

Cinematica del punto materiale

1. Il movimento dei corpi

La Meccanica

La meccanica è una parte della fisica che studia il moto dei corpi. La meccanica si divide in *cinematica*, *statica*, *dinamica*:

- la cinematica studia il moto senza indagare sulle cause che lo determinano;
- la dinamica studia le relazioni tra il movimento e le cause che lo producono;
- infine la statica studia l'equilibrio dei corpi rigidi.

Sistema di riferimento

Un corpo è in movimento quando la sua posizione varia nel tempo. Per definire correttamente la posizione occorre un sistema di riferimento.

Un sistema di riferimento è l'insieme di tutti gli oggetti e i corpi rispetto ai quali valutiamo se un corpo è fermo oppure in movimento. Esempi di sistemi di riferimento sono: un treno in movimento, un aereo in volo, la Terra, il sistema solare, le stelle fisse, la galassia, ecc.

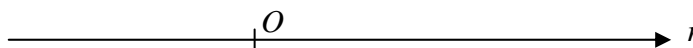
Nessun sistema di riferimento è assolutamente fermo nell'Universo, poiché, qualunque sistema di riferimento dell'universo si consideri, se ne può trovare sempre un altro rispetto a cui il primo si muove. La Terra, che ci appare ferma, gira intorno a sé stessa (rotazione) e intorno al Sole (rivoluzione); il Sole, con tutto il Sistema Solare, gira intorno al centro della Via Lattea; la Via Lattea, con i suoi 100 miliardi di stelle si sposta verso l'ammasso della Vergine...

Per descrivere un moto si sceglie il sistema di riferimento rispetto al quale la descrizione del moto risulta la più semplice possibile. Ad esempio per descrivere il moto dei pianeti del sistema solare si potrebbe scegliere come sistema di riferimento la Terra (sistema geocentrico o tolemaico) oppure il Sole (sistema eliocentrico o copernicano); il secondo sistema risulta molto più semplice del primo e pertanto è quello normalmente usato. Ciò non vuol dire che il sistema di riferimento geocentrico sia sbagliato: finché veniva usato, esso permetteva di fornire descrizioni precise del moto dei pianeti e previsioni su fenomeni astronomici rilevanti, come eclissi, allineamenti, ecc.

Classificazione dei moti

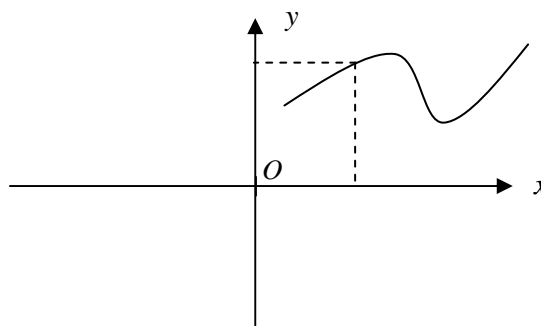
Ci sono *moti unidimensionali*, che avvengono lungo una sola dimensione: in questo caso è sufficiente la conoscenza di una sola coordinata per individuare univocamente la posizione del corpo: ad esempio per sapere dove si trova un veicolo sull'autostrada basta conoscere il numero dei chilometri percorsi, oltre alla direzione.

Se il moto avviene lungo una retta come sistema di riferimento si usa una retta orientata (asse) su cui è contrassegnato un punto di origine.



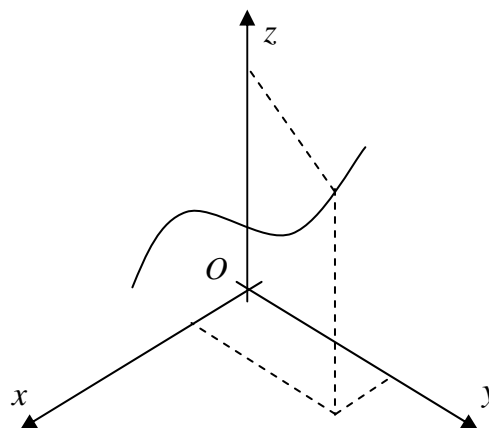
Ci sono poi *moti bidimensionali*, che avvengono lungo due dimensioni: in tal caso per determinare la posizione del corpo occorrono due coordinate: ad esempio per conoscere la posizione di una nave sono indispensabili la *latitudine* e la *longitudine*.

Se il moto avviene in un piano come sistema di riferimento si usa un sistema di due assi cartesiani ortogonali, x (ascisse) – y (ordinate).



Infine ci sono *movimenti tridimensionali*: in questi casi le coordinate necessarie alla individuazione della posizione del corpo sono tre. Pensiamo ad un aereo (o ad un sommergibile); per conoscere la sua posizione occorrono la *latitudine*, la *longitudine*, la *quota* (nel caso del sommergibile, la *profondità*).

Se il moto avviene nello spazio come sistema di riferimento per i moti nello spazio si usa un sistema di 3 assi cartesiani ortogonali, x (ascisse) – y (ordinate) – z (quote).



Relatività del moto

Il moto è relativo nel senso che le sue caratteristiche dipendono dal sistema di riferimento considerato. Immaginiamo un treno che sta viaggiando ad una certa velocità e al suo interno è seduto un ragazzo a leggere un giornale; ci chiediamo se il ragazzo sia fermo oppure se sia in movimento. La risposta dipende da quale sistema di riferimento consideriamo: il ragazzo è fermo (in quiete) rispetto al sistema di riferimento treno, ma è in moto rispetto al sistema di riferimento Stazione-Terra. Quando si parla di moto si deve quindi specificare sempre il sistema di riferimento.

Punto materiale

Tutti i corpi in movimento hanno una certa estensione nelle tre dimensioni spaziali e non sono sicuramente puntiformi. Ma in molti casi nella cinematica, per semplificare lo studio del moto, risulta più semplice e conveniente considerare il corpo in movimento come se esso fosse puntiforme. Si parla in questi casi dell'approssimazione del **punto materiale**.

Il punto materiale si può considerare come un punto geometrico (che non ha estensione), dotato di massa. Sembrerebbe che solo gli oggetti piccolissimi possano essere ritenuti punti materiali. Nella pratica si può considerare come punto materiale un qualsiasi corpo le cui dimensioni siano piccole rispetto a quelle di tutte le altre grandezze fisiche che entrano in gioco. Ad esempio un'automobile, pur essendo un corpo esteso, rispetto all'autostrada, è un punto materiale; una persona in un'automobile non è invece un punto materiale, poiché le sue dimensioni sono confrontabili con quelle dell'automobile. La Terra, considerata rispetto al sistema solare, è un punto materiale; ma rispetto a noi che vi abitiamo sopra non può certamente essere considerata puntiforme.

Traiettoria

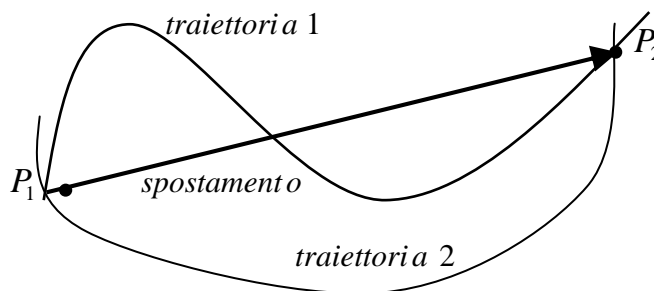
La traiettoria è la linea costituita dall'insieme delle posizioni occupate dal punto materiale durante il suo movimento. Come esempi di traiettoria possiamo pensare alle scie che talvolta gli aerei lasciano nel cielo, alla traccia che il gesso lascia sulla lavagna o la penna sul foglio quando scriviamo, ecc.

Se il moto avviene lungo una retta, parliamo di traiettoria rettilinea; se il moto avviene lungo un piano, la traiettoria sarà piana; se infine il moto avviene nelle tre dimensioni, avremo una traiettoria spaziale.

