

Corsi di Laurea in  
*Scienze motorie - Classe L-22 (D.M. 270/04)*

**Dr. Andrea Malizia**

# Lezione 3

Cinematica

Velocità

Moto uniforme

Accelerazione

Moto uniformemente accelerato

Concetto di Forza

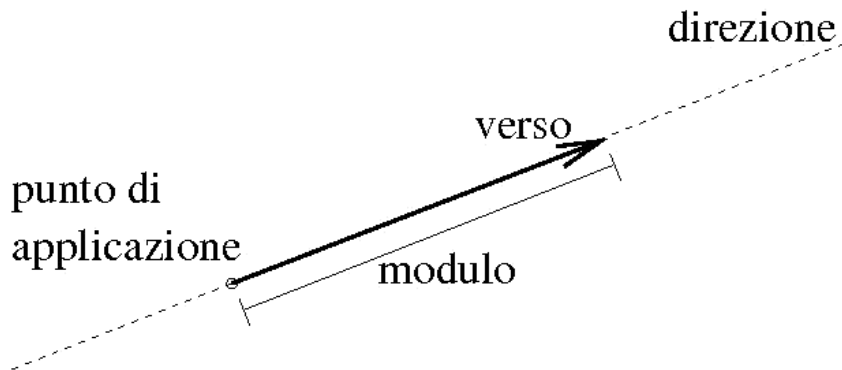
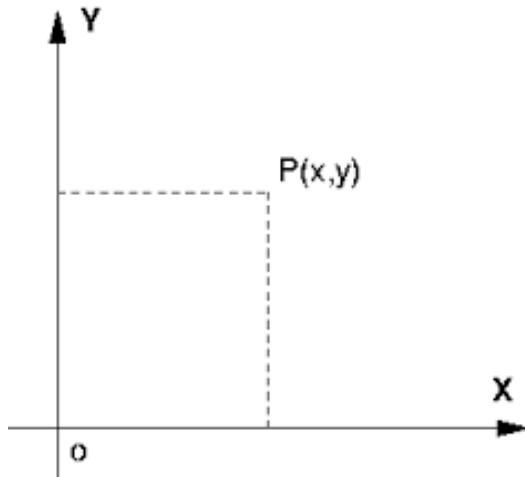
Leggi di Newton

### *Spostamento, distanza totale e traiettoria*

Lo **spostamento** rappresenta di quanto l'oggetto (che nelle varie trattazioni riportate in seguito assumeremo essere un **punto materiale: oggetto adimensionale**) è lontano dal punto di partenza cioè il cambiamento di posizione. Lo spostamento è rappresentato con vettori (che hanno intensità, direzione e verso).

La **distanza assoluta** la quantità di spazio totale percorsa.

Si dice **traiettoria** l'insieme dei punti attraverso i quali passa un punto materiale durante il suo moto.



## Velocità media

### *Velocità scalare media*

Definita come la **distanza percorsa** di un oggetto durante il suo cammino divisa per il **tempo** che l'oggetto stesso impiega per percorrere tale distanza

$$v_{s \text{ media}} = \langle v_s \rangle = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

### *Velocità vettoriale*

La **velocità scalare** è un numero positivo espresso in una certa unità di misura. La **velocità vettoriale** è invece usata per indicare l'insieme del *modulo o intensità* (valore numerico che esprime quanto rapidamente un oggetto si stia muovendo) e della *direzione* in cui si sta' muovendo. La velocità vettoriale è quindi un vettore

## *Velocità vettoriale media*

Definita come lo **spostamento** di un oggetto durante il suo cammino divisa per il **tempo** che l'oggetto stesso impiega per percorrere tale distanza

$$\vec{v}_{\text{media}} = \langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

La velocità scalare media e la velocità vettoriale media hanno lo stesso modulo (stesso valore numerico) quando il moto si svolge tutto in una sola direzione.

Il verso discrimina il segno che dipende dal sistema di riferimento scelto.

## Velocità istantanea

### *Velocità istantanea*

La **velocità istantanea** è definita come la velocità media in un intervallo di tempo infinitamente piccolo.

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

Sulla base di queste definizioni, si può ottenere l'equazione dimensionale per la velocità:

$$[v] = [L][T^{-1}]$$

## Accelerazione



## Accelerazione [Grandezza vettoriale]

### *Accelerazione media*

Si dice che un oggetto **accelera** quando la velocità cambia nel tempo. Si definisce **accelerazione media** la variazione della velocità divisa il tempo impiegato perché tale variazione accada:

$$a_M = \frac{v(t + \Delta t) - v(t)}{\Delta t}$$

### *Accelerazione istantanea*

L'**accelerazione istantanea** può essere definita come la variazione di velocità che si ha in un intervallo infinitesimale di tempo.

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{v(t + \Delta t) - v(t)}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2}$$

### *Decelerazione*

Quando un oggetto rallenta si dice che sta **decelerando**.  
Ma decelerare non significa necessariamente avere segno negativo

Sulla base di queste definizioni, si può ottenere l'equazione dimensionale per l'accelerazione:

$$[a] = [L][T^{-2}]$$

## Accelerazione [Grandezza vettoriale]

# Segno dell'accelerazione

L'accelerazione è positiva quando è diretta nel verso positivo dell'asse, negativa nel caso opposto.

Attenzione al significato del segno !!!

Il segno dell'accelerazione non vuol sempre dire che l'oggetto sta aumentando o diminuendo la sua velocità !

Se un'automobile con velocità iniziale  $v = -25 \text{ m/s}$  viene frenata fino all'arresto in  $5.0 \text{ s}$ , risulta  $a = +5.0 \text{ m/s}^2$ : l'accelerazione è **positiva** ma la macchina ha rallentato !!!!!

Se i segni di velocità e accelerazione sono concordi  $\rightarrow$  l'oggetto sta aumentando la sua velocità, se i segni sono opposti l'oggetto rallenta.



# ESERCIZI

## Accelerazione

### *Moto con accelerazione costante (o uniformemente accelerato)*

#### 2-5 Moto con accelerazione costante

In molte situazioni avviene che l'accelerazione sia costante o quasi costante. Esaminiamo ora la situazione in cui il modulo dell'accelerazione è costante e il moto avviene su una linea retta. In questo caso l'accelerazione istantanea e quella media sono uguali.

