Lezione V

(esempi di moti di caduta, dinamica, I,II,III legge di Newton

FRUIZIONE E UTILIZZO DEI MATERIALI DIDATTICI

- E' vietata la **copia**, la **rielaborazione**, la **riproduzione** dei contenuti e immagini presenti nelle lezioni in qualsiasi forma

- E' inoltre vietata la **diffusione**, la **redistribuzione** e la **pubblicazione** dei contenuti e immagini, incluse le registrazioni delle videolezioni con qualsiasi modalità e mezzo non autorizzati espressamente dall'autore o da Unica

Sito per reperire le slide delle lezioni

https://www.unica.it/unica/it/ateneo_s07.page

Individuare Andrea Possenti nella lista Docenti e poi cliccare su «Materiale Didattico» nel menu a destra

Sito per reperire i link alle registrazioni delle lezioni, e (in futuro) gli esiti di prove parziali e di esami

https://www.unica.it/unica/it/ateneo_s07.page

Individuare Andrea Possenti nella lista Docenti e poi cliccare su «Avvisi» nel menu a destra

Libro di testo:

Le lezioni e le esercitazioni, nonché il flusso degli argomenti del programma, si ispirano prevalentemente ad un testo che ormai è diventato un classico:

Halliday & Resnick

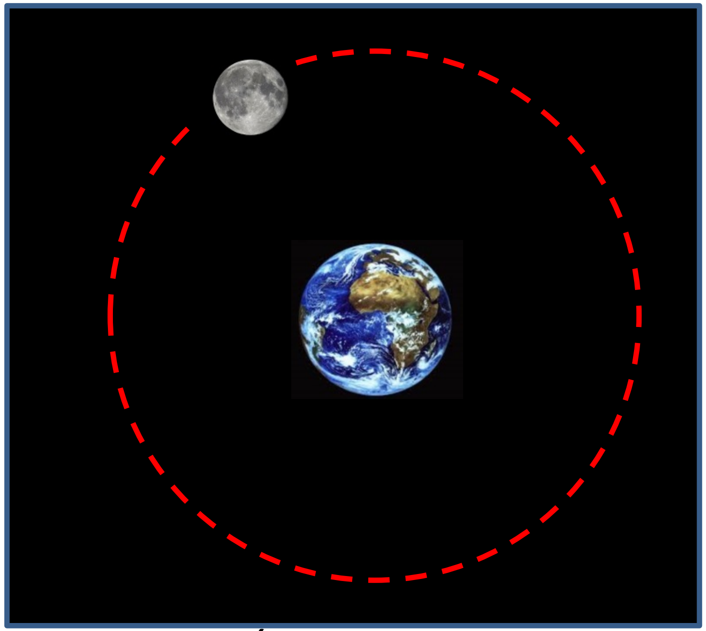
FONDAMENTI DI FISICA I: MECCANICA, ONDE, TERMODINAMICA

Per studenti di Fisica e Ingegneria

L'ultima edizione è la VII Edizione ma sono ok anche edizioni precedenti

Esempio 4

La Luna gira intorno alla Terra facendo un giro completo in 27,3 giorni. Si assuma che l'orbita sia circolare e che abbia un raggio di 385000 km. Qual è il modulo dell'accelerazione della Luna verso la Terra ?



Trasformiamo prima i dati in Unità SI:

r = 385000 km = 385,000 x 10^6 m

Il periodo T di rivoluzione è:

T = 27,3 giorni = 23,6 x 10^5 s

La velocità della Luna (in modulo) che supporremo costante é:

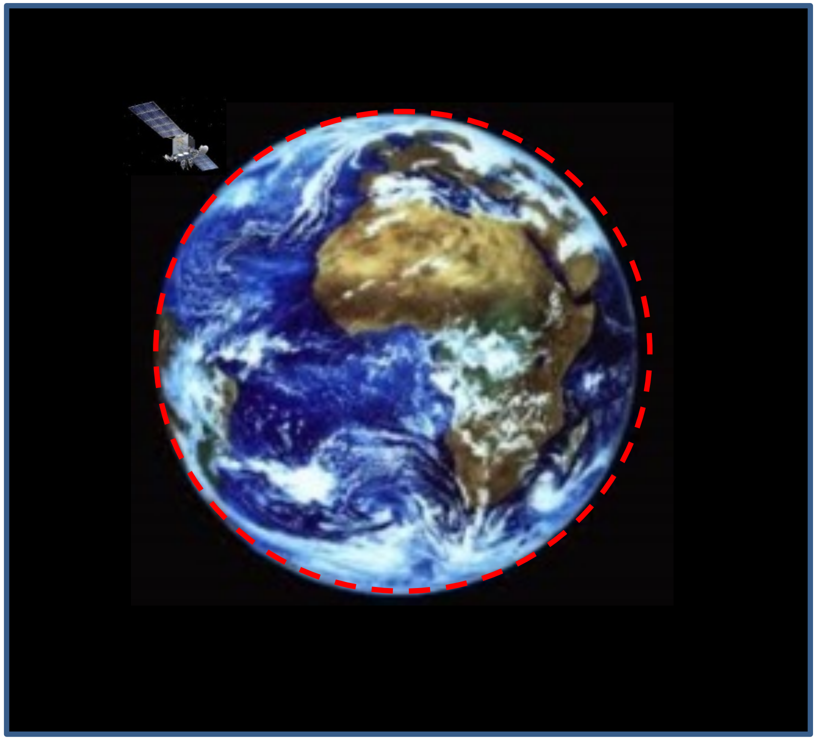
$$v = 2\pi r / T = 1{,}02 \times 10^3 \text{ m/s}$$

L'accelerazione centripeta è pertanto: $a = v^2/r$ = 0,00273 m/s^2

Ovvero: $2{,}79 \times 10^{-4}\, g$ (g = accelerazione gravità alla superficie terrestre)

Esempio 5

Si consideri un satellite artificiale che orbita attorno alla Terra e si supponga per semplicità che esso viaggi proprio sopra la superfice terrestre. **Quesito:** Si calcoli il modulo della velocità v del satellite, assumendo un raggio della Terra R = 6700 km



Sulla superfice terrestre l'accelerazione di gravità vale: g = -9,80 m/s^2 ed è questa l'accelerazione che fa muovere il satellite di moto circolare, è cioè la sua accelerazione centripeta.   Da cui $a = v^2/R \rightarrow v = (a\,R)^{1/2}$ = 8,10 x 10^3 m/s = 29,2 x 10^3 km/h

DINAMICA

Nelle lezioni precedenti abbiamo trattato il moto dei corpi, senza però occuparci delle **cause** di questo **moto**, cioè delle grandezze fisiche che lo determinano.

La DINAMICA si occupa proprio di questo

In sostanza, il problema della dinamica di un corpo (per semplicità un punto materiale) è determinare **come si muove** la particella, note le **cause** che agiscono su di essa. Con il termine ***come si muove*** si intende ***come varia nel tempo*** la sua posizione. Se per esempio il moto è unidimensionale, il problema è determinare x in funzione del tempo **cioè:**

$$x = x(\mathrm{t}).$$

Poiché le **cause** che agiscono su un corpo per determinarne il moto si manifestano, come vedremo, attraverso i cambiamenti che inducono in questo moto, è cioè inducono in generale delle **accelerazioni**, rivediamo quello che abbiamo imparato In cinematica proprio sull'accelerazione.

Abbiamo definito l'accelerazione come la rapidità con cui cambia la velocità di un corpo.
Per esempio nel caso unidimensionale (**scalare**) abbiamo definito l'accelerazione media come:

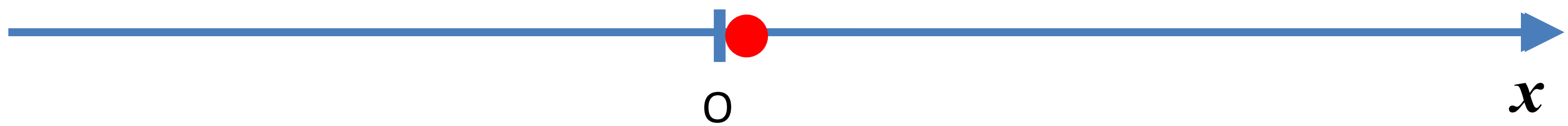
$$\overline{a} = \Delta v / \Delta t$$

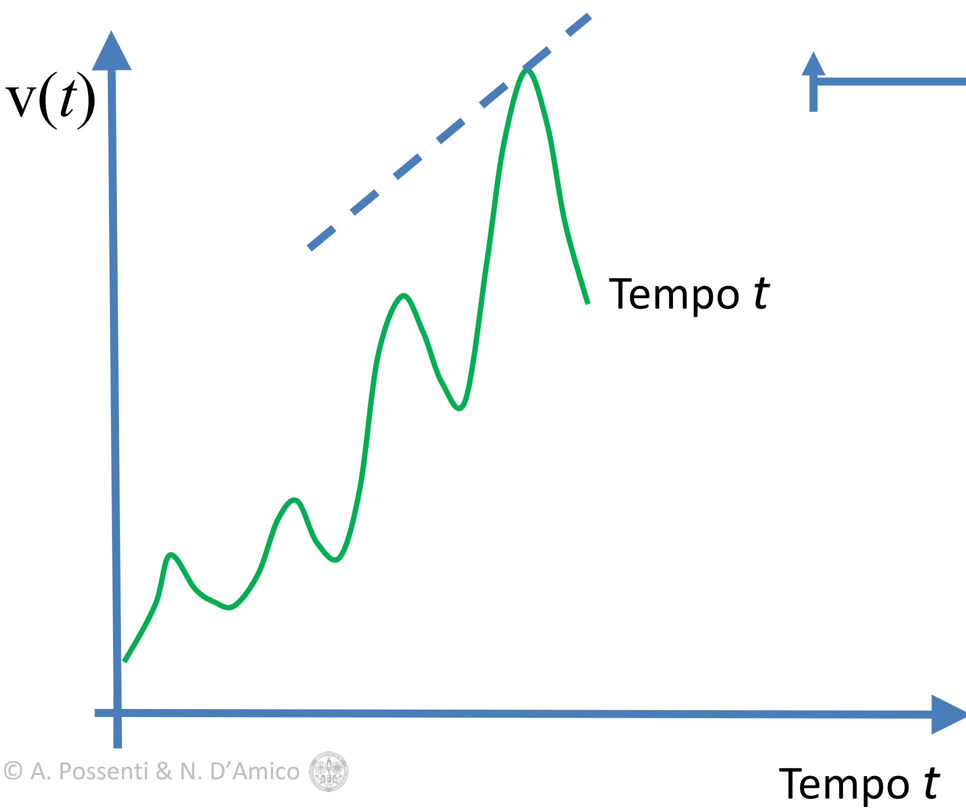
e abbiamo definito **l'accelerazione istantanea** attraverso un processo al limite che ci conduce verso il calcolo differenziale:

$$a(t) = \lim_{\Delta t \to 0} (\Delta v/\Delta t) = dv/dt \rightarrow a(t) = \text{Derivata di } v(t) \text{ rispetto al tempo}$$

E abbiamo visto che tutto ciò si può facilmente generalizzare nel formalismo **vettoriale** applicandolo alle **singole componenti lungo** gli assi di riferimento di un vettore.

Abbiamo anche visto che su base grafica il concetto di accelerazione **istantanea** $a(t)$ come derivata di $v(t)$ rispetto al tempo è abbastanza intuitivo. Se per esempio abbiamo a che fare con un punto materiale che si muove lungo una linea retta con una velocità varabile, $v(t)$:





Indicando come in figura l'andamento della funzione $v(t)$ in funzione del tempo, abbiamo visto che la sua derivata e cioè l'accelerazione $a(t)$, è in ogni istante il coefficiente angolare della tangente

Studieremo innanzitutto:

a) quelle cause (che come vedremo chiameremo **forze**) che determinano una **accelerazione costante** (che quindi sappiamo già trattare)

b) Un caso particolare sarà poi quello in cui a = ***costante = 0***. In questo caso, parleremo in sostanza del caso **statico**. (**Strano che se ne parli in Dinamica, vero**?)

Però non perdiamo di vista il fatto che quando cominceremo a trattare il caso di **cause** (**forze**) che inducono **accelerazioni variabili**, allora dovremo riprendere la trattazione del **calcolo differenziale e** degli **integrali**

Una premessa di «metodo»

Come vedremo, **definiremo** il concetto di **forza** in base ai suoi effetti **dinamici** : una forza che agisce su un corpo ne muta lo stato di moto, provoca cioè una **accelerazione**.

Posta in questi termini, ne potrebbe conseguire l'idea che una **forza** esiste solo in quanto provoca una **accelerazione**, e che quindi laddove non si osservano accelerazioni **NON** ci sono forze.

