

I.P.S.I.A. "A.M. Barlacchi"

Crotone

Appunti di Fisica

Capitolo III

Il moto dei corpi

Ugo Carvelli

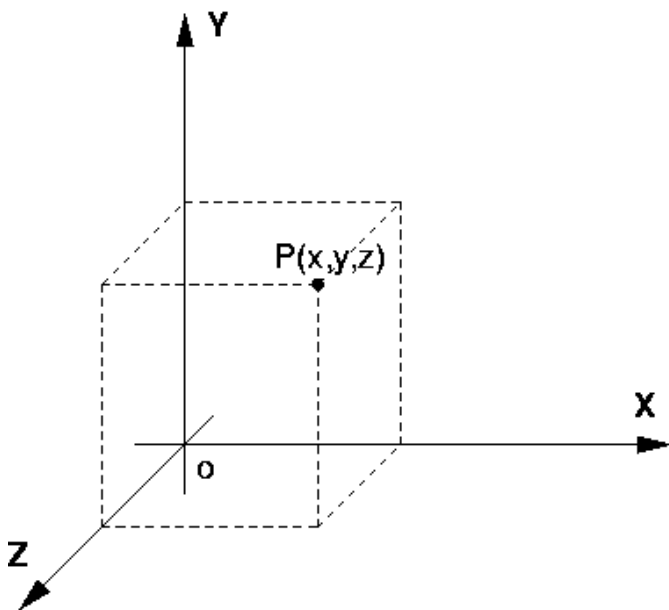
Capitolo III – Il moto dei corpi

Sistemi di riferimento

La quiete ed il moto sono concetti relativi. Ciò significa che non possiamo dire in senso assoluto che un corpo è fermo o si muove, lo possiamo dire solo in riferimento a qualcosa. Questo qualcosa è il nostro sistema di riferimento.

Si definisce **sistema di riferimento**, l'insieme dei riferimenti o coordinate utilizzate per individuare la posizione di un oggetto nello spazio.

Le coordinate generiche di un punto nello spazio sono indicate con le lettere x , y e z . Si indica con x il numero reale che individua la distanza di un punto dal piano individuato dalle rette Y e Z misurata parallelamente all'asse X nell'unità di misura scelta per quest'ultimo asse. Si definiscono analogamente y e z . Le tre coordinate che individuano un punto nello spazio sono indicate con la simbologia (x,y,z) . Quando i tre assi sono fra loro ortogonali il sistema di riferimento si dice *ortogonale* o *rettangolare*. Ciascuna delle tre rette è un *asse cartesiano*, e insieme formano la *terna cartesiana*.



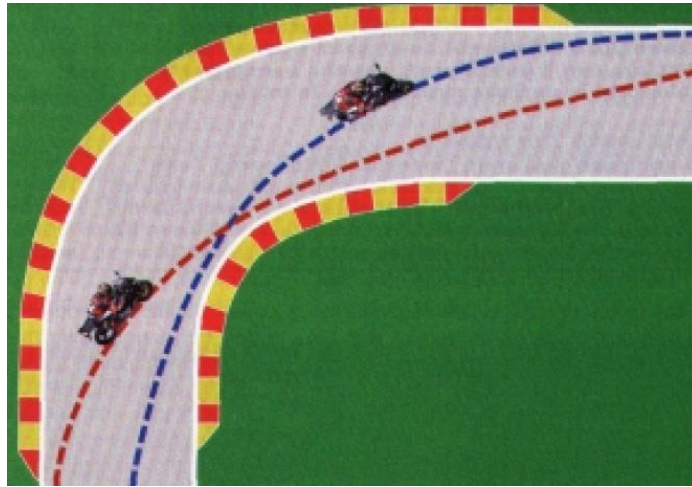
Esempio di individuazione di un punto P nello spazio. Le coordinate di P sono x, y, z

Il sistema di riferimento è costituito dai tre assi cartesiani X, Y, Z

Traiettoria

La **traiettoria** è l'insieme dei punti corrispondenti alla posizione di un corpo in moto o meglio la linea descritta nello spazio da un punto o da un corpo in movimento (per esempio la traiettoria di un proiettile o di un'automobile di formula 1).