Utilizziamo le definizioni di velocità e accelerazione per dedurre un insieme di equazioni estremamente utili che mettono in relazione  $x$ ,  $v$ ,  $a$  e  $t$  quando  $a$  è costante, permettendoci di determinare ognuna di queste variabili quando conosciamo le altre.

Per semplificare le notazioni, assumeremo che in ogni situazione il tempo iniziale sia zero e lo chiameremo  $t_0$ :  $t_1 = t_0 = 0$  (questo equivale in pratica a far partire un cronometro a  $t_0$ ). Possiamo porre quindi che  $t = t_1$  sia il tempo trascorso. La posizione iniziale ( $x_1$ ) e la velocità iniziale ( $v_1$ ) di un oggetto saranno ora rappresentate da  $x_0$  e  $v_0$ , poiché rappresentano  $x$  e  $v$  al tempo  $t = 0$ . Al tempo  $t$  la posizione e la velocità saranno chiamate  $x$  e  $v$  (piuttosto che  $x_2$  e  $v_2$ ). La velocità media durante l'intervallo di tempo  $t - t_0$  sarà (eq. 2-2)

$$\bar{v} = \frac{x - x_0}{t - t_0} = \frac{x - x_0}{t}$$

Se scegliamo  $t_0 = 0$ . L'accelerazione, che è assunta costante nel tempo, è (eq. 2-4)

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

Un problema che ricorre spesso è la determinazione della velocità di un oggetto dopo un certo tempo, essendo nota la sua accelerazione costante. Possiamo affrontare questo problema risolvendo l'ultima equazione rispetto a  $v$  e ottenendo:

$$v = v_0 + at \quad \text{[accelerazione costante]} \quad (2.5)$$

*Poniamo  $a = \text{costante}$*

$x (a t = 0) = x_0$

$v (a t = 0) = v_0$

$t = \text{tempo trascorso}$

*$v$  funzione di  $a$  e  $t$   
( $a = \text{costante}$ )*

## Accelerazione

### *Moto con accelerazione costante (o uniformemente accelerato)*

Per esempio, sapendo che l'accelerazione di una motocicletta è  $4.0 \text{ m/s}^2$ , vogliamo determinare a che velocità viaggia dopo un tempo  $t = 6.0 \text{ s}$  partendo da ferma ( $v_0 = 0$  a  $t_0 = 0$ ). A  $t = 6.0 \text{ s}$  la velocità sarà  $v = at = (4.0 \text{ m/s}^2)(6.0 \text{ s}) = 24 \text{ m/s}$ .

Adesso vediamo come calcolare la posizione di un oggetto dopo un tempo  $t$  quando è soggetto a un'accelerazione costante. La definizione di velocità media (eq. 2-2) è  $\bar{v} = (x - x_0)/t$ , che possiamo riscrivere come

$$x = x_0 + \bar{v}t. \quad (2-7)$$

Poiché la velocità cresce a un ritmo uniforme, la velocità media  $\bar{v}$  sarà a mezza via fra le velocità iniziale e finale:

$$\bar{v} = \frac{v_0 + v}{2}. \quad [\text{accelerazione costante}] \quad (2-8)$$

(Attenzione: l'equazione 2-8 non è necessariamente valida se l'accelerazione non è costante). Combiniamo le ultime due equazioni con l'equazione 2-6 e troviamo

$$\begin{aligned} x &= x_0 + \bar{v}t = x_0 + \left(\frac{v_0 + v}{2}\right)t \\ &= x_0 + \left(\frac{v_0 + v_0 + at}{2}\right)t \end{aligned}$$

oppure

$$x = x_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2. \quad [\text{accelerazione costante}] \quad (2-9)$$

◆ **ATTENZIONE**  
*velocità media, ma solo se  
a = costante*

*x in funzione di t e a  
(a = costante)*

## Accelerazione

### *Moto con accelerazione costante (o uniformemente accelerato)*

Le equazioni 2-6, 2-8 e 2-9 sono tre delle quattro equazioni più utili per il moto con accelerazione costante. Ora dedurremo da queste la quarta che è utile in situazioni in cui il tempo  $t$  non è noto. Partiamo dall'equazione 2-7 e sostituiamo in essa la 2-8:

$$x = x_0 + \bar{v}t = x_0 + \left(\frac{v + v_0}{2}\right)t.$$

Poi risolviamo l'equazione 2-6 per  $t$  e otteniamo

$$t = \frac{v - v_0}{a},$$

e sostituendo questa nell'equazione precedente, abbiamo

$$x = x_0 + \left(\frac{v + v_0}{2}\right)\left(\frac{v - v_0}{a}\right) = x_0 + \frac{v^2 - v_0^2}{2a}.$$

Risolviamo questa per  $v^2$  e otteniamo

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0), \quad [\text{accelerazione costante}] \quad \mathbf{(2-10)}$$

*v in funzione di a e x  
(a = costante)*

che è l'equazione che cercavamo.

Ora abbiamo quattro equazioni che mettono in relazione la posizione, la velocità, l'accelerazione e il tempo, quando l'accelerazione è costante. Raccogliamo queste equazioni cinematiche tutte insieme per farvi riferimento quando necessario (lo sfondo colorato sottolinea la loro importanza).

## Accelerazione

### *Moto con accelerazione costante (o uniformemente accelerato)*

$$v = v_0 + at \quad [a = \text{costante}] \quad \mathbf{(2-11a)}$$

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad [a = \text{costante}] \quad \mathbf{(2-11b)}$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0) \quad [a = \text{costante}] \quad \mathbf{(2-11c)}$$

$$\bar{v} = \frac{v + v_0}{2} \quad [a = \text{costante}] \quad \mathbf{(2-11d)}$$

*Equazioni per lo studio del moto  
ad accelerazione costante*

Queste equazioni sono valide solo se  $a$  è costante. In molti casi possiamo porre  $x_0 = 0$  e questo semplifica un poco le equazioni. Notiamo che  $x$  rappresenta la posizione, non la distanza, che  $x - x_0$  è lo spostamento e che  $t$  è il tempo trascorso.

## Accelerazione

### *Accelerazione di gravità*

- La gravità fa muovere gli oggetti verso il basso
- Se si possono trascurare gli effetti della resistenza dell'aria, un corpo in caduta libera è sottoposto ad una **accelerazione di gravità  $g$**  di valore

$$g = 9.81\text{ms}^{-2} \text{ (valore al livello del mare)}$$

- L'accelerazione dovuta alla gravità è la stessa per tutti i corpi (non dipende dalla massa) .

