

PERCHE' LEGGERE PRIMA DEL WORKSHOP?

Obiettivo di apprendimento pedagogico:

L'obiettivo del workshop è quello di farvi provare in prima persona il *ciclo di apprendimento* tipico che utilizziamo nelle lezioni di Fisica I e Fisica II al MIT. La struttura del ciclo di apprendimento può essere facilmente adattata, sia che insegniate fisica o qualsiasi altra materia, a qualsiasi livello scolastico.

Prima di iniziare un nuovo argomento in classe, gli alunni leggono materiale (testo, video, simulazioni) introduttivo fornito in precedenza, inframmezzato con qualche domanda concettuale e qualche breve problema (*lezione capovolta*).

Ho scelto di seguito l'argomento del moto circolare perché è legato all'esperienza quotidiana di tutti, ma è spesso fonte di convinzioni errate. Spero quindi che sia accessibile e utile a tutti voi.

IL MOTO CIRCOLARE

Obiettivi di apprendimento:

- Quando un corpo è in moto circolare, deve esserci una componente della forza che punta verso il centro (forza centripeta)
- La forza centripeta risultante \vec{F}_r produce un'accelerazione di modulo $|\vec{a}_r| = \frac{v^2}{r}$

Forze come interazioni

Quando due oggetti interagiscono applicano forze uno sull'altro.

Le forze sono vettori, che si rappresentano con frecce.

Notazione: in quanto segue indichiamo con \vec{F}_{12} la forza su un oggetto "1" dovuta a un oggetto "2".

Esempi di interazioni includono:

- 1- La legge di **gravitazione universale** tra due masse m_1 e m_2 aventi distanza d . La forza ha intensità $|\vec{F}_{12}| = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$ ed è sempre attrattiva. G è la costante gravitazionale.
- 2- Quando siamo vicini alla superficie terrestre, possiamo approssimare l'interazione gravitazionale tra una massa (m) e la Terra (T) con $|\vec{F}_{mT}| = m g$, laddove $g \approx 9.8 \frac{m}{s^2} \approx 10 \frac{m}{s^2}$
- 3- La **tensione**, ovvero la forza applicata da una corda/cavo/filo su un oggetto e viceversa. La tensione è una forza di contatto. Si ricordi che una corda può solo tirare, non spingere un oggetto, ed è diretta lungo la corda stessa!
- 4- La forza di contatto tra un oggetto e una superficie. Dividiamo questa forza di contatto in due componenti – la **forza normale** (perpendicolare alla superficie) e l'**attrito** (lungo la superficie)

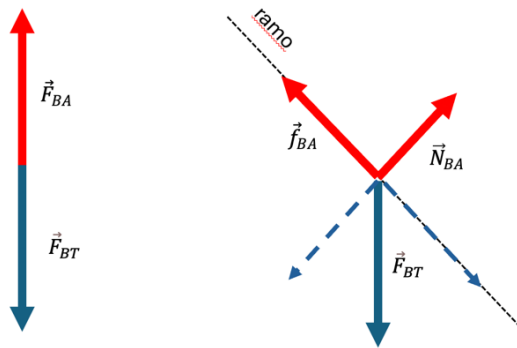
Quando iniziamo un problema di dinamica identifichiamo un sistema (un corpo) e facciamo una **lista delle interazioni** con altri corpi.

Rappresentiamo poi il corpo come un punto, e le forze con frecce che partono da quel punto. La lunghezza indica qualitativamente il modulo di una forza. Questa rappresentazione si chiama **diagramma a corpo libero** (in inglese *free body diagram* = **FBD**).

ESEMPIO: il bradipo (trattato come se fosse una massa puntiforme)



| Sistema: bradipo | | |
|----------------------------------|---|----------------|
| Interazioni | Forza | |
| Bradipo \leftrightarrow Albero | Contatto, che ha due componenti: la forza normale \vec{N}_{BA} , perpendicolare al ramo, e l'attrito statico \vec{f}_{BA} , che agisce lungo la superficie del ramo | \vec{F}_{BA} |
| Bradipo \leftrightarrow Terra | Gravitazione vicino alla Terra | \vec{F}_{BT} |



Nel FBD a sinistra l'interazione (le frecce) con l'albero \vec{F}_{BA} e con la massa terrestre \vec{F}_{BT} sono uguali e opposte; la somma delle forze (detta **forza risultante**) è quindi zero, e la velocità del bradipo non cambia. *Se il bradipo era a riposo, rimane a riposo* ($\vec{F}_{TOT} = \vec{F}_{BA} + \vec{F}_{BT} = \vec{0}$, **prima legge di Newton**).

Nel FBD a destra l'interazione \vec{F}_{BA} è sostituita dalle forze che la compongono: la forza normale \vec{N}_{BA} , perpendicolare al ramo, e l'attrito statico \vec{f}_{BA} , che agisce lungo la superficie del ramo. Le frecce tratteggiate indicano le due componenti della forza gravitazionale che bilanciano la forza normale e l'attrito.