In realtà il senso comune ci dice che **forze opposte** possono **annullarsi**, ciò ovviamente **NON** vuol dire che spariscono, semplicemente i loro potenziali effetti **dinamici** (l'accelerazione) si **annullano** ma ciò non toglie che le forze sono lì che agiscono.

Ora però, poiché la **forza** come vedremo viene **definita** in base ai suoi effetti **dinamici**, per potere dare un senso fisico al concetto (e alla misura) di forze che si **annullano** ma che **sono lì**, dovremo definire anche procedure di **misure statiche** delle forze.

Da che cosa deriva questo **approccio dinamico** alla definizione di una grandezza fisica

che comunque come vedremo **esiste** anche se non manifesta i suoi effetti dinamici ?

Come ricorderete, noi abbiamo stabilito di definire le seguenti grandezze come **grandezze fondamentali:**

a) Lunghezza
b) Tempo
c) Massa

In questo approccio, la forza risulterà una **grandezza derivata da quelle fondamentali**.

Se avessimo stabilito di adottare come grandezze fondamentali le seguenti:

i) Forza
ii) Lunghezza
iii) Tempo

In questo caso, la massa sarebbe risultata come una grandezza derivata da quelle fondamentali

e questa apparente ambiguità per la definizione della forza sarebbe sparita. Vedremo meglio

questa questione non appena definiremo i sistemi di unità di misura delle forze

La I Legge di Newton

Cominciamo col chiederci: cosa determina il moto di un corpo ? Anzi cerchiamo di capire qual è lo **stato naturale di un corpo** se non intervengono queste **cause** che ne determinano il moto?

A prima vista si potrebbe giungere alla conclusione che lo stato naturale di un corpo è quando è a riposo, cioè quando è fermo. In effetti l'esperienza quotidiana ci dice che per muovere un corpo lungo un certa direzione con velocità costante, occorre qualche agente esterno che lo spinga **continuamente**.

Questo è semplicemente falso.

Eppure, se spingiamo una biglia su un tavolo fino a portarla a velocità costante e poi la lasciamo andare (lasciandola quindi libera da cause che ne determinano il moto), la biglia comincia a rallentare e poco dopo si ferma !!!

Allora riflettiamo bene su questo punto: se per **stato naturale** di un corpo intendiamo il caso in cui **NON** intervengono cause che ne determinano il moto, dobbiamo rimuovere **TUTTE** le cause, per esempio l'**attrito** fra la biglia e il tavolo!

Se ripetiamo l'esperimento con un tavolo sempre più liscio, vedremo che la biglia rallenta sempre meno. Ed è facile intuire che nel caso ideale in cui attrito → 0, la biglia **una volta** acquisita la velocita $\mathbf{V}$ e **lasciata libera**, non si ferma più.

Ed ecco da qui la formulazione della **I Legge di Newton**:

Ogni corpo persiste nel suo stato

di **quiete** o di **moto rettilineo uniforme**

finché **forze** esterne ad esso non lo costringano a mutare questo stato

Che cosa ci ricorda questa affermazione ? La cosa ci riporta a qualcosa che abbiamo già studiato è cioè **i sistemi inerziali**. A questo proposito, abbiamo imparato che:

Se un treno è in moto rettilineo uniforme, e cioè **NON** è soggetto ad alcuna **accelerazione**, non c'è nessun esperimento che possiamo fare a bordo che ci dia informazioni sulla velocità del treno. E infatti, l'unica informazione che abbiamo sul fatto che il treno è in moto, ci viene dal panorama che osserviamo dai finestrini. Se li chiudiamo, noi a tutti gli effetti NON possiamo affermare se il treno è fermo o è in moto.

Quindi, in sostanza in natura **lo stato di *quiete*** ($v=0$) e lo stato di **moto rettilineo uniforme** (***v = costante***) hanno qualcosa in comune:

a) Lo stato permane in eterno, finché non intervengono cause esterne

b) Non ci sono esperimenti che possiamo condurre all'interno del sistema in questo stato che ci diano informazioni sulla sua velocità.

Il fatto che un corpo, una volta messo in movimento e lasciato **libero** (quindi in assenza di **forze** applicate) permanga nel suo stato di moto rettilineo uniforme è spesso descritto assegnando alla materia una proprietà definita **inerzia**, di cui la **massa** è la misura quantitativa. **(Principio di inerzia, già preannunciato da Galileo).**

In tutto questo, abbiamo parlato di **forze** senza ancora darne una definizione. In effetti potremmo utilizzare questa I Legge di Newton come definizione di forza: che sarebbe quindi definita come la **causa del mutamento** del moto dal suo stato naturale di quiete o di moto rettilineo uniforme, cioè la **causa dell'accelerazione.**

Tuttavia, a noi interessa darne una definizione quantitativa e vedremo adesso come.