### **Galileo Galilei** (1564-1642)

- Le 4 equazioni della cinematica per il moto uniformemente accelerato si applicano al moto in caduta libera.
- La direzione del moto è collocata sull'asse verticale  $y$  con il verso positivo verso l'alto. L'accelerazione in caduta libera risulta quindi negativa e nelle equazioni si può sostituire  $\mathbf{a}$  con  $-\mathbf{g}$ .

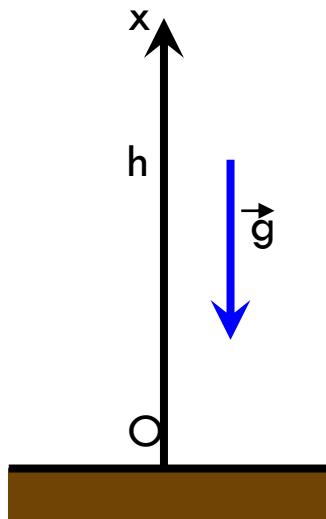
## Accelerazione

### *Accelerazione di gravità*

Trascurando l'attrito dell'aria, un corpo lasciato libero di cadere in prossimità della superficie terrestre si muove verso il basso con accelerazione costante  $\mathbf{g}=9,8 \text{ m/s}^2$

Assumiamo un sistema di riferimento con origine al suolo ed asse  $x$  rivolto verso l'alto. In questo riferimento:  $a = -g$

Supponiamo che all'istante  $t=0$  ( $t_0=0$ ) il corpo sia lasciato libero di cadere da un'altezza iniziale  $h$  ( $x_0=h$ ) con velocità iniziale nulla ( $v_0=0$ )



Equazioni del moto:

$$x(t) = h - \frac{1}{2}gt^2$$

$$v(t) = -gt$$

## Accelerazione

### *Accelerazione di gravità*

Il tempo di caduta si ricava ponendo  $x=0$  nella legge oraria:

$$x = 0 \Rightarrow h - \frac{1}{2}gt^2 = 0 \Rightarrow t_c = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Vedi prima equazione per lo studio del moto ad accelerazione costante

La velocità  $v_c$  con cui il corpo giunge al suolo si ricava sostituendo il valore di  $t_c$  nell'equazione della velocità:

$$v_c = v(t_c) = \sqrt{2gh}$$

Vedi quarta equazione per lo studio del moto ad accelerazione costante

Il segno meno indica che la velocità è diretta nel verso delle  $x$  negative (cioè verso il basso)



# MOTO DEL PROIETTILE

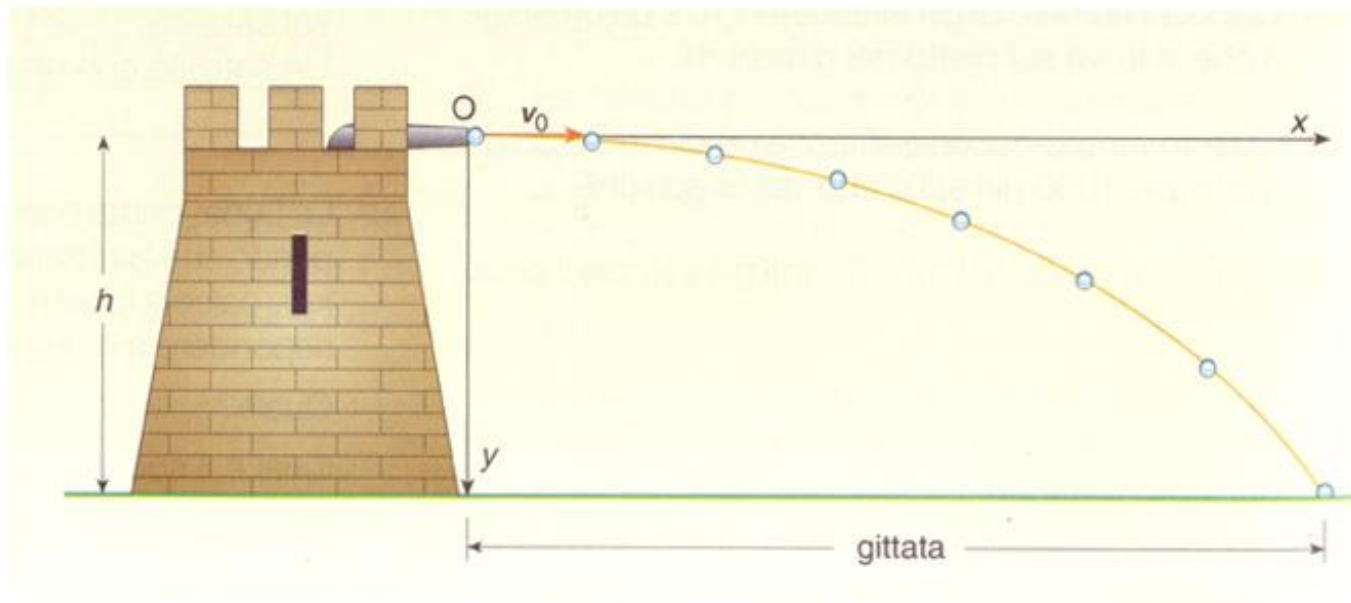
Intendiamo per proiettile un qualsiasi corpo che viene lanciato con una velocità che abbia una componente orizzontale.

Il nostro studio si fonda su due premesse:

- 1) Il corpo viene considerato puntiforme
- 2) Trascuriamo l'attrito con l'aria

Il movimento del proiettile fu spiegato da Galileo sulla base di un principio chiamato **principio di composizione dei movimenti**.

# MOTO DEL PROIETTILE



## Domande

Che tipo di traiettoria segue il proiettile?

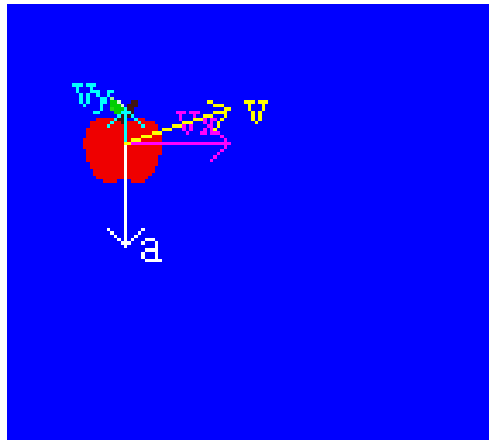
Dopo quanto tempo toccherà il suolo?