Spostamento

Lo spostamento è una grandezza vettoriale. Dato un punto materiale in movimento, supponiamo che il punto all'istante t_1 si trovi nella posizione P_1 e all'istante t_2 si trovi nella posizione P_2 : si definisce come spostamento del punto nell'intervallo di tempo da t_1 a t_2 il vettore con la coda sulla posi-

zione P_1 e con la punta sulla posizione P_2 . È semplice rendersi conto del fatto che per uno stesso spostamento esistono infinite traiettorie che conducono da P_1 a P_2 .



2. Legge Oraria

Equazione oraria o Legge oraria

Per *equazione oraria* o *legge oraria* si intende una funzione matematica in cui la variabile indipendente è il tempo e la variabile dipendente è lo spazio percorso. Attraverso l'equazione oraria si può conoscere in ogni istante qual è lo spazio percorso dall'inizio del moto. L'equazione oraria si rappresenta così:

$$s = f(t)$$

dove s è lo spazio percorso,
 t è il tempo,
 f è il legame funzionale.

Essendo la legge oraria una funzione matematica, essa si può rappresentare, oltre che attraverso una formula matematica ($s = f(t)$), attraverso una tabella o attraverso un grafico su assi cartesiani.

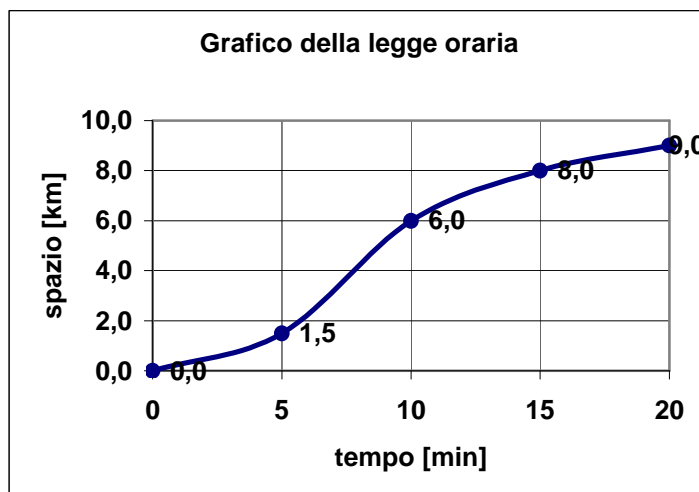
Obiettivo della cinematica

L'obiettivo della cinematica è ricercare l'equazione oraria che descrive il moto in esame, al fine di prevederne il comportamento in ogni istante. Si tratta cioè di trovare una formula che consenta di calcolare il valore di s corrispondente ad un qualsiasi valore di t .

Esempio. Un ciclista percorre un tragitto, prendendo nota dello spazio percorso ogni 5 minuti, secondo quanto appare nella tabella della legge oraria che segue. Qual è il grafico della legge oraria?

Il grafico si ottiene tracciando sul piano cartesiano $t - s$ (con ascisse il tempo e con ordinate lo spazio) i punti le cui coordinate sono prese dalla tabella della legge oraria.

t [min]	s [km]
0	0
5	1,5
10	6,0
15	8,0
20	9,0



3. La velocità

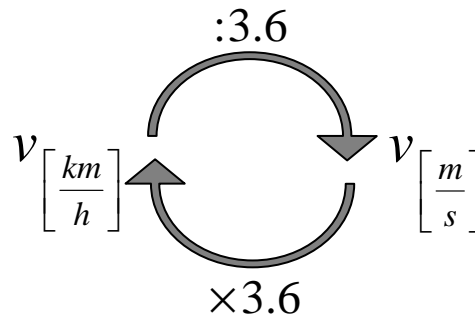
Definizione di velocità

Dal punto di vista qualitativo la velocità indica la rapidità con cui si svolge un moto. Dal punto di vista quantitativo la velocità è il rapporto tra spazio percorso e tempo impiegato ovvero è lo spazio percorso nell'unità di tempo.

Siccome nel S.I. lo spazio si misura in metri e il tempo si misura in secondi, la velocità nel S.I. si misura in m/s (metri al secondo). Più comunemente esprimiamo però la velocità in chilometri orari o chilometri all'ora [km/h].

Per trasformare una velocità espressa in m/s nella equivalente espressa in km/h occorre moltiplicare per la costante 3,6.

Invece per trasformare una velocità espressa in km/h nella equivalente espressa in m/s occorre dividere per la costante 3,6.



Carattere vettoriale della velocità

La velocità è una grandezza vettoriale poiché essa, oltre al modulo (il valore numerico) ha anche una direzione ed un verso: la direzione ed il verso sono quelli del moto. Se diciamo che un'automobile viaggia alla velocità di 85 km/h, questa affermazione non è sufficiente per avere una conoscenza completa della velocità. Viene spontaneo chiedersi: *in quale direzione viaggia l'auto?* E se anche ci viene precisato che essa viaggia sulla autostrada Roma - Napoli, la descrizione non è ancora completa, poiché ci si può chiedere: *viaggia da Roma a Napoli o viceversa?* Solo quando ci viene detto che l'automobile procede da Napoli verso Roma, possiamo dire di sapere tutto sulla velocità dell'auto.

Ci chiediamo adesso quale direzione e quale verso presenti il vettore velocità rispetto alla traiettoria del moto di un punto materiale. La risposta è univoca: si può dimostrare che in un punto qualunque della traiettoria il vettore velocità risulta sempre tangente alla traiettoria stessa.

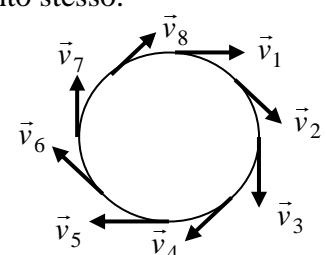
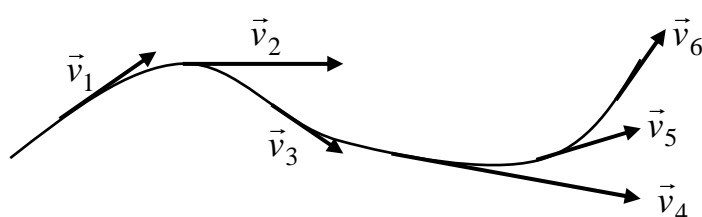
Moto unidimensionale rettilineo

In un moto rettilineo, il vettore velocità presenta come direzione quella della retta su cui avviene il moto e come verso quello del moto.



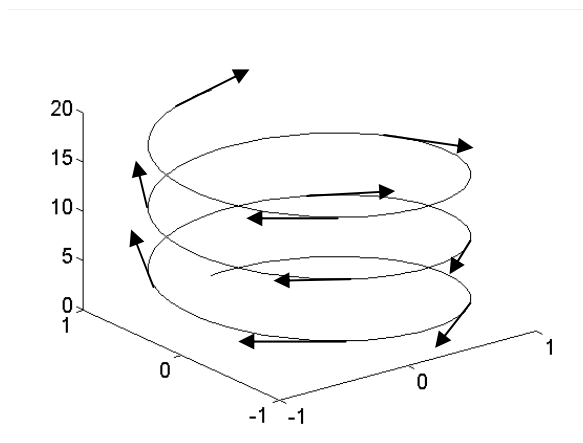
Moto bidimensionale

Il vettore velocità in un moto piano presenta come direzione e verso quelli del moto; il vettore velocità risulta in ogni punto della traiettoria tangente alla traiettoria nel punto stesso.



Moto tridimensionale

Il vettore velocità in un moto tridimensionale si comporta come nei moti piani: esso risulta in ogni punto della traiettoria tangente alla traiettoria nel punto stesso e presenta come direzione e verso quelli del moto.



Velocità media

La velocità media di un punto materiale è il rapporto tra la distanza percorsa e l'intervallo di tempo impiegato.

