LE FORZE

Dipartimento di Fisica e Geologia
Sezione INFN
Perugia

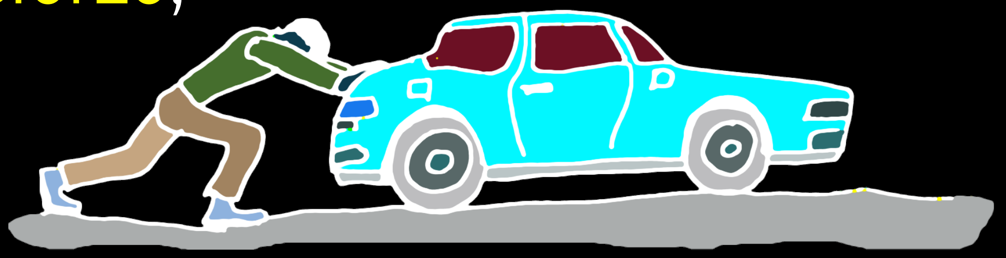
INFN

aggiornamenti
laboratorio di didattica della scienza

Simone Pacetti - 4 dicembre 2019

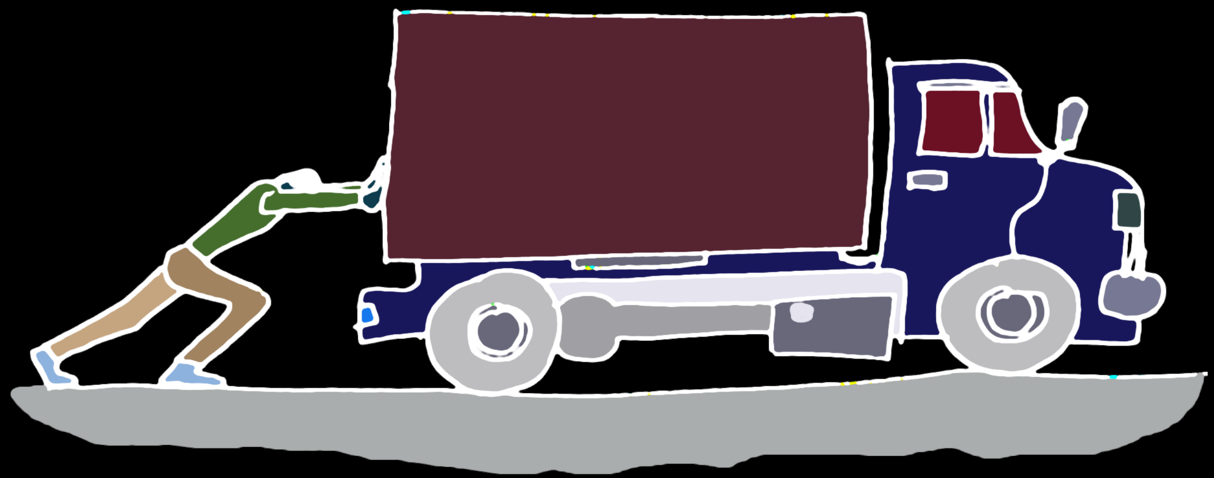
L'ESPERIENZA QUOTIDIANA

Per mettere in moto un oggetto è necessario uno sforzo, ovvero è necessario esercitare una forza.



Allo sforzo è associata un'azione muscolare di intensità diversa a seconda dell'oggetto che si intenda muovere.

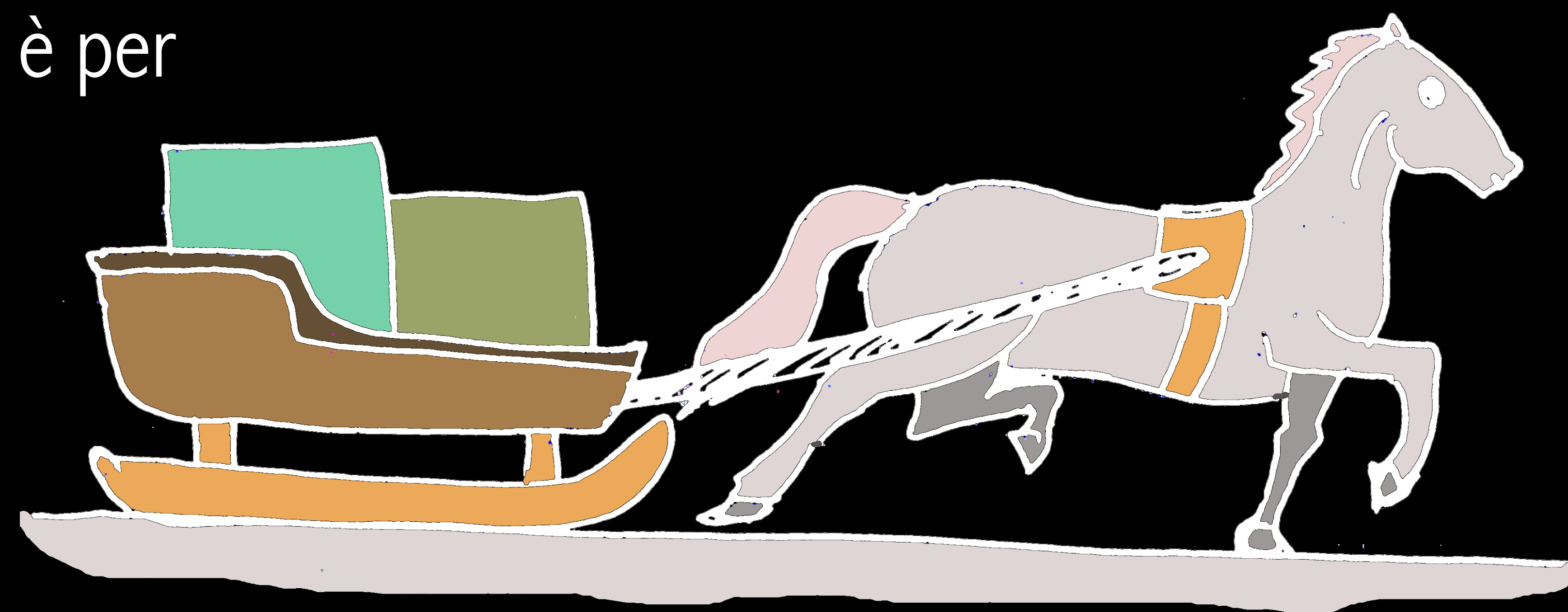
Tanto maggiore è la quantità di materia di cui l'oggetto è costituito tanto più intenso sarà lo sforzo necessario per metterlo in movimento.



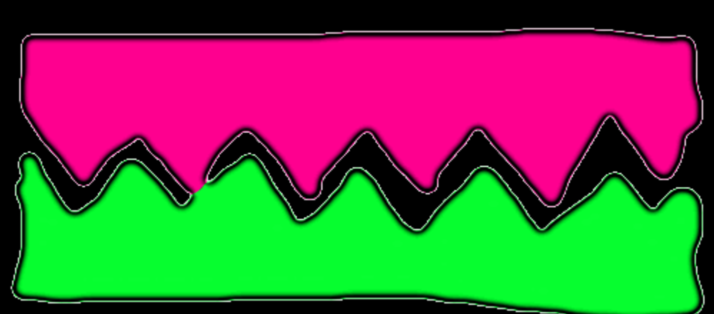
Si osserva, inoltre, che per mantenere in moto un oggetto serve una sforzo inferiore a quello necessario per dare inizio allo moto stesso.