Con che velocità toccherà il suolo?

A queste domande rispose Galileo Galilei nel 1638

# PRINCIPIO DI COMPOSIZIONE DEI MOVIMENTI

Questo principio afferma che è possibile studiare separatamente il moto del proiettile lungo la direzione  $x$  e la direzione  $y$



Ciò significa che i due movimenti sono tra loro indipendenti.

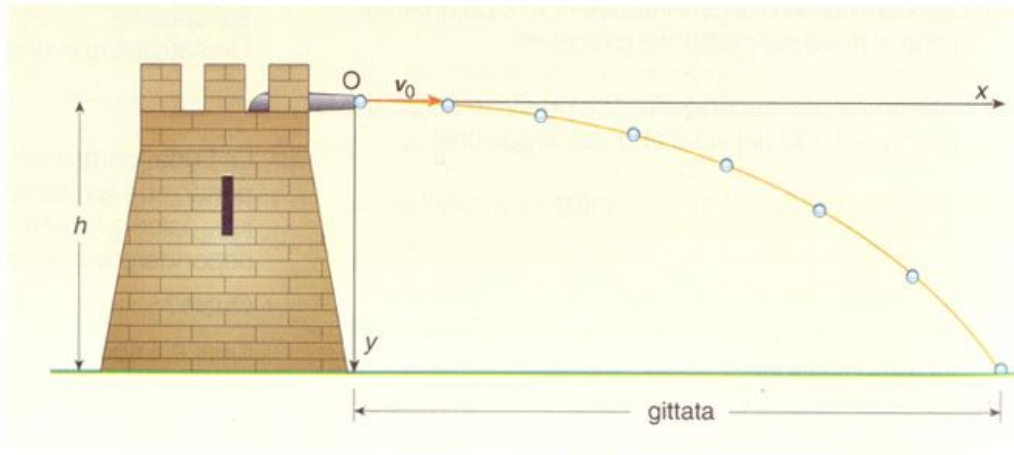
Risulta infatti che:

Lungo l'asse  $x$  il moto è rettilineo uniforme con velocità uguale a  $v_0$ ;

Lungo l'asse  $y$  il moto è uniformemente accelerato con accelerazione  $g$  (accelerazione di gravità)

# LA TRAIETTORIA DEL PROIETTILE

Per semplicità noi studieremo un caso particolare: quello in cui il proiettile, considerato puntiforme ed in assenza di aria, viene sparato orizzontalmente da un'altezza  $h$  con velocità orizzontale  $v_0$



Lungo l'asse  $x$  il moto è rettilineo uniforme e dunque la legge oraria è:  
 $s = s_0 + vt$

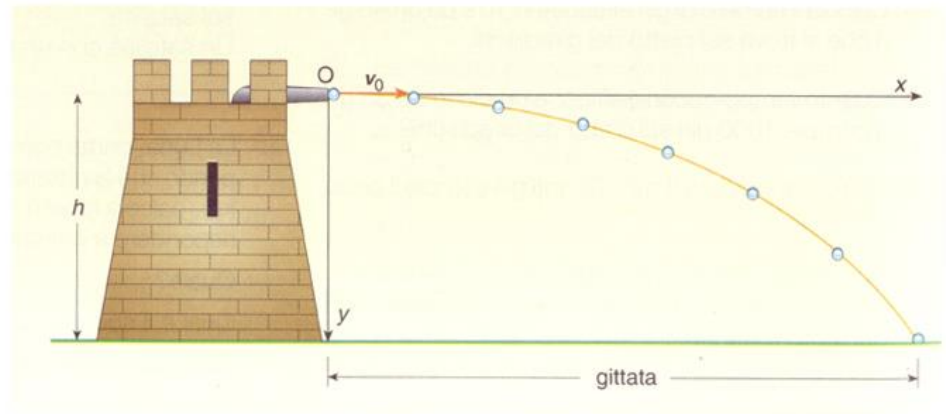
Lungo l'asse  $y$  il moto è uniformemente accelerato con accelerazione  $g$ .  
 La legge oraria è:  $s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2$

# LA TRAIETTORIA DEL PROIETTILE

In definitiva avremo un sistema di due equazioni:

$$x = v_0 t$$

$$y = \frac{1}{2} g t^2$$



Ricaviamo dalla prima la  $t$

Sostituiamo questo valore nella seconda ottenendo:

$$y = \frac{1}{2} g t^2 = \frac{1}{2} g \left( \frac{x}{v_0} \right)^2 = \frac{1}{2} g \frac{x^2}{v_0^2}$$

La formula  $y = \frac{1}{2} g \frac{x^2}{v_0^2}$  rappresenta l'equazione di una parabola

# TEMPO DI VOLO E GITTATA DEL PROIETTILE

Il tempo di volo del proiettile non dipende dalla velocità di lancio ma solo dalla quota  $h$  e dal valore dell'accelerazione di gravità.

Se il proiettile viene sparato dalla quota  $h$ , sostituendo  $y=h$  nella seconda equazione si ottiene:

$$y = \frac{1}{2} g t^2 \Rightarrow h = \frac{1}{2} g t^2$$

E con la formula inversa si ricava

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Ciò significa che il tempo di caduta di un proiettile è lo stesso di un corpo lasciato libero di cadere verticalmente.

Nella prima equazione sostituiamo al posto di  $t$  il tempo di volo:

$$x = v_0 t = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Otteniamo così la gittata, cioè la massima distanza orizzontale percorsa

