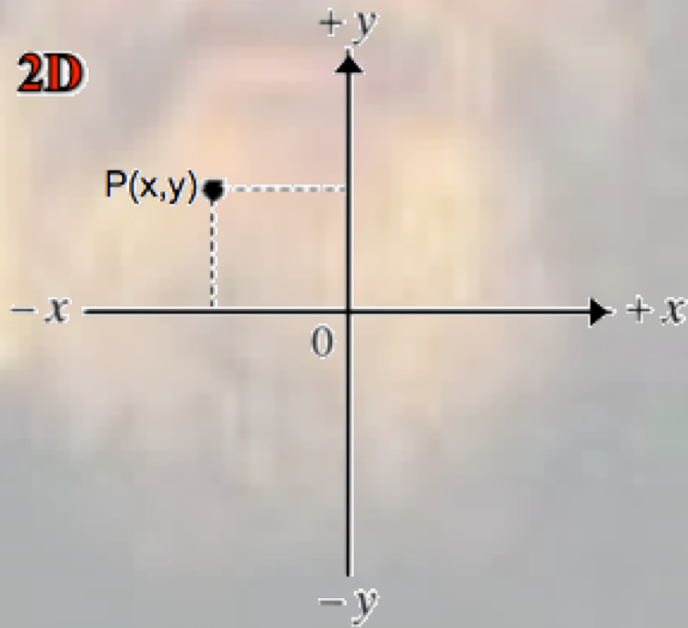
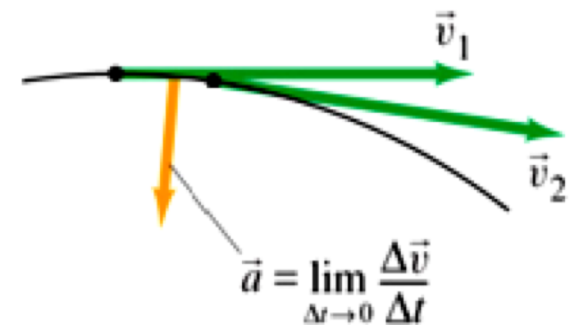
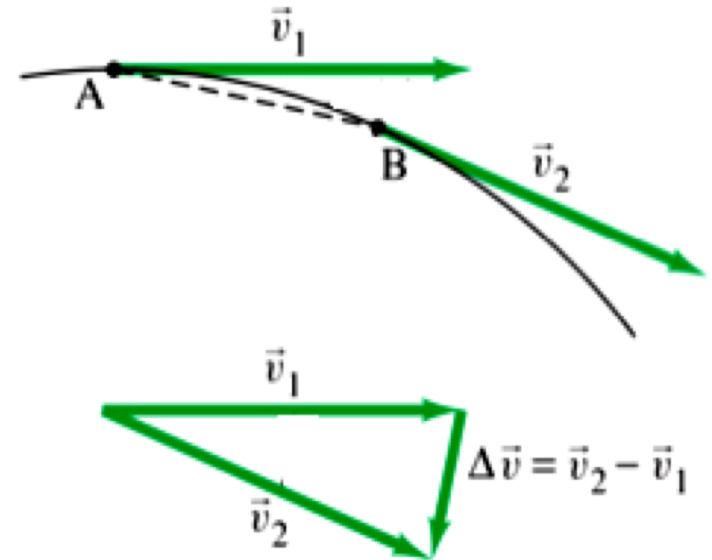
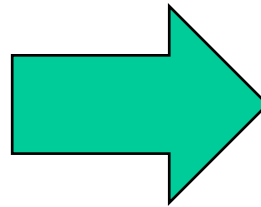
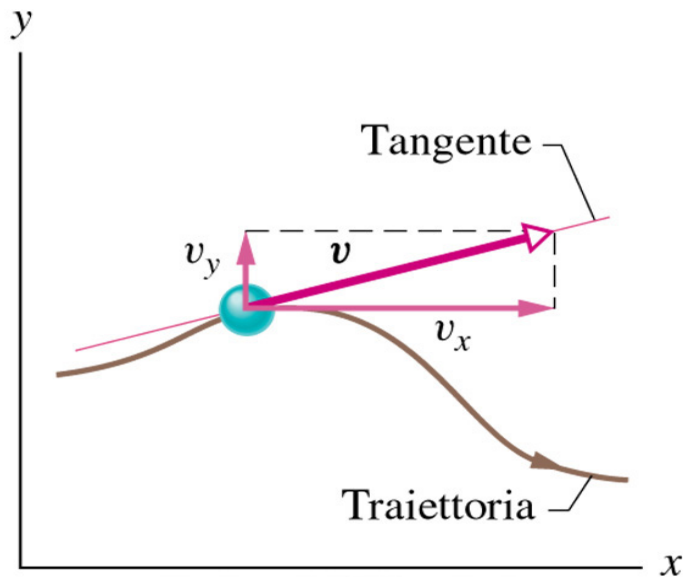