Antiche convinzioni

Alla luce di queste esperienze si è per lungo tempo pensato che fosse necessario uno sforzo costante per mantenere in moto a velocità costante un oggetto.



Ciò non spiega perché, sia per dare avvio al moto, che per farlo terminare, frenando l'oggetto, sia necessario uno sforzo maggiore di quello atto a mantenere il moto.

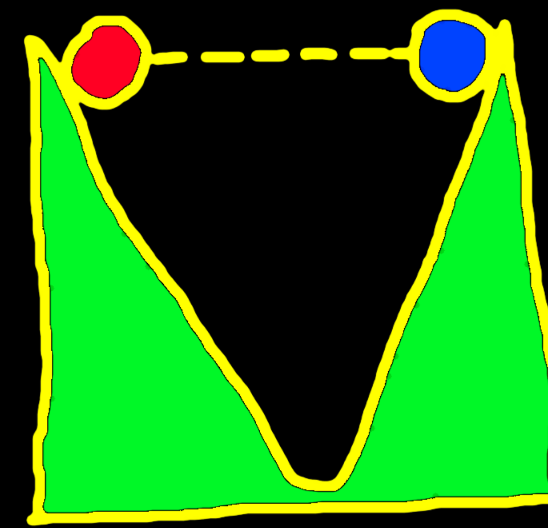


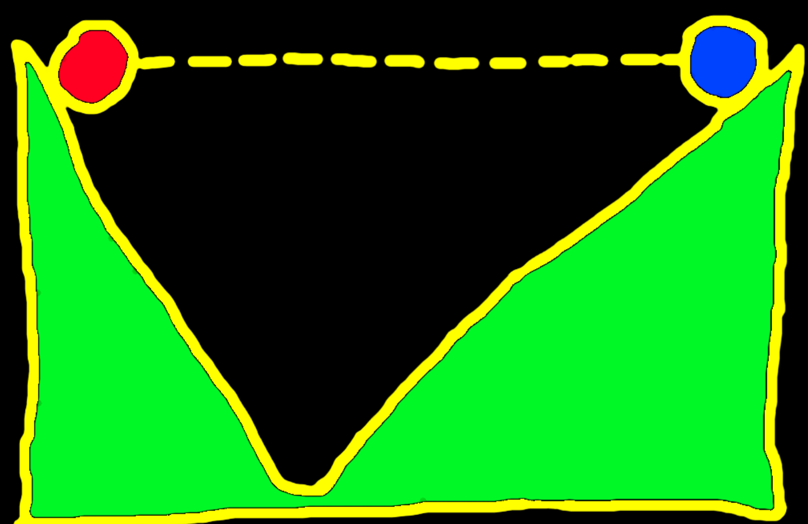
La spiegazione fisica di queste esperienze si rifà alla compresenza di più attori, ovvero di più enti che esercitano altrettante forze sullo stesso oggetto e al fatto che il moto che ne consegue sia l'effetto complessivo di queste molteplici azioni.

Simone Pacetti - 4 dicembre 2019

I PIANI DI GALILEO GALILEI

Galileo osservò che una pallina lasciata andare da una certa altezza, lungo il primo piano inclinato, risaliva il secondo fino a fermarsi ad una altezza pari a quella di partenza. In realtà l'altezza finale era leggermente inferiore a quella iniziale. La differenza è dovuta alle forze di attrito e quindi alla dissipazione in calore di parte dell'energia potenziale iniziale.



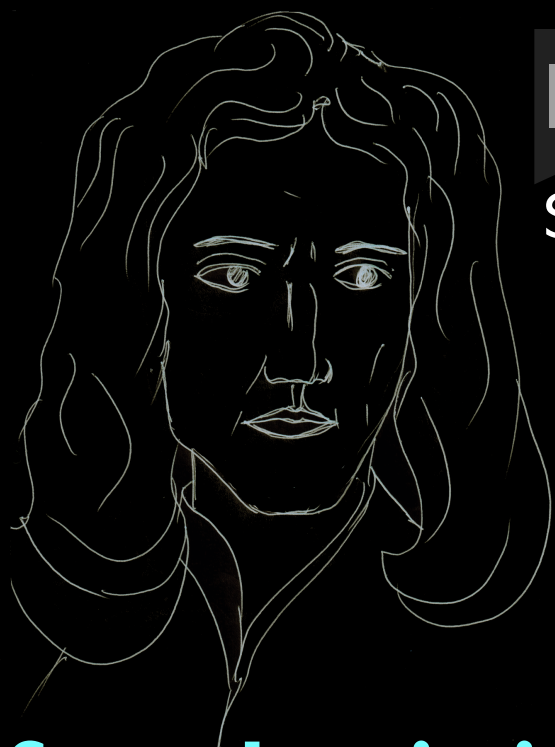


Galileo provò che la risalita completa lungo il secondo piano inclinato si verificava sempre indipendentemente dalla pendenza e quindi dalla lunghezza del secondo piano inclinato.

"Estrapolando" al caso ideale in cui la pendenza del secondo piano inclinato tendesse a zero e quindi la sua lunghezza diventasse infinita, la pallina, in assenza di attrito, tenderebbe a "risalire" fino all'infinito, mantenendo perpetuamente il suo stato di moto e, in particolare, una velocità costante.

Simone Pacetti - 4 dicembre 2019

Le leggi della dinamica di Newton



Isaac Newton concepì le leggi della dinamica basandosi sulle esperienze e sul lavoro di Galileo Galilei.

Primo principio della dinamica

Un corpo soggetto ad una forza risultante nulla mantiene lo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme.

Secondo principio della dinamica

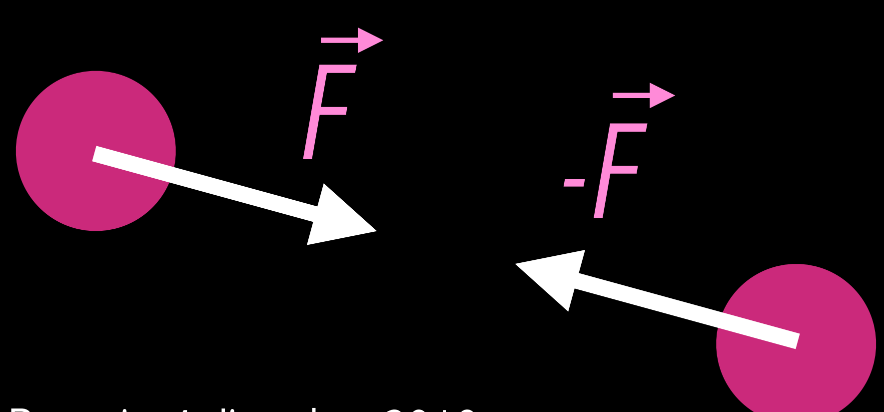
Un corpo soggetto ad una forza risultante non nulla subisce una variazione della velocità orientata nella stessa direzione e nello stesso verso della forza risultante e di intensità proporzionale.

forza risultante (vettore)

accelerazione (vettore)

$$\vec{F} = m\,\vec{a}$$

massa (scalare)