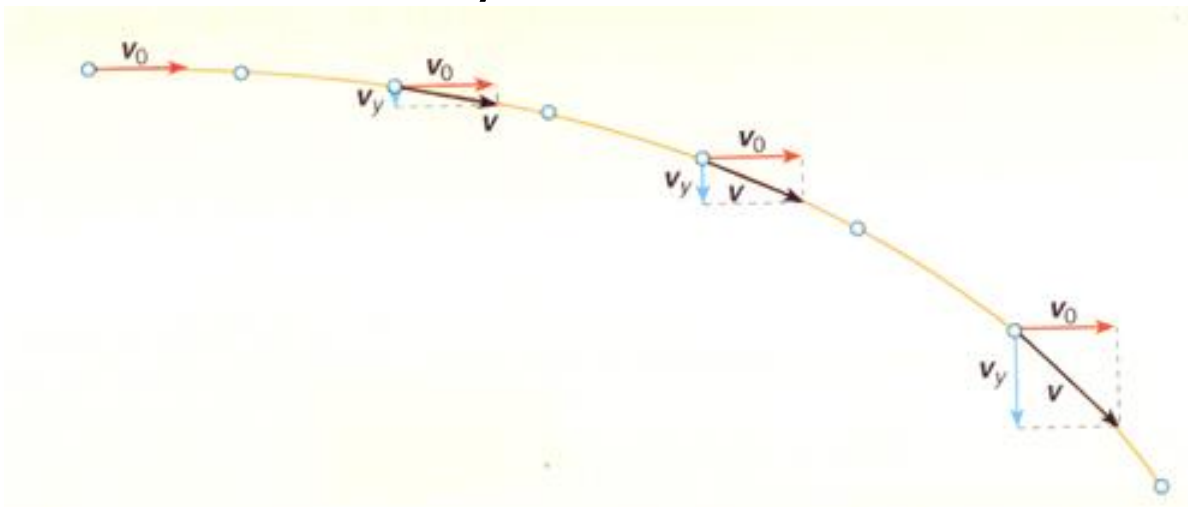
$$x_g = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Questa formula ci dice che a parità di altezza, la gittata è direttamente proporzionale alla velocità iniziale (velocità di lancio).

# LA VELOCITÀ DEL PROIETTILE

Mentre il proiettile cade al suolo la sua velocità aumenta.

Ad ogni istante la velocità è rappresentata da un vettore tangente alla traiettoria parabolica che può essere scomposto lungo le due direzioni  $x$  e  $y$



Poiché la componente orizzontale è costante e pari a  $v_0$  in ogni istante applicando il teorema di Pitagora si calcola la velocità totale:

$$v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2}$$



## Concetto di forza e massa e leggi di Newton



## Concetto di forza e massa e leggi di Newton

- La *Dinamica* studia il moto dei corpi in relazione  $\overset{a}{\underset{i}{}}$  moto con le sue cause: *perché* e *come* gli oggetti si muovono.
- La causa del moto è individuata nella presenza di interazioni fra corpi che si manifestano come *Forze*
- Il moto dei corpi è determinato dalle *Leggi di Newton*

Concetto di forza e massa e leggi di Newton

# Prima legge del moto di Newton

**Ogni oggetto rimane nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme fino a quando non agisca su di esso una forza risultante diversa da zero**

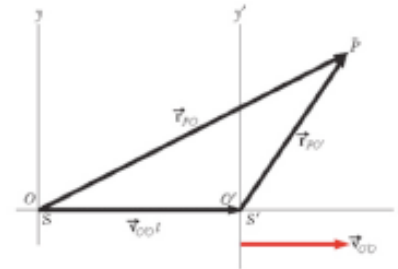
VALIDA NEI SISTEMI DI RIFERIMENTO INERZIALI e nota come  
PRINCIPIO DI INERZIA

## Concetto di forza e massa e leggi di Newton

# Prima legge del moto di Newton

La prima Legge di Newton definisce i *sistemi di riferimento inerziali*.

- Qualunque sistema di riferimento che si muova con velocità costante relativamente ad un sistema di riferimento inerziale è pure un sistema inerziale



- Un sistema di riferimento che si muova con velocità costante relativamente alle stelle lontane può essere considerato con buona approssimazione inerziale (stelle fisse)
- Possiamo considerare la Terra un sistema inerziale, benché abbia una piccola accelerazione dovuta al suo moto

## Concetto di forza e massa e leggi di Newton

# Forza

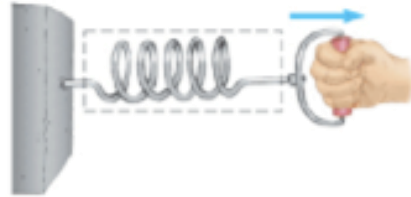
- Lo stato "naturale" di moto degli oggetti è essere in quiete, oppure in moto rettilineo uniforme
- Sono le *Forze* che cambiano questo stato
- Possiamo distinguere le Forze in
  - *Forze di contatto*: conseguenza del contatto fisico fra due oggetti
  - *Forze a distanza* : Forza di attrazione gravitazionale, forza magnetica
- Tipi di Forze: *peso, reazione vincolare, tensione, attrito, elastica,...*

## Concetto di forza e massa e leggi di Newton

# Forza

Forze a contatto

Forze a distanza



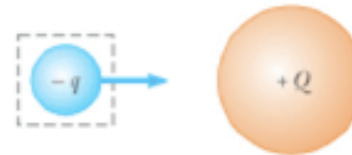
(a)



(d)



(b)



(e)



(c)



(f)

## Concetto di forza e massa e leggi di Newton

# Massa

La massa rappresenta la quantità di materiale

La massa è una quantità scalare. L'unità SI è il Kg

- La tendenza di un oggetto a resistere a tentativi di cambiare la sua velocità è chiamata *inerzia*.
- La *Massa* è quella proprietà di un oggetto che specifica quanta resistenza un oggetto oppone ai cambiamenti della sua velocità
- La *Massa* è una proprietà *intrinseca* di un oggetto: non dipende da cosa circonda l'oggetto, né dal metodo usato per misurarla

Concetto di forza e massa e leggi di Newton

# Seconda legge del moto di Newton

**L'accelerazione di un corpo è direttamente proporzionale alla forza risultante che agisce su di esso ed inversamente proporzionale alla sua massa. La direzione dell'accelerazione è la stessa direzione della forza risultante che agisce sul corpo.**



Concetto di forza e massa e leggi di Newton

# Seconda legge del moto di Newton

- L'accelerazione di un oggetto è *direttamente proporzionale alla forza totale* che agisce su di lui, *inversamente proporzionale alla sua massa*.
  - La forza è quindi la causa del *cambiamento* del moto, e questo è misurato dall'accelerazione

- Formulazione matematica:  $\boxed{\sum \vec{F} = m\vec{a}}$ , dove  $\sum$  indica sommatoria (di vettori)

In componenti:  $\sum F_x = ma_x, \sum F_y = ma_y, \sum F_z = ma_z.$

- Unità:  $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ , che nel sistema SI è chiamato newton (N).

