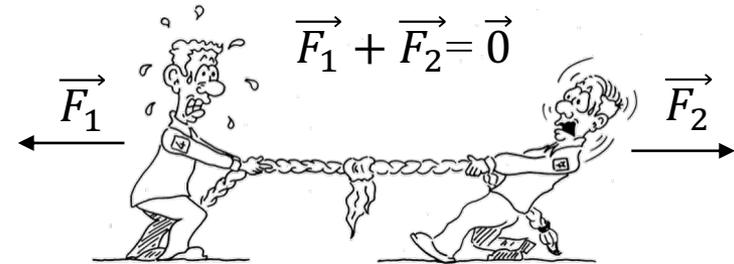
Nessuna! Non è una forza a causare lo slittamento ma **l'inerzia degli zaini**, che tendono a mantenere la velocità (e la direzione) che avevano prima della frenata!

# La Prima Legge della Dinamica

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, se il libro si muove di moto rettilineo uniforme, 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»!**

# **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, al loro interno, 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 perchè la Terra è in rotazione, ma costituisce comunque una approssimazione abbastanza buona nella maggior parte dei casi.