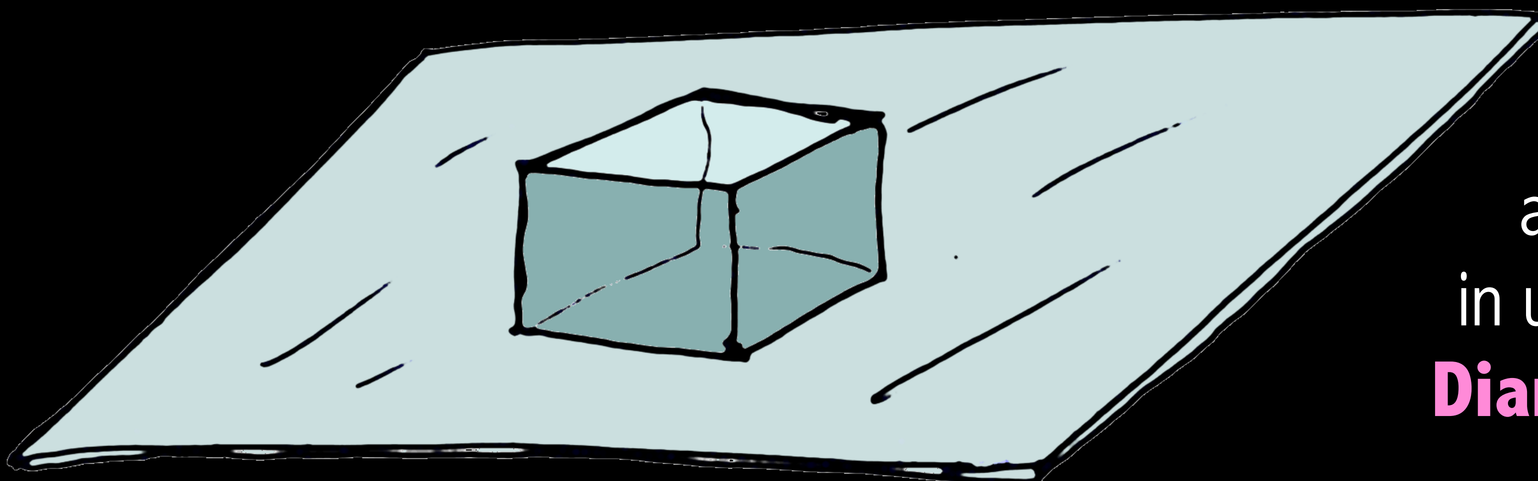


Terzo principio della dinamica

Ad ogni azione corrisponde una reazione di uguali intensità e direzione ma di verso opposto.

Simone Pacetti - 4 dicembre 2019

Il ghiaccio sul vetro

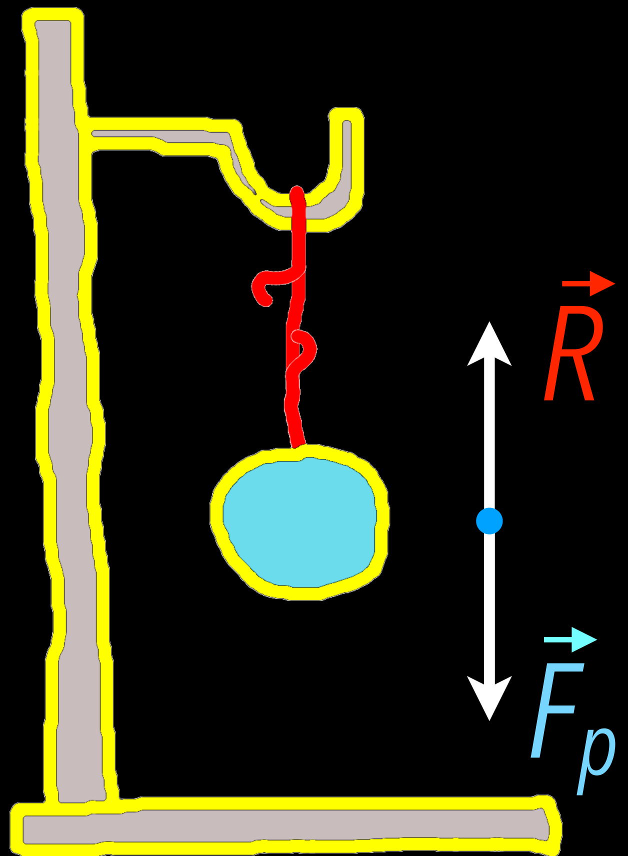


Un blocco di ghiaccio poggiato su una ampia lastra di vetro (idealmente infinita), in una situazione di totale assenza di attrito.
Diamo una spinta al blocco di ghiaccio.

- Cosa fa il blocco di ghiaccio?
- Cosa si deve fare affinché il blocco continui ad accelerare?
- C’è una intensità minima della forza necessaria per mettere in moto il blocco?
- Come si fa per fermare (frenare) il blocco?
- Cose accadrebbe se applicassimo sul blocco, nello stesso punto, due forze della stessa intensità, nella stessa direzione, ma in versi opposti?
- E se le forze non avessero la stessa intensità?
- Come potremmo cambiare la direzione del moto del blocco una volta che lo stesso fosse già in movimento?

Simone Pacetti - 4 dicembre 2019

DEFINIZIONE STATICA DELLA FORZA



Il corpo è fermo, non accelera e quindi le forze cui è soggetto sono in equilibrio, hanno cioè risultante nulla.

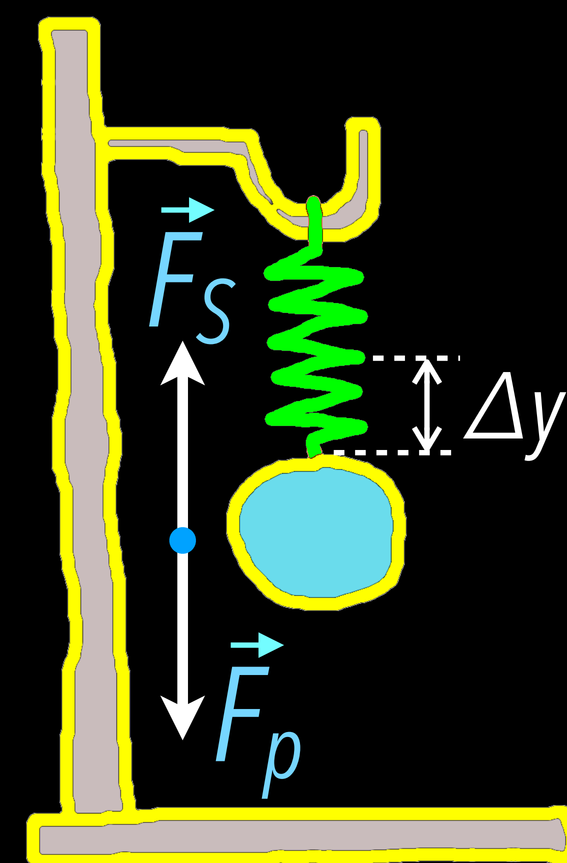
Se tagliassimo il filo, il corpo cadrebbe, accelerando verso il basso per effetto della forza di gravità.