La forza

Partiamo dal concetto già enunciato affermando che per **forza** intendiamo **la causa dell'accelerazione**.

Prendiamo arbitrariamente un oggetto come **oggetto campione**, libero di muoversi, per esempio su un tavolo senza attrito. Applicandogli una forza lo accelereremo e possiamo utilizzare l'**accelerazione** risultante come **misura della forza**. Adottiamo una «forza campione». Supponiamo per esempio che con una molla con una certa deformazione otteniamo una accelerazione di 1 m/s^2. La forza che accelera l'oggetto campione di 1 m/s^2 sarà la nostra unità di forza:

$$a_{\text{oggetto campione}} = 1\ m/s^2 \rightarrow \textbf{Unità di forza}$$

Così una forza di **10 unità** sarà quella che produce sullo **stesso oggetto** campione una accelerazione di **10 m/s^2** , una forza di **5 unità** sarà quella che produce sullo **stesso oggetto** campione una accelerazione di **5 m/s^2** e così via

La II Legge di Newton

E cosa succede se invece applichiamo una forza di 10 unità su un oggetto differente dall'oggetto campione ? (cioè un oggetto di massa $\mathrm{m} \neq \mathrm{m}_{\text{oggetto campione}}$)

L'esperienza della vita quotidiana ci offre una risposta qualitativa: la **stessa** forza produce **accelerazioni differenti** su **differenti** oggetti. E infatti l'esperienza ci dice che un oggetto «leggero», per esempio una palla da baseball, risulterà più accelerata di un oggetto «pesante» per esempio un'automobile, se soggetta alla stessa forza $\boldsymbol{F_0}$.

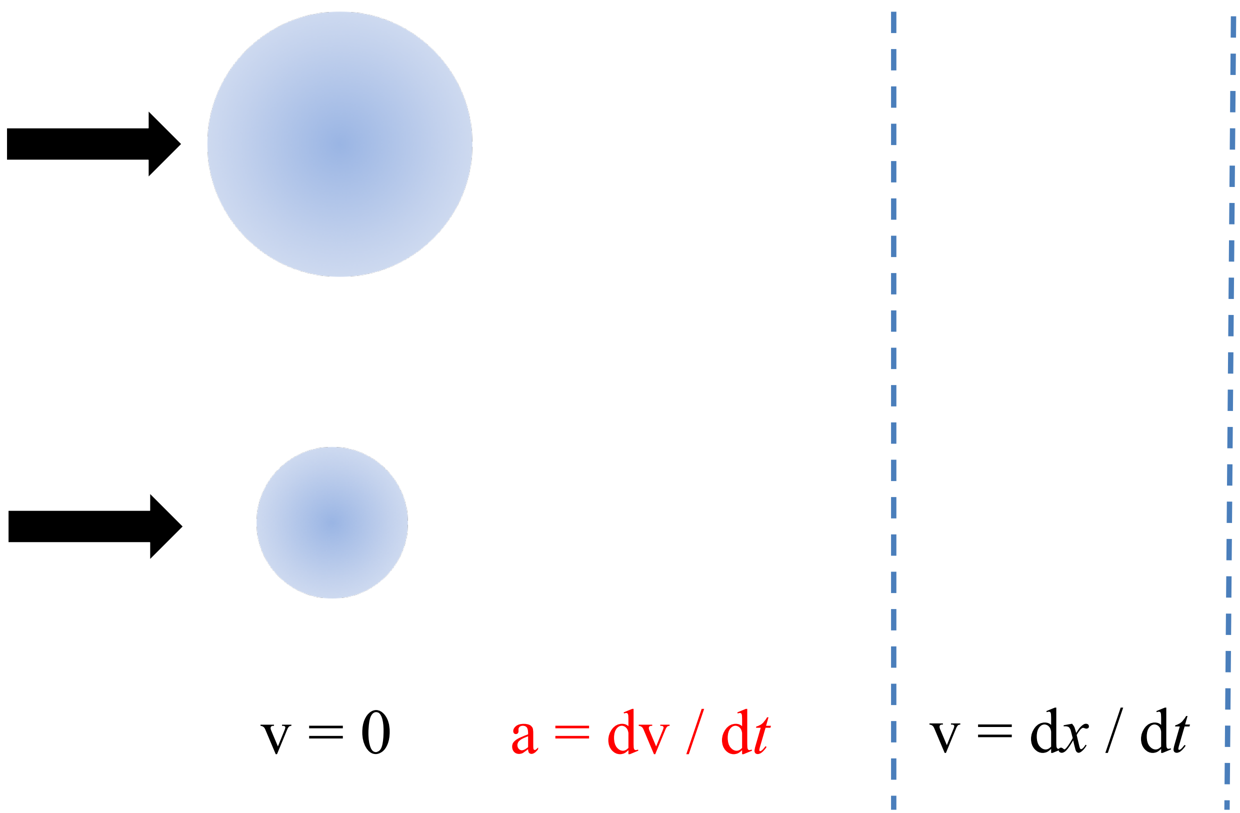
Si osserva inoltre che l'accelerazione $\boldsymbol{a}$ che risulta dall'applicazione di una data forza $\boldsymbol{F_0}$ ad un oggetto qualsiasi è comunque sempre:

$\boldsymbol{a}$ ***proporzionale a*** $\boldsymbol{F_0}$

Si possono utilizzare questi esperimenti proprio per **definire** la massa m di un dato oggetto proprio in funzione dell'accelerazione $\boldsymbol{a}$ prodotta su di esso da una data forza $\boldsymbol{F}$

Il procedimento da utilizzare è suggerito dall'esperienza: sappiamo che per una data forza, **tanto maggiore è la massa** tanto **minore sarà l'accelerazione** prodotta.

Infatti, consideriamo due biglie di massa m_1 e m_2 a riposo ($m_1 > m_2$) e applichiamo a entrambe una stessa forza $\boldsymbol{F}$. Notiamo che le due biglie acquistano velocità differenti $\boldsymbol{v_1} < \boldsymbol{v_2}$ quindi hanno subito accelerazioni differenti $\boldsymbol{a_1} < \boldsymbol{a_2}$



Capovolgendo la logica, potremmo definire la massa m di un corpo in termini dell'accelerazione prodotta da una data forza $\boldsymbol{F}$ e in particolare se m_1 è la massa del corpo 1 e m_2 è la massa del corpo 2 definiamo il rapporto fra le masse come:

$$m_1 / m_2 = a_2 / a_1 \quad \text{(per una data forza } \boldsymbol{F}\text{)}$$

Si osserva che se sostituiamo la forza $\boldsymbol{F}$ con una forza $\boldsymbol{F'}$ il rapporto fra le accelerazioni rimane costante:

$$a_2 / a_1 = a'_2 / a'_1$$

Cioè: il rapporto fra le masse è indipendente dalla forza ***F*** applicata nell'esperimento

Se quindi adottiamo la massa m_1 come massa campione, possiamo misurare la massa di qualsiasi altro corpo semplicemente misurando il rapporto fra le accelerazioni.

Da tutto questo deriva la formulazione della **II Legge di Newton**:

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

Ponendola nella forma:

$$\boldsymbol{a} = \boldsymbol{F} / m$$

risulta che:

L'accelerazione $\boldsymbol{a}$ prodotta da una o più forze su un corpo è proporzionale in valore (modulo) alla risultante $\boldsymbol{F}$ delle forze lungo la sua direzione, ed è inversamente proporzionale alla massa m del corpo.

Notiamo che la I Legge di Newton è in sostanza un caso particolare della II Legge, da cui se $\boldsymbol{F} = 0 \;\rightarrow\; \boldsymbol{a} = 0$ e quindi il corpo mantiene il suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme

III Legge di Newton

Abbiamo parlato di Forza e in qualche modo lo abbiamo inteso in un modo forse un po' astratto, come se la forza fosse una qualche grandezza fisica che esiste *di per sé .*

E in effetti, il concetto di «campo di forze» che introdurremo più avanti richiama questa astrazione.

Ma in realtà NON è così.

Ogni singola forza è soltanto un aspetto della mutua interazione fra due corpi.

In particolare, la **III Legge di Newton** stabilisce che

se un corpo A esercita una forza su un corpo B,

il corpo B esercita su A una forza uguale e contraria.