Le forze si possono sommare o in forma grafica (parallelogrammi) o in forma analitica (componenti)



Concetto di forza e massa e leggi di Newton

# Seconda legge del moto di Newton

**$F = ma$**  comprende tutto.

Le tre leggi della dinamica sono venute fuori  
sperimentalmente

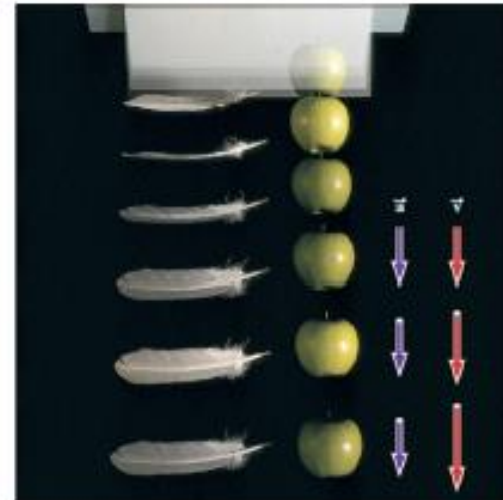
Concetto di forza e massa e leggi di Newton

# Seconda legge del moto di Newton

- La forza che chiamiamo *peso* è dovuta all'attrazione gravitazionale che la terra esercita su tutti i corpi
- Vicino alla superficie terrestre, un corpo di massa  $m$  risente di una forza peso  $\vec{P}$  diretta verso il centro della terra:

$$\vec{P} = m\vec{g}$$

NB: il peso di un corpo non è la sua massa!



L'accelerazione dovuta alla gravità è *indipendente dalla massa del corpo* (vedere la II Legge di Newton)

# Seconda legge del moto di Newton

La Massa e il Peso sono due quantità differenti!

$$\vec{PESO} = m \cdot \vec{g} \quad \text{Newton} = \text{Kg}_{\text{massa}} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \quad [F] = [M] \cdot [L/T^2]$$

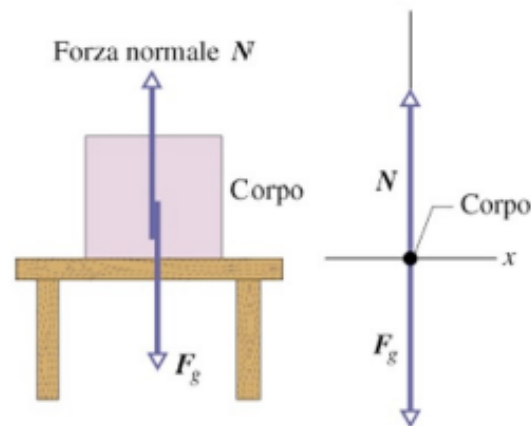
- Il Peso è uguale alla grandezza della forza gravitazionale esercitata su di un oggetto
- Il Peso varia da luogo a luogo
- La Massa di un oggetto è sempre la stessa dappertutto
- Massa *gravitazionale* = Massa *inerziale*  
(ovvero: la Massa che appare nell'espressione della forza di gravità è uguale alla Massa che appare nella seconda legge di Newton)

Concetto di forza e massa e leggi di Newton

# Seconda legge del moto di Newton

Forza normale (o reazione vincolare)

- Quando due corpi entrano a contatto essi esercitano l'uno sull'altro *forze di contatto*
- Se le superfici dei corpi sono prive di attrito, le forze di contatto sono dirette sempre *normalmente* (=perpendicolarmente) ad esse



Concetto di forza e massa e leggi di Newton

# Seconda legge del moto di Newton

## Oggetti in Equilibrio

- Se l'accelerazione di un oggetto, modellizzato come una particella, o come punto materiale, è nulla, si dice che l'oggetto è *in equilibrio*.
- Matematicamente: la forza totale agente su di un oggetto in equilibrio è nulla, quindi

$$m\vec{a} = \sum \vec{F} = 0$$

ovvero

$$\sum F_x = \sum F_y = \sum F_z$$

- Siamo in presenza di un problema di *Statica*.

Concetto di forza e massa e leggi di Newton

# Terza legge del moto di Newton

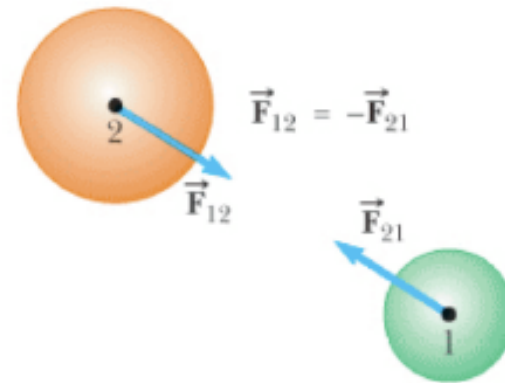
**Ogniqualevolta un corpo esercita una forza su un secondo corpo, il secondo esercita sul primo una forza uguale in direzione opposta**

Concetto di forza e massa e leggi di Newton

# Terza legge del moto di Newton

Se il corpo 1 esercita sul corpo 2 una forza  $\vec{F}_{12}$ , il corpo 2 esercita sul corpo 1 una forza di modulo e direzione uguale e verso opposto:

$$\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$$



$\vec{F}_{12}$  e  $\vec{F}_{21}$  formano una *coppia di azione e reazione*. Il significato profondo della terza legge è che le forze sono dovute ad *interazioni fra i corpi*:

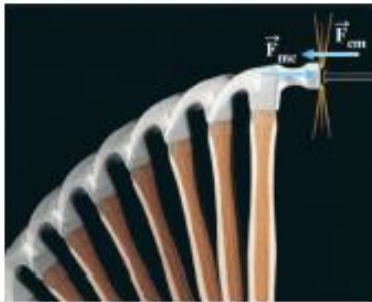
- Le forze sono sempre presenti a coppie
- Una forza singola isolata non può esistere
- Le forze di azione e di reazione agiscono su oggetti *differenti*