Più automobili che percorrono la stessa strada non è detto che compiano la stessa traiettoria, poiché potrebbe succedere che ciascuna occupi posizioni diverse, disegnando così traiettorie diverse (come avviene ad esempio in un sorpasso).



Velocità

La velocità è una **grandezza vettoriale** (quindi specificata da intensità, direzione e verso), definita come il rapporto tra lo spostamento percorso in una certa direzione e l'intervallo di tempo impiegato.

La **velocità** può essere definita come il rapporto tra lo spazio percorso e l'intervallo di tempo impiegato:

$$v = \text{spazio percorso} / \text{tempo}$$

o più semplicemente:

$$v = s/t$$



Velocità media

Se consideriamo che durante il moto possono variare sia l'intensità che direzione e verso della velocità, può avere senso parlare di velocità media, come se considerassimo di fatto il moto durante tutto il tempo in cui avviene, dalla partenza all'arrivo, senza soffermarci istante per istante cosa accade.

Riguardo alla velocità avremo quindi che:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}$$

Velocità istantanea

La *velocità istantanea* si ottiene rendendo piccolo a piacere il tempo nella velocità media vettoriale. In pratica si va a definire la velocità *per un certo istante* piuttosto che *in un certo intervallo*, definendo la velocità istantanea come la velocità media calcolata in un intervallo di tempo tendente a zero:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

con Δt che tende a zero,
cioè i due istanti di tempo t_1 e t_2
saranno molto vicini tra loro, quasi lo
stesso istante.

Moto rettilineo uniforme e sua legge oraria

Il più semplice tipo di movimento di un corpo è costituito dal moto rettilineo uniforme, dove la sua traiettoria è una retta e la velocità mantenuta dal corpo è costante. La legge oraria può essere espressa tramite la variazione nel tempo di una sola delle tre coordinate (solitamente la x). In ciascun istante, la posizione del punto P può così essere rappresentata da un vettore spostamento avente:

- direzione coincidente con la retta traiettoria del moto;
- verso nel senso del movimento di P ;
- intensità, o modulo, pari alla distanza di P stesso dall'origine del sistema di riferimento.

La velocità

Consideriamo le due posizioni s_1 e s_2 di un medesimo punto P in due successivi istanti di tempo t_1 e t_2 ; ciò significa che, nell'intervallo di tempo $t_2 - t_1$, si definisce velocità media v_m di P una grandezza che esprime il rapporto tra lo spazio percorso $s_2 - s_1$ e il tempo impiegato per percorrerlo $t_2 - t_1$:

$$v_m = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}$$

In fisica, la variazione di una grandezza (come lo spazio x o il tempo t) viene preferibilmente indicata tramite la lettera greca maiuscola Δ (delta), che rappresenta un incremento; le differenze:

$s_2 - s_1$ o $t_2 - t_1$ possono venire quindi espresse dalle notazioni Δs e Δt ; la definizione di velocità media assume allora la forma:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Se consideriamo vari istanti successivi t_1, t_2, t_3, t_4 ecc., per ogni intervallo di tempo considerato questo rapporto risulta essere costante: si dice che il punto P si muove di **moto rettilineo uniforme**, cioè percorre spazi uguali in intervalli di tempo uguali, con velocità data dal vettore V , avente direzione lungo la traiettoria, verso nel senso del moto e intensità:

$$V = v_m$$

nel caso di un moto rettilineo uniforme è possibile esprimere la velocità come rapporto costante tra spazio percorso s e tempo impiegato t tramite la semplice relazione:

$$\text{velocità} = \frac{\text{spazio}}{\text{tempo}} \quad \text{ovvero} \quad v = \frac{s}{t}$$

da cui si ricava la legge oraria del moto rettilineo uniforme:

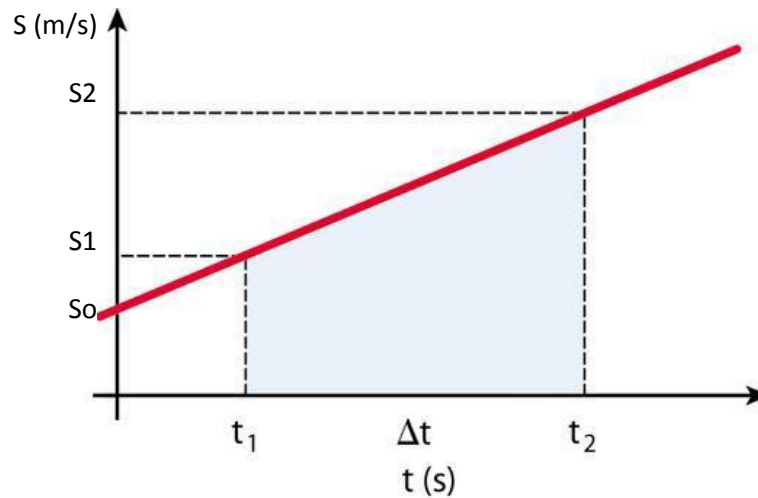
$$s = v \cdot t$$

Nel caso in cui, all'istante iniziale $t = 0$, il corpo in movimento si trovi in una posizione iniziale s_0 diversa dall'origine O del sistema di riferimento, la legge oraria del moto rettilineo uniforme assume la forma più generale:

$$s(t) = s_0 + v \cdot t$$

Questa **legge oraria**, rappresentata graficamente in un piano cartesiano avente in ascissa il tempo t e

in ordinata lo spazio s , corrisponde a una retta, che interseca l'asse (s) delle ordinate nel punto di coordinate $(0; s_0)$.



La velocità ha le dimensioni di uno spazio diviso un tempo. Nel Sistema Internazionale, l'unità di misura della velocità è quella di un corpo che percorre 1 metro (m) di spazio in 1 secondo (s) di tempo; tale unità viene indicata con il simbolo m/s, che si legge "metro al secondo".

Una seconda unità di misura per la velocità, di uso comune, è il chilometro all'ora (km/h).

$$1\text{m/s} = 3,6 \text{ km/h}$$

Accelerazione

L'accelerazione può essere definita come la rapidità con cui varia la velocità.

$$\text{accelerazione media} = \frac{\text{variazione di velocità}}{\text{tempo in cui avviene}}$$

Per un punto materiale che abbia velocità v_i all'istante t_i (tempo iniziale) e v_f all'istante t_f (tempo finale), si definisce accelerazione media nell'intervallo di tempo $\Delta t = t_f - t_i$ la grandezza:

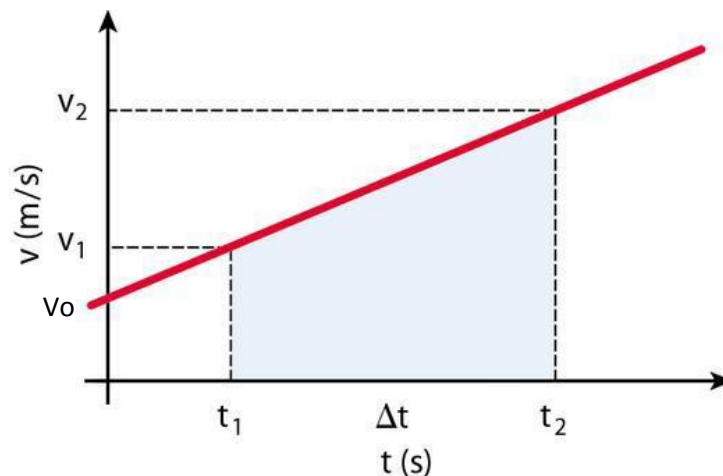
$$a_m = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Moto uniformemente accelerato

Si ha un moto uniformemente accelerato, quando un corpo che si muove con accelerazione costante. Cioè la velocità di questo corpo varia ma in maniera costante, aumenta o diminuisce sempre della stessa velocità.

