

# Fisica Sperimentale

Andrea Bellu

2023/2024

## Contents

<b>1</b>	<b>Cinematica</b>	<b>2</b>
1.1	Unità di misura-grandezze fondamentali . . . . .	2
1.2	Velocità . . . . .	2
1.3	Notazione scientifica . . . . .	2
1.4	Multipli e sottomultipli . . . . .	2
1.5	Grandezze fisiche . . . . .	3
1.6	Angolo . . . . .	3
1.7	Densità di massa . . . . .	3
1.7.1	Esercizio . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Moto</b>	<b>4</b>
2.1	Moto Rettilineo . . . . .	4
2.1.1	Velocità media . . . . .	4
2.1.2	Velocità istantanea . . . . .	4
2.1.3	Due punti in moto sullo stesso asse . . . . .	4
2.2	Accelerazione nel moto rettilineo . . . . .	5
2.3	Moto rettilineo uniformemente accelerato . . . . .	5
2.3.1	Esercizio . . . . .	5
2.3.2	Esercizio accelerazione negativa . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Valori Medi</b>	<b>6</b>
3.1	Valore medio di una funzione . . . . .	6
3.1.1	Esercizio 1.4 (compito) . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Moto verticale di un corpo</b>	<b>7</b>
4.0.1	Esercizio 1.6 . . . . .	7
<b>5</b>	<b>Moto Armonico</b>	<b>8</b>
5.1	Moto armonico semplice . . . . .	8
<b>6</b>	<b>Velocità e accelerazione in funzione della posizione</b>	<b>9</b>
6.0.1	Un particolare moto vario esempio 1.7 . . . . .	9
<b>7</b>	<b>Variabili cinematiche</b>	<b>10</b>

# 1 Cinematica

## 1.1 Unità di misura-grandezze fondamentali

1. **Lunghezza (m)**: Misura l'estensione di un oggetto in una direzione specifica.
2. **Massa (kg)**: Misura la quantità di materia in un corpo.
3. **Tempo (s)**: Misura la durata di un evento o intervallo tra due istanti.
4. **Densità ( $\frac{kg}{m^3}$ )**: Misura la quantità di massa contenuta in un certo volume.
5. **Corrente elettrica (A)**: Misura la quantità di carica elettrica che fluisce attraverso un circuito in un certo tempo.

Il sistema che ha definito le precedenti unità di misura come fondamentali è il **Sistema Internazionale (SI) (MKSA)**.

## 1.2 Velocità

$$\text{Velocità} = \frac{\text{spazio percorso}}{\text{tempo impiegato}}$$

L'unità di misura della velocità è il  $\frac{m}{s}$  ed è detta unità di misura derivata in quanto è ottenuta da unità di misura fondamentali.

La fisica è fatta di misurazioni, ma le misurazioni comportano errori e quindi è necessario definire la precisione di una misurazione.

## 1.3 Notazione scientifica

Fondamentale per esprimere numeri molto grandi o molto piccoli.

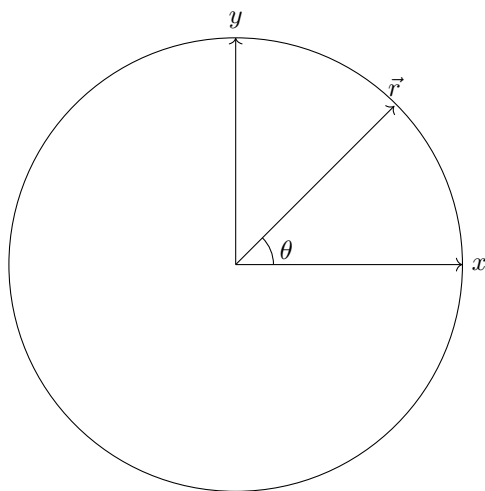
## 1.4 Multipli e sottomultipli

- $10^{15}$  = Peta (P)
- $10^{12}$  = Tera (T)
- $10^9$  = Giga (G)
- $10^6$  = Mega (M)
- $10^3$  = Kilo (K)
- $10^{-3}$  = Milli (m)
- $10^{-6}$  = Micro ( $\mu$ )
- $10^{-9}$  = Nano (n)
- $10^{-12}$  = Pico (p)
- $10^{-15}$  = Femto (f)
- $10^{-18}$  = Atto (a)