## CINEMATICA del Moto Circolare Uniforme



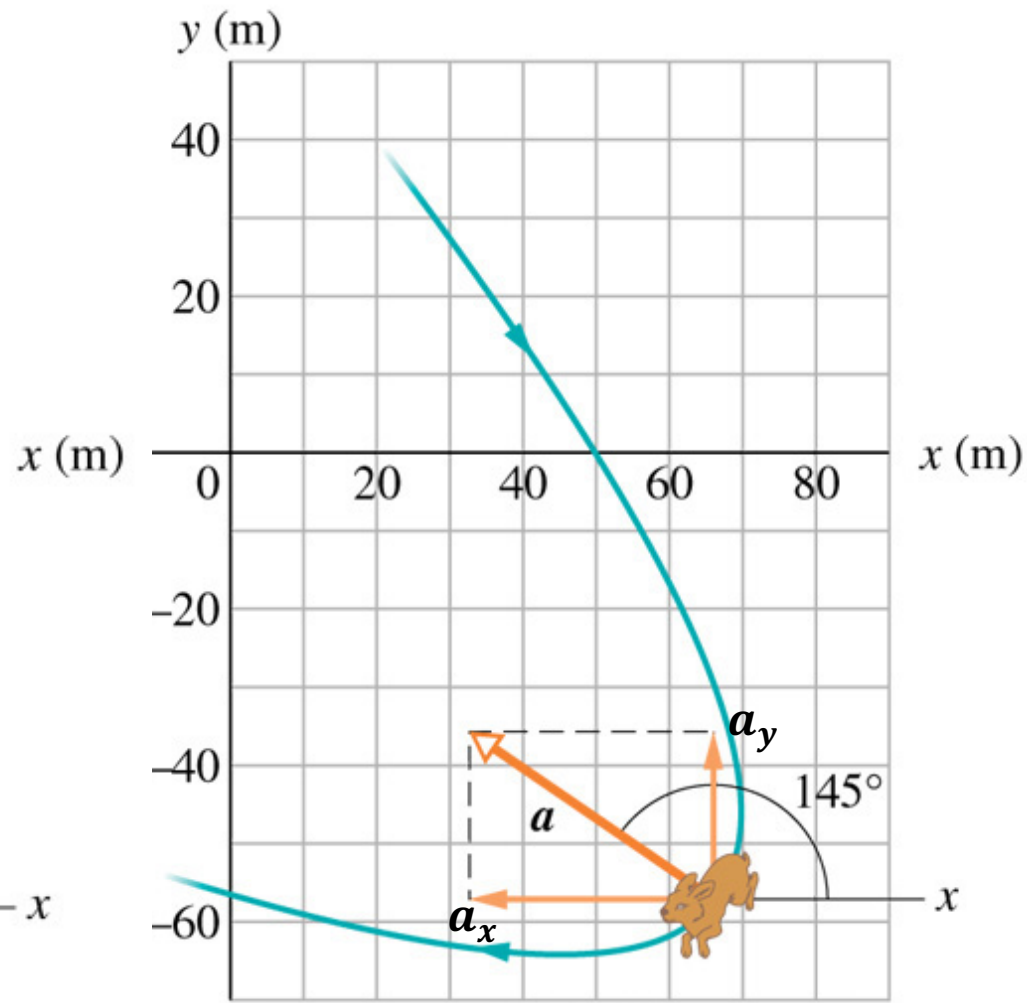
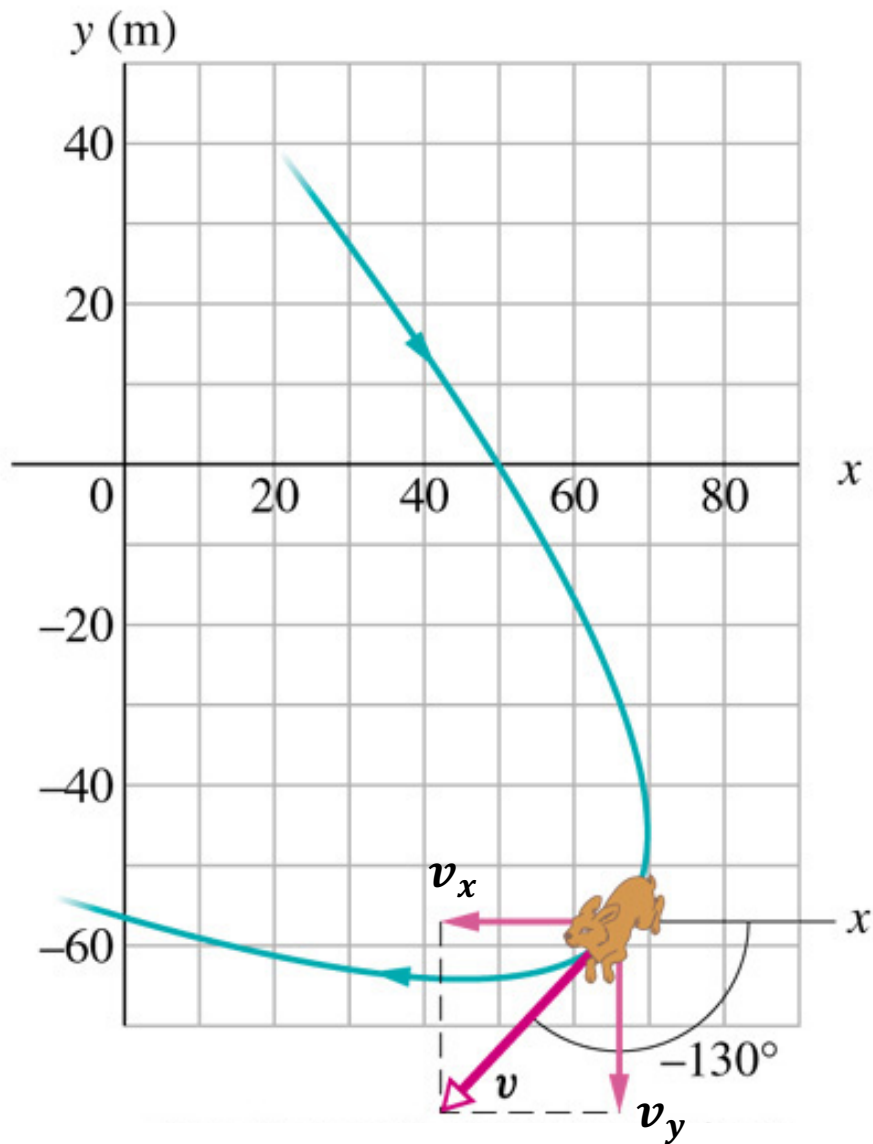
# Velocità e Accelerazione in due dimensioni

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.