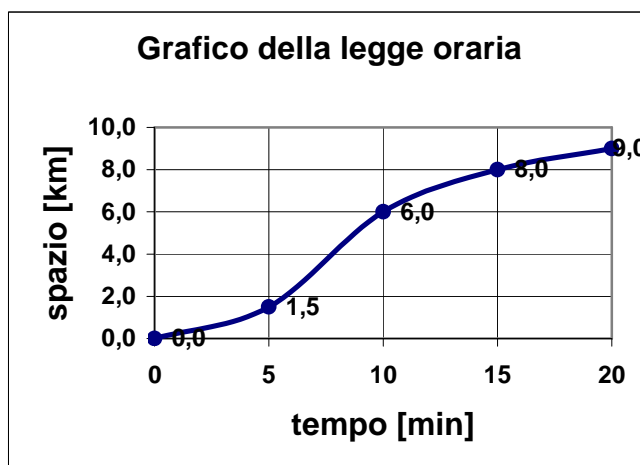
$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\text{distanza percorsa (in metri)}}{\text{intervallo di tempo impiegato (in secondi)}}$$

Velocità istantanea

Introduciamo il concetto con un esempio. Un ciclista percorre un tragitto, prendendo nota dello spazio percorso ogni 5 minuti, secondo quanto appare nella tabella della legge oraria riportata sotto. Vogliamo determinare la sua velocità media e le velocità medie nei vari intervallini di tempo.

t [min]	0	5	10	15	20
s [km]	0	1,5	6,0	8,0	9,0

Si tratta di una situazione analoga a quella dell'esempio 2. La velocità media è pari a 7,5 m/s. Ma, sia osservando la tabella, sia osservando il grafico della legge oraria, ci rendiamo conto che, durante il suo tragitto, il ciclista non viaggia sempre alla stessa velocità: infatti sembra più andare più velocemente nell'intervallo da 5 a 10 minuti e più lentamente nell'intervallo da 15 a 20 minuti.



Per saperne di più possiamo calcolare le velocità medie nei vari intervallini di tempo: nel primo intervallo di tempo, da 0 a 5 minuti, il ciclista percorre 1,5 km; pertanto:

$$v_{media(0' \div 5')} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{1,5 \text{ km} - 0 \text{ km}}{5' - 0'} = \frac{1,5 \text{ km}}{5'} = \frac{1,5 \cdot 1000 \text{ m}}{5 \cdot 60 \text{ s}} = \frac{1500 \text{ m}}{300 \text{ s}} = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

nel secondo intervallo di tempo, da 5 a 10 minuti, il ciclista arriva al km 6,0, percorrendo quindi 4,5 km (4,5 km = 6,0 km – 1,5 km); pertanto:

$$v_{media(5'+10')} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{6,0 \text{ km} - 1,5 \text{ km}}{10' - 5'} = \frac{4,5 \text{ km}}{5'} = \frac{4,5 \cdot 1000 \text{ m}}{5 \cdot 60 \text{ s}} = \frac{4500 \text{ m}}{300 \text{ s}} = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

analogamente negli altri intervalli da 10' a 15' e da 15' a 20':

$$v_{media(10'+15')} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{8 \text{ km} - 6 \text{ km}}{15' - 10'} = \frac{2 \text{ km}}{5'} = \frac{2 \cdot 1000 \text{ m}}{5 \cdot 60 \text{ s}} = \frac{2000 \text{ m}}{300 \text{ s}} = 6,67 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_{media(15'+20')} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{9 \text{ km} - 8 \text{ km}}{20' - 15'} = \frac{1 \text{ km}}{5'} = \frac{1000 \text{ m}}{5 \cdot 60 \text{ s}} = \frac{1000 \text{ m}}{300 \text{ s}} = 3,33 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Dai calcoli si vede che il ciclista è andato più veloce nel secondo tratto. Vediamo infine il grafico della velocità, intervallo per intervallo. Tale grafico ci dà un'idea dell'andamento della velocità nel corso del tragitto: il ciclista non ha viaggiato sempre alla stessa velocità, ma, dopo una partenza "lenta" a 5 m/s nei primi cinque minuti, ha accelerato nei secondi 5 minuti a 15 m/s; successivamente, dal 10° al 15° minuto ha rallentato a 6,67 m/s, per poi rallentare ulteriormente a 3,33 m/s negli ultimi cinque minuti.

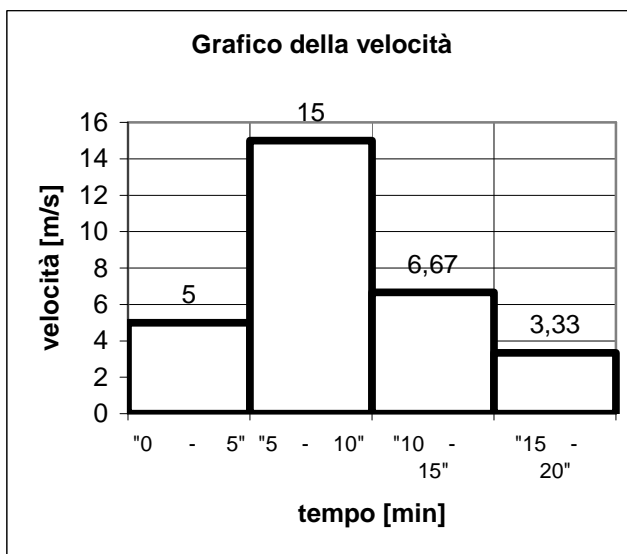
In realtà è ragionevole pensare che il ciclista non abbia viaggiato costantemente a 5 m/s nell'intervallo da 0 a 5 minuti, ma che la velocità abbia assunto diversi valori e, solo come valore medio quello di 5 m/s. Per avere una descrizione più precisa del moto avremmo potuto prendere nota dello spazio percorso magari ogni minuto anziché ogni 5 minuti. In questo caso avremmo poi calcolato le diverse velocità medie relative ad ogni minuto. Ma per essere ulteriormente più precisi, avremmo potuto segnare lo spazio percorso ogni 30 secondi, calcolando poi le 40 velocità medie relative ai mezzi minuti. A questo punto è chiaro che il procedimento si può ripetere fino a considerare intervalli di tempo sempre più brevi, al limite di un secondo o anche meno. Otterremo così una descrizione del moto istante per istante, conoscendo la velocità media che il ciclista ha assunto in ogni singolo intervallino di tempo.

Dall'esempio precedente appare chiaro che la velocità media, come tutte le grandezze medie, riassume in un solo numero tutto quello che è accaduto in un intervallo di tempo più o meno esteso. Dalla sola conoscenza di questo numero non si può dire quello che è accaduto nei vari istanti di tempo al punto materiale nel corso del suo movimento. È una situazione analoga a quella delle temperatura media di una località: dire che in certo giorno la temperatura media è stata di 15 °C ci assicura solo che mediamente non ha fatto molto freddo, ma non ci dice se la notte è stata molto fredda o se di giorno è stato caldo, o se la temperatura è stata sempre di 15 °C.

Dall'esempio precedente appare chiaro che la velocità media, come tutte le grandezze medie, riassume in un solo numero tutto quello che è accaduto in un intervallo di tempo più o meno esteso. Dalla sola conoscenza di questo numero non si può dire quello che è accaduto nei vari istanti di tempo al punto materiale nel corso del suo movimento. È una situazione analoga a quella delle temperatura media di una località: dire che in certo giorno la temperatura media è stata di 15 °C ci assicura solo che mediamente non ha fatto molto freddo, ma non ci dice se la notte è stata molto fredda o se di giorno è stato caldo, o se la temperatura è stata sempre di 15 °C.

La velocità istantanea è la velocità media calcolata in un intervallo di tempo piccolissimo, tendente a zero. Nonostante l'intervallo di tempo e il relativo spazio percorso siano piccolissimi, il loro rapporto può essere tuttavia molto grande.

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}$$



Lo strumento che misura la velocità istantanea si chiama *tachimetro*: ogni automobile è dotata di tachimetro. Attenzione: quello che chiamiamo *contachilometri* registra invece il numero di chilometri percorsi.

Esercizi sulla Velocità media.

Esempio1. Nel 1991 Carl Lewis percorse i 100 m piani in 9,86 s. Quale fu la sua velocità media in m/s e km/h?