Un'accelerazione che non varia nel tempo viene detta accelerazione costante e il moto che gode di tale caratteristica viene detto **moto uniformemente accelerato**.

Il grafico velocità-tempo di un moto uniformemente accelerato è una retta.



$$v_f = v_0 + a \cdot t$$

Quando un corpo si muove con velocità costante, il suo spostamento si può ricavare moltiplicando la velocità costante per l'intervallo di tempo:

$$s = v \cdot t$$

Se la velocità del corpo non è costante, ma varia di quantità uguali in intervalli di tempo uguale, cioè nel caso di un corpo soggetto ad accelerazione costante si può applicare questa stessa legge, sostituendo il valore costante della velocità con il valore v_m della media aritmetica tra velocità iniziale v_0 e velocità finale v_f .

$$v_m = \frac{v_f + v_0}{2}$$

per cui

$$s = \frac{v_f + v_0}{2} \cdot t$$

Se si conoscono la velocità iniziale, l'accelerazione e l'intervallo di tempo; si può ricavare lo spostamento del corpo combinando le equazioni del moto

$$s = \frac{v_f + v_0}{2} \cdot t = \frac{(v_0 + a \cdot t) + v_0}{2} \cdot t = \frac{2v_0 + at}{2} \cdot t$$

$$s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

L'accelerazione di gravità

Galileo fu il primo a stabilire che tutti i corpi cadono verso terra con la medesima accelerazione costante.

Dopo vari esperimenti aveva infatti dimostrato che il ricorso a un piano inclinato permette di “diluire” la forza di gravità e, di conseguenza, permette di rendere meno rapido il moto delle sfere.

Quando è possibile prescindere dalla resistenza dell'aria, l'accelerazione di un corpo che cade non dipende dalla massa del corpo, né dalla quota iniziale, né dalla velocità iniziale.

A tale accelerazione, denominata accelerazione di gravità, è stato attribuito un simbolo particolare:

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

L'accelerazione è una grandezza vettoriale, quindi anche l'accelerazione di gravità g deve avere, oltre a un valore, anche una direzione e un verso.

In altre parole, la velocità di un corpo in caduta è diretta verso il basso e aumenta di **9,81m/s** ogni secondo.



Moto circolare uniforme

Il **moto circolare** è uno dei moti semplici studiati dalla fisica e dalla cinematica, e consiste in un moto di un punto materiale lungo una circonferenza.

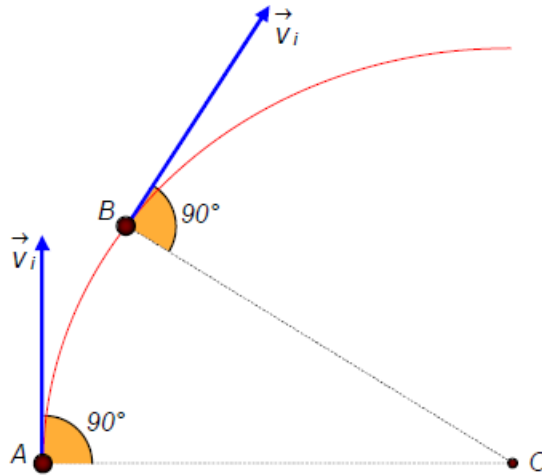
Il moto circolare assume importanza per il fatto che la velocità e l'accelerazione variano in funzione del cambiamento di direzione del moto, seppur rimanendo invariato il modulo della velocità. Tale cambiamento si può misurare comodamente usando le misure angolari per cui le equazioni del moto, introdotte con il moto rettilineo, vanno riviste e rielaborate con misure angolari.

Infatti, poiché gli spostamenti Δs cambiano continuamente direzione, ed essendo il vettore velocità media definito come variazione di spostamento nel tempo anche il vettore velocità varierà continuamente.