Vediamo di capire meglio questa cosa con un esperimento

Il lancio di una palla: la palla inizialmente è **ferma**, poi acquista **velocità**, quindi c'è di mezzo una **accelerazione**, quindi abbiamo trasmesso alla palla una **forza** $F = ma$

In base alla III Legge di Newton: la palla trasmette al giocatore una forza uguale e contraria $-F$

Ci credete a questa affermazione ?

Si stenta a crederci: infatti, se il giocatore riceve una forza contraria $-\boldsymbol{F}$, dovrebbe subire una accelerazione dello stesso segno , dovrebbe quindi acquistare velocità all'indietro ! Cosa che apparentemente **NON** succede.

Potremmo allora argomentare che il fenomeno succede, ma che essendo la massa del giocatore molto più grande della massa della palla, l'accelerazione che ne risulta è minima e non ce ne accorgiamo: Ricordiamoci infatti che $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$

$$\boldsymbol{F} \rightarrow -\boldsymbol{F} \quad \textbf{quindi:} \quad (m_{palla} \times \boldsymbol{a}_{palla}) = (m_{giocatore} \times -\boldsymbol{a}_{giocatore})$$

E poiché $m_{giocatore} > m_{palla}$ **risulta:** $\boldsymbol{a}_{giocatore} < \boldsymbol{a}_{palla}$

Questo ragionamento è in linea di principio corretto

$$m_{giocatore} > m_{palla} \quad \underline{\textbf{risulta:}} \quad a_{giocatore} < a_{palla}$$

Tuttavia, c'è di più: il giocatore è soggetto alla **forza d'attrito col terreno**, che evidentemente **contrasta** la forza $-F$. E in più probabilmente per aumentare la sua stabilità il giocatore usa anche delle scarpe chiodate.

In sostanza, se il giocatore è ancorato al terreno, la massa di cui dobbiamo tenere conto è la massa del giocatore + il terreno, e ovviamente risulta:

$$m_{giocatore+terreno} >>>> m_{palla} \quad \rightarrow \quad a_{giocatore+terreno} \rightarrow 0$$

Ok, tutto questo sembra ragionevole, ma allora come facciamo a fare una verifica sperimentale della III Legge di Newton ?

Svincoliamo il giocatore dal terreno: piazziamolo su dei pattini

a rotelle e vedrete come lui rimbalza indietro

non appena lancia la palla!

Campioni di massa e sistemi di unità di misura

Abbiamo definito l'unità di forza in base alla II Legge di Newton:

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

come quella forza che genera una accelerazione unitaria $(a = 1\, m/s^2)$ quando è applicata ad un oggetto campione, al quale abbiamo assegnato una massa unitaria.

Questo è il motivo per cui non appaiono fattori numerici nell'equazione in questione. Questo procedimento origina i sistemi di unità di misura:

a) MKS (metro, chilogrammo, secondo), attualmente adottato dal **SI**

b) cgs (centimetro , grammo, secondo)

Nel sistema SI, il campione di massa è 1kg, un particolare cilindro di platino conservato conservato all'Ufficio Internazionale di Pesi e Misure di Parigi.   La millesima parte di questo campione è definita grammo.

Nel sistema di misura in questione (**SI**), l'unità di forza è la forza che accelera una massa di 1 kg con una accelerazione di 1 m/s^2 Questa unità è chiamata

1 Newton [N oppure **nt] = 1 kg x 1 m/s^2**

Quindi nel sistema SI:

$$\boldsymbol{F}\,[\mathrm{N}] = m\ [\mathrm{kg}] \times \boldsymbol{a}\,[\mathrm{m/s^2}]$$

Nel sistema cgs:

$$\boldsymbol{F}\,[\mathrm{dine}] = m\ [\mathrm{g}] \times \boldsymbol{a}\,[\mathrm{cm/s^2}]$$

Le dimensioni della forza sono pertanto

$$[\,F\,] = ML / T^2$$

Sia nel SI (altresì noto come MKS) sia nel sistema cgs, massa, lunghezza e tempo sono grandezze Fondamentali, mentre la forza è una grandezza derivata in base alla relazione

$$\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$$

In linea di principio, si potrebbe adottare un sistema in cui Forza, lunghezza e tempo sono le grandezze fondamentali e la massa risulta una grandezza derivata in base alla relazione $m = \boldsymbol{F}/\boldsymbol{a}$.