La velocità media è il rapporto tra la distanza percorsa e l'intervallo di tempo impiegato; si ha pertanto:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{100 \text{ m}}{9,86 \text{ s}} = 10,142 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Per sapere poi il valore della velocità in km/h, è sufficiente moltiplicare il valore ottenuto per 3,6:

$$v_m = 10,142 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 10,142 \cdot 3,6 = 36,51 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Esempio 2. Per andare a trovare un amico, un ragazzo percorre 9 km in 20 minuti. Qual è la sua velocità media?

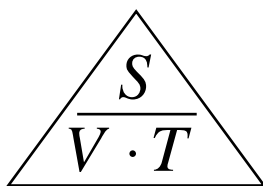
La velocità media è il rapporto tra la distanza percorsa e l'intervallo di tempo impiegato; prima di eseguire il rapporto è necessario convertire lo spazio in metri e il tempo in secondi; si ha pertanto:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{9 \text{ km}}{20'} = \frac{9 \cdot 1000 \text{ m}}{20 \cdot 60 \text{ s}} = \frac{9000 \text{ m}}{1200 \text{ s}} = 7,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Esercizi sulla Velocità: formule inverse.

Esiste un metodo mnemonico rapido per ricavare una qualsiasi tra velocità, spazio e tempo quando sono note le altre due (modestamente inventato da me appositamente per voi).

Memorizzate questa figura.



Essa si usa così: coprite con un dito la grandezza che vi serve; essa sarà data o dal prodotto delle altre due o dal quoziente delle altre due, come apparirà chiaro.

Esempio 3. Una ragazza corre alla velocità media di 3 m/s. Quanto spazio percorre in mezz'ora?

In questo esercizio conosciamo la velocità media (3 m/s) e il tempo impiegato (mezz'ora = 30·60 S = 1800 s) e vogliamo trovare lo spazio percorso. Dal triangolo mnemonico si ha:

$$\Delta s = v_m \cdot \Delta t$$

Per ottenere lo spazio percorso basta quindi moltiplicare la velocità per il tempo:

$$\Delta s = v \cdot \Delta t = 3,0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1800 \text{ s} = 5400 \text{ m} = 5,4 \text{ km}$$

Esempio 4. Un autoveicolo viaggia alla velocità media di 100 km/h. Quanto spazio percorre in 5 secondi?

Come nell'esercizio precedente, anche qui conosciamo la velocità media e il tempo e vogliamo trovare lo spazio percorso. La formula sarà identica:

$$\Delta s = v_m \cdot \Delta t$$

Allora per ottenere lo spazio percorso è sufficiente moltiplicare la velocità per il tempo, ma prima occorre trasformare la velocità da *km/h* in *m/s*;

$$v = 100 \frac{km}{h} = \frac{100}{3.6} \frac{m}{s} = 27.78 \frac{m}{s};$$

a questo punto possiamo calcolare lo spazio percorso:

$$\Delta s = v \cdot \Delta t = 27.78 \frac{m}{s} \cdot 5s = 138.9 m$$

Esempio 5. Un'automobile viaggia da Pollena Trocchie (esiste veramente, in provincia di Napoli) a Roccapipirozzi (provincia di Isernia), percorrendo complessivamente 110 km. Procedendo alla velocità media di 60 km/h, quanto tempo viene impiegato?

In questo esercizio conosciamo la velocità media e lo spazio percorso e vogliamo trovare il tempo impiegato. Dal triangolo mnemonico si ha:

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

Nel nostro caso avremo:

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v_m} = \frac{110 km}{60 \frac{km}{h}} = 1.85 h = 1 h 51 min$$

Esempio 6. Quanti secondi impiega un ciclista che viaggia alla velocità media di 12 m/s per percorrere 2000 m?

Come nel caso precedente, vogliamo trovare il tempo a partire dallo spazio percorso e dalla velocità; la formula sarà la stessa:

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

Nel nostro caso avremo:

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v} = \frac{2000 m}{12 \frac{m}{s}} = 167 s$$

ESERCIZI – Legge oraria, Velocità

Esercizio 1 Un passeggero di un'automobile, munito di contasecondi, prende nota della distanza percorsa ogni 2 minuti, come appare nella seguente tabella:

t [min]	0'	2'	4'	6'	8'	10'	12'	14'	16'	18'	20'
s [km]	0	3	5	8	10	13	17	21	25	30	32

Rappresentare graficamente su un piano cartesiano la legge oraria.

Esercizio 2 Un passeggero di un'automobile, munito di contasecondi, prende nota della distanza percorsa ogni 2 minuti, come appare nella seguente tabella:

t [min]	0'	2'	4'	6'	8'	10'	12'	14'	16'	18'	20'
s [km]	0	3	5	8	10	13	17	21	25	30	32

Calcolare la velocità media sull'intero tratto e su ognuno degli intervalli di 2 minuti. In quale degli intervalli si è registrata la velocità maggiore?

Esercizio 3 Un treno che parte da Caserta ed è diretto a Roma, effettua le fermate intermedie di Cassino e Frosinone, secondo la seguente tabella oraria.

Caserta	Km 0	12.50
Cassino	Km 70	13.30
Frosinone	Km 110	13.55
Roma	Km 200	15.00

Rappresentare graficamente su un piano cartesiano la legge oraria; calcolare le velocità intermedie e la velocità relativa all'intero percorso.

Esercizio 4 Un veicolo si mette in movimento alle ore 12.40 e si ferma alle 12.47 dopo aver percorso 9 km. Riparte alle 12.50 e giunge in una località distante 5 km alle 12.55. Calcolare la velocità media nel primo tratto, nel secondo e sul percorso intero.

ESERCIZI – Velocità formule inverse

Esercizio 1. Se vado alla velocità di 38 m/s, quale distanza percorro in 5 secondi?

Esercizio 2. Un autoveicolo viaggia alla velocità media di 150 km/h. Quanto spazio percorre in 2 secondi?

Esercizio 3. Un'automobile viaggia per 2 ore alla velocità media di 25 m/s e per 1 ora e mezza alla velocità media di 80 km/h. Che distanza percorre nel primo tratto? E nel secondo tratto?

Esercizio 4 Quanti secondi impiega un ciclista che viaggia alla velocità media di 12 m/s per percorrere 2000 m?

Esercizio 5. Quanto tempo impiego per percorrere 250 km andando alla velocità media di 129 km/h? E andando a 90 km/h?

Esercizio 6. La distanza Terra-Luna è circa 380.000 km. Quanto impiega la luce per compiere questo tragitto sapendo che essa viaggia alla velocità costante di 300.000 km/s?

Esercizio 7. La distanza Terra-Sole è circa 150 milioni di km. Quanto impiega la luce del Sole per giungere fino a noi?

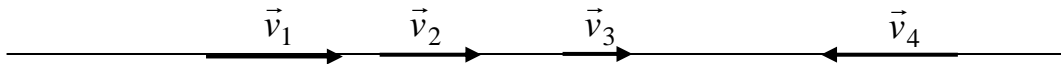
4. Accelerazione

Moto accelerato

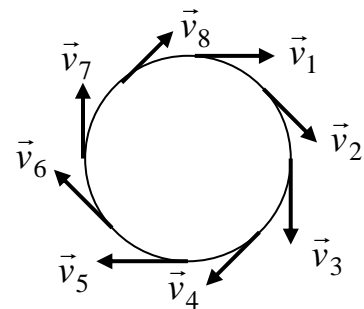
Un moto si definisce accelerato quando c'è una variazione di velocità. Poiché la velocità è un vettore, a variare possono essere il modulo (aumenti o diminuzioni), la direzione e il verso.

Ci possono essere diverse situazioni di moto accelerato:

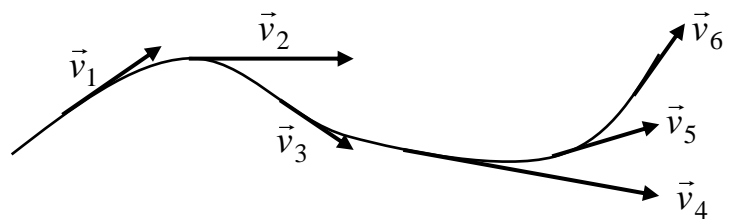
- un moto che avviene lungo una traiettoria rettilinea sempre nella stessa direzione ma la cui velocità è variabile in modulo e verso è sicuramente un moto accelerato (Esempio un treno su un tratto rettilineo di strada ferrata che diminuisce di velocità e poi ritorna indietro);



- il moto della Luna intorno alla Terra avviene su una traiettoria circolare (in realtà la traiettoria od orbita, è leggermente ellittica); in questo caso la velocità ha lo stesso modulo in tutti i punti della traiettoria, ma il vettore, dovendo essere tangente alla traiettoria, cambia continuamente direzione.



