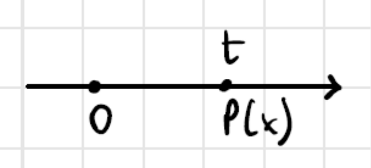
CINEMATICA pt.II

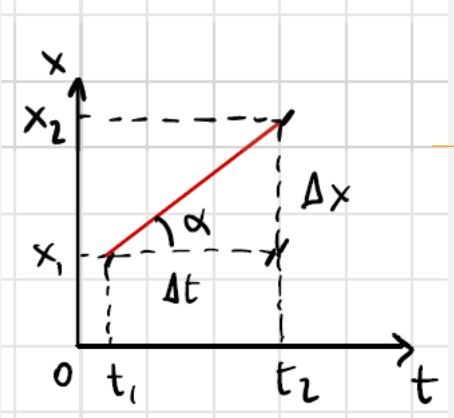
- Moto rettilineo uniforme
- Moto rettilineo uniformemente accelerato
- Oggetti in caduta
- Moto parabolico
- Moto circolare uniforme

MOTO RETTILINEO UNIFORME

Moto di una particella con velocità costante: $\vec{v} = cost$

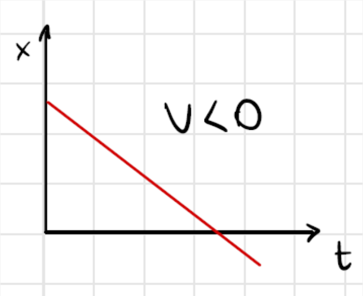
In ogni punto l'accelerazione è nulla: $\vec{a} = 0$





$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \tan\alpha > 0$$

Il coefficiente angolare della retta rappresenta la velocità della particella



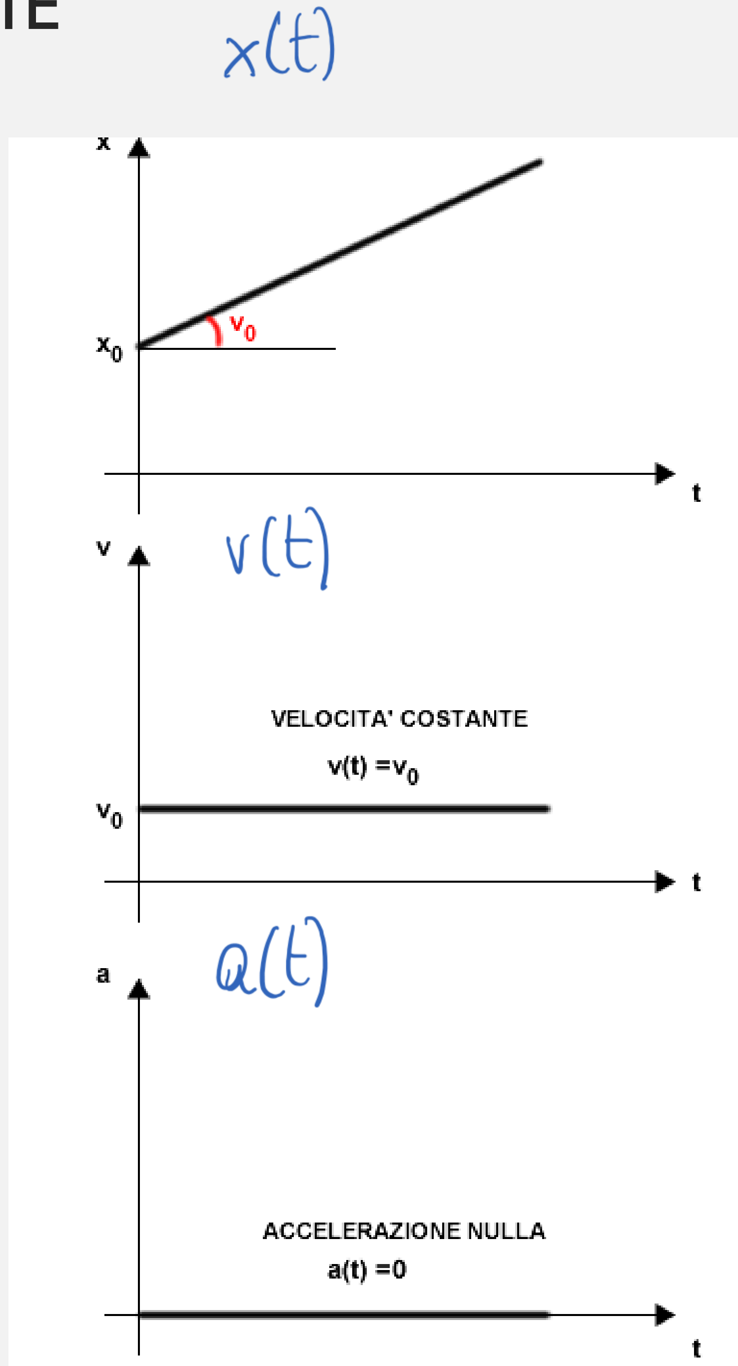
Consideriamo t_1 l'istante iniziale ($t_1 = 0$) e t_2 un istante generico ($t_2 = t$), x_0 l'ascissa della posizione inziale e x_2 una posizione generica ($x_2 = x$)

$x - x_0 = vt \rightarrow \Delta x = v\Delta t$

Equazione oraria del moto rettilineo uniforme

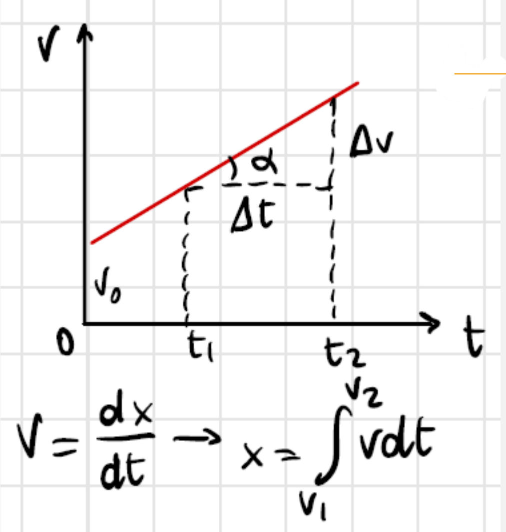
$$\boldsymbol{x = x_0 + vt}$$

$$\boldsymbol{\Delta x = v\Delta t}$$



MOTO RETTILINEO UNIFORMEMENTE ACCELERATO

Moto di una particella con accelerazione costante: $\vec{a} = cost$



$a = \tan\alpha > 0$ →moto accelerato

Il coefficiente angolare della retta rappresenta la velocità della particella

Prima equazione fondamentale:

$$a_m = a = \frac{v - v_0}{t - 0}$$

↳ $t_0 = 0$

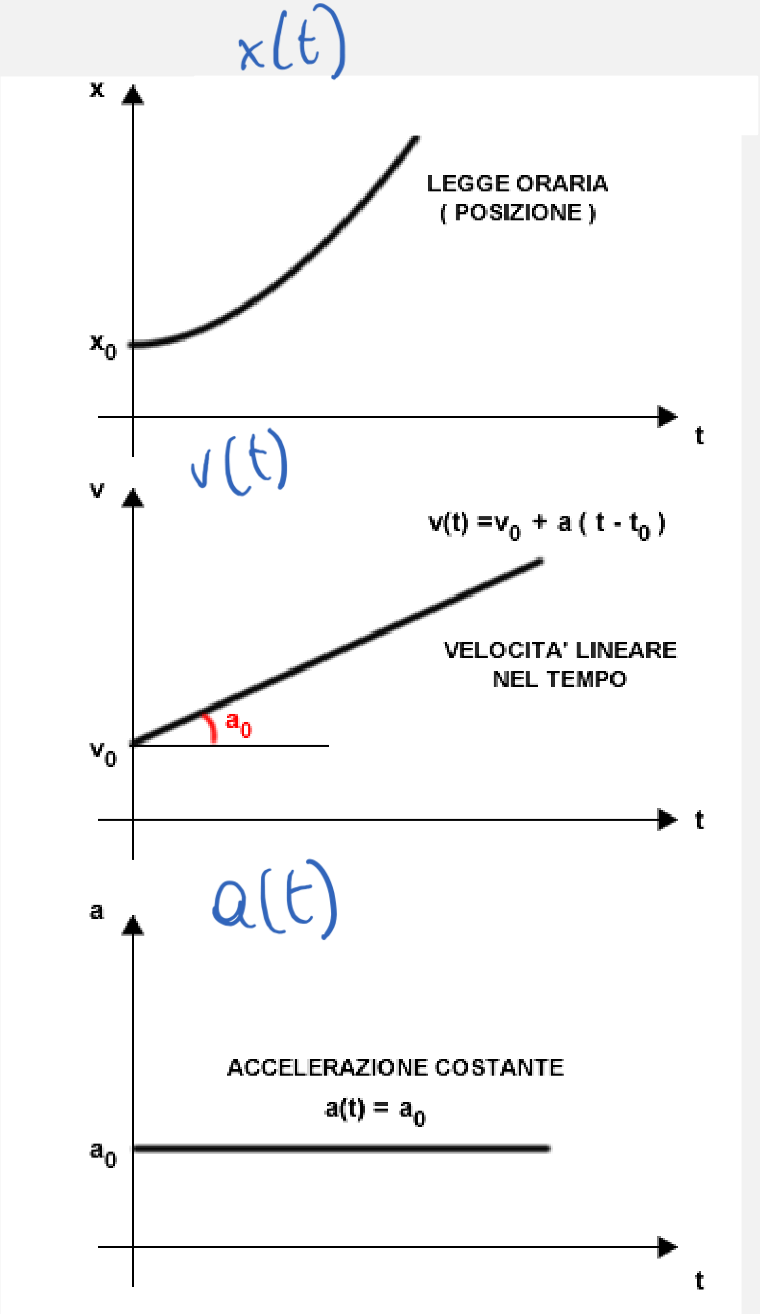
Prima equazione della cinematica

$$v = v_0 + at$$

Seconda equazione fondamentale:

$$v_m = \frac{x - x_0}{t - 0}$$

$$x = x_0 + v_m t$$



MOTO RETTILINEO UNIFORMEMENTE ACCELERATO

$v_2 - v_1 = a(t_2 - t_1) \to v_2 = v_1 + at$

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

$$\Delta v = v_2 - v_1 \to v_2 = v_1 + \Delta v = v_1 + a\Delta t$$

$$\Delta v = v - v_0 \to v = v_0 + \Delta v = v_0 + a\Delta t$$

Un corpo che si muove a velocità v_1 al tempo t_1 e viene accelerato con a costante, raggiungerà la velocità $v_2 = v_1 + a(t_2 - t_1)$ al tempo t_2