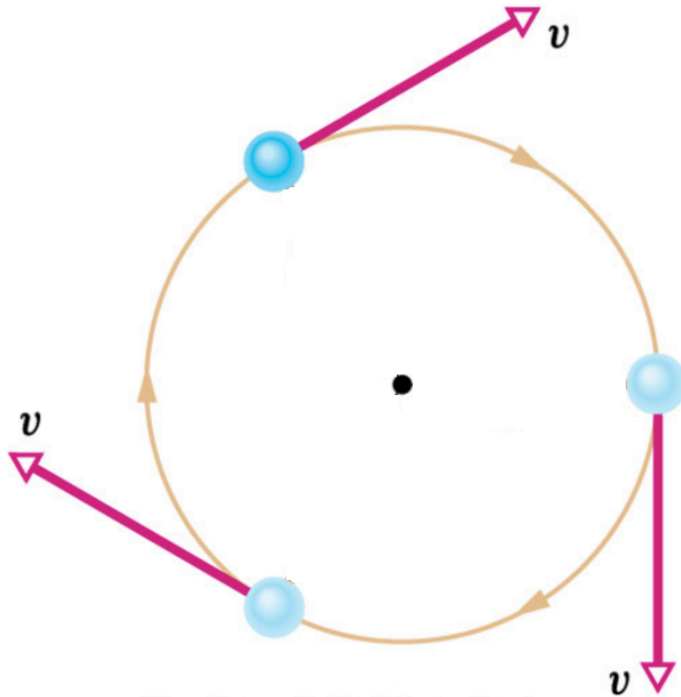


Questo cambiamento di direzione della velocità produce, a sua volta, un'**accelerazione vettoriale istantanea** che risulta essere rappresentata da un vettore **perpendicolare alla velocità e diretto sempre verso l'interno della curva**.

# Velocità e Accelerazione in due dimensioni



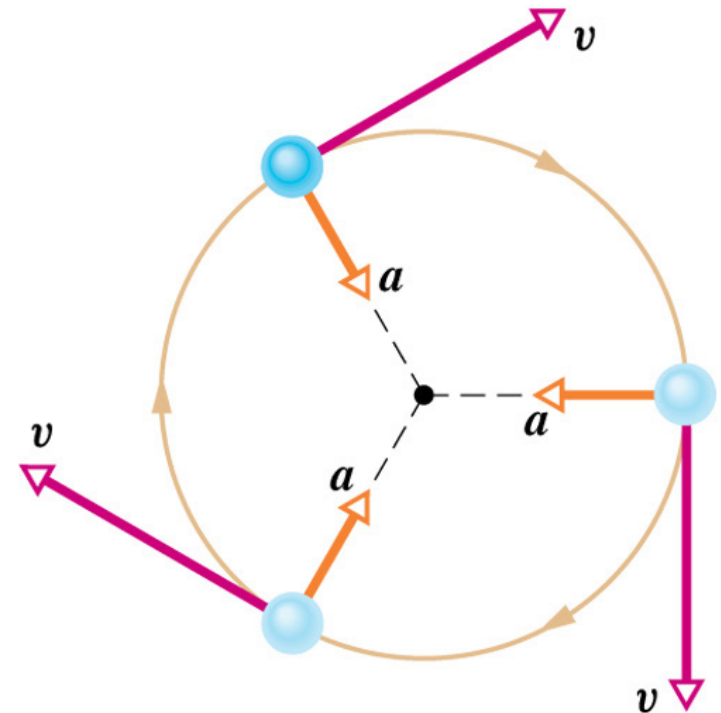
# Moto circolare uniforme



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  $v$ . Poiché 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** è prodotto da una **accelerazione vettoriale** costante che risulta essere perpendicolare in ogni punto al vettore della velocità istantanea, e dunque diretta verso il centro del cerchio considerato, da cui il nome di **accelerazione centripeta**.