## 1.5 Grandezze fisiche

Grandezza	Simbolo	Unità di misura	Dimensioni	Unità SI
Velocità	$\bar{v}$	$\frac{m}{s}$	$L \cdot T^{-1}$	$m \cdot s^{-1}$
Accelerazione	$\bar{a}$	$\frac{m}{s^2}$	$L \cdot T^{-2}$	$m \cdot s^{-2}$
Accelerazione angolare	$\alpha$	$\frac{rad}{s^2}$	$T^{-2}$	$rad \cdot s^{-2}$
Densità	$\rho$	$\frac{kg}{m^3}$	$M \cdot L^{-3}$	$kg \cdot m^{-3}$
Lunghezza	$L$	$m$	$L$	$m$
Massa	$m$	$kg$	$M$	$kg$
Tempo	$t$	$s$	$T$	$s$
Energia	$E, U, K$	$J$	$\frac{M \cdot L^2}{T^2}$	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$
Frequenza	$f$	$Hz$	$T^{-1}$	$s^{-1}$
Forza	$\bar{F}$	$N$	$M \cdot L \cdot T^{-2}$	$kg \cdot m \cdot s^{-2}$
Volume	$V$	$m^3$	$L^3$	$m^3$

## 1.6 Angolo



Gli angoli non hanno dimensioni, si misurano in radianti.

$$\theta = \frac{L}{R} \Rightarrow \frac{\mathfrak{m}}{\mathfrak{m}} \Rightarrow \text{Radianti}$$

## 1.7 Densità di massa

La densità è il rapporto tra la massa e il volume.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Per definizione la densità dell'acqua è  $1 \frac{g}{cm^3} = 1000 \frac{kg}{m^3}$ .

### 1.7.1 Esercizio

Quale è la massa in chilogrammi di due litri di elio, dove  $1.00l = 1.00 \cdot 10^3 cm^3$  e la densità dell'elio è  $0.1785 \frac{kg}{m^3}$ ?

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho \cdot V \Rightarrow m = 0.1785 \frac{kg}{m^3} \cdot 2 \cdot 10^3 cm^3 \Rightarrow 10^{-6} m^3 = 3.57 \cdot 10^{-4} kg$$

## 2 Moto

Il moto è il movimento dei corpi.

### 2.1 Moto Rettilineo

Il moto più semplice è il moto rettilineo, ovvero il moto lungo una retta. Inizialmente studiamo il moto di un corpo puntiforme. Quando si parla di moto dobbiamo definire un'origine degli spazi e orientare la retta, in modo da determinare il verso positivo e negativo.

Effettuando delle misurazioni si ottiene un diagramma orario e successivamente si può ottenere il grafico spazio-tempo.

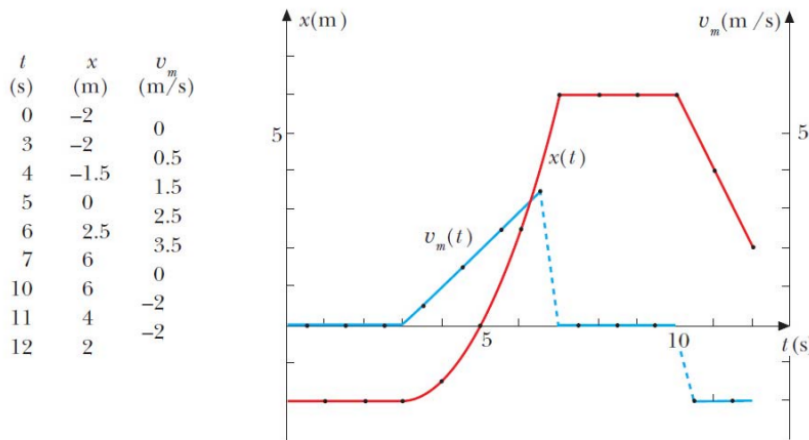


Figure 1: Grafico spazio-tempo

#### 2.1.1 Velocità media

$$\bar{v}_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_F - x_I}{t_F - t_I}$$

#### 2.1.2 Velocità istantanea

La velocità istantanea è una variazione piccolissima variazione di spazio in un piccolissimo intervallo di tempo.