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

$$\Delta x = v_m \Delta t = \frac{1}{2}(v_0 + v)(t - t_0) = \underbrace{\frac{1}{2}(v_0 + v)\Delta t}$$

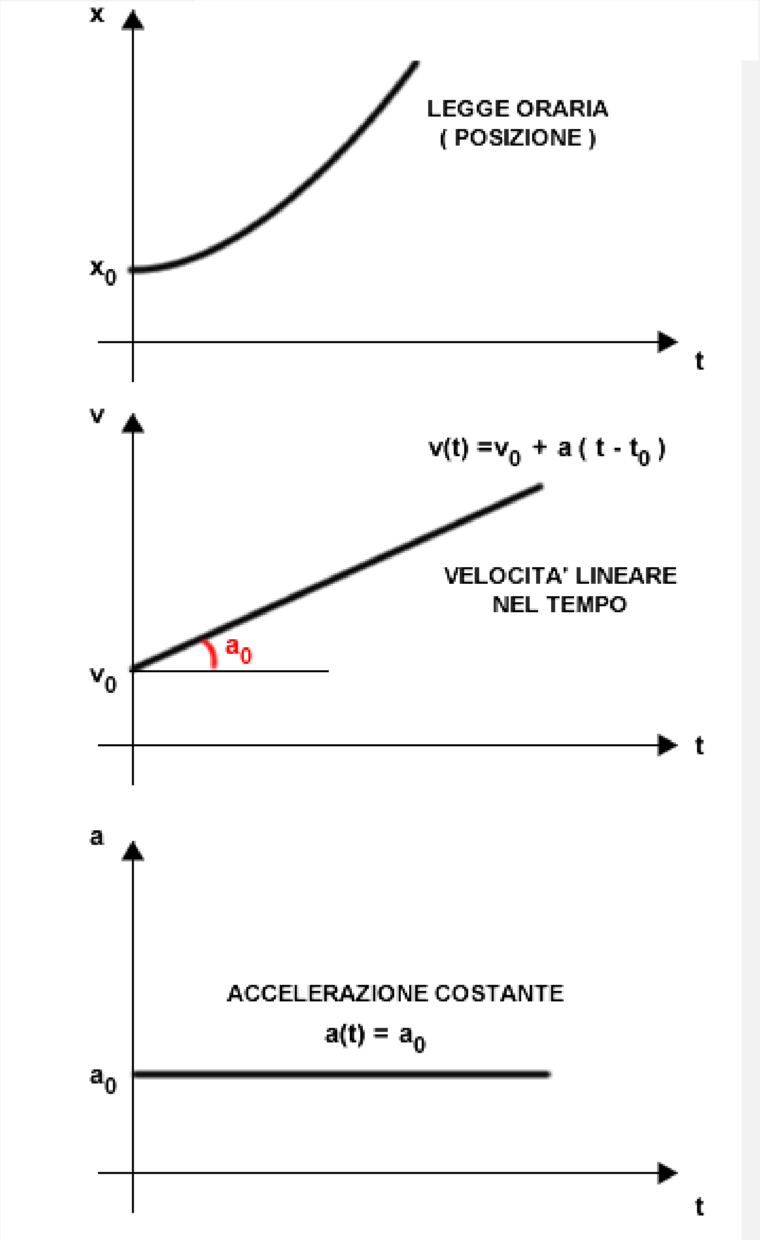
$$v = v_0 + a\Delta t \;\to\; \Delta x = \frac{1}{2}(v_0 + v_0 + a\Delta t)\Delta t = \frac{1}{\cancel{2}}(\cancel{2}v_0\Delta t) + \frac{1}{2}a\Delta t^2$$

Seconda equazione della cinematica

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

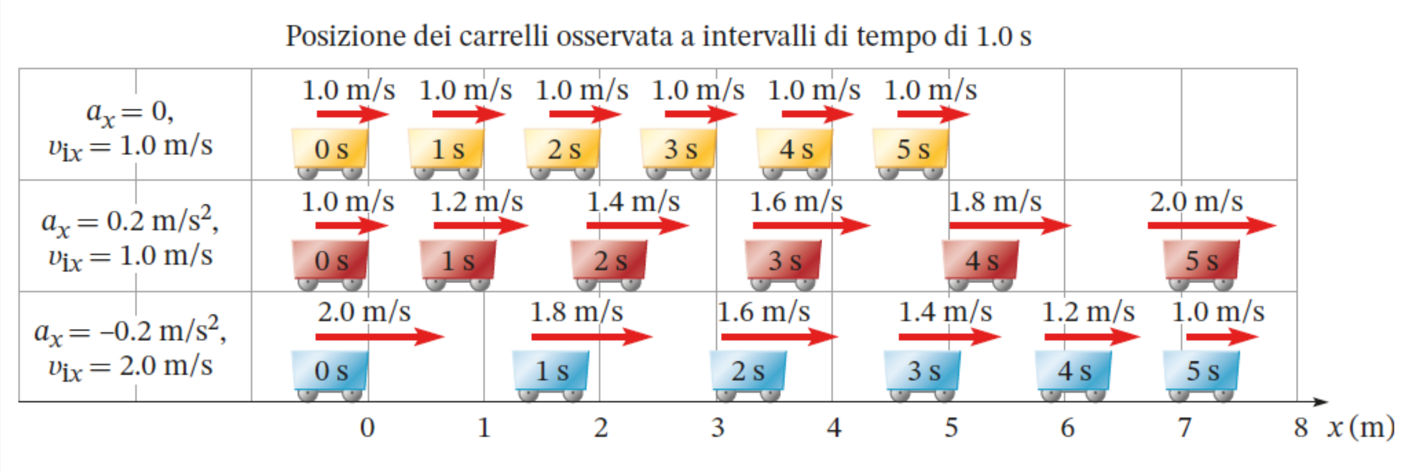
$x - x_0$

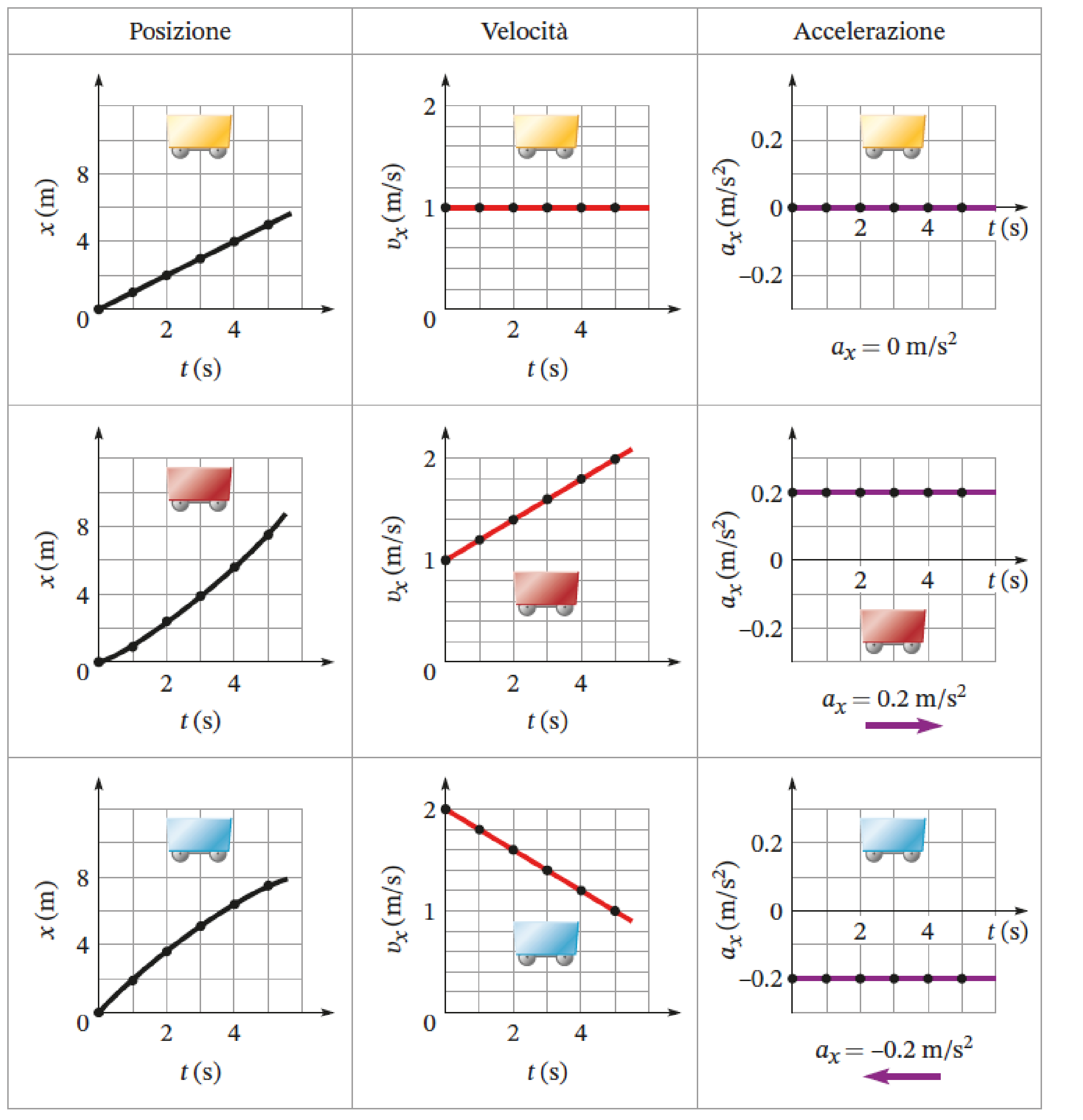
$$\boxed{x = x_0 + v_0\Delta t + \frac{1}{2}a\Delta t^2}$$



https://app.jove.com/embed/player?id=12622&t=1&s=1&fpv=1
https://app.jove.com/embed/player?id=12623&t=1&s=1&fpv=1

MOTO RETTILINEO UNIFORMEMENTE ACCELERATO





MOTO RETTILINEO UNIFORMEMENTE ACCELERATO

Relazioni matematiche importanti

$$\Delta v = v_f - v_i = a\Delta t$$

$$\left(\frac{v_f + v_i}{2}\right)\Delta t$$

Quarta equazione della cinematica

$$\Delta x = \frac{1}{2}(v_f + v_i)\Delta t$$

$x_f - x_i$

$$\Delta x = v_i\Delta t + \frac{1}{2}a(\Delta t)^2$$

$$x = x_i + v_i\Delta t + \frac{1}{2}a(\Delta t)^2$$

Terza equazione della cinematica

$$v_f^2 - v_i^2 = 2a\Delta x$$

https://app.jove.com/embed/player?id=12624&t=1&s=1&fpv=1

MOTI PARTICOLARI

Esempio

Stiamo progettando un aeroporto. Un certo aeroplano deve raggiungere una velocità di almeno 27.8 m/s prima di decollare e può accelerare fino a $2 m/s^2$. Se la pista è lunga 150 m, può questo aeroplano raggiungere la velocità necessaria per il decollo? Se no, qual è la lunghezza minima che dovrebbe avere la pista?