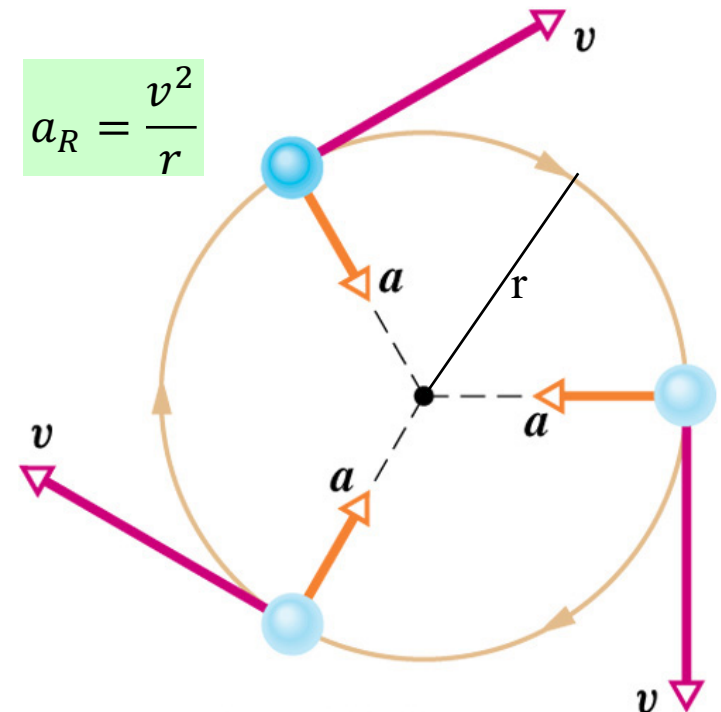
Fondamenti di Fisica - 6° ed.  
Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana

# Accelerazione Centripeta

Si può dimostrare che *un oggetto che si muove lungo una circonferenza di raggio  $r$ , con velocità scalare costante  $v$ , ha un'accelerazione costante diretta verso il centro del cerchio, detta accelerazione centripeta, di 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

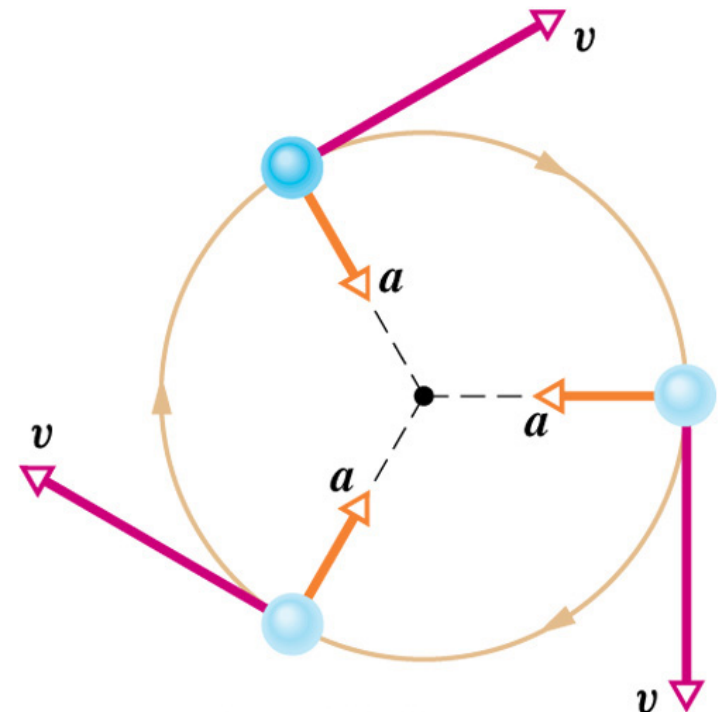
Il moto circolare uniforme è spesso descritto in termini di **frequenza**  $f$ , intesa come numero di giri al secondo (Hertz) compiuti dall'oggetto che ruota, e di **periodo**  $T$ , che rappresenta invece il tempo necessario affinché l'oggetto compia un giro completo della circonferenza.

