

# La fisica dello sport: Lezione 2:

## Cinematica: La scienza del moto

/ultimo aggiornamento V.O. 4/10/99 Traduzione a cura di Barbara Fiammengo e C.P.

Chiamiamo cinematica lo studio del moto semplice di corpi. Le equazioni della cinematica descrivono la posizione di un oggetto in movimento come una funzione del tempo e descrivono le relazioni tra la sua posizione, la velocità, e l'accelerazione (equazioni orarie).

QUANTITA'	DEFINIZIONE	UNITA'	EQUAZIONI
Spostamento	Distanza percorsa	Metri (m)	$d(t) = d_0 + v_0 t + 1/2 A t^2$ (v ed A costanti)
Velocità	Variazione della distanza	Metri per secondo per secondo (m/s)	$v = \Delta x / \Delta t$ $v(t) = v_0 + A t$ (A costante)
Accelerazione	Variazione della velocità	Metri per secondo per secondo ( $m/s^2$ )	$A = \Delta v / \Delta t$

Se  $d_0$  è 0 le equazioni per  $d(t)$  e  $v(t)$  possono essere usate per dedurre questa utile relazione:

$$v^2 = v_0^2 + 2Ad.$$

Se  $d_0$  e  $v_0$  sono ENTRAMBI 0 (e.g. all'inizio di una corsa) ciò si riduce a  $v^2 = 2Ad$ .

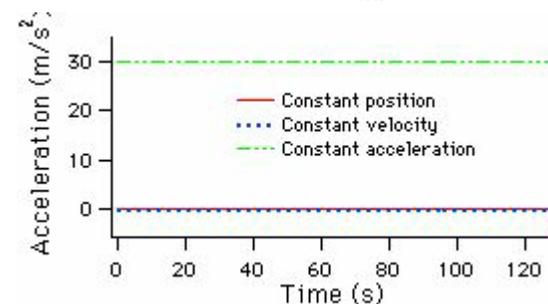
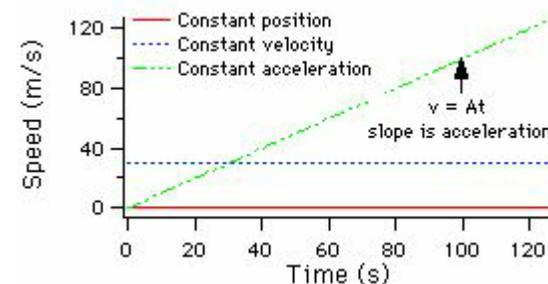
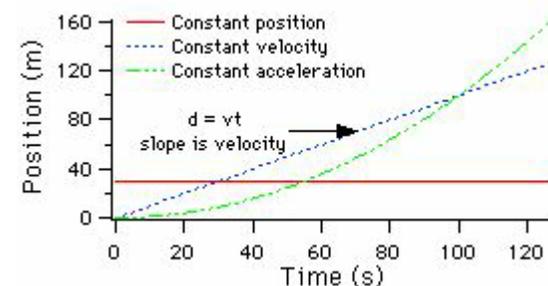
Le equazioni di cui sopra sono semplici da studiare se  $v$  ed  $A$  sono costanti con il tempo. Sfortunatamente, nelle situazioni interessanti di ogni giorno, ciò è raramente un caso. Ed aggiungendo nelle equazioni la dipendenza dal tempo appropriata queste si complicano oltre lo scopo di questo corso. Quindi il nostro approccio sarà di studiare la cinematica attraverso grafici e, se necessario, scomponendo il moto in

parti dove  $v$  e  $A$  siano costanti o quasi.. Diamo uno sguardo ad alcuni semplici esempi per farci un'idea di quello che stiamo trattando...