$x_i = 0 m$

$v_i = 0 m/s$

$a = 2 m/s^2$

$x_f = 150 m$

$v_f ?$

$$v_f^2 - v_i^2 = 2a\Delta x = 2a(x_f - x_i)$$

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a(x_f - x_i)$$

$$= (0 m/s)^2 + 2 \cdot 2 m/s^2 (150 m - 0 m)$$

$$= 4 m/s^2 (150 m) = 600 m^2/s^2$$

$\hookrightarrow v_f = 24.5 m/s$ → no x il decollo!

$x_i = 0 m$

$v_i = 0 m/s$

$a = 2 m/s^2$

$v_f = 27.8 m/s$

$x_f ?$

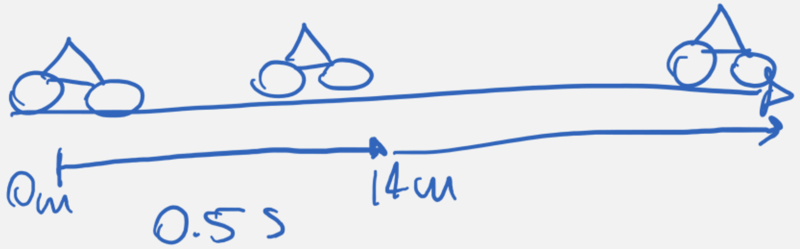
$$v_f^2 - v_i^2 = 2a(x_f - x_i)$$

$x_f = 193 m$ → nuova pista

MOTI PARTICOLARI

Esempio

Distanza di frenata. Calcolare la distanza totale di arresto per una velocità iniziale di 28 m/s e assumendo che l'accelerazione di un'automobile sia a=-6.0 m/s². Assumere che il tempo di reazione sia 0.50 s.



$v = \text{cost} = 28\,m/s$

$a = 0\,m/s^2$

$t = 0.5\,s$

$a = \text{cost} = -6\,m/s^2$

$v_i = 28\,m/s$

$v_f = 0\,m/s$

1

$t = 0.5\,s$

$v_i = 28\,m/s$

$v_f = 28\,m/s$

$a = 0\,m/s^2$

$x_i = 0\,m$

$\rightarrow \Delta x = v \Delta t$

$x_f - \cancel{x_i} = v(t_f - \cancel{t_i})$

$x_f = v \cdot t_f$

$x_f = 28\,m/s \cdot 0.5\,s = 14\,m$

2

$x_i = 14\,m$

$v_i = 28\,m/s$

$v_f = 0\,m/s$

$a = -6\,m/s^2$

$\rightarrow x_f ?$

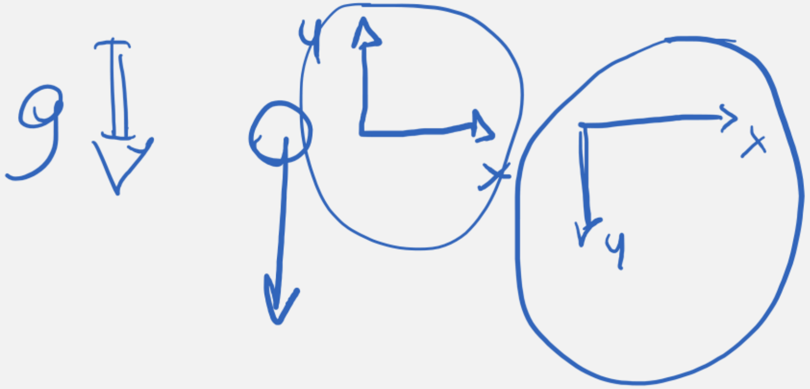
$\rightarrow v_f^2 - v_i^2 = 2a\Delta x$

$v_f^2 - v_i^2 = 2a(x_f - x_i) \rightarrow x_f - x_i = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2a} \rightarrow x_f = x_i + \frac{v_f^2 - v_i^2}{2a}$

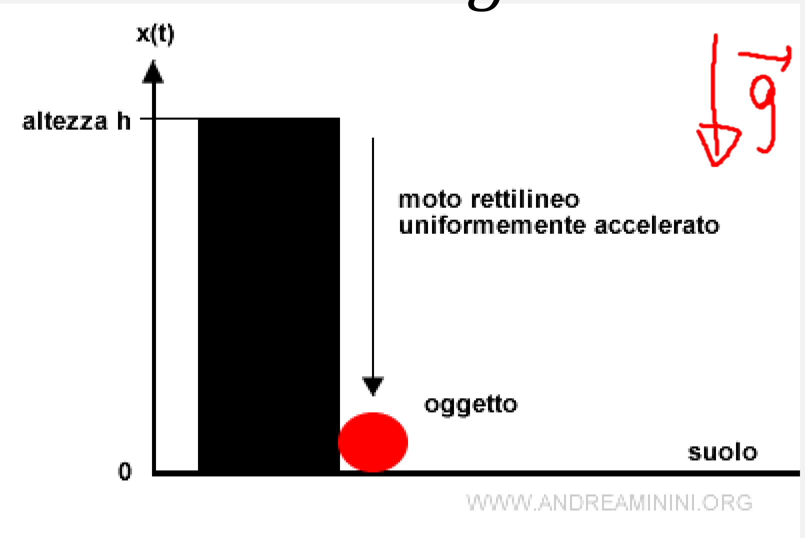
$= 14\,m + \frac{(0\,m/s)^2 - (28\,m/s)^2}{2(-6\,m/s^2)}$

$\leftarrow$ 79 m

OGGETTI IN CADUTA



$$\vec{g} = 9.80\, m/s^2$$



$$\Delta h = h_f - h_i = v_i \Delta t + \frac{1}{2} g \Delta t^2$$

$$h_f - h_i = v_i(t_f - \overset{=0}{\cancel{t_i}}) + \frac{1}{2} g (t_f - \overset{=0}{\cancel{t_i}})^2$$

1

$$\boxed{h_f = h_i + v_i t_f + \frac{1}{2} g t_f^2}$$

$$v_f^2 - v_i^2 = 2g\Delta h \longrightarrow v_f^2 = v_i^2 + 2g(h_f - h_i) \longrightarrow$$

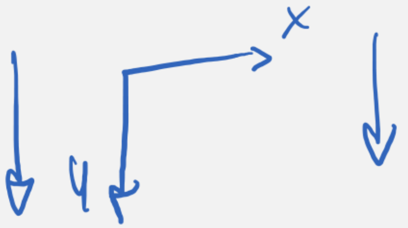
2

$$\boxed{v_f = \sqrt{v_i^2 + 2g(h_f - h_i)}}$$

OGGETTI IN CADUTA

Esempio

Supponiamo che una palla sia lasciata cadere da una torre alta 70 m. Di quanto sarà caduta dopo 1 s, 2 s, e 3 s? Assumiamo h positiva verso il basso e trascuriamo la resistenza dell'aria.

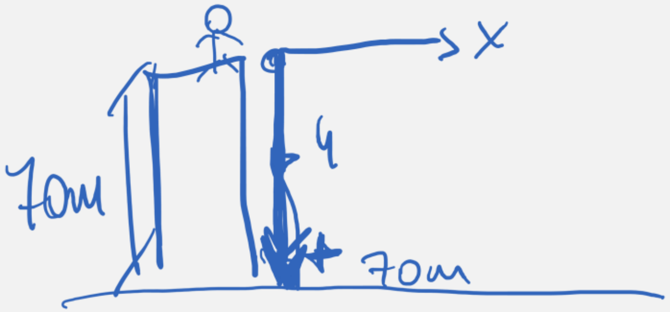


$h_i = 0\,m$

$h_f = 70\,m$

$v_i = 0\,m/s$

$g = 9.8\,m/s^2$



$t_1 = 1\,s$

$t_2 = 2\,s$

$t_3 = 3\,s$

(1) $h_f = \cancel{h_i} + \cancel{v_i t} + \frac{1}{2} g t^2 = \frac{1}{2} \cdot 9.8\,m/s^2 \cdot 1\,s^2 = 4.9\,m$

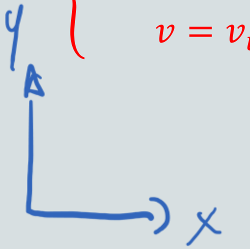
(2) $h_f = \frac{1}{2} \cdot 9.8\,m/s^2 \cdot (2s)^2 = 19.6\,m$

(3) $h_f = \frac{1}{2} \cdot 9.8\,m/s^2 \cdot (3s)^2 = 44.1\,m$

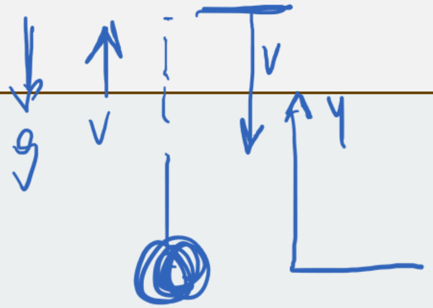
OGGETTI LANCIATI VERSO L'ALTO

$y > y_i$

$$\begin{cases} y = y_i + v_i t + \frac{1}{2} a t^2 \\ v = v_i + at \end{cases}$$



$y_i = 0$



SALITA

$y_i = 0$

$t_i = 0 \rightarrow t_s - t_i = t_s$

$v_f = v_{y\,max} = 0$

$$\begin{cases} y = v_i t - \frac{1}{2} g t^2 \\ v = v_i - gt \end{cases}$$

$$\begin{cases} y_{max} = v_i t_s - \frac{1}{2} g t_s^2 \\ 0 = v_i - g t_s \end{cases}$$