Anche se il modulo della velocità rimane uguale, la direzione e il verso degli spostamenti cambiano continuamente. Per conoscere la direzione del vettore velocità in un dato istante si considerano spostamenti sempre più piccoli lungo la traiettoria circolare.



Si trova così che la direzione del vettore velocità in un punto (in un dato istante) è uguale alla direzione della retta tangente alla circonferenza in quel punto.



Anche se i moduli dei vettori velocità istantanea sono uguali in ogni punto della traiettoria circolare, i vettori velocità istantanea cambiano continuamente perché cambiano le loro direzioni, che sono uguali a quelli degli spostamenti.

Pertanto anche la direzione del vettore velocità istantanea in un punto è tangente alla traiettoria circolare in quel punto, cioè perpendicolare al raggio della traiettoria circolare che passa per quel punto.

La velocità tangenziale

Nel moto circolare uniforme il modulo della velocità è costante, pertanto il corpo percorre archi di circonferenza uguali in tempi uguali.

L'intervallo di tempo impiegato dal corpo per compiere un giro completo è chiamato **periodo T**.

La **frequenza** è il numero di giri compiuti nell'unità di tempo **T**, da cui la relazione:

$$f = 1/T$$

Essa si misura in giri al secondo, s^{-1} o **Hertz (Hz)** $1 \text{ Hz} = 1/\text{secondo}$

La **velocità tangenziale** è la velocità di un corpo che si muove di moto circolare uniforme lungo una circonferenza di raggio r e che impiega un tempo T per percorrere l'intera circonferenza.

La **velocità tangenziale** ha modulo costante:

$$v = \frac{2 \pi r}{T}$$

mentre la sua direzione, in ogni punto, è quella della retta tangente alla circonferenza in quel punto. Dalla formula si osserva che la velocità tangenziale è direttamente proporzionale al raggio ed inversamente proporzionale al periodo T.

Velocità angolare

La **velocità angolare** (o velocità radiale) esprime la rapidità con cui il raggio, che collega il centro della circonferenza al corpo, descrive l'angolo al centro corrispondente all'arco di circonferenza percorso dal corpo.

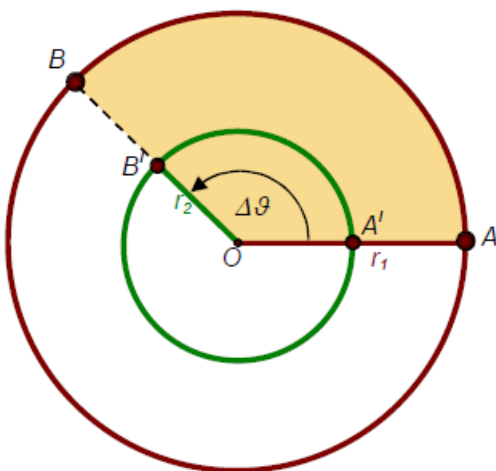
Il modulo della velocità angolare media è il rapporto tra lo spostamento angolare del corpo e l'intervallo di tempo impiegato a compiere tale spostamento:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \qquad v = \omega \cdot r$$

Un corpo che si muove di moto circolare uniforme percorre archi uguali in intervalli di tempo uguali, e quindi il raggio che passa per esso descrive angoli al centro uguali in intervalli di tempo uguali.

Pertanto il modulo della velocità angolare è costante e la velocità angolare, a differenza della velocità tangenziale, non dipende dal raggio della circonferenza.

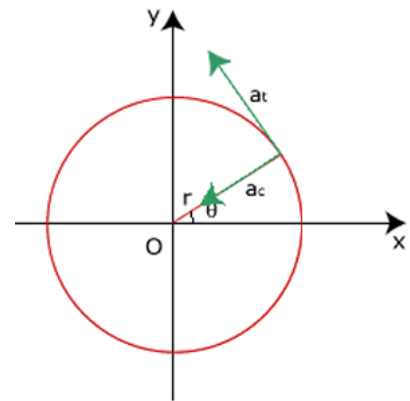
Dal grafico sotto si osserva che corpi che descrivono angoli al centro uguali in intervalli di tempo uguali hanno la stessa velocità angolare, ma percorrono archi di circonferenza diversi a seconda della loro distanza dal centro della circonferenza, e quindi hanno velocità tangenziali diverse.