Si deduce che il filo esercitava sul corpo una forza uguale in intensità e direzione alla forza peso ma diretta nel verso opposto, in modo tale da dare una risultante nulla.

Sostituiamo il filo con una molla, la forza peso agisce sul sistema molla-corpo e si raggiunge una condizione equilibrio caratterizzata da un allungamento Δy della molla.

Agganciando alla molla metà del corpo, la condizione di equilibrio sarebbe raggiunta con un allungamento $\Delta y/2$.

L'allungamento della molla è proporzionale alla forza peso.
Si ha uno strumento di misura della forza.



Simone Pacetti - 4 dicembre 2019

Il secondo principio della dinamica

$$\vec{F} = m\,\vec{a}$$

Questa equazione sancisce la proporzionalità tra la forza $\vec{F}$, risultante di quelle agenti su un corpo e la sua accelerazione $\vec{a}$, è un'equazione vettoriale.

Nello spazio tridimensionale corrisponde a tre equazioni scalari indipendenti.

$$\begin{cases} F_x = m\,a_x \\ F_y = m\,a_y \\ F_z = m\,a_z \end{cases}$$

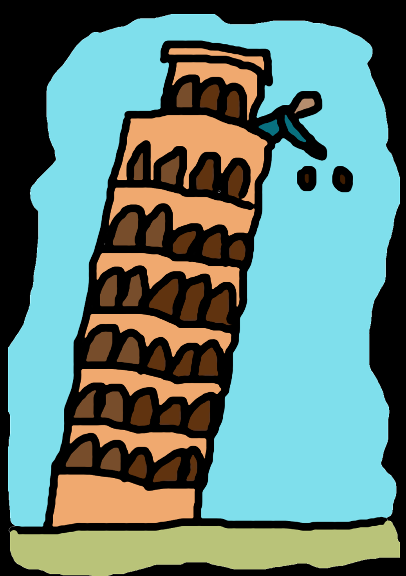
Se il corpo è vincolato sul piano *xy*, la componente *z* può essere trascurata, il vincolo impone $F_z = a_z = 0$.

Dall'equazione del secondo principio della dinamica si ottiene l'unità di misura dell'intensità della forza. Si chiama Newton, ha simbolo "N".

$$1\ \mathrm{N} = 1\ \mathrm{kg}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$$

L'ACCELERAZIONE DI GRAVITÀ

Galileo osservò che gli oggetti in caduta libera hanno la stessa accelerazione, indipendentemente dalla loro massa.
Da ciò si evince che la forza di gravità è proporzionale alla massa.

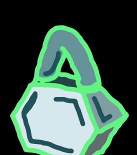


Il rapporto costante tra l'intensità della forza gravitazionale e la massa dà l'intensità della accelerazione di gravità.

$$g = \frac{F_p}{m} \simeq 9{,}8\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$$

Il peso è una forza e deve essere espresso in Newton.

Un corpo che ha una massa di un chilogrammo pesa circa 9,8 Newton.



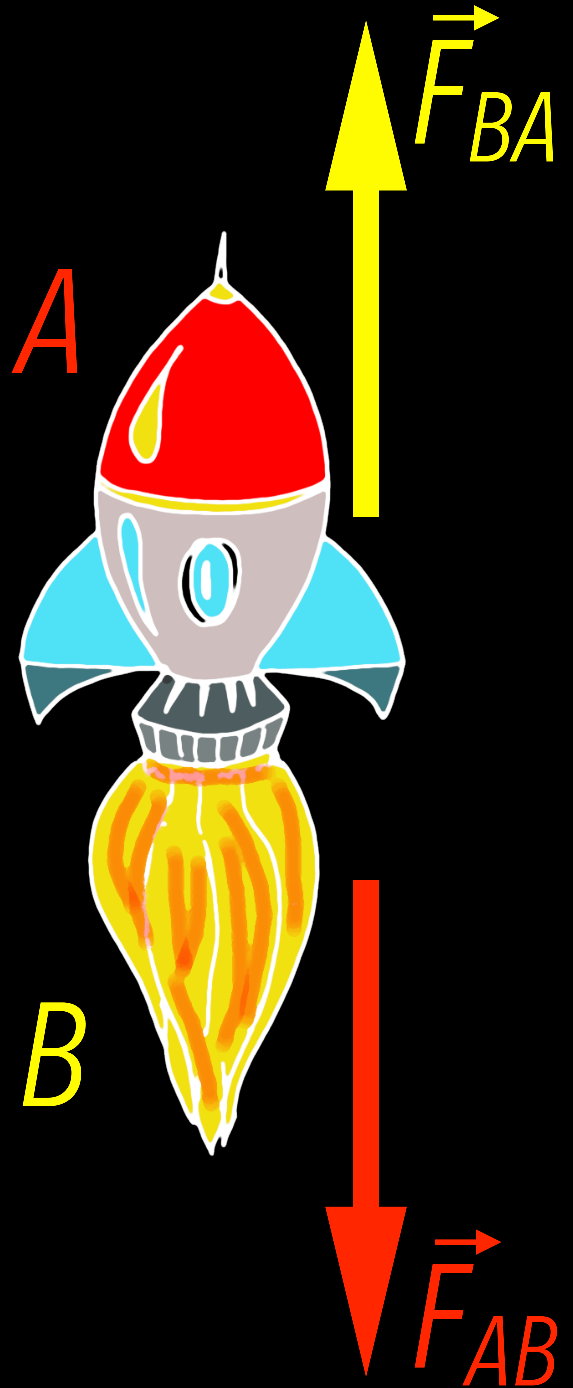
Un chilogrammo peso $\mathrm{kg_p}$ o forza $\mathrm{kg_f}$ è l'intensità della forza gravitazionale cui è soggetta una massa di un chilogrammo.

$$1\ \mathrm{kg_p} = 1\ \mathrm{kg_f} \simeq 9{,}8\ \mathrm{N}$$

IL TERZO PRINCIPIO DELLA DINAMICA

Una forza è l'effetto di una **interazione** tra due corpi.

Ci sono due classi forze le **forze di contatto** e le **forze a distanza**.



Dati due corpi A e B interagenti, sia $\vec{F}_{AB}$ la forza esercitata da A su B e $\vec{F}_{BA}$ quella esercitata da B su A allora