→ Giunto a un'altezza y_{max} nel tempo t_s, avremo $v = 0$:

Vi=

$$\begin{cases} y_{max} = g t_s^2 - \frac{1}{2} g t_s^2 \\ v_i = g t_s \end{cases}$$

$$\begin{cases} y_{max} = \frac{1}{2} g t_s^2 \\ v_i = g t_s \end{cases}$$

$$t_s = \sqrt{\frac{2 y_{max}}{g}}$$

DISCESA

$y_i = y_{max}$

$v_i = v_{y\,max} = 0$

$y_f = 0$

$t_i = 0 \rightarrow t_d - t_i = t_d$

$$y_f = y_i + v_i t_d - \frac{1}{2} g t_d^2$$

$$0 = y_{max} - \frac{1}{2} g t_d^2$$

$$t_d = \sqrt{\frac{2 y_{max}}{g}}$$

OGGETTI IN CADUTA

Esempio

Un ragazzo lancia una palla da un terrazzo alto 4 m con una velocità di 10 m/s verso l'alto. Si determini:

a. La quota massima raggiunta dalla palla
b. Il tempo che la palla impiega per raggiungere la quota massima
c. Il tempo che la palla impiega per raggiungere il suolo
d. La velocità con cui la palla arriva a terra

$V_i = 10\,m/s$

$V_{ymax} = 10\,m/s$

$a = -g = -9.8\,m/s^2$

$\rightarrow v_f^2 - v_i^2 = 2a\Delta x$

$V_{ymax}^2 - v_i^2 = -2g(y_{max} - y_i)$

$(0\,m/s)^2 - (10\,m/s)^2 = -2 \cdot 9.8\,m/s^2 (y_{max} - 4\,m)$

$y_{max} = 9.1\,m$ (dal suolo)

$t_s?$ $\rightarrow$ $V_i = 10\,m/s$

$y_i = 4\,m$

$y_{max} = 9.1\,m$

$a = -9.8\,m/s^2$

$\rightarrow$ opzione 1: $V_{ymax} = v_i + at$

$0\,m/s = 10\,m/s - 9.8\,m/s^2 \cdot t$

$t = 1.02\,s$

opzione 2

$t_s = \sqrt{\frac{2 y_{max}}{g}}$

$= \sqrt{\frac{2 \cdot 5.1\,m}{9.8}} = 1.02\,s$

t_{TOT} ? $\rightarrow t_D + t_S$

$t_S \rightarrow 1.02s$

$t_D \rightarrow \sqrt{\frac{2y_{max}}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9.1m}{9.8m/s^2}} = 1.36s \Longrightarrow t_{TOT} = 1.02s + 1.36s = 2.38s$

Velocità con cui cade? $\rightarrow$ posso considerare solo la discesa =

$v_f = v_i + at = v_i - gt = 0m/s - 9.8m/s^2 \cdot 1.36 = -13.33\,m/s$ (verso il basso

$v_i \rightarrow 0m/s$ (v_{ymax}), $t \rightarrow 1.36s$ (t_D)

Oppure posso considerare tutto il tragitto, ma cambia v_i e cambia il t =

$v_f = v_i + at = v_i - gt = 10m/s - 9.8m/s^2 \cdot 2.38s = -13.32\,m/s$

$v_i \rightarrow 10\,m/s$, $t \rightarrow t_{TOT}$

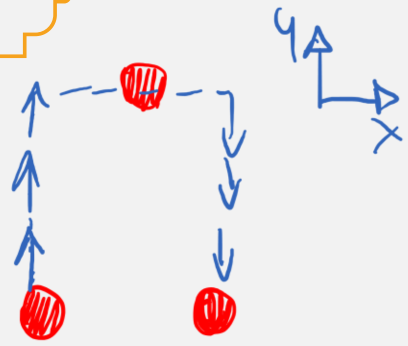
OGGETTI IN CADUTA

Esempio

Un ragazzo lancia una palla in aria verso l'alto con una velocità iniziale di 15 m/s. Calcolare:

a. Quanto in alto arriva la palla

b. Quanto a lungo la palla rimane in aria prima di ricadergli in mano



y_{max}?

$v_i = 15\,m/s$

$v_{ymax} = v_f = 0\,m/s$

$a = -g = -9.8\,m/s^2$

$y_i = 0\,m$

$$v_f^2 - v_i^2 = 2a\Delta x$$

$$v_{ymax}^2 - v_i^2 = -2g(y_{max} - y_i)$$

$$y_{max} = \frac{v_{ymax}^2 - v_i^2}{-2g} = \frac{0-(15\,m/s)^2}{-2\cdot 9.8\,m/s^2} = 11.5\,m$$

Torna in mano

$$t_{tot}? \rightarrow x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \rightarrow y_f = y_i + v_i t - \frac{1}{2}gt^2$$

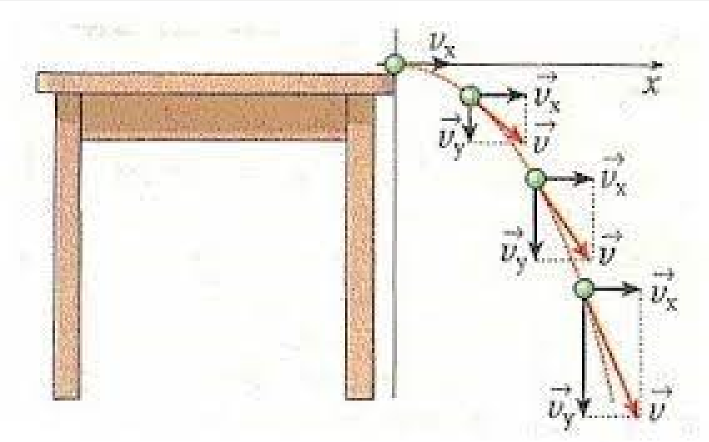
$$0 = 0 + 15\,m/s \cdot t - \frac{1}{2}9.8\,m/s^2 \cdot t^2$$

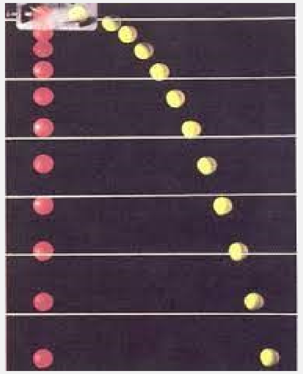
$$[(15\,m/s - 4.9\,m/s^2)t]\,t = 0$$

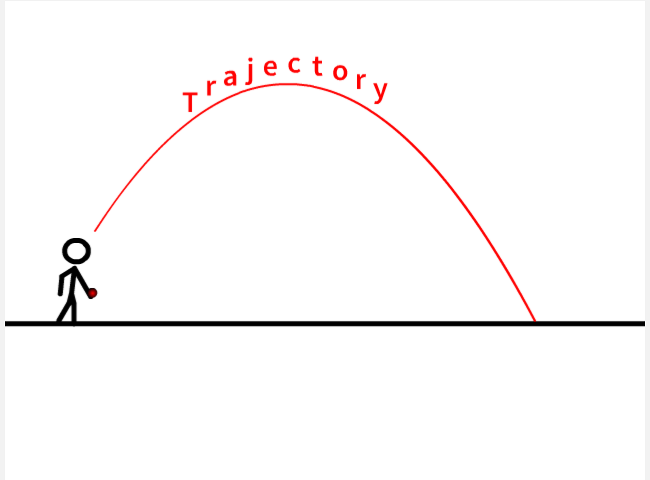
$t = 0 \rightarrow$ quando è partita la palla

$t = 3.06\,s \rightarrow$ quando ha finito il lancio

MOTO PARABOLICO







$$\Delta v = v_f - v_i = a\Delta t$$

2 v

$$\Delta x = \frac{1}{2}(v_f + v_i)\Delta t$$

$$\Delta x = v_i\Delta t + \frac{1}{2}a(\Delta t)^2$$

$$v_f^2 - v_i^2 = 2a\Delta x$$

ASSE x → $a_x = 0$

$$\Delta v_x = 0\ (v_x = cost)$$

$$\Delta x = v_x\Delta t$$

ASSE y → $a_y = cost$

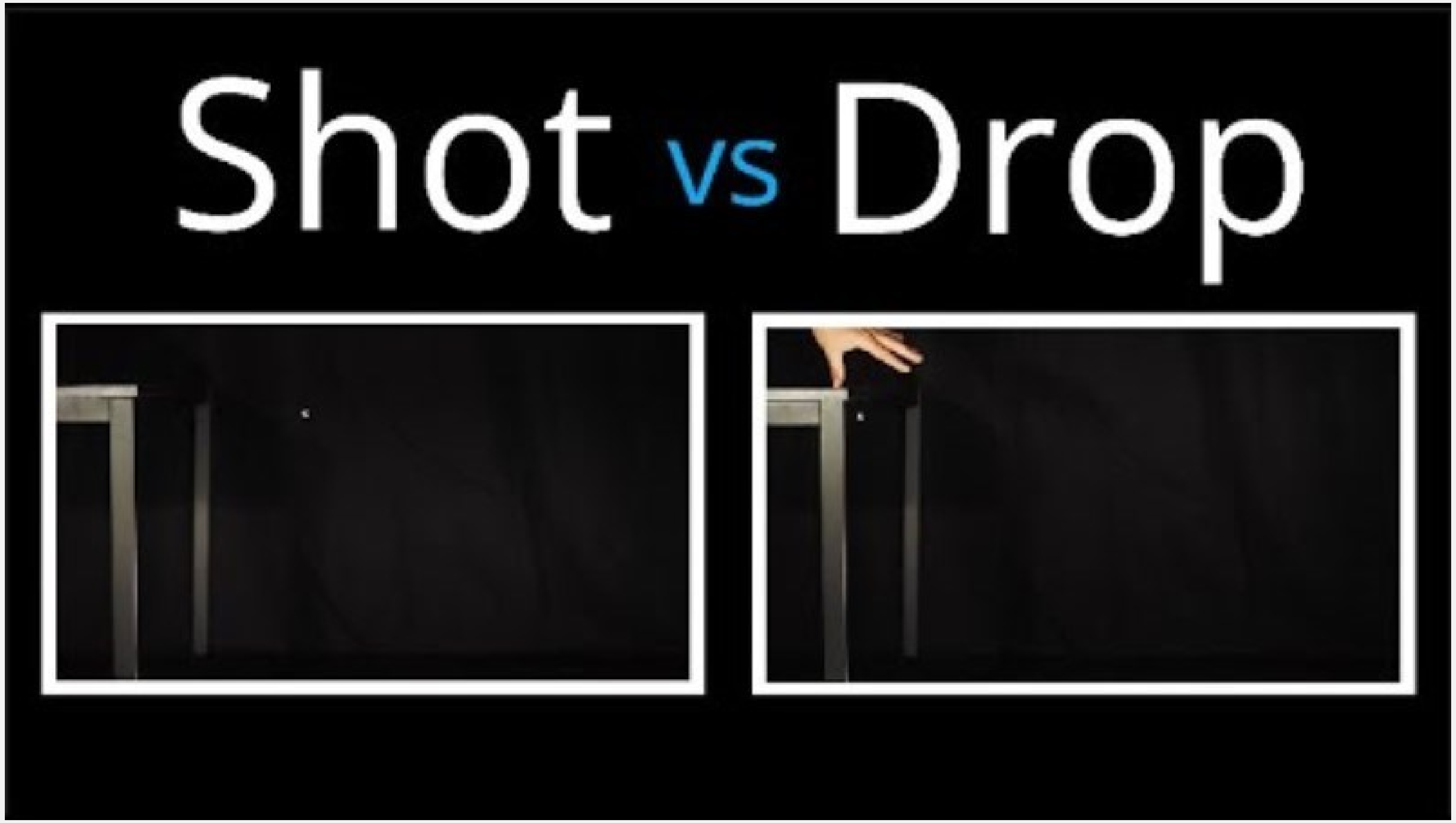
$$\Delta v_y = a_y\Delta t = -g\Delta t$$