Concetto di forza e massa e leggi di Newton

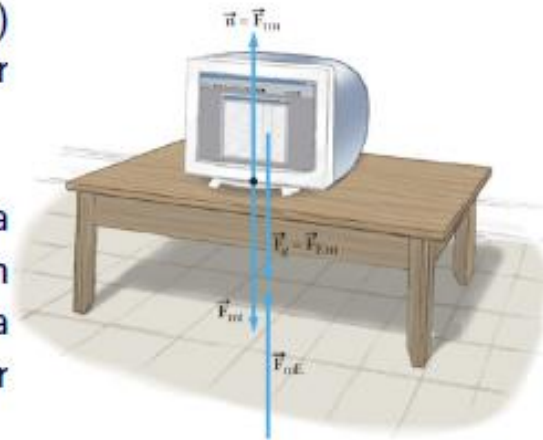
# Terza legge del moto di Newton

Esempio di coppie di Azione e Reazione



La forza che il martello esercita sul chiodo è uguale e contraria alla forza che il chiodo esercita sul martello; lo stesso vale per la forza che il chiodo esercita sul muro e viceversa

- La forza normale (tavola sul monitor) è la reazione alla forza che il monitor esercita sul tavolo
- La forza (di azione) che la Terra esercita sul monitor è uguale in grandezza e opposta in direzione alla forza (di reazione) che il monitor esercita sulla Terra



## Risolvere i problemi con le leggi di Newton

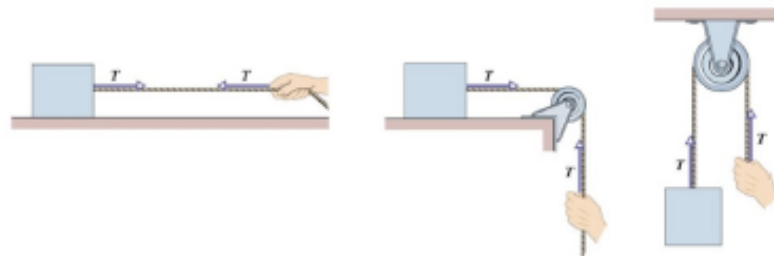
### Assunzioni:

- Gli oggetti possono essere modellizzati come particelle
- Fili e corde hanno comportamento ideale
- Consideriamo (per ora) superfici senza attrito

## Risolvere i problemi con le leggi di Newton

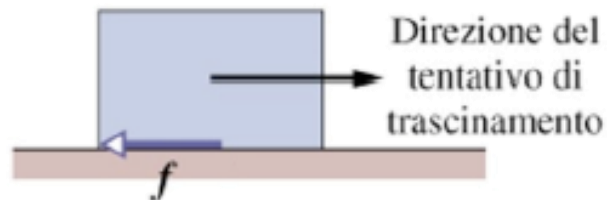
### Fili e corde: Tensione

- Una corda tesa è in grado di trasmettere una forza al corpo al quale viene fissata: tale forza è detta *tensione*
- La tensione è sempre diretta come la corda ed è applicata al punto di attacco della corda stessa
- Una corda *ideale* ha massa trascurabile ed è *inestensibile*
- In una corda ideale, la tensione viene trasmessa inalterata da punto a punto della corda stessa



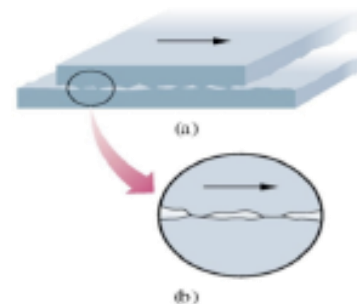
## Applicazioni che coinvolgono l'attrito: Piano inclinato

La presenza delle forze di *attrito* fa parte dell'esperienza quotidiana. Se si tenta di far scorrere un corpo su una superficie, si sviluppa una resistenza allo scorrimento detta *forza di attrito*. Può essere schematizzata come una forza tangente alla superficie.



E di verso opposto a quello della forza

Da un punto di vista microscopico l'attrito è dovuto alle microfusioni che si formano in corrispondenza delle asperità delle due superfici a contatto

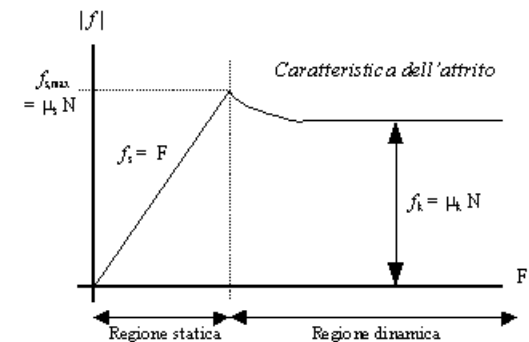
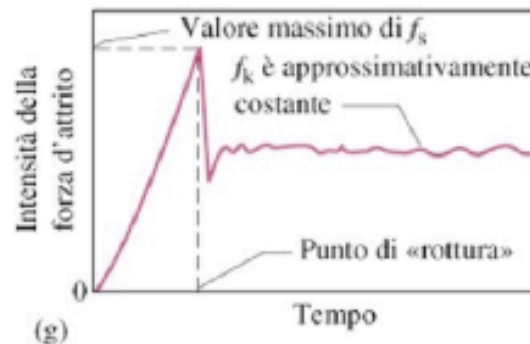
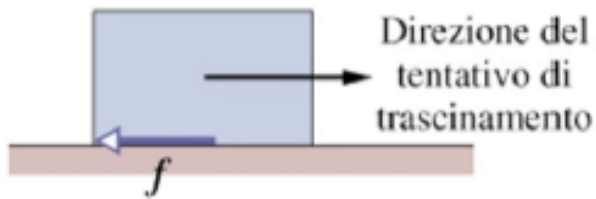


## Applicazioni che coinvolgono l'attrito: Piano inclinato

La forza  $F_s$  necessaria a rompere le microfusioni e a far iniziare lo scorrimento è responsabile dell'*attrito statico*.

Una volta iniziato, lo scorrimento può essere mantenuto applicando una forza  $F_d$  esterna che vinca l'*attrito dinamico*. Di solito,  $F_s \geq F_d$ .