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

Agendo su corpi diversi le due forze **non sono in equilibrio.**

Le intensità delle accelerazioni dei due corpi, a_A e a_B, sono **inversamente proporzionali** alle loro masse m_A e m_B

$$\frac{a_A}{a_B} = \frac{m_B}{m_A}$$

Simone Pacetti - 4 dicembre 2019

PRIMA ESPERIENZA ▸ TARATURA DI UNA MOLLA

Materiali

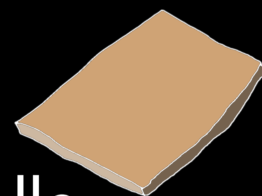
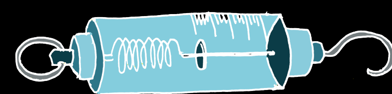
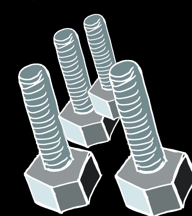
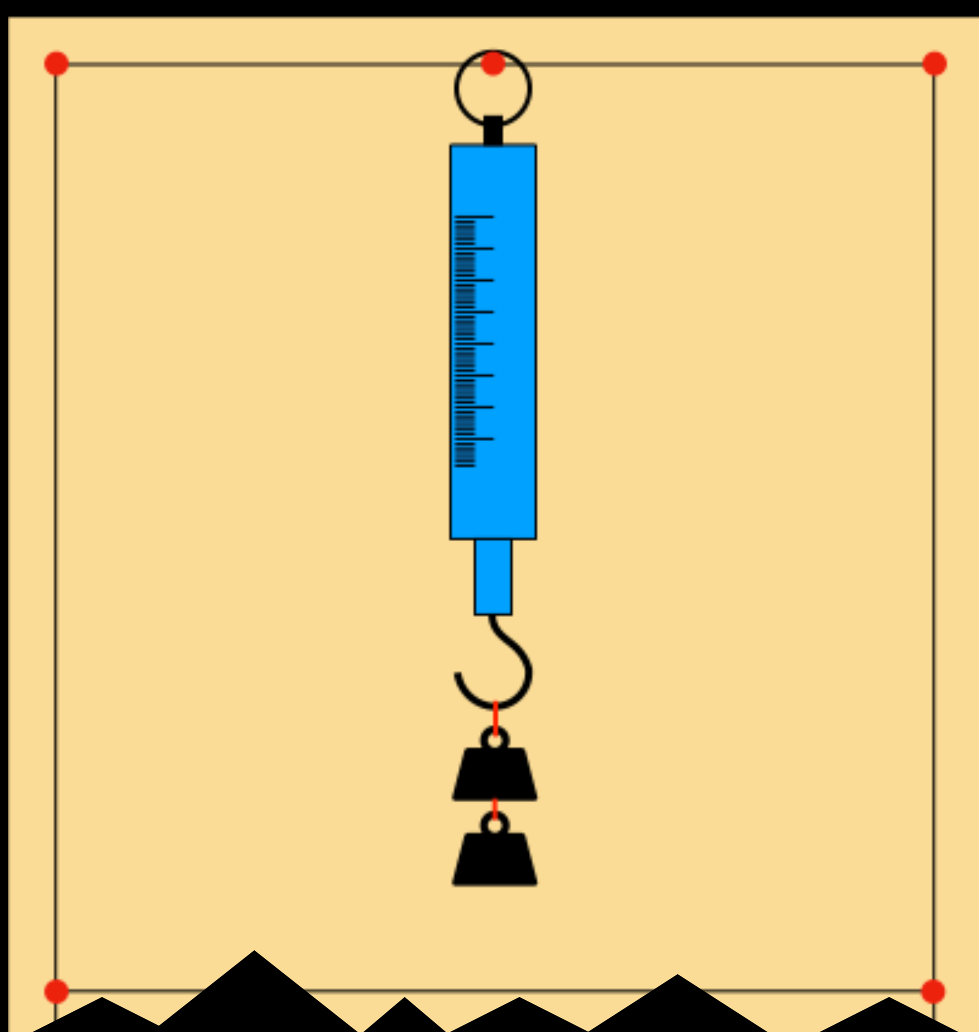


Tavola o supporto molla

Un dinamometro 

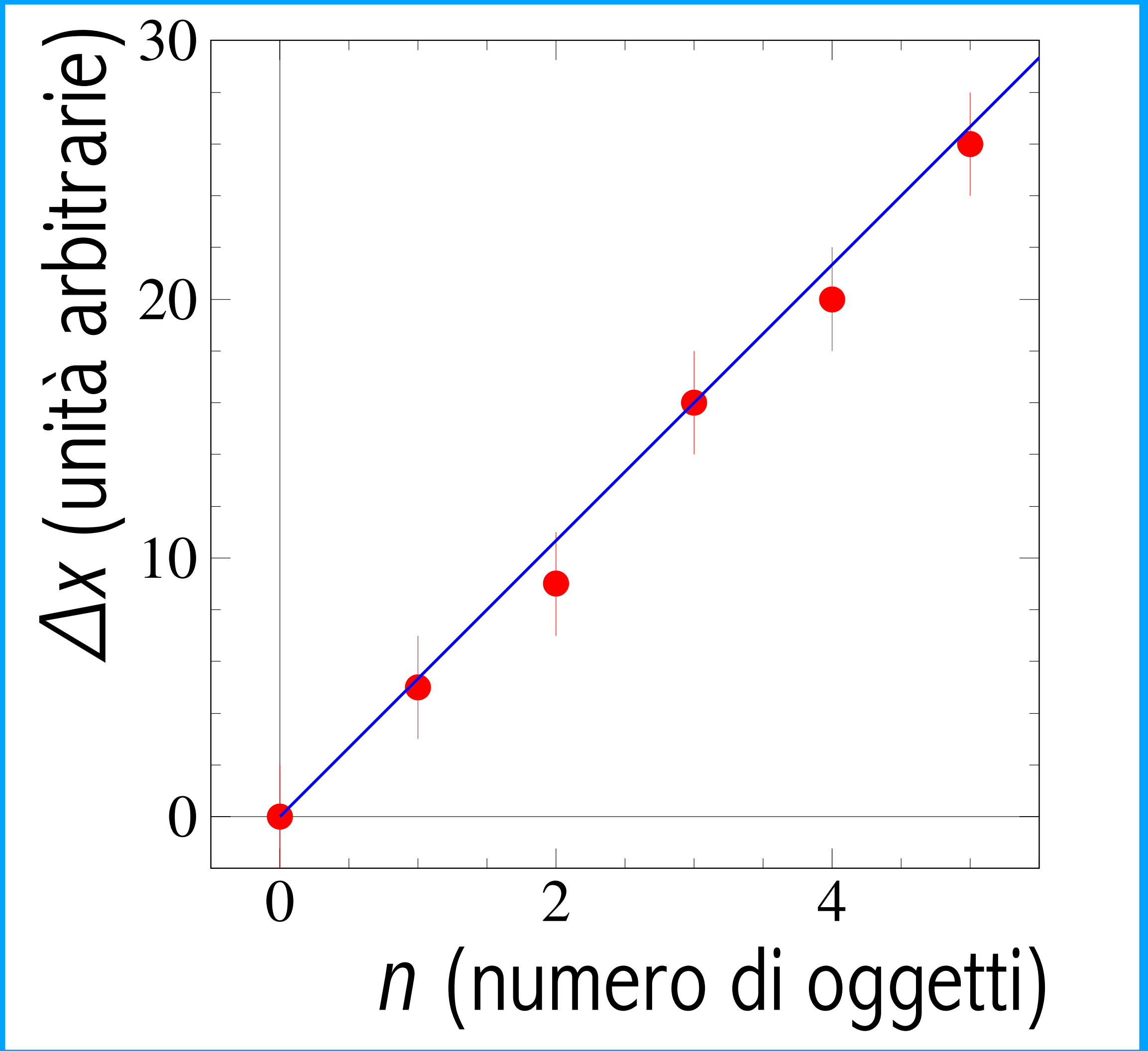
Più oggetti di massa uguale 



Procedimento

- Fissare il dinamometro al supporto.
- Verificare che ciascun oggetto appeso al dinamometro determini lo **stesso allungamento**.
- Misurare 5 o più allungamenti corrispondenti all'aggiunta in **successione** degli oggetti.
- Rappresentare i valori ottenuti su un grafico con il numero di oggetti n in ascissa e l'allungamento Δx in ordinata, **verificandone l'allineamento**.