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$

#### 2.1.3 Due punti in moto sullo stesso asse

Due punti materiali si trovano nell'istante iniziale  $t = 0$  sullo stesso asse  $x$ , rispettivamente nella posizione  $x_1$  con velocità  $v_1$  e nella posizione  $x_2 > x_1$  con velocità  $v_2$ . Il moto dei punti è uniforme. Discutere quali sono le situazioni in cui i punti ad un certo istante si urtano e determinare dove e quando si urtano.

Moto rettilineo uniforme  $\iff$  velocità costante.

$$v = \frac{dx}{dt} \implies dx = v \cdot dt \implies \int_0^{t_0} dx = \int_0^{t_0} v(t) \cdot dt$$

$$x(t_0) - x(0) = \int_0^{t_0} v(t) \cdot dt \implies x(t_0) - x(0) = \int_0^{t_0} v \cdot dt \implies x(t_0) - x(0) = v_0(t_0 - 0) \implies x(t_0) = v_0 \cdot t_0$$

$$x_1(t) = v_1 \cdot t \quad x_2(t) = v_2 \cdot t + x_2(0)$$

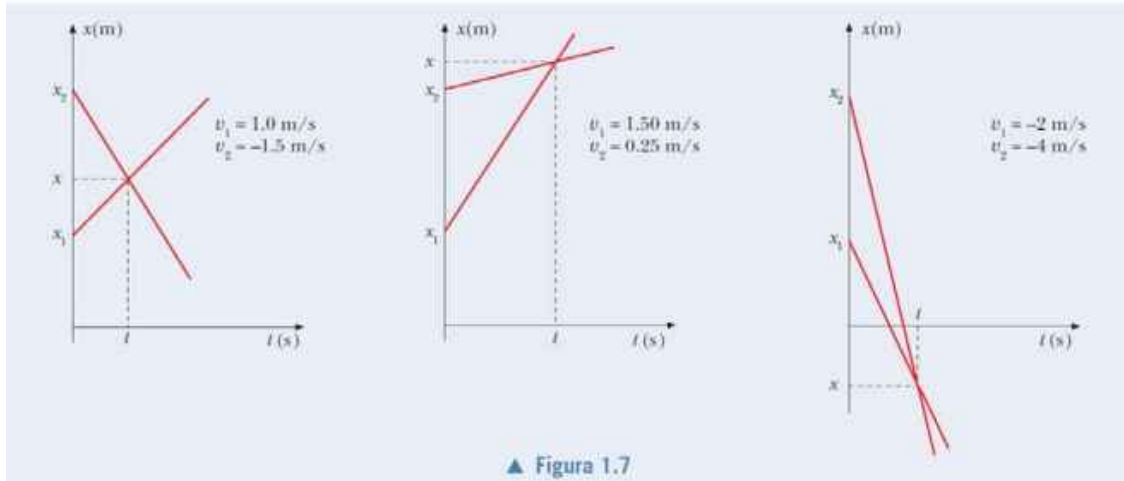


Figure 2: Esempi di grafici di due punti in moto sullo stesso asse

## 2.2 Accelerazione nel moto rettilineo

Si definisce accelerazione e si indica con  $\bar{a}$  il rapporto tra la velocità in un certo istante e l'intervallo di tempo in cui si è verificata la variazione di velocità.

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

$$a_i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \Rightarrow v = \frac{dx}{dt} \Rightarrow a = \frac{d^2 x}{dt^2}$$

Anche quando la velocità diminuisce si ha un'accelerazione, ma negativa.