La forza risultante cambia la velocità (seconda legge di Newton)

Se la forza risultante è diversa da zero, allora il sistema cambia velocità.

La **seconda legge di Newton** afferma infatti che la forza risultante è proporzionale all'accelerazione (derivata della velocità rispetto al tempo) e alla massa del sistema:

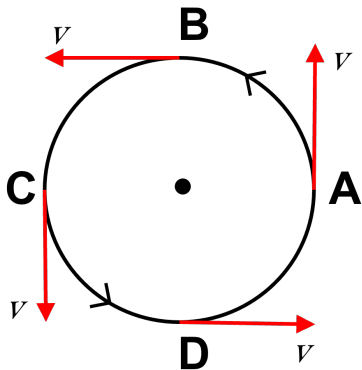
$$\vec{F}_{TOT} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$$

La forza risultante può cambiare la velocità cambiandone:

- Il modulo (in inglese *speed*)
- Oppure la direzione
- O entrambi

Moto circolare

Consideriamo un corpo in moto lungo una circonferenza. Lungo la traiettoria la velocità cambia continuamente direzione (la velocità è tangente alla circonferenza). Questo significa che ci deve essere una forza risultante sul sistema che ne cambia la velocità. Se non ci fosse questa forza, infatti, l'oggetto continuerebbe a muoversi di moto rettilineo uniforme.



Immaginate di giocare a minigolf, ma invece di mirare al buco, state cercando di condurre la palla in una traiettoria il più vicino possibile a un cerchio centrato intorno al buco (figura a sinistra). Partite colpendo la pallina in posizione A per darle velocità, ma la pallina "parte per la tangente". Continuate quindi a colpirla dall'esterno verso il centro (come in: <https://www.youtube.com/embed/kIsQIbNwtPU>). In questo gioco immaginario dovete continuare ad applicare con la mazza una forza che cambia direzione: è decisamente più difficile del normale minigolf!

Un esempio più realistico è quello di un'automobile che curva: se non ci fosse l'attrito statico con la strada l'auto procederebbe dritta, non curverebbe (osservate questa breve animazione: <https://www.youtube.com/watch?v=TahcJy1AIXI>)

Nel moto circolare la componente verso il centro della forza risultante è data da:

$$|F_r| = |m a_r| = m v^2/r = m \omega^2 r,$$

dove m è la massa del corpo in considerazione, r la distanza dal centro di rotazione, v il modulo della velocità tangenziale, ω il modulo della velocità angolare ($v = \omega r$). Questa forza, e quindi l'accelerazione, puntano verso il centro (si vedano i video opzionali per una derivazione).

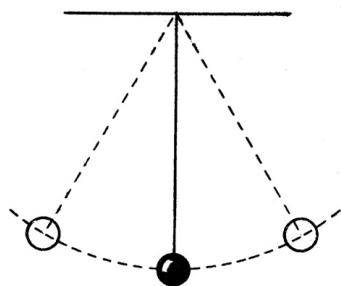
Video opzionali:

- Una spiegazione **visiva** (< 2 minuti) di posizione, velocità e accelerazione nel moto circolare: <https://www.youtube.com/watch?v=h-85rpR-mRM>
- Derivazione **analitica** di posizione e velocità (video fatto con una *lightboard* – ne parleremo!) https://www.youtube.com/watch?v=S9_Oe51XkVY
- Derivazione **analitica** dell'accelerazione: <https://www.youtube.com/watch?v=0PrwAbgoMA>

COMPITI PRIMA DELLA LEZIONE

Comunichiamo sempre agli alunni di non preoccuparsi se sono confusi o non sanno risolvere i compiti. Ricordiamo loro che fa parte del processo di apprendimento. Provano a fare del proprio meglio, e poi hanno modo di recuperare punti mandando delle riflessioni dopo che hanno visto e discusso la soluzione.

1) Domanda Concettuale: il ciondolo (un pendolo)



Cristina fa dondolare un ciondolo avanti e indietro in un piano verticale. Quando il ciondolo passa per la verticale, la tensione del filo sulla massa del pendolo, confrontata con la forza di gravità sulla massa, è:

- [a] maggiore
- [b] minore
- [c] uguale.

2) Problema: una coccinella su un disco

Una coccinella di massa m si ritrova su un disco che gira con velocità angolare ω (<https://phet.colorado.edu/en/simulations/rotation>)
La coccinella è distanza R dal centro, e non scivola.

Il valore massimo della forza di attrito statico sulla coccinella dovuto all'interazione con il disco è dato da $f_{max} = \mu_s N$ (μ_s è il coefficiente di attrito statico, dipende dai materiali). Questa relazione è ottenuta sperimentalmente: se si raggiunge questo valore la coccinella scivola.

A che valore della velocità angolare la coccinella inizia a scivolare? Esprimi il risultato in termini di, μ_s , m , g , R .

Nota 1: si considerino separatamente le forze che agiscono in verticale, e quelle che agiscono lungo il disco.

Nota 2: Questa relazione $f_{max} = \mu_s N$ è tra i moduli dell'attrito e della forza normale, le loro direzioni sono sempre perpendicolari.