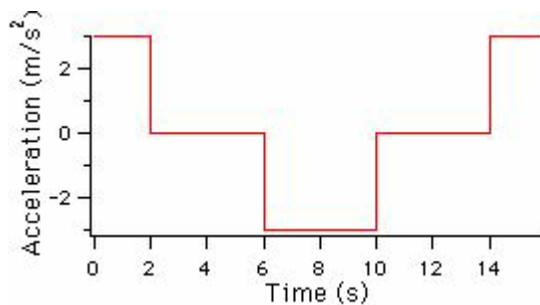
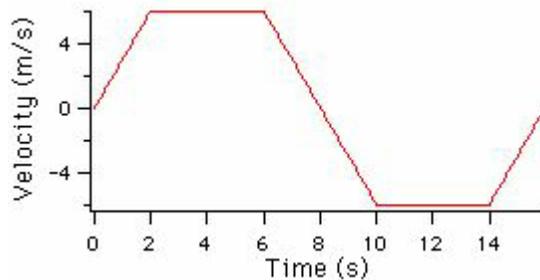
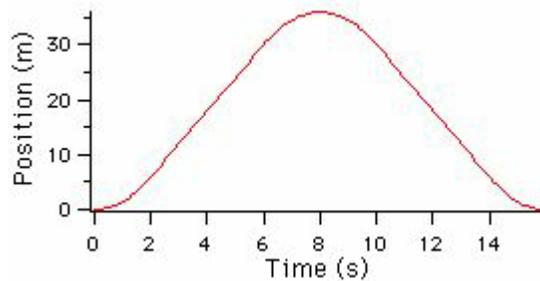
Qui vediamo un grafico della posizione in funzione del tempo per tre diversi casi. Un valore costante per la posizione significa che l'oggetto è sempre nella stessa posizione a qualsiasi tempo la si osservi: così la posizione è rappresentata da una linea orizzontale parallela all'asse del tempo. Se la velocità è costante ciò significa che  $A = 0$ , così che l'equazione oraria della posizione si riduce a  $d(t) = vt$  (se  $d_0$ , posizione iniziale, è 0). Questa è semplicemente l'equazione di una retta con pendenza (coefficiente angolare) uguale alla velocità. L'accelerazione costante significa che il suo valore può NON essere 0, come in questo caso, ed il termine in  $t^2$  fa sì che la curva che descrive la posizione in funzione del tempo sia una parabola.

Questo è un grafico della velocità in funzione del tempo. L'unico modo in cui la posizione può essere costante è che la velocità sia sempre 0. Una velocità costante e diversa da 0, appare come una retta orizzontale al di sopra o al di sotto dell'asse dei tempi;  $A = 0$  e  $v(t) = v_0$ , dove  $v_0$  è l'intercetta con l'asse della velocità. Se l'accelerazione  $A$  è costante avremo che  $v = At$ , che corrisponde ad una retta con pendenza uguale ad  $A$ .

OK, questo grafico non è così interessante. Se la posizione o la velocità sono costanti l'accelerazione deve sempre essere 0. Ed un'accelerazione costante corrisponde ad una retta orizzontale.



Osservando grafici come questi potete dire immediatamente se un corpo si sta muovendo o è fermo, se sta accelerando, e in che direzione si sta muovendo. Negli esempi precedenti le grandezze erano tutte positive, ma non era necessario che le fossero; una linea orizzontale sotto lo 0 nel secondo grafico indicherebbe una velocità costante nella direzione negativa. Per verificare come questa tecnica sia utile per analizzare rapidamente moti più complicati, andiamo a lanciare la palla ad un cane in un parco. Voi lanciate una palla, Spot scatta, insegue la palla, la prende e ve la riporta. Come appaiono i grafici del moto di Spot?



Voi siete in piedi alla posizione 0 e Spot è vicino a voi. A  $t = 0$  voi lanciate la palla; immediatamente Spot scatta con un'accelerazione costante e positiva. La posizione di Spot comincia ad aumentare con legge parabolica, e la sua velocità aumenta linearmente con una pendenza positiva. Una volta che Spot raggiunge il massimo della sua velocità (a  $t = 2$ s) la sua accelerazione scende a 0, la sua velocità diventa costante (e positiva) e la sua posizione incomincia ad incrementare linearmente con pendenza positiva. Appena si avvicina alla palla Spot comincia a decelerare preparandosi a prenderla. Qui (a  $t = 6$ s) la sua accelerazione diviene negativa e la sua velocità cambia linearmente con pendenza negativa.