- Il moto di un'automobile è generalmente accelerato, poiché la sua velocità cambia non solo in modulo (accelerazioni, frenate, ecc.) ma anche in direzione (curve, ecc.) e verso (guida in avanti e retromarcia).



Definizione di accelerazione

L'accelerazione è il rapporto tra variazione di velocità e tempo in cui si verifica. Nel S.I. (Sistema Internazionale) l'accelerazione si misura in m/s^2 (si legge: *metri al secondo quadrato*).

Accelerazione media

L'accelerazione media si definisce come il rapporto tra la variazione di velocità e la variazione di tempo.

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\text{variazione complessiva della velocità}}{\text{variazione complessiva del tempo}}$$

Accelerazione istantanea

L'accelerazione istantanea è l'accelerazione media calcolata in un intervallo di tempo piccolissimo, tendente a zero. Nonostante l'intervallo di tempo Δt , di conseguenza, anche quello della corrispondente variazione di velocità siano piccolissimi, il loro rapporto può essere tuttavia molto grande.

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Carattere vettoriale dell'accelerazione

L'accelerazione è una grandezza vettoriale poiché si definisce come il rapporto di una grandezza vettoriale (la velocità) con una grandezza scalare (il tempo).

Il vettore accelerazione è dato da due componenti, la *accelerazione tangenziale* e la *accelerazione centripeta*:

- a) la variazione del modulo della velocità determina l'esistenza della componente tangenziale dell'accelerazione o *accelerazione tangenziale* (\vec{a}_t), che, come dice la parola, risulta tangente alla traiettoria in ogni punto;
- b) la variazione della direzione del vettore velocità determina l'esistenza della componente ortogonale della accelerazione, denominata *accelerazione centripeta* (\vec{a}_c), che risulta ortogonale alla traiettoria in ogni suo punto.

Alla luce di quanto detto, ci chiediamo allora che direzione presenta il vettore accelerazione in un moto generico. Per rispondere, bisogna distinguere quattro casi a seconda di se ci sono variazioni del modulo e/o della direzione del vettore velocità:

modulo della velocità	direzione della velocità	caratteristiche dell'accelerazione	accelerazione
costante $\vec{a}_t = 0$	costante $\vec{a}_c = 0$	La velocità è costante nella direzione; ciò implica che il moto avviene su <u>traiettoria rettilinea</u> . La velocità è costante anche in modulo; pertanto, non essendovi variazione di velocità, il moto non è accelerato. (Non è quindi presente né l'accelerazione tangenziale né l'accelerazione centripeta: l'accelerazione è dunque uguale a zero).	$\vec{a} = 0$
variabile $\vec{a}_t \neq 0$	costante $\vec{a}_c = 0$	La velocità è costante nella direzione; ciò implica che il moto avviene su <u>traiettoria rettilinea</u> ; l'accelerazione presenta solo la componente tangenziale; pertanto il vettore accelerazione risulta tangente alla retta in ogni punto e rivolto nel verso della velocità crescente.	$\vec{a} = \vec{a}_t$
costante $\vec{a}_t = 0$	variabile $\vec{a}_c \neq 0$	La direzione della velocità è variabile: pertanto il moto avviene su una <u>traiettoria curva</u> . L'accelerazione presenta solo la componente centripeta; il vettore accelerazione è ortogonale alla traiettoria in ogni suo punto e diretta verso l'interno della curva.	$\vec{a} = \vec{a}_c$
variabile $\vec{a}_t \neq 0$	variabile $\vec{a}_c \neq 0$	La direzione della velocità è variabile e pertanto il moto avviene su una <u>traiettoria curva</u> ; la velocità è variabile anche in modulo: è presente allora sia l'accelerazione centripeta, sia l'accelerazione tangenziale. Il vettore accelerazione è dato dalla somma vettoriale delle due componenti.	$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_c$

Esercizio. Un automobilista percorre un tragitto, prendendo nota della velocità ogni 5 minuti, secondo quanto appare nella tabella che segue. Qual è l'accelerazione media lungo l'intero tragitto? Qual è l'accelerazione media nei vari intervallini di tempo?

t [min]	v [m/s]
0	30
5	45
10	50
15	40
20	35

L'accelerazione media è il rapporto tra la variazione della velocità e la variazione del tempo; nell'intervallo da 0 a 20', la velocità varia da 30 a 35 m/s; pertanto:

$$a_{media} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{35 - 30}{20' - 0'} = \frac{5 \text{ m/s}}{20'} = \frac{5 \text{ m/s}}{20 \cdot 60 \text{ s}} = \frac{5 \text{ m/s}}{1200 \text{ s}} = 0,0042 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Passiamo a calcolare l'accelerazione nei vari intervalli; nel primo, da 0 a 5 minuti, l'automobilista varia la velocità da 30 a 45 m/s; pertanto:

$$a_{media(0'+5')} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{45 - 30}{5' - 0'} = \frac{15 \text{ m/s}}{5'} = \frac{15 \text{ m/s}}{5 \cdot 60 \text{ s}} = \frac{15 \text{ m/s}}{300 \text{ s}} = 0,05 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

nel secondo intervallo, da 5 a 10 minuti, l'automobilista passa da 45 a 50 m/s; pertanto:

$$a_{media(5'+10')} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{50 - 45}{10' - 5'} = \frac{5 \text{ m/s}}{5'} = \frac{5 \text{ m/s}}{5 \cdot 60 \text{ s}} = \frac{5 \text{ m/s}}{300 \text{ s}} = 0,017 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

analogamente negli altri intervalli da 10' a 15' e da 15' a 20':

$$a_{media(10'+15')} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{40 - 50}{15' - 10'} = \frac{-10 \text{ m/s}}{5'} = \frac{-10 \text{ m/s}}{5 \cdot 60 \text{ s}} = \frac{-10 \text{ m/s}}{300 \text{ s}} = -0,033 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$a_{media(15'+20')} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{35 - 40}{20' - 15'} = \frac{-5 \text{ m/s}}{5'} = \frac{-5 \text{ m/s}}{5 \cdot 60 \text{ s}} = \frac{-5 \text{ m/s}}{300 \text{ s}} = -0,017 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Si osservi come in corrispondenza di una diminuzione della velocità si ha una accelerazione negativa.

5. Moti rettilinei

Definizione di moto uniforme

Un moto si definisce uniforme se il modulo della velocità si mantiene costante nel tempo.

In un moto uniforme si percorrono spazi uguali in tempi uguali. Ricordiamo che la velocità si definisce come rapporto tra la variazione dello spazio e la variazione del tempo. Di conseguenza, la variazione di spazio è uguale al prodotto tra la velocità ed la variazione di tempo. In formule:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow \Delta s = v \cdot \Delta t$$

Ora, se la velocità è costante, la variazione dello spazio sarà data dal prodotto della variazione del tempo per una costante; questo si può esprimere dicendo che la variazione dello spazio è direttamente proporzionale alla variazione del tempo.

$$\Delta s = v \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta s = \text{costante} \cdot \Delta t$$

Ciò significa che lo spazio percorso è direttamente proporzionale al tempo impiegato a percorrerlo. Ad esempio, se viaggiamo alla velocità costante di 100 km orari, in un'ora avremo percorso 100 km; nel doppio del tempo (2 ore) percorreremo il doppio dello spazio (200 km); nel triplo del tempo (3 ore) percorreremo il triplo dello spazio (300 km); oppure, nella metà del tempo (mezz'ora) percorreremo metà dello spazio (50 km), e così via.