$$\Delta y = \frac{1}{2}(v_{fy} + v_{iy})\Delta t$$

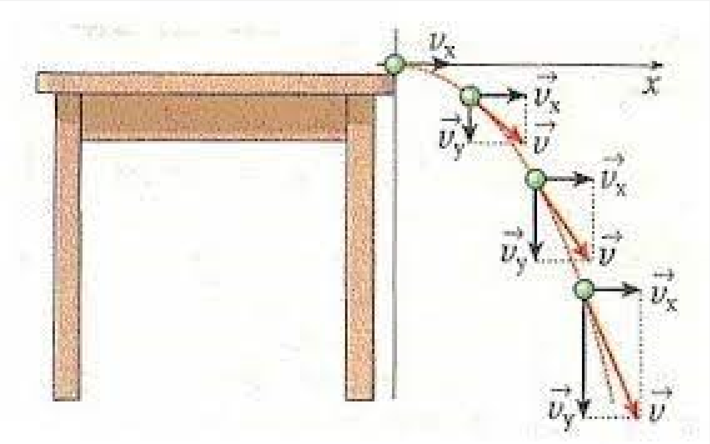
$$\Delta y = v_{iy}\Delta t + \frac{1}{2}a_y(\Delta t)^2$$

$$v_{fy}^2 - v_{iy}^2 = 2a_y\Delta y =$$

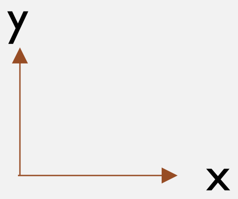
https://app.jove.com/embed/player?id=12634&t=1&s=1&fpv=1


Shot vs Drop

MOTO PARABOLICO



$\vec{a} = \vec{g}$

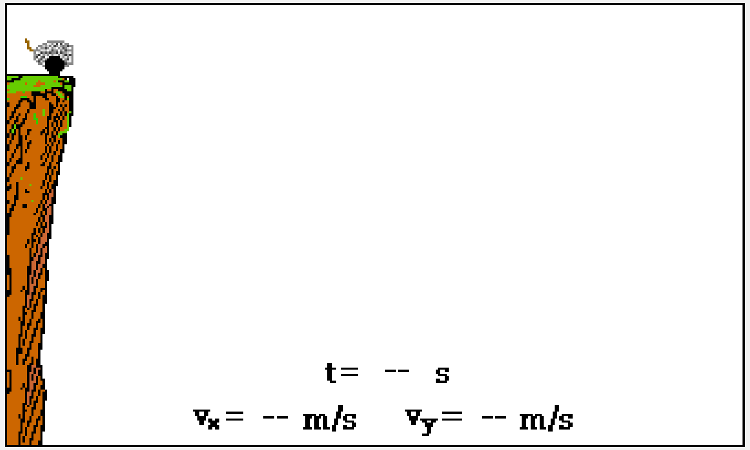


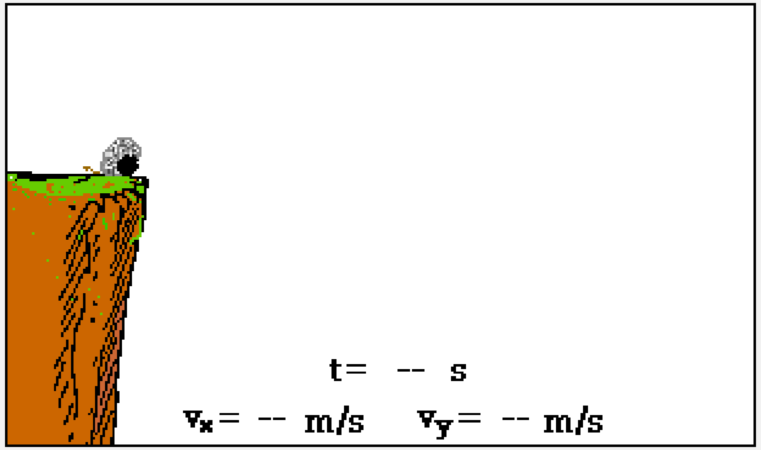
La palla lascia il tavolo (t=0): la palla è soggetta all'accelerazione di gravità:

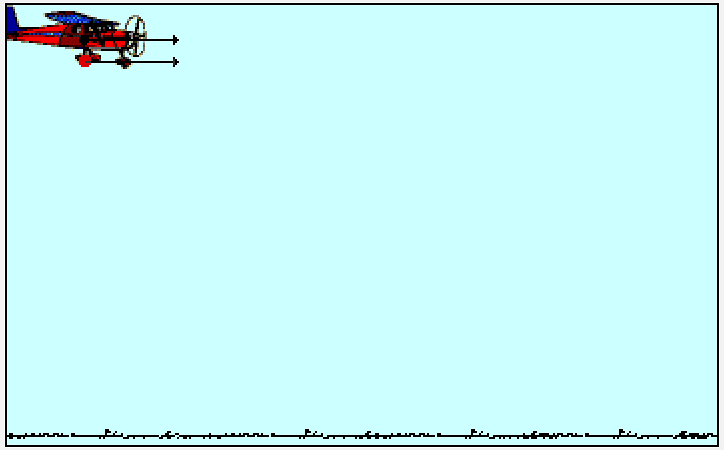
- v_y inizialmente è 0, poi aumenta
- a_y = g

$$\Delta v_y = a_y \Delta t \;\rightarrow\; v_y = -gt$$

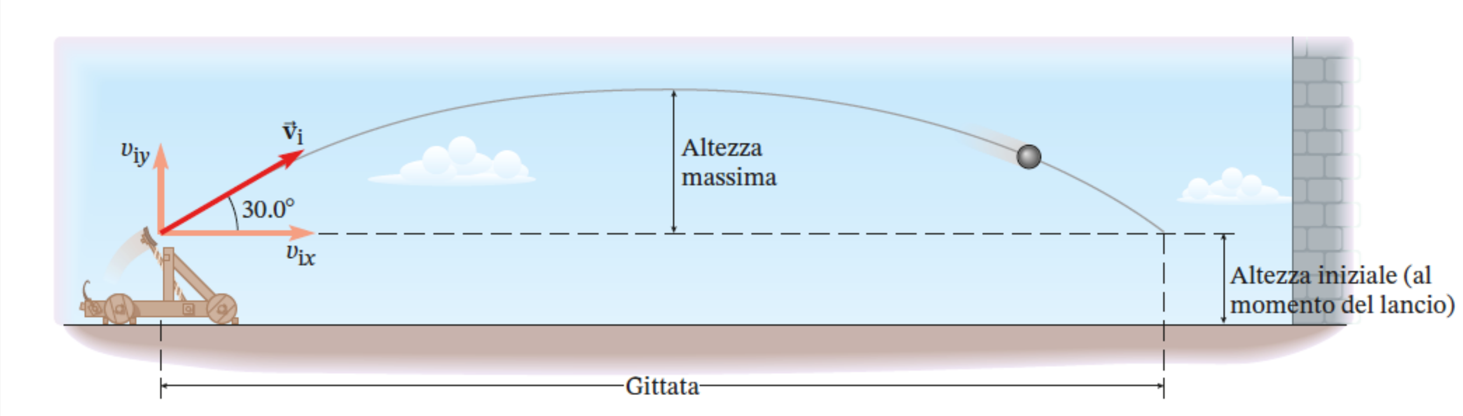
Spostamento verticale (y) → $\Delta y = v_{iy}\Delta t + \frac{1}{2}a_y(\Delta t)^2 \rightarrow \; \Delta y = -\frac{1}{2}g(\Delta t)^2$ (ponendo y_i=0)