Rappresentazione dei dati



Allungamento	Numero di oggetti
$\Delta x_0 \pm \delta\Delta x_0$	$n = 0$
$\Delta x_1 \pm \delta\Delta x_1$	$n = 1$
$\Delta x_2 \pm \delta\Delta x_2$	$n = 2$
$\Delta x_3 \pm \delta\Delta x_3$	$n = 3$
$\Delta x_4 \pm \delta\Delta x_4$	$n = 4$
$\Delta x_5 \pm \delta\Delta x_5$	$n = 5$

Si verifica l'allineamento tracciando una retta che **intersechi nel miglior modo possibile le barre di errore**, ovvero le intersechi **minimizzando la distanza con i valori centrali**.

SECONDA ESPERIENZA ▶ NATURA VETTORIALE DELLA FORZA

Materiali

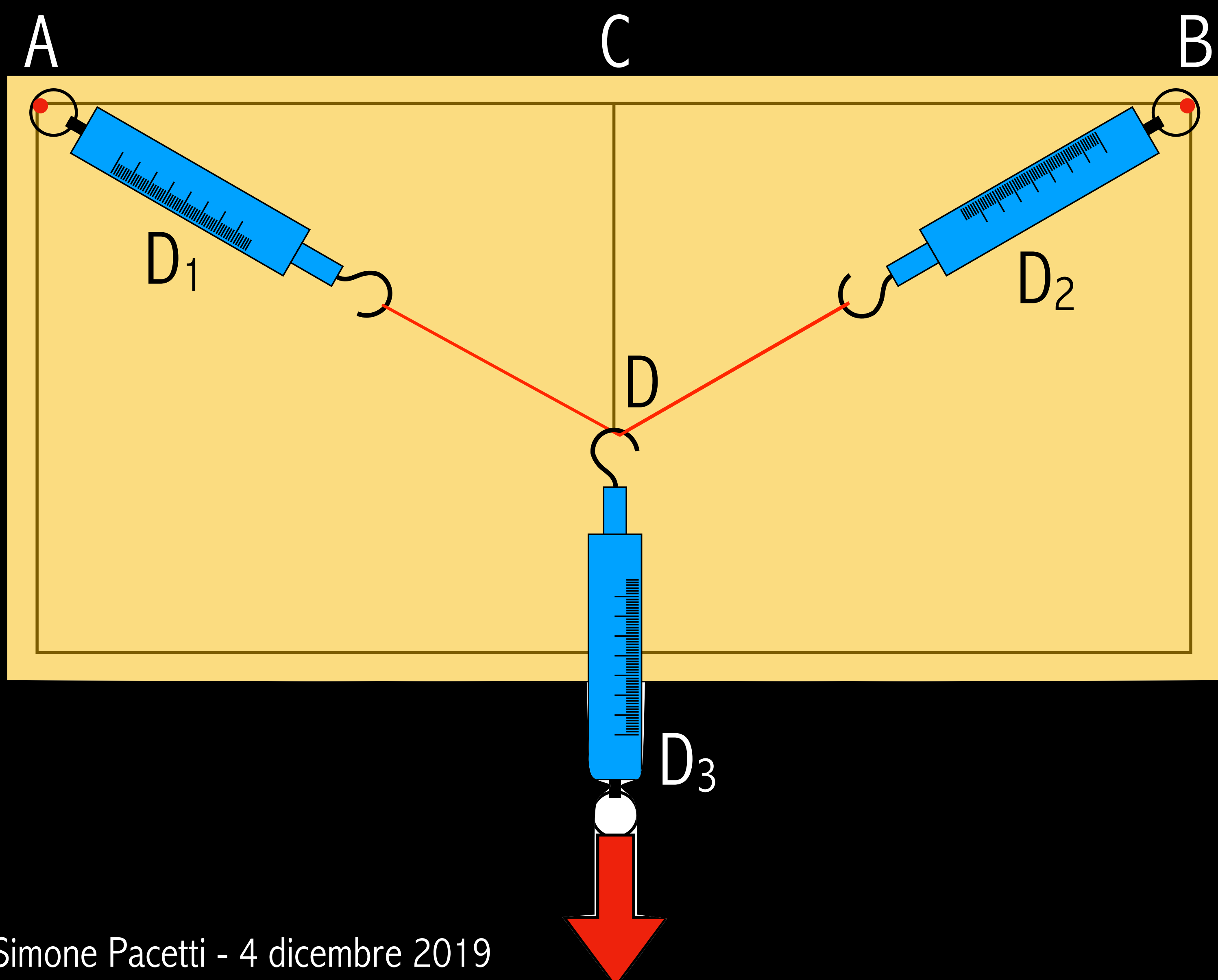
Tavola di supporto

Tre dinamometri

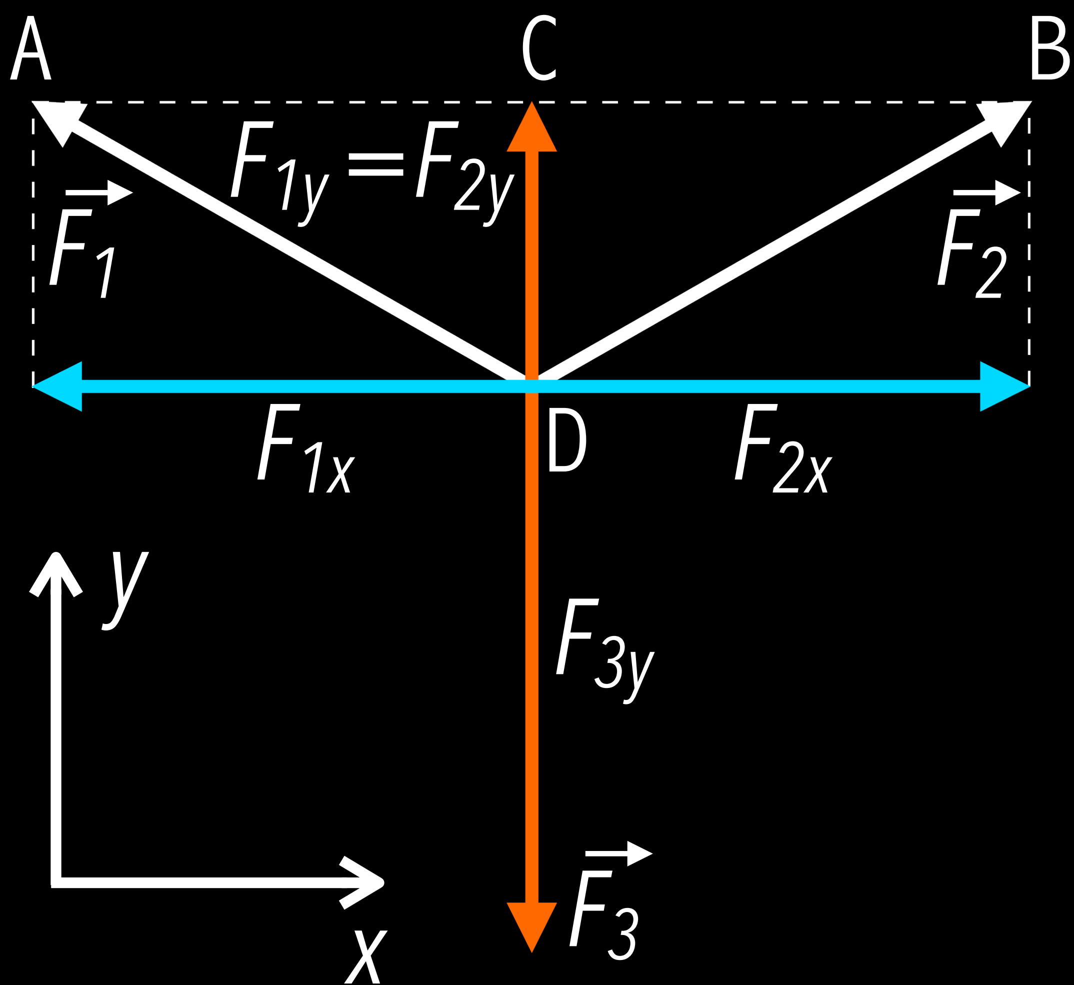
Filo da pesca

Procedimento

- Fissare i dinamometri D_1 e D_2 agli estremi del lato lungo della tavola e collegarli con un filo.
- Agganciare al filo il dinamometro D_3, e tirarlo lungo la direzione passante per i punti C e D mantenendolo sul piano della tavola, fino a tendere il filo.
- All'equilibrio si leggono le misure dei tre dinamometri: $(F_1 \pm \delta F_1)$, $(F_2 \pm \delta F_2)$ e $(F_3 \pm \delta F_3)$, segnando il punto angolare del filo, D, lungo la mediana al segmento AB.



Seconda esperienza ▶ Le forze in gioco



Le tre forze $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ e $\vec{F}_3$, applicate nel punto D hanno **risultante nulla** in quanto il punto non accelera (I principio della dinamica).

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = 0 \quad \blacktriangleright \quad \begin{cases} F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} = 0 \\ F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} = 0 \\ F_{1z} = F_{2z} = F_{3z} = 0 \end{cases}$$