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

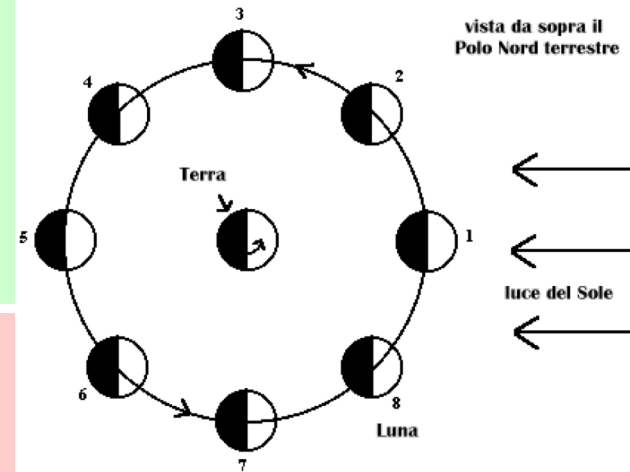
## Esempio

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  $r = 3.84 \cdot 10^8 \text{ m}$

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

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

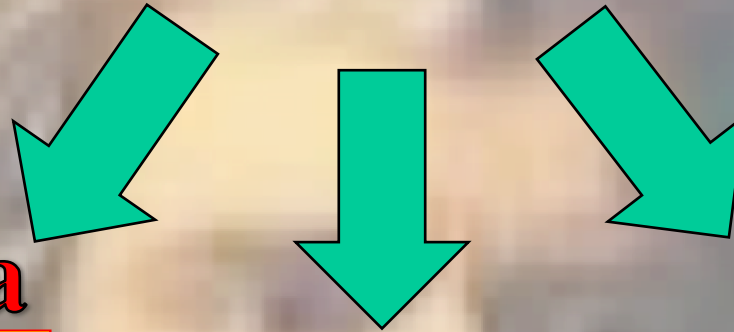
$$a_R = \frac{v^2}{r} = \frac{(2\pi r)^2}{T^2 r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2} = \frac{4\pi^2 (3.84 \cdot 10^8 \text{ m})}{(2.36 \cdot 10^6 \text{ s})^2} = 0.00272 \text{ m/s}^2 = 2.72 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$$

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

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



# Meccanica



## 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...

Studiando la **Cinematica** in una e due dimensioni ci siamo occupati del movimento dei corpi, della forma della loro **traiettoria** e della loro **velocità** ed **accelerazione**.

Ma quando si va a fare la spesa importa poco conoscere la traiettoria che si percorre all'interno del supermercato. La **vera domanda** è invece:

## Chi spinge il carrello???



Fisica

Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana

Ed è esattamente questo il quesito che assillava **Aristotele** intorno al 350 a.C., mentre accompagnava Platone al supermercato...



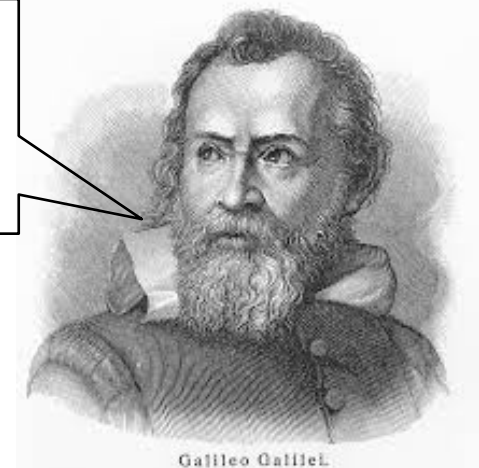
In realtà Aristotele, osservando i fenomeni del mondo intorno a lui, si era reso conto che per **mettere in moto** un oggetto a riposo, ossia per **accelerarlo** da velocità zero a velocità non nulla, occorreva applicare un qualche tipo di forza. E tale forza sembrava necessaria anche per **mantenere 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 *lo stato naturale di un corpo fosse la quiete* e che servisse quindi una forza per mantenere in moto, ad esempio, un oggetto che scivola su un piano orizzontale. Inoltre, pensava che *più grande era questa forza esercitata sul corpo, maggiore sarebbe stata la sua velocità*.