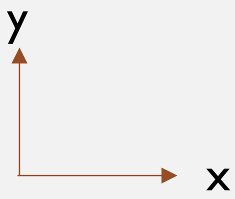






MOTO PARABOLICO

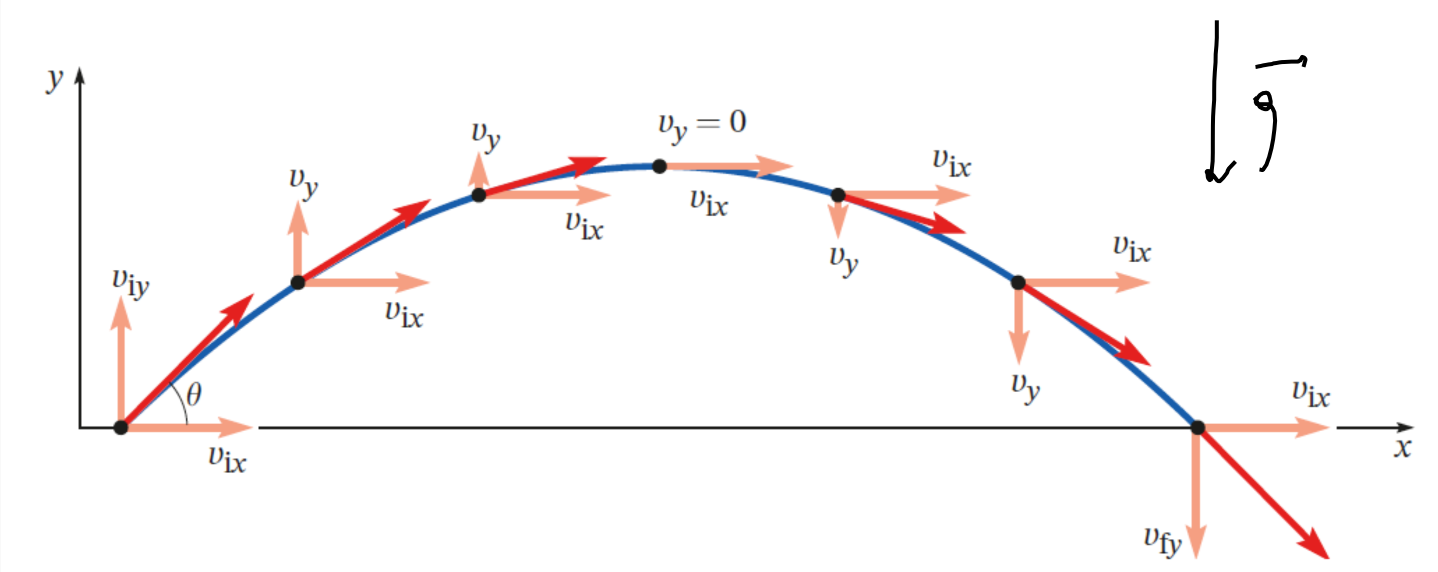




Qui la velocità possiede una componente verticale v_{iy}

Il corpo viene lanciato con una velocità inziale $\vec{v_i}$ → questa forma un angolo θ con l'asse orizzontale:

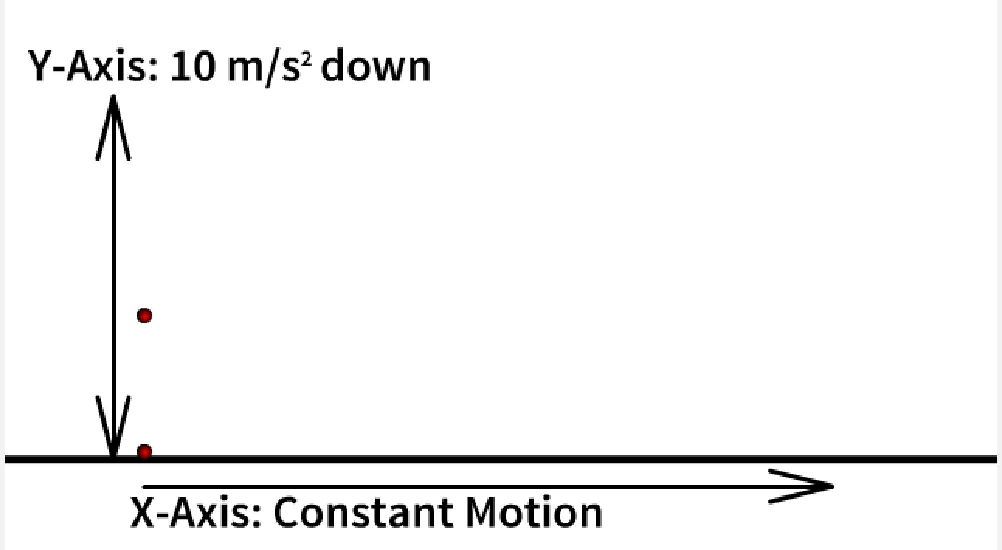
$$v_{ix} = v_i cos\theta \text{ e } v_{iy} = v_i sin\theta$$



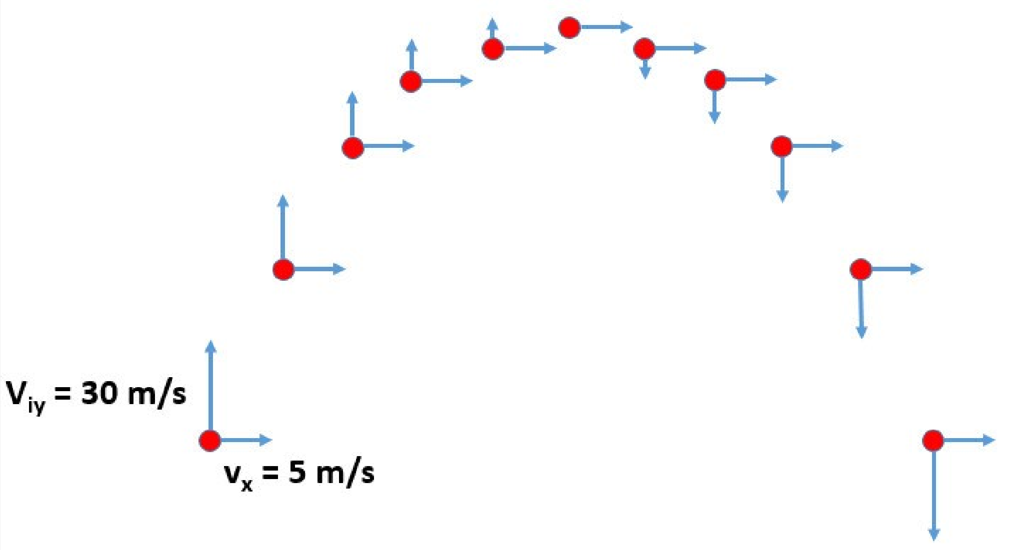
L' angolo θ è detto angolo di elevazione. Durante il volo, l'unica forza che agisce è la forza peso: a_x=0 e v_x=cost

Vy è inizialmente positiva, diminuisce nella salita, diventa nulla alla massima altezza, infine aumenta il suo modulo durante la discesa, ma con verso negativo.

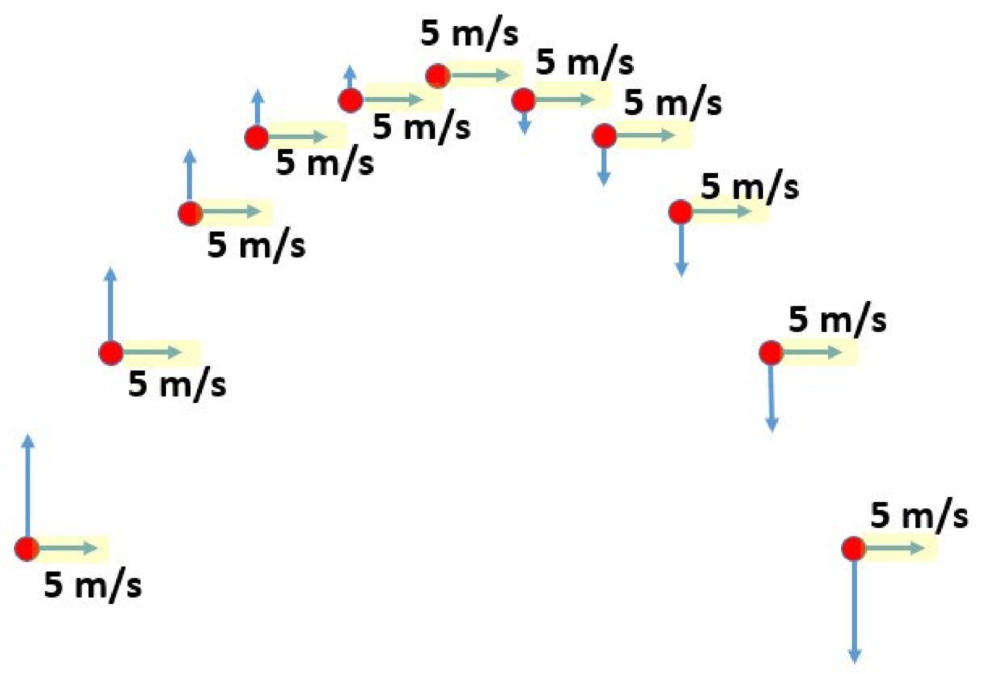
https://app.jove.com/embed/player?id=12635&t=1&s=1&fpv=1



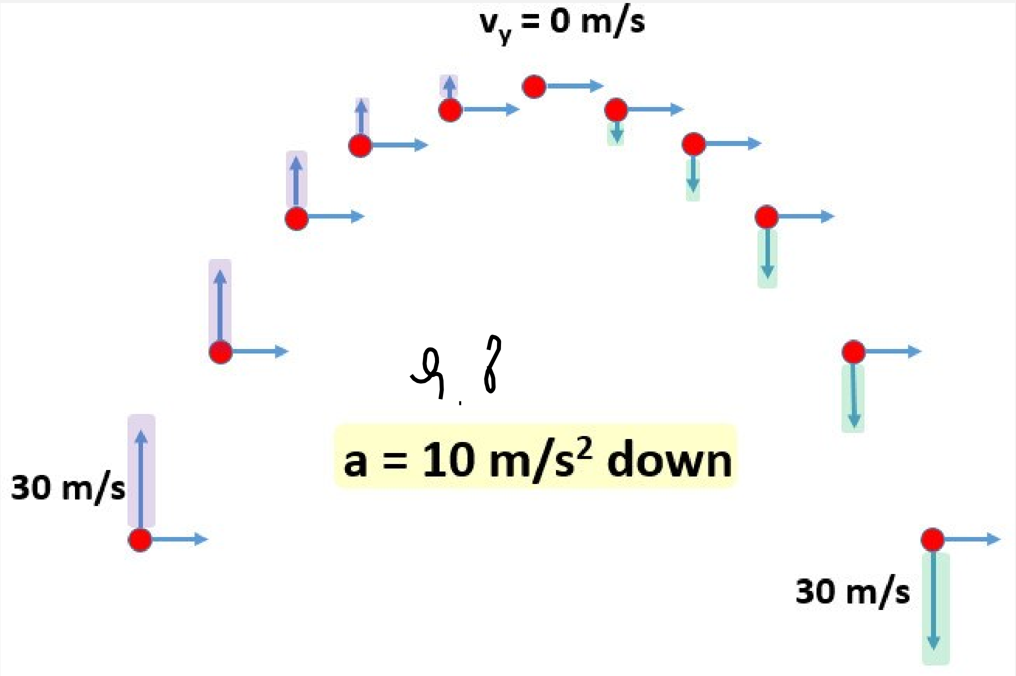
Y-Axis: 10 m/s² down
X-Axis: Constant Motion