Il grafico rappresenta l'andamento nel tempo dell'intensità della forza di attrito quando si applica dall'esterno una forza crescente  $F$  fino a far muovere il corpo in esame



## Applicazioni che coinvolgono l'attrito: Piano inclinato

- La forza di attrito è con buona approssimazione *proporzionale alla reazione vincolare  $N$*  esercitata sul corpo:

$$F_s = \mu_s N, \quad F_d = \mu_d N$$

dove  $F_s$  è il valore massimo della forza di attrito statico;

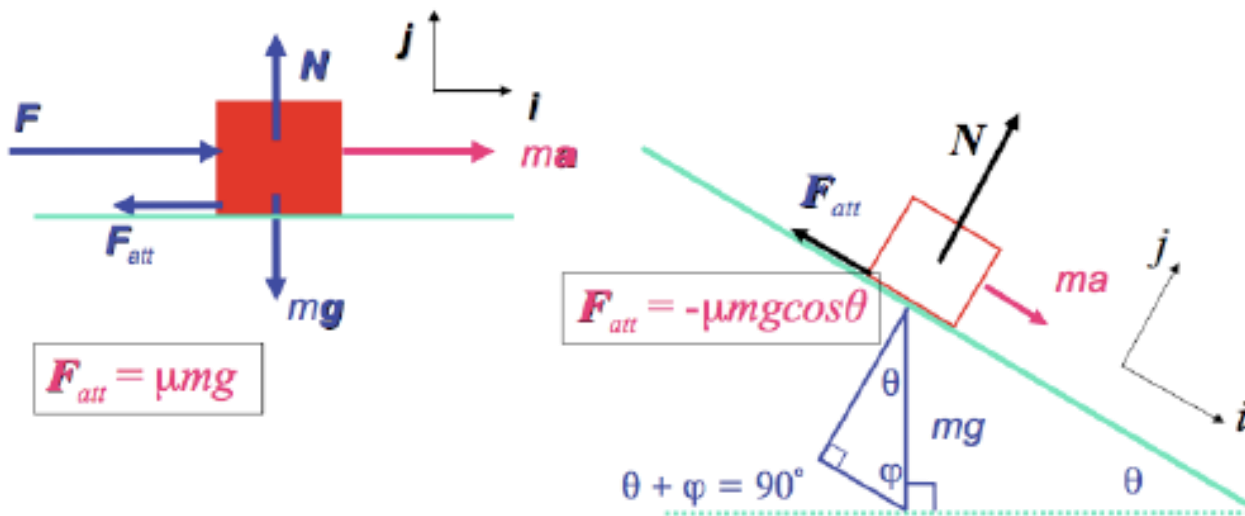
$\mu_s$  = coefficiente di attrito statico;

$\mu_d$  = coefficiente di attrito dinamico.

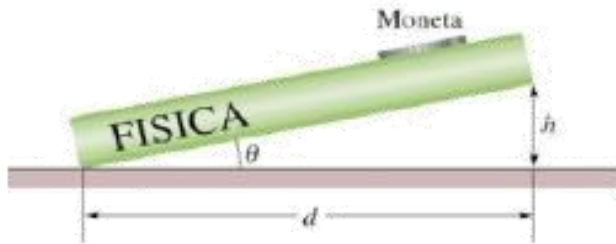
- $\mu_s, \mu_d$  sono numeri (adimensionali),  $\mu_s, \mu_d < 1$ ;  
dipendono dalle superfici a contatto;  
per una data coppia di superfici,  $\mu_d < \mu_s$ .

## Applicazioni che coinvolgono l'attrito: Piano inclinato

- L'attrito è una forza, quindi va semplicemente inclusa nella somma  $\sum \vec{F}$  che appare nella Legge di Newton
- Le regole per l'attrito permettono di determinare la direzione e la grandezza delle forze di attrito



## Applicazioni che coinvolgono l'attrito: Piano inclinato

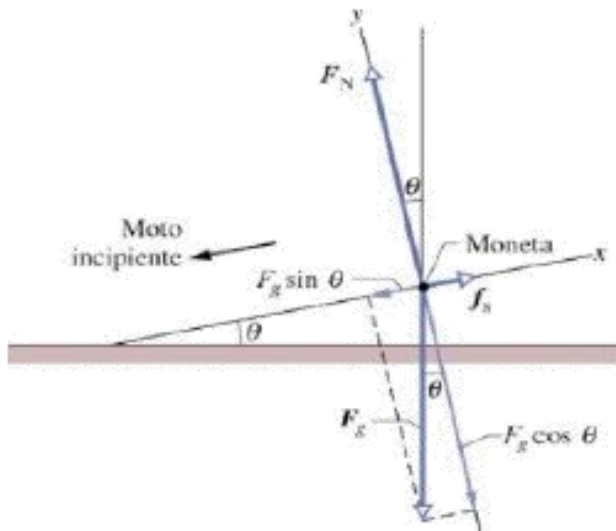


Quando l'angolo  $\theta$  raggiunge il valore critico per cui la moneta inizia a muoversi:

$$mg \sin \theta = F_s = \mu_s mg \cos \theta$$

da cui

$$\mu_s = \tan \theta = \frac{h}{d}$$





## RIFERIMENTI

0) Fondamenti di Fisica – Mastering Physics, Quinta edizione (Walker). Casa editrice Pearson

1) [www.ba.infn.it/~giordano/motorettilineo.ppt](http://www.ba.infn.it/~giordano/motorettilineo.ppt)

2) <http://ww2.unime.it/ingegneria/new/materiale/NoteCin.pdf>

3) <http://www.fisica.uniud.it/~soramel/vettori.pdf>

4) <http://www.fisica.uniud.it/~giannozz/Corsi/Fisl/Slides/Forces.pdf>

5) <http://www.youtube.com/watch?v=kSyXywC7Ai4>

6) <http://www.youtube.com/watch?v=0u5VQOKoe-M>

7) <http://www.youtube.com/watch?v=bkNacimct1c>

0) Elementi di Fisica Biomedica. Edises, E. Scannicchio – E. Giroletti

1) Massimiliano Morena. “Accuratezza, precisione, tipi di errori e cifre significative dei dati analitici». IIS “Gobetti - Marchesini Casale” sezione Tecnica Chimica e Materiali  
Analisi chimica, elaborazione dati e Laboratorio.

2) <http://ctntes.arpa.piemonte.it/Raccolta%20Metodi%202003/html/frame/descrizionequalit.htm>

3) [http://personalpages.to.infn.it/~zaninett/libri/libro6\\_latex\\_html/node13.html](http://personalpages.to.infn.it/~zaninett/libri/libro6_latex_html/node13.html)

4) [http://www.ing.unitn.it/~zatelli/cartografia\\_numerica/slides/Sistemi\\_di\\_riferimento.pdf](http://www.ing.unitn.it/~zatelli/cartografia_numerica/slides/Sistemi_di_riferimento.pdf)

5) <https://www.docenti.unina.it/downloadPub.do?tipoFile=md&id=260217>

6) <http://www.youtube.com/watch?v=RzZYhZEecZM>