Le intensità $F_j^2 = F_{jx}^2 + F_{jy}^2 \quad j = 1,2$

$$F_{1x} = -\frac{AC}{\sqrt{AC^2 + CD^2}} F_1$$

$$F_{1y} = \frac{CD}{\sqrt{AC^2 + CD^2}} F_1$$

$$F_{2x} = \frac{AC}{\sqrt{AC^2 + CD^2}} F_2$$

$$F_{2y} = \frac{CD}{\sqrt{AC^2 + CD^2}} F_2$$

$$F_{3x} = 0$$

$$F_{3y} = -F_3$$

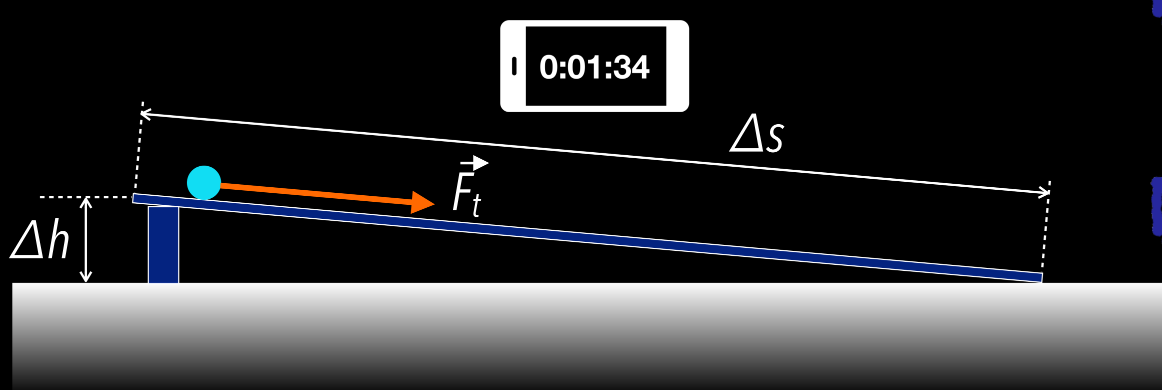
TERZA ESPERIENZA ▸ IL PIANO INCLINATO

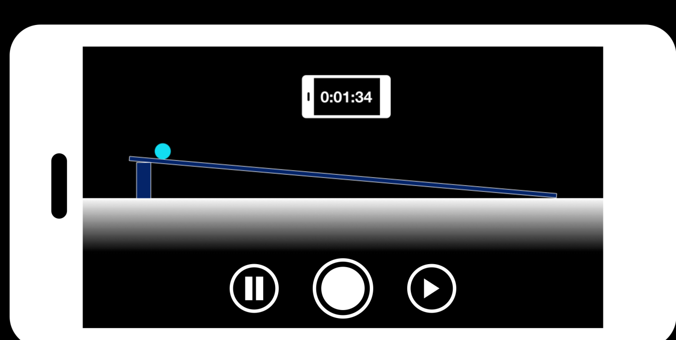
Materiali

- Tavola di supporto
- Una o più palline
- Due smartofoni

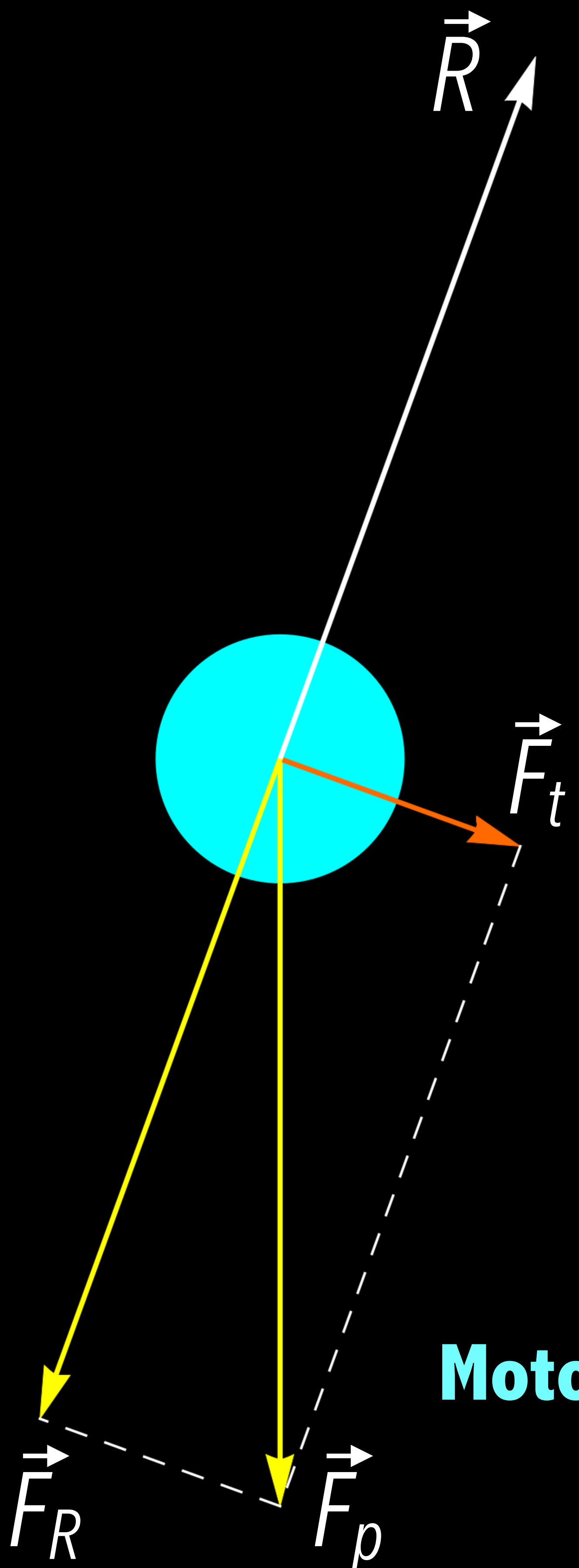
Procedimento

- ☑ Solleviamo un'estremità della tavola in modo da determinare un **dislivello** Δh.
- ☑ In prossimità della tavola posizioniamo il primo smartofono con il cronometro già in funzione.
- ☑ Poggiamo nel punto più alto la pallina e la lasciamo rotolare lungo la tavola.
- ☑ Riprendiamo con il secondo smartofono, il moto della pallina e il primo smartofono con il cronometro che scorre.
- ☑ **Dal filmato** otteniamo la lettura sia dell'istante iniziale, in cui la pallina è lasciata andare, che quello finale in cui la pallina raggiunge il punto più basso.





TERZA ESPERIENZA — LA MISURA DI *g*



Sulla pallina agiscono la **forza peso** $\vec{F}_p$ e la **reazione vincolare** del piano $\vec{R}$.

$$\vec{R} + \vec{F}_R = 0$$

La variazione della velocità avviene solo nella direzione parallela alla tavola.

La risultante delle forze agenti è la componente della forza peso **tangente alla tavola**.

$$\vec{R} + \vec{F}_p = \vec{F}_t = m\,\vec{a}$$

$$F_t = \frac{\Delta h}{\Delta s} F_p = \frac{\Delta h}{\Delta s} mg$$

L'intensità della componente tangente.