A  $t = 8$ s Spot raggiunge la palla, l'afferra, ed immediatamente comincia ad accelerare per tornare da voi. Notate che la sua **ACCELERAZIONE NON CAMBIA** durante questa manovra anche se la sua velocità cambia direzione (i.e. cambia segno). Spot continua ad accelerare (questa volta nella direzione negativa) e raggiunge il massimo della velocità a  $t = 10$ s. Durante il periodo tra  $t = 6$  e  $t = 10$ s, l'accelerazione di Spot è costante e negativa, da adesso la sua velocità decresce linearmente con pendenza negativa, e la sua posizione è descritta da una parabola con una curvatura negativa.

Da  $t = 10$  fino a  $t = 14$ s, Spot viaggia con una velocità costante (notate che l'accelerazione è 0) nella direzione negativa, da adesso la sua posizione è una retta con pendenza negativa. A  $t = 14$ s Spot comincia a rallentare applicando una **ACCELERAZIONE POSITIVA** (ricordate l'esempio della macchina che si ferma al semaforo [Lezione 1](#)). Ora la sua velocità nella direzione negativa diventa più positiva (avvicinandosi allo 0) e la sua posizione cambia come una parabola con curvatura positiva. A  $t = 16$ s Spot si ferma accanto a voi e lascia cadere la palla. Bravissimo!

Ovviamente questa è un'approssimazione, il moto reale è più complicato. Ma è un'approssimazione abbastanza buona; la maggior parte dei tipi di moto attinenti allo sport possono essere scomposti in parti facili da analizzare. I grafici come questi sono un modo molto economico di trasmettere molte informazioni. Per esempio, guardando i grafici sopra dovrete essere in grado di dire quanto lontano sia stata lanciata la palla. Per di più, se avete a disposizione solo il grafico dell'accelerazione, dovrete essere in grado di disegnare (almeno schematicamente) gli altri grafici e vice versa. Grafici come questi offrono molte possibilità come ottimi problemi d'esame (chi ha orecchie per intendere...).

Così ora conosciamo le equazioni che mettono in relazione la posizione, la velocità, e l'accelerazione, e sappiamo come usare grafici di queste grandezze in funzione del tempo per studiare il moto. Ma cosa provoca l'accelerazione in primo luogo? Questa è una domanda chiave per la fisica dello sport perché molti sport si propongono di produrre e controllare l'accelerazione, sia del corpo umano sia delle

attrezzature. Per cominciare a rispondere a questa domanda abbiamo bisogno delle...

## Leggi del moto di Newton

LEGGE:	FORMULAZIONE CLASSICA:	FORMULAZIONE MODERNA:
1 <sup>a</sup> LEGGE: (Legge d'inerzia)	Ogni corpo rimane nel suo stato di riposo, o di moto rettilineo uniforme, fino a che non intervengano delle forze che agiscano su di lui.	In assenza di forze esterne, gli oggetti in moto continueranno il loro moto e gli oggetti a riposo rimarranno a riposo.
<u>2<sup>a</sup> LEGGE:</u>	La variazione di moto è proporzionale in direzione e verso alla forza applicata.	$\mathbf{F} = m\mathbf{A}$
3 <sup>a</sup> LEGGE:	Ad ogni azione corrisponde sempre una reazione uguale e contraria: azione e reazione sono uguali ma di direzione opposta.	Le forze agiscono in coppie uguali in intensità, ma con direzione opposta.