V_iy = 30 m/s
v_x = 5 m/s



5 m/s
5 m/s
5 m/s
5 m/s
5 m/s
5 m/s
5 m/s
5 m/s
5 m/s
5 m/s
5 m/s

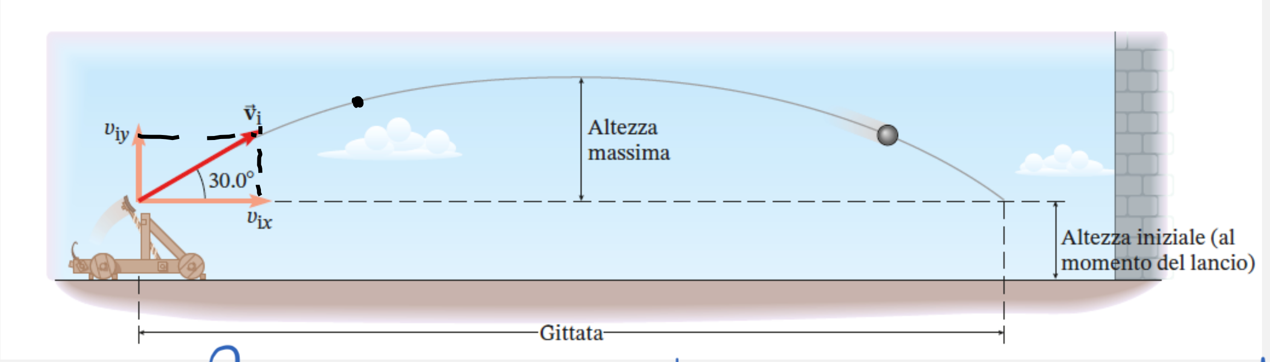


v_y = 0 m/s
9.8
a = 10 m/s² down
30 m/s
30 m/s

MOTO PARABOLICO

Esempio

Una catapulta lancia una pietra di 32 kg di massa con una velocità di 50.0 m/s a un angolo di elevazione di 30.0°.A) Qual è la massima altezza raggiunta dalla pietra? B) Qual è il tempo di volo (l'intervallo di tempo in cui il proiettile rimane in aria prima di ricadere al suolo)? C) Qual è la sua gittata (la distanza orizzontale percorsa dal proiettile prima di ricadere al suolo)?



$v_i = 50\,m/s \quad (\theta = 30°)$

$v_{ix} = v_i \cdot \cos\theta = 43.3\,m/s$

$v_{iy} = v_i \cdot \sin\theta = 25\,m/s$

$y_{max}? \rightarrow v_{ymax} = 0\,m/s$

$\Delta y = \frac{1}{2}\underbrace{(v_{ymax} + v_{iy})}_{v_m} \cdot \Delta t = \frac{1}{2} \cdot v_{iy}\,\Delta t$

$v_{ymax} \rightarrow 0\,m/s$

$v_{ymax} - v_{iy} = a_y \Delta t = -g\Delta t \rightarrow \Delta t = \boxed{\frac{-v_{iy}}{-g}}$

$v_{ymax} \rightarrow 0\,m/s$

$\Delta y = \frac{1}{2} \cdot v_{iy}\left(\frac{-v_{iy}}{-g}\right)$

$= \frac{1}{2}\,\frac{v_{iy}^2}{g} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(25\,m/s)^2}{9.8\,m/s^2} = 31.9\,m$

Tempo di volo (t_{TOT}) → dall'equazione di prima: $\Delta t = \frac{-V_{iy}}{-g} = \frac{V_{iy}}{g} = \frac{25 m/s}{9.8 m/s^2} = 2.55 s$

questo è t_s

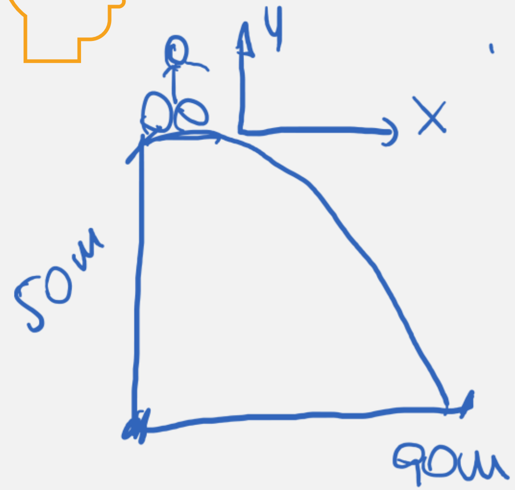
$t_{TOT} = 2t_s = 5.10 s$

Gittata? (solo x) → $\Delta x = v\Delta t = V_{ix} \cdot t_{TOT} = 43.3 m/s \cdot 5.10 s = 220.8 m$

MOTO PARABOLICO

Esempio

Uno stuntman si lancia orizzontalmente con una motocicletta da uno strapiombo alto 50 m. Con che velocità la motocicletta lascia il bordo dello strapiombo se atterra sul terreno circostante a una distanza di 90 m dalla base dello strapiombo?



$\Delta x = 90m$

v_{ix}? $\longrightarrow \Delta x = v_{ix}\Delta t \rightarrow v_{ix} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

$y_f = -50m$

$\Delta y = \cancel{v_{iy}\Delta t} + \frac{1}{2}a\Delta t^2$

$\Delta y \rightarrow -50m$, $v_{iy} \rightarrow 0m/s$, $a \rightarrow -9.8m/s^2$

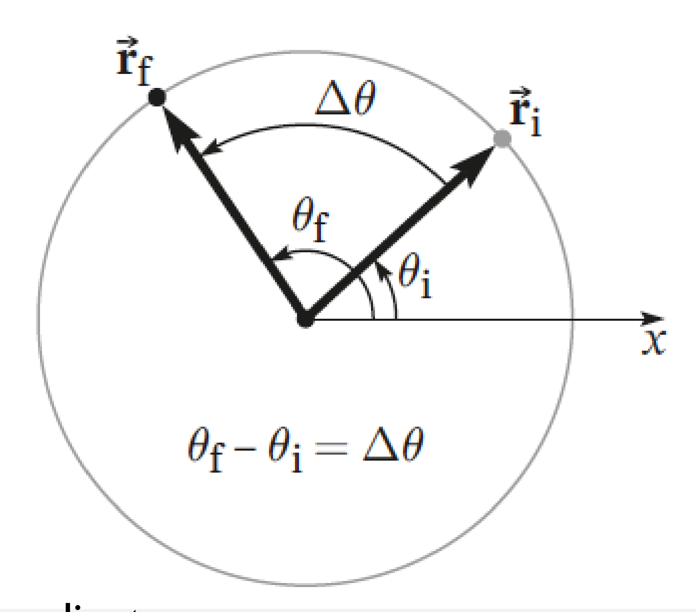
$\rightarrow \Delta t = \sqrt{\frac{2\cdot(-50m)}{-9.8m/s^2}}$

$= 3.19s$

$$v_{ix} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{90m}{3.19\ m/s} = 28.2\ m/s$$

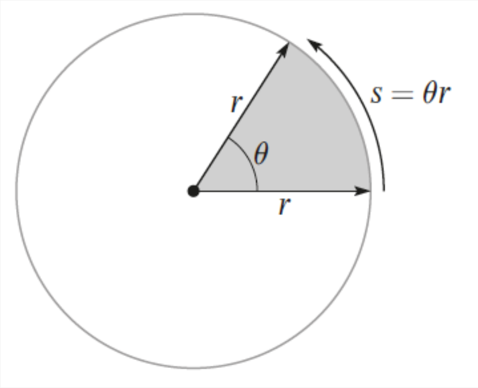
MOTO CIRCOLARE UNIFORME

Definizione di **spostamento angolare**: $\Delta\theta = \theta_f - \theta_i$



Definizione di **velocità angolare media**: $\omega_m = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$

Definizione di **velocità angolare istantanea**: $\omega = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$

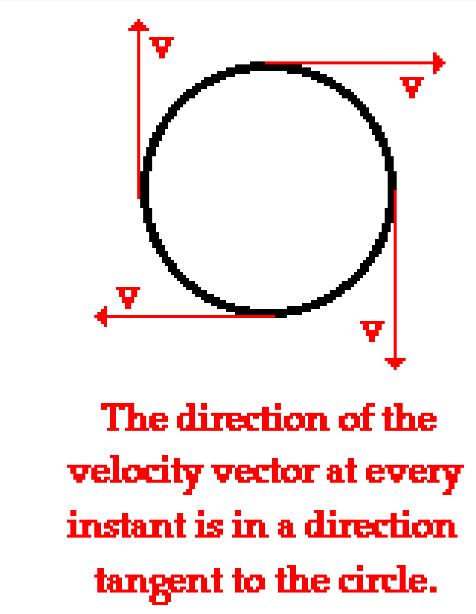


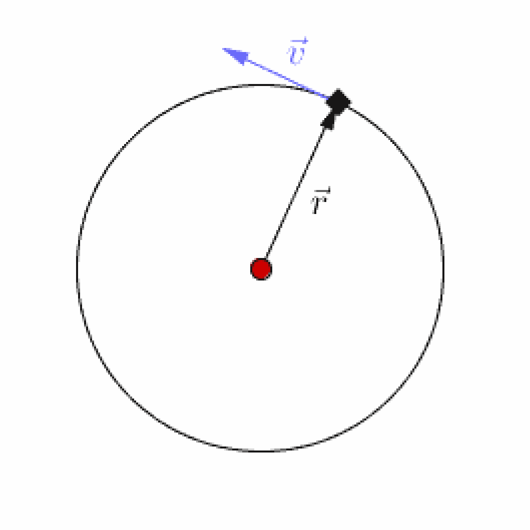
In molte situazioni la misura dell'angolo più conveniente è il radiante.