Accelerazione centripeta

Il moto circolare uniforme è un moto accelerato perché la direzione della sua velocità cambia punto per punto, per cui è presente una accelerazione detta accelerazione centripeta.

L'aggettivo "centripeta" deriva dal fatto che prendendo intervalli temporali molto piccoli, la variazione di velocità Δv è sempre diretta, con buona approssimazione, verso il centro della circonferenza, di qui il nome centripeta.



La dinamica (la causa del moto)

La dinamica è quella parte della meccanica che mette in relazione il moto con le cause che lo determinano.

Essa si basa su tre principi fondamentali, detti appunto "Principi della Dinamica".

Primo principio della dinamica (Principio d'inerzia)



Se la forza totale applicata a un punto materiale in stato di quiete è uguale a zero, allora esso resterà inerte. Se la forza totale applicata a un punto materiale in stato di movimento è uguale a zero, allora esso continuerà a muoversi di moto rettilineo uniforme.

Se un corpo è fermo o si muove di moto rettilineo uniforme, vuol dire che non è soggetto a forze oppure che la risultante delle forze che agiscono su di esso è nulla.

Attenzione che nella nostra quotidiana esperienza abbiamo a che fare con oggetti che si muovono sulla terra, cioè sottoposti all'attrito, quindi è difficile immaginare un corpo sul quale non è applicata nessuna forza. Possiamo però pensare ad un razzo lanciato in orbita.

Secondo principio della dinamica (Principio di Newton)

Il secondo principio della dinamica si esprime molto semplicemente con una formula:

$$F = m \cdot a$$

Dove a è l'accelerazione, F è la forza applicata e m è la massa del corpo.

Ciò significa che un corpo, sottoposto all'azione di una forza F , subisce un'accelerazione a , ovvero una variazione di velocità, direttamente proporzionale all'intensità della forza e inversamente proporzionale al valore della massa del corpo.

(formule inverse)

$$a = F / m$$

$$m = F / a$$

In altre parole, un corpo che ha una massa maggiore rispetto ad un altro tenderà ad accelerare di meno, oppure ci vuole una forza di intensità maggiore per accelerarlo dello stesso valore di un corpo avente massa minore.

La forza peso $P = m \cdot g$, non è altro che un caso particolare del secondo principio della dinamica, dove l'accelerazione considerata è quella gravitazionale dovuta alla forza gravitazionale che ciascun pianeta esercita sui corpi posti nelle proprie vicinanze.

Terzo principio della dinamica (Principio di azione e reazione)



“Ad ogni azione corrisponde una reazione uguale e contraria”.

Questa è una frase che spesso sentiamo pronunciare anche fuori dal contesto della fisica. In fisica ha però un significato preciso: le forze si presentano sempre a coppie.

Se un oggetto A esercita una forza \mathbf{F} su un oggetto B, allora l'oggetto B eserciterà sull'oggetto A una forza **uguale e contraria** $-\mathbf{F}$.

Esempi:

- Quando si spara un colpo di pistola, la forza del gas prodotto dalla combustione della polvere da sparo spinge in fuori il proiettile. Per la legge di Newton, la pistola rincula all'indietro.
- L'impugnatura di un grosso idrante ha delle maniglie che i pompieri devono afferrare saldamente, poiché il getto dell'acqua che fuoriesce spinge energicamente il tubo all'indietro.
- I getti rotanti per l'annaffiamento dei giardini funzionano sullo stesso principio. In modo simile, il moto in avanti di un razzo è dovuto alla reazione al violento getto di gas caldo che fuoriesce dalla sua parte posteriore.