Moto uniformemente accelerato

$$a = \frac{\Delta h}{\Delta s} g = \frac{2\,\Delta s}{\Delta t^2}$$

$$g = \frac{2\,\Delta s^2}{\Delta h\,\Delta t^2}$$

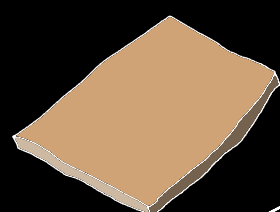
Quarta esperienza – Il pendolo semplice

Procedimento

- Assemblare il pendolo collegando la sferetta al supporto tramite il filo.
- Allontanare la sferetta dalla posizione di equilibrio mantenendo il filo teso e un angolo di apertura non più grande di 10º.
- Lasciare andare la sferetta.
- Il periodo T, oggetto della misura, è l'intervallo di tempo in cui il pendolo compie un ciclo completo.
- Per ridurre le incertezze sulla misura del periodo, è utile misurare una sequenza di più periodi successivi.

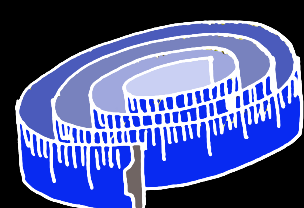
Materiali

Tavola o supporto



Filo da pesca

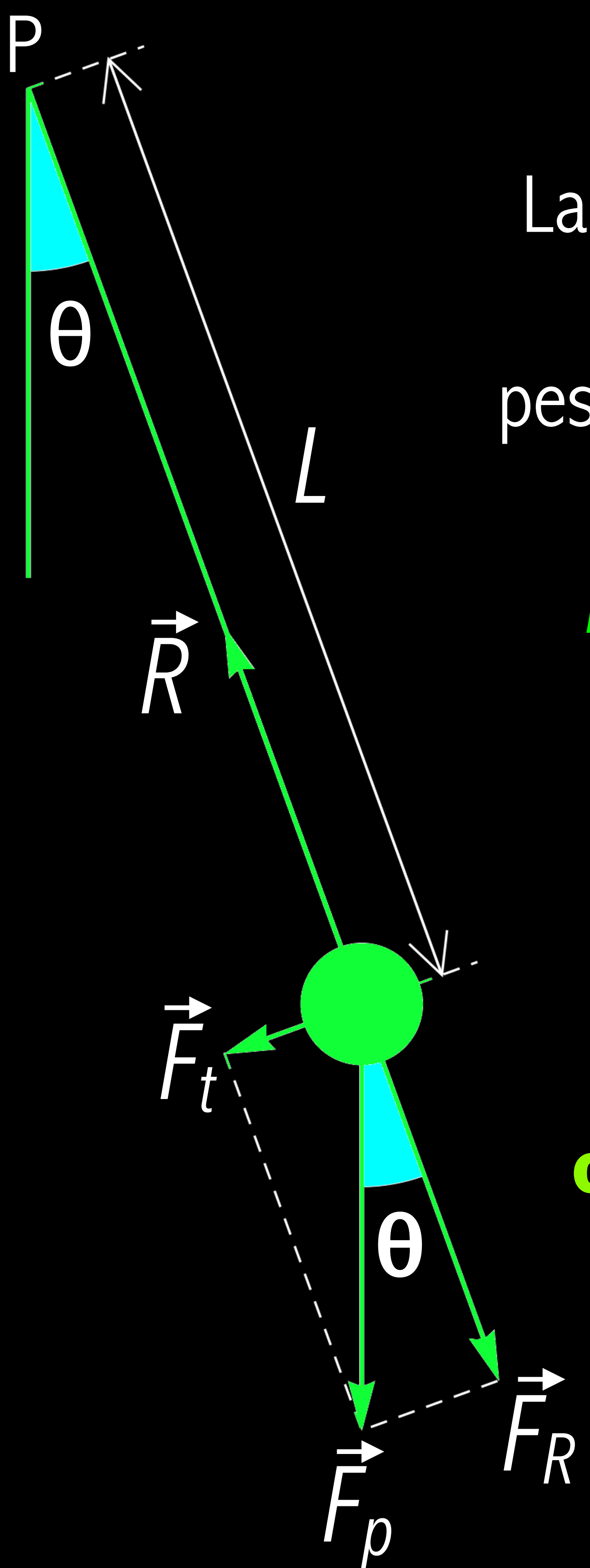
Un metro



Uno smartofono

QUARTA ESPERIENZA

LA MISURA DI g



La risultante delle forze agenti è la componente della forza peso **perpendicolare al filo**.

$$\vec{R} + \vec{F}_p = \vec{F}_t = m\,\vec{a}$$

Intensità della componente perpendicolare al filo nel limite delle **piccole oscillazioni**.

$$F_t \simeq m\,g\,\theta$$

Il pendolo semplice, nel limite **delle piccole oscillazioni**, è un **oscillatore armonico**.

Il moto è determinato da una forza di richiamo **proporzionale allo spostamento** dalla posizione di equilibrio.

Il periodo non dipende dalla massa.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \quad \Rightarrow \quad g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$$

Buona Fisica

INFN aggiornamenti
laboratorio di didattica della scienza