Moto rettilineo uniforme

Un moto si dice rettilineo se esso avviene lungo una retta, cioè se la sua traiettoria è una retta. In tal caso la direzione del moto è costante. Un moto si definisce poi rettilineo uniforme se esso è rettilineo (cioè avviene lungo una retta, quindi con direzione costante) ed è uniforme (modulo della velocità costante). Nel moto rettilineo uniforme la velocità (intesa come vettore) è costante.

Si muovono ad esempio di moto rettilineo uniforme un treno su un tratto rettilineo a velocità costante, le bollicine dell'acqua minerale quando salgono dal fondo del bicchiere verso l'alto, ecc.

Equazioni del moto rettilineo uniforme

Accelerazione

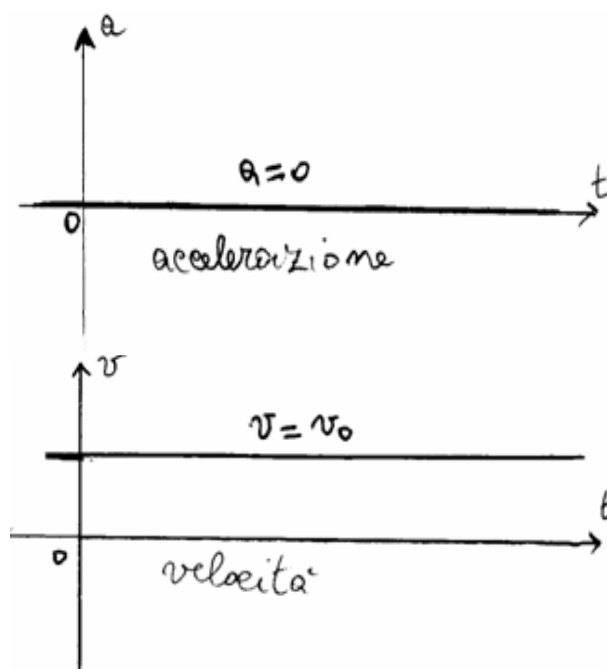
Ricordiamo che c'è accelerazione quando c'è una variazione della velocità. Poiché nel moto rettilineo uniforme la velocità è costante, non c'è variazione di velocità e quindi l'accelerazione è uguale a zero.

$$a = 0$$

Velocità

La velocità del corpo è sempre costante nel tempo; indicata con v_0 la velocità iniziale, cioè la velocità che il corpo aveva all'inizio del moto, la velocità assumerà sempre lo stesso valore.

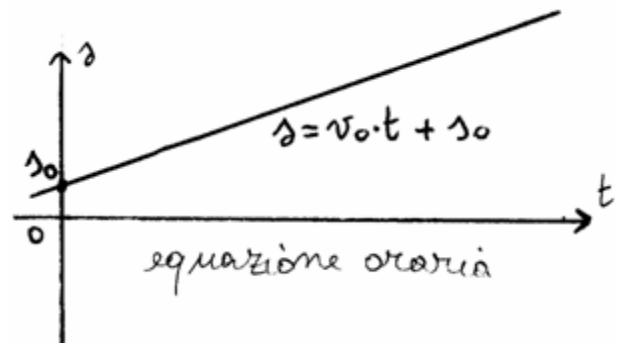
$$v = v_0$$



Equazione oraria

Si può osservare che il modulo dello spazio percorso aumenta linearmente con il tempo. Nel moto uniforme, lo spazio e il tempo sono grandezze linearmente correlate. Indicata con s_0 la posizione iniziale, cioè la posizione che il corpo aveva all'inizio del moto e con v_0 la velocità iniziale, si ha:

$$s = v_0 \cdot t + s_0$$



Moto rettilineo uniformemente accelerato

Un moto si dice uniformemente accelerato se l'accelerazione è costante (in modulo e in direzione e verso). Un moto uniformemente accelerato avviene su traiettoria rettilinea.

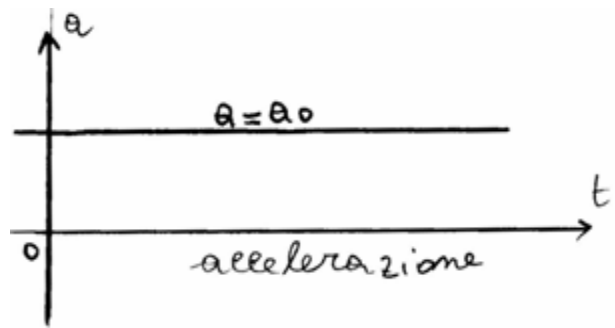
Un primo esempio di moto uniformemente accelerato è quello di un'automobile da corsa al momento della partenza: la accelerazione può ritenersi costante. Sia ad esempio pari a 10 m/s^2 ; ciò significa che la velocità aumenta di 10 m/s ogni secondo. All'inizio la velocità è zero; dopo 1 secondo la velocità è 10 m/s ; dopo 2 secondi la velocità è 20 m/s , dopo 3 secondi è 30 m/s , dopo 4 secondi è 40 m/s , e così via, finché l'auto non arriva alla massima velocità (circa 85 m/s).

Equazioni del moto rettilineo uniformemente accelerato

Accelerazione

L'accelerazione è per definizione costante, diversa da zero. L'equazione dell'accelerazione è:

$$a = a_0$$



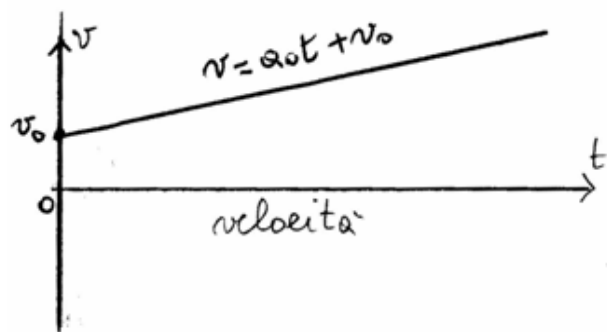
Velocità

Nel moto uniformemente accelerato, il modulo della velocità non è costante, ma col passare del tempo aumenta continuamente ed incessantemente.

L'equazione della velocità è:

$$v = a_0 \cdot t + v_0$$

a_0 è l'accelerazione iniziale, cioè l'accelerazione che il corpo aveva all'inizio del moto e che, essendo costante, si conserva inalterata nel tempo; v_0 è la velocità iniziale, cioè la velocità che il corpo aveva all'inizio del moto.

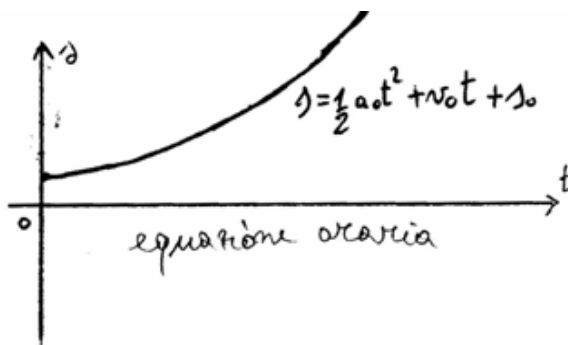


Nel moto uniformemente accelerato, la velocità e il tempo sono grandezze linearmente correlate.

Equazione oraria

$$s = \frac{1}{2} a_0 \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$$

s_0 è la posizione iniziale, cioè la posizione che il corpo aveva all'inizio del moto. Come si può notare, lo spazio percorso aumenta con il quadrato del tempo, cioè molto velocemente. Nel moto rettilineo uniforme lo spazio aumenta, ma più lentamente.



Caduta Libera

Un corpo in caduta libera si muove di moto uniformemente accelerato. È stato verificato sperimentalmente che se si lanciano dalla stessa altezza due oggetti di uguale forma e dimensione ma di masse molto diverse, (ad esempio ferro e gomma), i due oggetti cadono contemporaneamente. Il moto non dipende dalla massa degli oggetti; essi sono cioè soggetti alla stessa accelerazione, denominata *accelerazione di gravità*. L'accelerazione di gravità è l'accelerazione cui sono sottoposti tutti i corpi in prossimità della superficie terrestre; essa si indica con \vec{g} ; il vettore \vec{g} ha per direzione la verticale, per verso quello dall'alto verso il basso e per modulo il valore $g = 9,8 \frac{m}{s^2}$.