**La 1<sup>a</sup> Legge**, anche conosciuta come Legge d'inerzia, dice fondamentalmente che se non si agisce su di un corpo questo continuerà nel suo stato di moto o di riposo. La parte circa il mantenimento dello stato di riposo è intuitiva, ma l'altra potrebbe non esserlo. La vostra esperienza ed intuizione vi dicono che se voi imprimate un moto ad un corpo e successivamente lo lasciate questo non manterrà il moto impressogli all'infinito ma prima o poi si fermerà. Questo perché nel mondo di ogni giorno siamo circondati da forze esterne: attrito, gravità, resistenza dell'aria... è impossibile trovarsi in "assenza di forze esterne" sulla superficie della terra. Ed è davvero un bene per questo corso perché sono proprio queste forze esterne che rendono lo sport così interessante, a livello di sfida ed intrattenimento.

**La 2<sup>a</sup> Legge** è forse la più importante. La 1<sup>a</sup> Legge dice che ciò accade se voi "lasciate stare" un corpo, ma la 2<sup>a</sup> Legge dice che ciò accade se voi agite su di lui con una spinta, per esempio. Noi abbiamo già definito l'accelerazione come variazione della velocità, ora la 2<sup>a</sup> Legge definisce i concetti di massa e forza. La massa descrive la tendenza di un oggetto a resistere all'accelerazione; più massa ha, maggiore sarà la forza richiesta per imprimergli un'accelerazione. La massa è misurata in chilogrammi. Una forza risultante non nulla, ovvero non compensata da altre forze, produce un'accelerazione. Le unità di misura della forza sono i newton. Dalla 2<sup>a</sup> Legge possiamo vedere che 1 newton è uguale a 1 kg m/s<sup>2</sup>. Si noti che che la 2<sup>a</sup> Legge è un' EQUAZIONE VETTORIALE. Ciò significa che l'accelerazione prodotta da una data forza ha la stessa direzione di quella forza. Notate che la 1<sup>a</sup> Legge potrebbe essere vista come un caso speciale della 2<sup>a</sup> Legge: se  $\mathbf{F} = 0$  anche  $\mathbf{A} = 0$ .

Inizialmente la **3<sup>a</sup> Legge** potrebbe sembrare un po' insolita; voi non siete abituati a pensare che gli oggetti su cui spingete reagiscono con una spinta contraria su di voi...ma invece è così! Mentre siete seduti intenti a leggere voi state esercitando una spinta sulla sedia con una forza (approssimativamente) uguale al vostro peso. Fortunatamente per voi, la sedia sta generando una spinta verso di voi con una forza uguale ed opposta. Se non "spingesse" contro di voi (secondo la 2<sup>a</sup> Legge) sareste accelerati verso il centro della Terra fino a colpire qualcosa (presumibilmente il pavimento). Quando un velocista spinge contro i blocchi di partenza, i blocchi restituiscono la spinta. È proprio questa forza di reazione dai blocchi che spinge in avanti il velocista.

## Il peso e la 2<sup>a</sup> Legge di Newton:

Ora sappiamo (dalla 2<sup>a</sup> Legge di Newton) che una forza è una massa moltiplicata per un'accelerazione. C'è una accelerazione che sperimentate continuamente. Infatti, è così costante che voi usualmente la ignorate. Si tratta dell'accelerazione derivante dalla forza gravitazionale della Terra. Il modulo di questa accelerazione è  $9.8 \text{ m/s}^2$  (per semplicità spesso arrotonderemo questo valore a 10) ed è rappresentato da **g**. Prendete la vostra massa, moltiplicatela per g ed avrete una forza; la forza di gravità sul vostro corpo. La di questa forza è nota come PESO.

$$\mathbf{W} = -mg$$

dove **W** è la forza di gravità, m è la massa, e g è l'accelerazione di gravità. Se (per convenzione) definissimo che "verso l'alto" è la direzione positiva il segno - vorrebbe dire che la forza è diretta verso il basso. Il peso è solo il modulo di questa forza:  $W = mg$ . Così ora dovrebbe essere chiaro perché abbiamo detto che