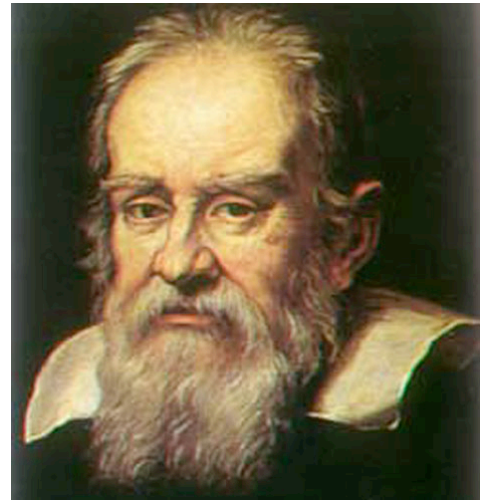
**Belin!  
Ma perché?  
Non è così?**

**NO!**



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!**

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.



Fisica  
Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana

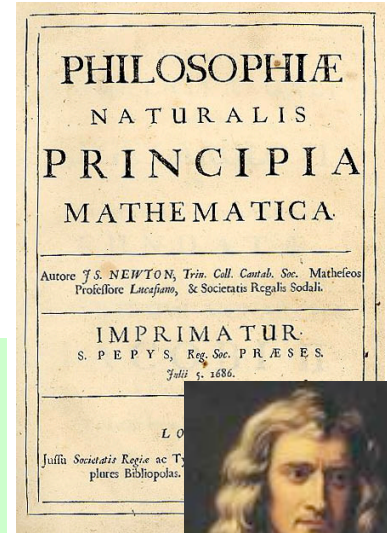
Immaginando di **ridurre progressivamente l'attrito**, è chiaro che sarà necessaria una forza sempre minore per mantenere in moto l'oggetto finché, e questa fu **l'intuizione fondamentale di Galileo**, se idealmente pensiamo di eliminare completamente ogni resistenza al moto, l'oggetto si muoverà lungo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

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 finché non intervenga una qualche forza esterna a modificare tale stato.**

# 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.***



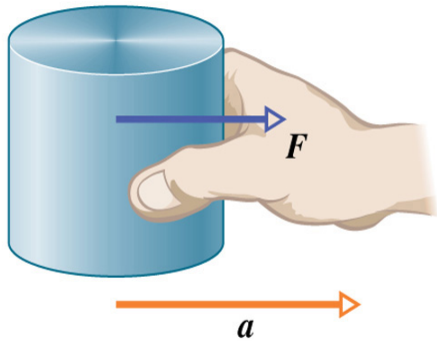
## Esempio concettuale

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

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 Forza

Dalla prima legge della dinamica apprendiamo dunque 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 apprendiamo dalla 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**.



Questa proprietà delle forze di imprimere un'accelerazione ai corpi ci suggerisce che, come l'accelerazione, anche la forza sia una grandezza vettoriale. E in effetti le cose stanno proprio così, in quanto una forza ha effetti diversi se esercitata in direzioni diverse. Dunque **la forza è un vettore**, dotato di modulo, direzione e verso, e possiamo rappresentarla con una freccia la cui direzione sarà quella della spinta o della trazione esercitata e la cui lunghezza sarà proporzionale al modulo della forza stessa.

Un modo per misurare il modulo (o l'intensità) di una forza è 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. Anticipiamo che l'unità di misura dell'intensità di una forza nel Sistema Internazionale (SI) è il **Newton (N)**, che definiremo più avanti.