È facile verificare che un corpo in caduta libera si muove di moto uniformemente accelerato: se si lascia cadere un corpo da una piccola altezza, esso giungerà a terra con una velocità piccola; se si lascia cadere il corpo da un'altezza via via crescente, la velocità dell'impatto sarà sempre più elevata. Si verifica cioè sperimentalmente che la velocità dei corpi in caduta libera non è costante ma aumenta con il passare del tempo.

Le equazioni del moto dei corpi in caduta libera si otterranno dalle equazioni generali del moto rettilineo uniformemente accelerato sostituendo all'accelerazione a_0 il valore g :

$$a = g \qquad v = g \cdot t + v_0 \qquad s = \frac{1}{2} g \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$$

È bene precisare che queste equazioni si intendono considerando nullo l'attrito dell'aria.

Equazioni del moto dei corpi in caduta libera con posizione iniziale nulla e velocità iniziale nulla.

Questo è il caso di un corpo che viene lasciato cadere lungo la verticale, senza velocità iniziale, considerando nulla la posizione iniziale. In tal caso le equazioni precedenti si semplificano notevolmente, poiché $v_0 = 0$ e $s_0 = 0$:

$$a = g \qquad v = g \cdot t \qquad s = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

Dalle formule si vede che la velocità è proporzionale al tempo, mentre lo spazio aumenta con il quadrato del tempo, in modo più che proporzionale.

Equazioni del moto con posizione iniziale nulla e velocità iniziale diversa da zero

Questo è il caso di un corpo che viene lasciato cadere lungo la verticale, dalla posizione iniziale zero, ma con una velocità non nulla. In tal caso le equazioni diventano, ponendo $s_0 = 0$:

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

ESERCIZI – Moto rettilineo uniforme

Esercizio 1 Il moto di un corpo è rettilineo uniforme ed è espresso dalla seguente *legge oraria*:

$$s = 15 \cdot t + 35$$

Il tempo è espresso in secondi, lo spazio in metri.

- Si ricavi la *tabella oraria* ed la *curva oraria* prendendo incrementi del tempo di 1 s. Il tempo massimo sia di 20 s.
- Qual è lo spazio iniziale s_0 ?
- Qual è la velocità?

Esercizio 2 Il moto di un corpo è rettilineo uniforme ed è espresso dalla seguente *legge oraria*:

$$s = 90 \cdot t + 50$$

Il tempo è espresso in ore, lo spazio in chilometri.

- Si ricavi la *tabella oraria* ed la *curva oraria* prendendo incrementi del tempo di mezz'ora. Il tempo massimo sia di 10 ore.
- Qual è lo spazio iniziale s_0 ?
- Qual è la velocità?

Esercizio 3 Registrando il moto di un punto materiale si ottiene la seguente *tabella oraria* :

t [min]	0'	30'	60'	90'	120'	150'	180'
s [km]	10	15	20	25	30	35	40

- Tracciare il grafico della legge oraria (*curva oraria*).
- Verificare che si tratta di moto rettilineo uniforme.
- Scrivere le equazioni del moto rettilineo uniforme: $a = \dots$; $v = \dots$; $s = \dots$

Esercizio 4 Registrando il moto di un punto materiale si ottiene la seguente *tabella oraria* :

t [min]	0'	10'	20'	30'	30'	50'	60'	70'	80'	90'	100'
s [km]	11	14	17	20	23	26	29	32	35	38	41

- Tracciare il grafico della legge oraria (*curva oraria*).
- Verificare che si tratta di moto rettilineo uniforme.
- Scrivere le equazioni del moto rettilineo uniforme: $a = \dots$; $v = \dots$; $s = \dots$

ESERCIZI – Moto rettilineo uniformemente accelerato

Esercizio 1 Un corpo si muove in caduta libera, con velocità iniziale zero e posizione iniziale zero.

Il tempo sia espresso in secondi e lo spazio in metri.

- Si calcolino in una tabella i valori dell'accelerazione, della velocità e della distanza percorsa in un intervallo di 10 s, prendendo incrementi del tempo di 1 s.
- Successivamente si traccino i grafici dell'accelerazione, della velocità e la curva oraria.

Esercizio 2 Un corpo, soggetto solo alla forza di gravità, viene lanciato verso l'alto con velocità iniziale verso l'alto di 10 m/s e con posizione iniziale zero. Il tempo sia espresso in secondi e lo spazio in metri.

- Si calcolino in una tabella i valori dell'accelerazione, della velocità e della distanza percorsa in un intervallo di 10 s, prendendo incrementi del tempo di 1 s.
- Successivamente si traccino i grafici dell'accelerazione, della velocità e la curva oraria.
- Dopo quanti secondi il corpo si ferma e comincia a cadere (istante di arresto)?

6. Moti periodici

Definizione di moto periodico

Un moto è periodico quando il punto materiale ritorna, ad intervalli di tempo costanti, nella stessa posizione con identiche velocità ed accelerazione.

I moti periodici più importanti sono il *moto circolare uniforme* ed il *moto armonico*.

Periodo, frequenza

In un moto periodico il **periodo** è l'intervallo di tempo dopo cui il moto si ripete con le stesse caratteristiche. Il periodo si indica con il simbolo T . Essendo un intervallo di tempo, il periodo si misura in secondi.

In un moto periodico la **frequenza** è il numero di volte che in un secondo il moto si ripete con le stesse caratteristiche. La frequenza si indica con il simbolo f . La frequenza si misura in *periodi al secondo* o *cicli al secondo*, unità di misura che prende il nome di *Hertz [Hz]*. Multipli dell'Hertz sono il KiloHz (1000 cicli al secondo), il MegaHz (un milione di cicli al secondo), il GigaHz (un miliardo di cicli al secondo).

Tra periodo e frequenza c'è una precisa relazione matematica: il periodo è il reciproco della frequenza e viceversa, la frequenza è il reciproco del periodo:

$$f = \frac{1}{T} \quad T = \frac{1}{f}$$

Esempio 1. Una ruota compie due giri al secondo. Qual è la sua frequenza di rotazione? Qual è il periodo di rotazione?

La frequenza di rotazione è 2 cicli al secondo, vale a dire 2 Hz. Il periodo di rotazione è

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ secondi} .$$

Moto circolare uniforme

Un moto si definisce circolare quando esso si svolge in un piano lungo una circonferenza, cioè se la sua traiettoria è una circonferenza. Un moto si definisce poi circolare uniforme quando esso è circolare e avviene con il modulo della velocità costante. Possiamo anche dire che un punto si muove di moto circolare uniforme se esso percorre su una circonferenza archi uguali in intervalli di tempo uguali.

Si muovono di moto circolare uniforme le lancette dell'orologio, la giostra dei cavallucci, l'albero del motore di un'auto quando il numero di giri è costante. Il moto della Luna attorno alla Terra è approssimativamente circolare uniforme (l'orbita è in realtà lievemente ellittica).

Velocità lineare

Nel moto circolare la velocità è il rapporto tra l'arco percorso e l'intervallo di tempo impiegato a percorrerlo. Considerando che in un intervallo di tempo pari al periodo T il punto materiale percorre tutta la circonferenza $2 \cdot \pi \cdot r$, l'espressione della velocità è allora:

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

Considerando poi che la frequenza è l'inverso del periodo si ha:

$$v = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi r \cdot \frac{1}{T} = 2\pi r f$$

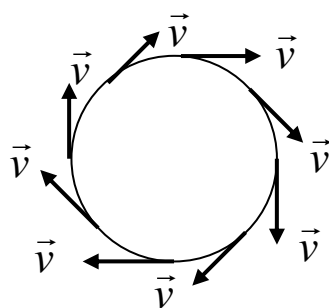
Velocità angolare

In un moto circolare, la velocità angolare è il rapporto tra l'angolo descritto dal raggio e l'intervallo di tempo impiegato a descriverlo. La velocità angolare è indicata con il simbolo ω . Essa si ottiene dividendo la velocità lineare v per il raggio r .