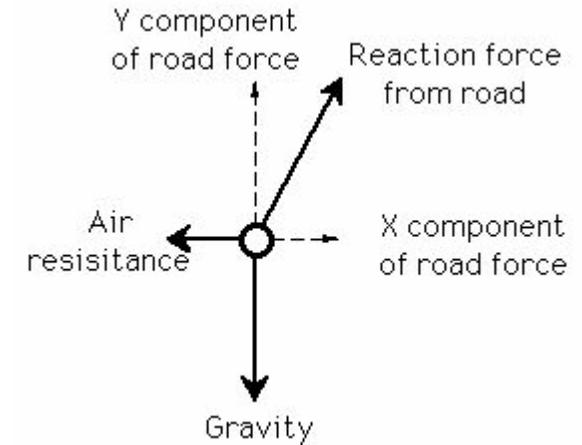
$$\text{MASSA} \simeq \text{PESO}$$

nella [Lezione 1](#): la massa è una grandezza scalare intrinseca di un corpo e corrisponde alla quantità di materia contenuta in quello corpo; il peso è il modulo della forza gravitazionale risultante da quella massa. Si noti che la definizione di peso è riferita al pianeta su cui ci troviamo. Il vostro peso sulla Luna è minore del vostro peso sulla Terra, ma la vostra massa è costante (a meno che non vi mettiate a dieta mentre state andando sulla luna). Come del resto, nello spazio voi non pesereste assolutamente nulla...ma avreste ancora la vostra massa. Un oggetto di grande massa nello spazio può essere "senza peso" ma è ancora molto difficile da accelerare.

## Diagramma di Corpo Libero

La seconda Legge di Newton,  $\mathbf{F} = m\mathbf{A}$ , è la più importante equazione che noi discuteremo.

L'applicazione della 2<sup>a</sup> Legge è semplice... finché si sta parlando dell'azione di una singola forza su di una sola massa. Difatto, in campo sportivo, ( e, in genere, nella vita ), questo caso non lo vediamo mai. Un atleta che corre lungo una strada sperimenterà le forze derivanti dal suolo, la forza gravitazionale della Terra e la forza di resistenza dell'aria. Di tutte di queste forze avremo differenti valori e direzioni... così quale di queste  $\mathbf{F}$  in  $\mathbf{F} = m\mathbf{A}$ ? La risposta è tutte, o piuttosto, la somma di tutte. La  $\mathbf{F}$  in  $\mathbf{F} = m\mathbf{A}$  è la SOMMA VETTORIALE di tutte le forze che agiscono sul corpo; ciò è anche chiamata la



forza risultante. Un'utile metodo che aiuta a calcolare la forza risultante su un corpo è il diagramma di corpo libero. In un diagramma di corpo libero, l'oggetto in questione è rappresentato da un punto, senza tenere in considerazione ciò che è in realtà. Poi tutte le varie forze agenti sul corpo vengono disegnate come vettori che originano dal punto rappresentante l'oggetto. Questo rende facile la somma dei vettori, componente per componente, ed aiuta anche a non dimenticare una forza o due. Qui sopra potete vedere un diagramma di corpo libero del corridore di cui abbiamo appena parlato... sembra che la forza risultante (la somma di tutti i componenti della forza) sia zero! Ed è vero: l'atleta sta correndo con una velocità rettilinea uniforme

**Lezione 2****PUNTI PRINCIPALI:**

- Le equazioni della cinematica definiscono le relazioni tra posizione, velocità, ed accelerazione.
- I moti complessi possono essere descritti sinteticamente graficando le variabili cinematiche in funzione del tempo
- Le Leggi di Newton definiscono i concetti di forza e massa.
- $F = mA$
- Diagramma di Corpo Libero

**Lezione 3****ANTEPRIMA:**

Energia, quantità di moto e lavoro: questi sono concetti addizionali del moto che, insieme alle equazioni della cinematica e le Leggi di Newton, forniscono potenti mezzi per analizzare i tipi di moto che sono ricorrenti nello sport.