Se conosco l'accelerazione posso calcolare la velocità.

$$\frac{dv}{dt} = a \Rightarrow \int_{v_0}^{v_1} dv = \int_0^{t_1} a \cdot dt \Rightarrow v_1 - v_0 = \int_{t_0}^{t_1} a(t) \cdot dt$$

$$v(t) = v(t_0) + \int_{t_0}^t a(t) \cdot dt$$

## 2.3 Moto rettilineo uniformemente accelerato

Moto rettilineo uniformemente accelerato  $\iff$  accelerazione costante.

$$dv = a dt \Rightarrow \int_{v_0}^v dv = \int_0^t a dt \Rightarrow v - v_0 = a \int_0^t dt = a \cdot t \Rightarrow v = v_0 + a \cdot t$$

$$v = \frac{dx}{dt} \Rightarrow dx = v \cdot dt \Rightarrow dx = [v_0 + a(t - t_0)] dt \Rightarrow \int_{x_0}^x dx = \int_{t_0}^t v_0 dt + \int_{t_0}^t a(t - t_0) dt$$

$$x - x_0 = v_0(t - t_0) + \frac{1}{2}a(t - t_0)^2$$

### 2.3.1 Esercizio

Un'automobile è in grado di passare dalla quiete alla velocità di  $100 \frac{km}{h}$  in  $t$  secondi, muovendosi con moto uniformemente accelerato. Esprimere il valore dell'accelerazione e calcolarlo per  $t = t_1 = 5s$  e per  $t = t_2 = 8s$ . Quanto vale lo spazio percorso nei due casi? E la velocità media?

**Risoluzione:**

$$v = at \implies a = \frac{v_f}{t}$$

$$v_f = 100 \frac{km}{h} = 27.78 \frac{m}{s}$$

$$a = \frac{27.78 \frac{m}{s}}{5s} = 5.56 \frac{m}{s^2}$$

$$a_2 = \frac{27.78 \frac{m}{s}}{8s} = 3.47 \frac{m}{s^2}$$

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$\implies x_1 = 0 + 0 + \frac{1}{2} \cdot 5.56 \frac{m}{s^2} \cdot 5^2 s^2 = 69.5m$$

$$\implies x_2 = 0 + 0 + \frac{1}{2} \cdot 3.47 \frac{m}{s^2} \cdot 8^2 s^2 = 111m$$

$$\bar{v}_{m_1} = \frac{69.5m}{5s} = 13.9 \frac{m}{s}$$

$$\bar{v}_{m_2} = \frac{111m}{8s} = 13.9 \frac{m}{s}$$

### 2.3.2 Esercizio accelerazione negativa

Un punto materiale parte dall'origine con velocità iniziale  $v_0$  positiva ed è sottoposto ad un'accelerazione negativa – a costante. Calcolare la massima distanza dall'origine raggiunta dal punto lungo il semiasse positivo, l'istante  $t_1$  in cui si ferma, l'istante  $t_2$  in cui ripassa per l'origine e la velocità che ha per  $t = t_2$ .

$$v = v_0 + at \implies v_0 + at, \quad a < 0, \quad v_0 > 0$$

$$v_0 + at = 0 \implies t_1 = \frac{-v_0}{a}$$

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \implies x_1 = v_0 \cdot t_1 + \frac{1}{2} a t_1^2 = \frac{-v_0^2}{a} + \frac{1}{2} a \cdot \frac{v_0^2}{a^2} = \frac{-v_0^2}{2a}$$

$$\text{Ora calcoliamo quando il punto ripassa per l'origine } v_0 + \frac{1}{2} a t^2 = 0 \begin{cases} t = 0 \\ t_2 = \frac{2v_0}{-a} \end{cases}$$

$$\text{Velocità in } t_2 \quad v_2 = v_0 + a t_2 = v_0 - 2v_0 = -v_0$$

## 3 Valori Medi

### 3.1 Valore medio di una funzione

$$\langle f(t) \rangle = \frac{\int_0^T f(t) dt}{T}$$

Nel caso della funzione  $\sin$ , la media su un periodo è nulla:

$$\langle \sin(t) \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin(\theta) d\theta = \frac{1}{2\pi} [-\cos(\theta)]_0^{2\pi} = 0$$

Lo stesso si ottiene per il coseno, ed è evidente, basta osservare il grafico; in un semiperiodo la funzione è positiva, nell'altro è negativa e la loro somma è nulla.