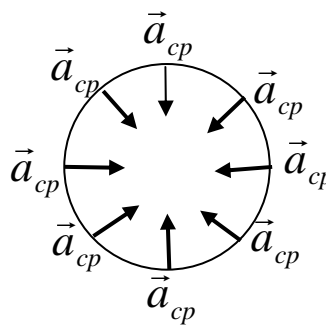
$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{2\pi r}{Tr} = \frac{2\pi}{T}$$

Accelerazione centripeta

Sembrerebbe che il moto circolare uniforme non sia accelerato, data la costanza del modulo della velocità. In realtà la velocità è costante solo nel modulo, ma non nella direzione, dovendo il vettore essere in ogni istante tangente alla traiettoria. Quindi il moto circolare uniforme è sicuramente accelerato, e l'accelerazione presenta la componente *centripeta* (diretta verso il centro della circonferenza).



vettore velocità



vettore accelerazione

Si può vedere che il valore dell'accelerazione centripeta è pari a:

$$a_{cp} = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

Sostituendo ad ω l'espressione relativa si ha:

$$a_{cp} = \omega^2 r = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

Moto Armonico

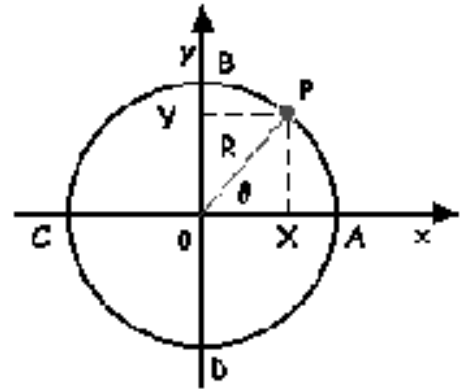
Definizione

Il moto armonico è la proiezione su un diametro della circonferenza (o su una retta qualsiasi parallela al diametro medesimo) di un punto che si muove di moto circolare uniforme sulla circonferenza stessa.

Sia P un punto materiale che si muove di moto circolare uniforme con velocità angolare ω sulla circonferenza di raggio R; sia θ la sua posizione angolare in un generico istante t . Quando P percorre la circonferenza, le sue proiezioni ortogonali sui due assi, rappresentate dai punti X e Y, si muovono avanti e indietro sugli assi, oscillando attorno al centro O della circonferenza. In particolare quando P si muove da A verso B, la proiezione X si muove da A verso O; quando P va da B a C, X va da O verso C; quando P va da C a D, X ritorna da C verso O e quando P conclude il giro da D ad A, X ritorna da O verso A.

Vediamo perché il moto armonico è periodico: un moto è periodico quando il punto materiale ritorna, ad intervalli di tempo costanti detti periodi, nella stessa posizione con identiche velocità ed accelerazione. Il moto armonico viene definito come la proiezione ortogonale di un moto circolare uniforme; poiché quest'ultimo è periodico, lo è senz'altro anche la sua proiezione.

Si muovono di moto armonico una massa in movimento collegata ad una molla, senza attrito, un pendolo semplice costituito da una massa sospesa ad un filo, quando vi sono piccole oscillazioni, ecc.



Parametri del moto armonico

Ampiezza delle oscillazioni armoniche

L'ampiezza delle oscillazioni armoniche è data dal massimo valore che può assumere la X; essa coincide con il raggio R della circonferenza usata per definire il moto armonico.

Periodo

Si definisce periodo T di un moto armonico la durata di un'oscillazione completa. Il tempo impiegato dal punto che si muove di moto armonico a percorrere l'intero diametro e ritornare alla posizione di partenza (oscillazione completa) coincide con il tempo impiegato dal punto per percorrere l'intera circonferenza. Il periodo di un'oscillazione completa del moto armonico coincide pertanto con il periodo del moto circolare uniforme di cui esso è la proiezione.

Frequenza

Si definisce frequenza f di un moto armonico il numero delle oscillazioni nell'unità di tempo. La frequenza è il reciproco del periodo. Il moto armonico ha la stessa frequenza del moto circolare uniforme.

Elongazione

Si definisce elongazione in un moto armonico il valore della posizione X istante per istante.

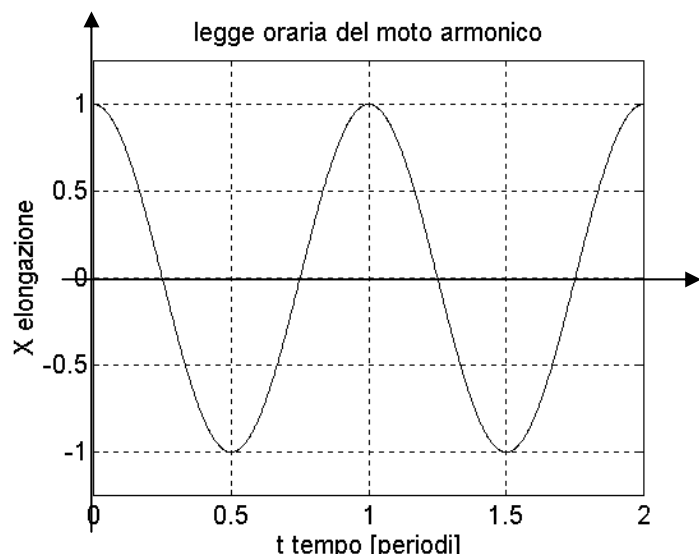
Grafico della legge oraria

Il grafico della legge oraria del moto armonico è il seguente:

Equazione oraria

L'equazione oraria di un moto armonico è la seguente:

$$X = R \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$$



X è l'elongazione;

t è il tempo;

R è la massima ampiezza delle oscillazioni;

T è il periodo;

$\cos(\dots)$ una particolare funzione matematica detta "coseno" che si studia in Trigonometria.

ESERCIZI – Moto circolare uniforme

Esercizio 1 L'elica di un aereo compie 2400 giri al minuto.

- Trasformare la frequenza di rotazione dell'elica in Hertz.
- Calcolare il periodo di rotazione.
- Calcolare la velocità angolare.

Esercizio 2 Il disco rigido di un computer gira con una frequenza di 7200 giri al minuto.

- Trasformare la frequenza di rotazione dell'elica in Hertz.
- Calcolare il periodo di rotazione in secondi.
- Calcolare la velocità angolare.

Esercizio 3 Un trenino gira su una pista circolare di raggio 2,5 m con una frequenza di 1 Hz.

- Calcolare il periodo.
- Calcolare la velocità lineare.
- Calcolare la velocità angolare.

Esercizio 4 Una giostra al Luna Park compie 6 giri al minuto. Un ragazzo è seduto a 2 m dal centro di rotazione e un suo amico a 3 m.

- Calcolare la velocità angolare della giostra.
- Calcolare la velocità lineare ed accelerazione centripeta del 1° ragazzo.
- Calcolare la velocità lineare ed accelerazione centripeta del 2° ragazzo.

Esercizio 5 La Terra gira intorno al Sole su un'orbita approssimativamente circolare, di raggio 150 milioni di chilometri in un anno (31.556.926 s).

- Verificare che la velocità lineare è circa 30 km/s.
- Calcolare la velocità angolare.
- Calcolare l'accelerazione centripeta.

ESERCIZI – Moto armonico

Esercizio 1 Un punto P gira su una circonferenza di raggio 12 cm e compie un giro completo in 1,4 s. La proiezione Q del punto P sul diametro AB si muove di moto armonico.

- Calcolare il periodo del moto armonico.
- Quanto tempo impiega il punto per andare dal punto A al centro della circonferenza?
- Quante oscillazioni complete compie il punto Q in un minuto?

Esercizio 2 Una ruota vibrante si muove avanti e indietro fra due punti che distano 6 mm. Il moto è armonico con frequenza 200 Hz.

- Qual è l'ampiezza del moto?
- Calcolare il periodo del moto armonico.
- Scrivere la legge oraria.