$\theta(in\ radianti) = \frac{s}{r}$ $\quad\quad$ $\theta = \frac{s}{r} = \frac{2\pi r}{r} = 2\pi rad$ $\quad\quad$ $360° = 2\pi rad$

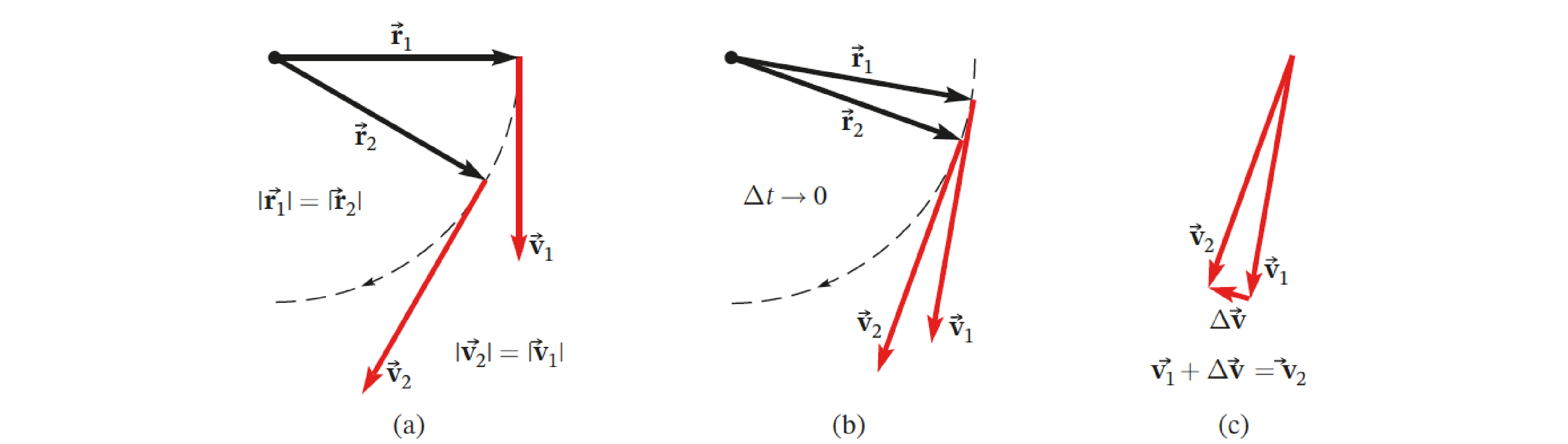
Una particella che si muove di moto circolare uniforme ha una velocità con modulo costante, mentre la direzione della stessa cambia nel tempo: in ogni istante di tempo, la direzione della velocità istantanea è infatti tangente alla traiettoria circolare

Dato che la direzione della velocità della particella cambia continuamente,
la particella deve possedere una accelerazione non nulla





MOTO CIRCOLARE UNIFORME



Porzione di una traiettoria circolare di raggio r su cui sia muove con moto circolare uniforme un corpo puntiforme. Nei punti considerati, i due vettori velocità sono tangenti alla traiettoria e hanno stesso modulo

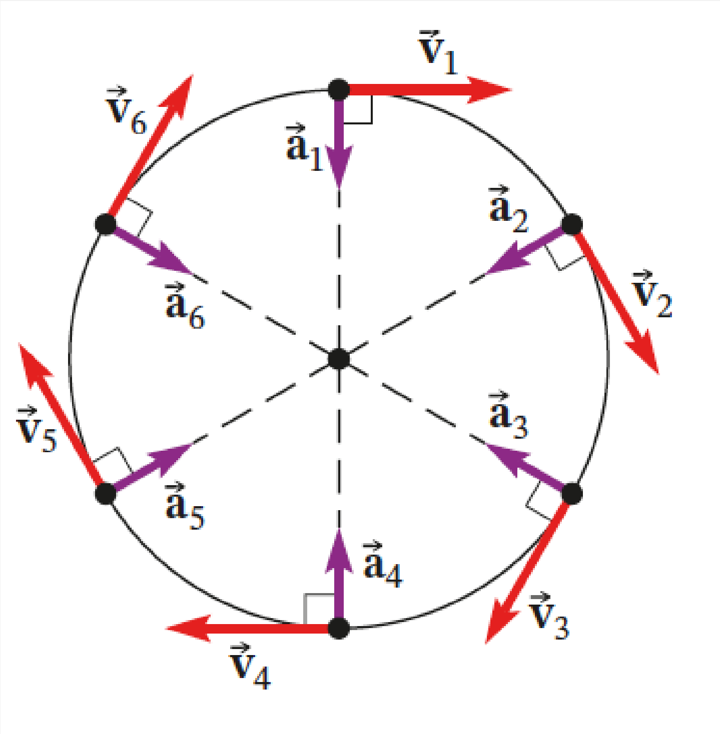
Quando l'intervallo di tempo tra le due posizioni considerate diventa man mano più piccolo, i due vettori posizione diventano sempre più vicini

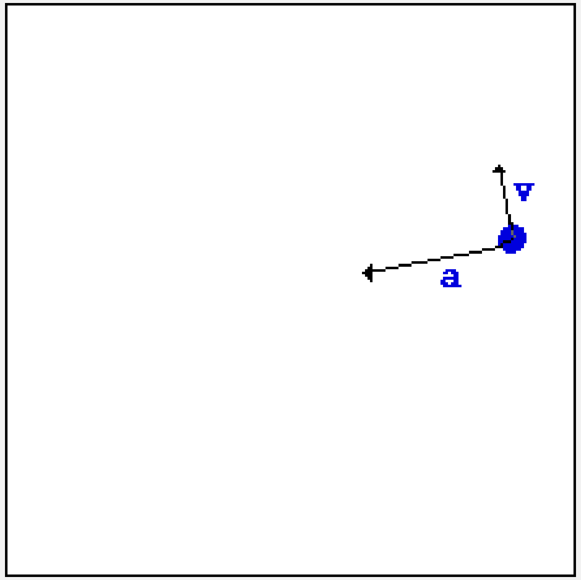
$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

Determiniamo a variazione di velocità $\Delta\vec{v}$ in un piccolo intervallo di tempo. Quando $\Delta t \to 0$, l'angolo tra i due vettori tende a 0 e $\Delta\vec{v}$ diventa perpendicolare alla velocità stessa. $\Delta\vec{v}$ è diretto lungo il raggio della circonferenza e rivolto verso il centro

MOTO CIRCOLARE UNIFORME

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



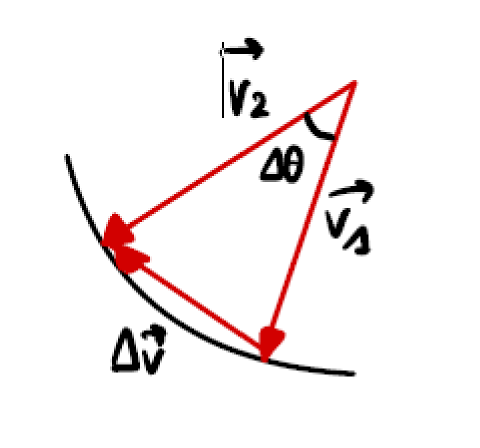


$\vec{a}$ ha stessa direzione e verso di $\Delta\vec{v}$ → anche l'accelerazione sarà radialmente verso il centro della circonferenza:

L'accelerazione di un corpo che si muove di moto circolare uniforme è chiamata accelerazione radiale $\overrightarrow{a_r}$ o accelerazione centripeta

MOTO CIRCOLARE UNIFORME

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



In un intervallo Δt il vettore $\vec{v}$ percorre un angolo pari allo spostamento angolare del corpo: $\Delta\theta = \omega\Delta t$

In Δt il vettore $\vec{v}$ spazza un arco di circonferenza che ha «raggio» pari al modulo di $\vec{v}$

Nel limite per $\Delta t \to 0$ la lunghezza di $\Delta\vec{v}$ coincide con la lunghezza di tale arco:

$$|\Delta v| = lunghezza\ arco$$
$$= raggio\ della\ circonferenza \times angolo\ corrispondente$$
$$= v|\Delta\theta| = v\omega\Delta t$$

L'accelerazione è la rapidità con cui cambia la velocità, pertanto il suo modulo è

$$a_r = |\vec{a}| = \frac{|\Delta\vec{v}|}{\Delta t} = v\omega \ (\omega\ in\ radianti\ per\ unità\ di\ tempo)$$

$$v = |\omega| r$$

$$a_r = \frac{v^2}{r}\ o\ a_r = \omega^2 r \quad (\omega\ in\ radianti\ per\ unità\ di\ tempo)$$

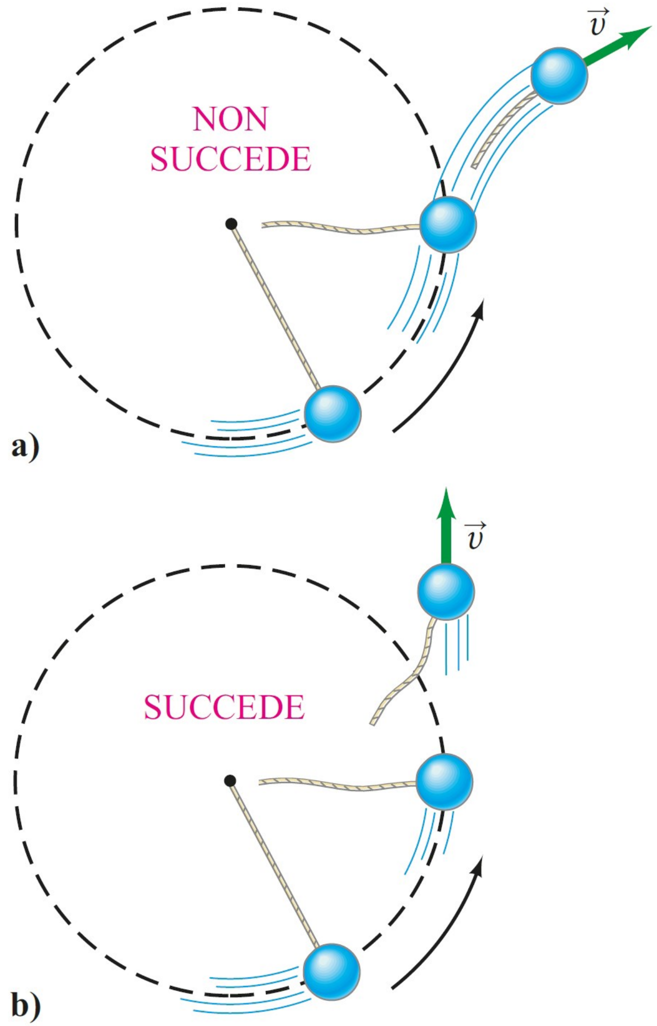


Figura 5.16 Se esistesse una forza centrifuga, la pallina dovrebbe muoversi verso l'esterno come in **a)**, una volta lasciata libera. In realtà, si allontana dalla traiettoria originaria, proseguendo in direzione tangenziale alla circonferenza come in **b)**.
Per esempio, in **c)** le scintille prodotte da una mola in rapida rotazione vengono proiettate lungo linee rette tangenti al bordo della mola.

c)