E' diversa la situazione per la funzione  $\sin^2$  e  $\cos^2$ , funzioni che hanno come periodo  $\pi$ , che essendo sempre positive non possono aver valore medio nullo. Osserviamo che:

$$\int_0^\pi (\sin^2(\theta) + \cos^2(\theta)) d\theta = \int_0^\pi 1 d\theta = \pi$$

pertanto

$$\int_0^\pi \sin^2(\theta) d\theta = \int_0^\pi \cos^2(\theta) d\theta = \frac{\pi}{2}$$

### 3.1.1 Esercizio 1.4 (compito)

## 4 Moto verticale di un corpo

Un corpo in caduta libera è un corpo che cade sotto l'azione della forza di gravità.

$$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$\begin{cases} v = v_0 - g \cdot t \\ x = x_0 + v_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \end{cases}$$

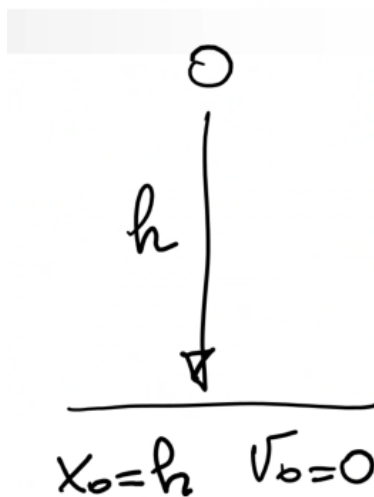


Figure 3: Esercizio 1.6

$$0 = h + v_0 \bar{t} - \frac{1}{2} g \bar{t}^2 \implies \bar{t} = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

### 4.0.1 Esercizio 1.6

Un punto materiale viene lasciato cadere all'istante  $t = 0$  con velocità iniziale nulla. Un secondo punto materiale viene lanciato verso il basso all'istante  $t = t_0 > 0$ , con velocità iniziale  $v_0$ : riuscirà a raggiungere il primo punto?

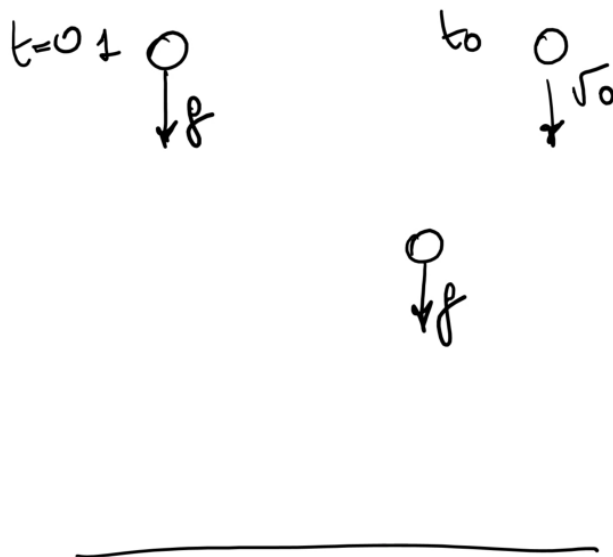


Figure 4: Esercizio 1.6

$x_1(t) = \frac{1}{2}gt^2$  perchè abbiamo considerato il punto di partenza  $h$  come l'origine

$x_2(t) = v_0(t - t_0) + \frac{1}{2}g(t - t_0)^2$  perchè il secondo corpo viene lasciato cadere in un secondo istante  $t_0$

si incontrano a  $\bar{t} = x_1(\bar{t}) = x_2(\bar{t}) \implies \frac{1}{2}g\bar{t}^2 = v_0(\bar{t} - t_0) + \frac{1}{2}g(\bar{t} - t_0)^2$

$$\bar{t} = \frac{t_0}{2} \left( 1 + \frac{v_0}{v_0 - gt_0} \right)$$

## 5 Moto Armonico

### 5.1 Moto armonico semplice

Un corpo si muove di moto armonico se la sua posizione in funzione del tempo è descritta da:

$$x(t) = A \cdot \sin(2\pi t)$$

$$x(t) = A \cdot \sin(\omega t + \phi)$$

Periodo della funzione: quale è il valore di  $t$  :  $x(t) = x(t + T)$ ?

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \text{ è il periodo}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ è la pulsazione angolare}$$

$$x(t) = A \cdot \sin(\omega t + \phi) = x(t + T) = A \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\omega 2\pi}{\omega} + \phi\right)$$

La frequenza del moto misura il numero di cicli che si compiono in un secondo:

$$f, \nu = \frac{1}{T} \text{ è l'inverso del periodo e si misura in } s^{-1} \text{ o } Hz$$

$$v = \frac{dx}{dt} = \mathbf{A} \cdot \omega \cdot \cos(\omega t + \phi)$$



$$a = \frac{dv}{dt} = -\mathbf{A} \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t + \phi)$$

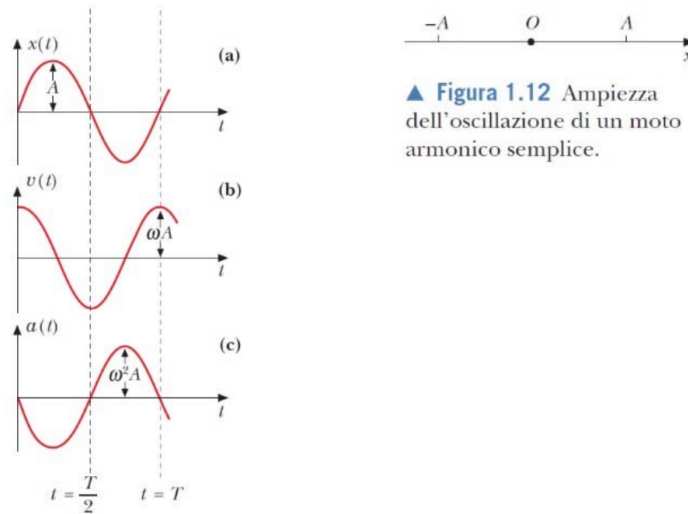
oppure

$$a = -\omega^2 \cdot x(t)$$

$$\int_{x_0}^x -\omega^2 x dx = \frac{1}{2}v^2 - \frac{1}{2}v_0^2 \implies -\omega^2 \left[ \frac{1}{2}x^2 \right]_{x_0}^x$$

$$v^2 = v_0^2 - 2\omega^2(x - x_0)$$

$$x(t) = A \sin(\omega t + \phi) \quad t = 0 \quad x(0) = A \sin(\phi)$$



▲ **Figura 1.13** Diagramma dello spostamento (a), della velocità (b) e dell'accelerazione (c) di un moto armonico semplice.

Figure 5: Moto armonico

$$v(t) = A\omega \cos(\omega t + \phi) \quad t = 0 \quad v(0) = A\omega \cos(\phi)$$

In base alla velocità iniziale e alla posizione iniziale possiamo determinare  $\phi$ :  $x(0) = x_0 = A$

$$v(0) = 0 \implies \begin{cases} A \sin(\phi) = A \\ A\omega \cos(\phi) = 0 \end{cases} \implies \phi = \frac{\pi}{2} \quad \text{Omega invece è legato a come è impostato il sistema.}$$

## 6 Velocità e accelerazione in funzione della posizione

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv[x(t)]}{dt} = \frac{dv}{dx} \cdot \frac{dx}{dt}$$

$$\implies \int_{x_0}^x a dx = \int_{v_0}^v v dv \implies \int_{x_0}^x a dx = \frac{1}{2}v^2 - \frac{1}{2}v_0^2$$

### 6.0.1 Un particolare moto vario esempio 1.7

Un punto materiale risente, lungo l'asse  $x$  positivo, della seguente accelerazione:  $a = 0$  per  $0 \leq x \leq x_0$ ,  $a = -k/x^2$  per  $x > x_0$ . Il punto viene lanciato dall'origine lungo il verso positivo dell'asse con velocità iniziale  $v_0$ . Calcolare in quale posizione il punto si ferma e discutere il risultato.

$$\int_{x_0}^x a dx = \frac{1}{2}v^2 - \frac{1}{2}v_0^2 \quad a = \text{costante} \quad a(x - x_0) = \frac{1}{2}v^2 - \frac{1}{2}v_0^2$$

$$v = v_0 - gt$$

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

$$g(x - h) = \frac{1}{2}v^2 - \frac{1}{2}v_0^2$$

$$v(x) = \sqrt{2g(x - h) + v_0^2}$$

## 7 Variabili cinematiche