



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TERAMO

Fisica

Medicina Veterinaria — Semestre
Aperto 2026

Prof. Francesco de Pasquale

Lezioni 5,6 e 7

Outline

Lezione 5

- Studio dei moti rettilinei e curvilinei, con esempi significativi
- Moto rettilineo uniforme,

Lezione 6

- Moto uniformemente accelerato, caduta libera, moto parabolico.

Lezione 7

- Moto circolare uniforme e accelerazione centripeta.

Moto Uniformemente Accelerato (MUA)

MOTO UNIFORMEMENTE ACCELERATO

$$\vec{a} = \text{cost.} \quad \begin{cases} a_x \\ a_y \end{cases}$$

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$$

$$v_0 = v_{m2}$$

$$\vec{v}: \quad \begin{cases} v_x = v_{0x} + a_x t \\ v_y = v_{0y} + a_y t \end{cases}$$

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{a} t^2$$

$$\vec{r} = (x; y) \quad \begin{cases} x = x_0 + v_{0x} t + \frac{1}{2} a_x t^2 \\ y = y_0 + v_{0y} t + \frac{1}{2} a_y t^2 \end{cases}$$

MOTO UNIF. ACCELERATO IN 2D (MUA)

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t \quad \begin{cases} v_x = v_{0x} + a_x t \\ v_y = v_{0y} + a_y t \end{cases}$$

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{a} t^2 \quad \begin{cases} x = x_0 + v_{0x} t + \frac{1}{2} a_x t^2 \\ y = y_0 + v_{0y} t + \frac{1}{2} a_y t^2 \end{cases}$$

Riepilogo equazioni di posizione: $x(t)$ e $y(t)$

Componente X

$$x(t) = x_0 + v_{0x}(t - t_0) + \frac{1}{2}a_x(t - t_0)^2$$

Componente Y

$$y(t) = y_0 + v_{0y}(t - t_0) + \frac{1}{2}a_y(t - t_0)^2$$

Forma vettoriale

$$\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{v}_0(t - t_0) + \frac{1}{2}\vec{a}(t - t_0)^2$$

Principio chiave

Le componenti x e y **non si mescolano mai**: ciò che accade lungo x non influisce su y e viceversa.

Ogni asse dipende esclusivamente dalla **posizione iniziale**, dalla **velocità iniziale** nella propria direzione e dalla rispettiva **accelerazione costante**.

Velocità e caso pratico con $t_0 = 0$

Equazioni della velocità

$$v_x(t) = v_{0x} + a_x \cdot t$$

$$v_y(t) = v_{0y} + a_y \cdot t$$

Posizione (con $t_0 = 0$)

$$x(t) = x_0 + v_{0x} t + \frac{1}{2} a_x t^2$$

$$y(t) = y_0 + v_{0y} t + \frac{1}{2} a_y t^2$$

Definizione di Moto Rettilineo Uniforme (MRU)

MRU come caso particolare di MUA

- Moto Rettilineo Uniforme $\left(\vec{v} = \text{cost.} \right)$
 $\Downarrow$
 $\vec{a} = \vec{0}$

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \cancel{at} = \vec{v}_0 \quad \begin{cases} v_x = v_{0x} \\ v_y = v_{0y} \end{cases}$$

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \cancel{\frac{1}{2}at^2} \quad \begin{cases} x = x_0 + v_{0x} t \\ y = y_0 + v_{0y} t \end{cases}$$

Riepilogo Moto Rettilineo Uniforme (MRU) in 2D

Caso particolare del MUA

Il MRU è il caso limite del MUA con accelerazione nulla: $a_x = 0$ e $a_y = 0$

Equazioni della velocità

$$v_x(t) = v_{0x} = \text{cost.}$$

$$v_y(t) = v_{0y} = \text{cost.}$$

Equazioni di posizione (con $t_0 = 0$)

$$x(t) = x_0 + v_{0x} t$$

$$y(t) = y_0 + v_{0y} t$$

Forma vettoriale

$$\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t$$

Proprietà fondamentali

- La velocità è costante in modulo e direzione
- La traiettoria è una retta
- Lo spostamento è proporzionale al tempo
- Le componenti x e y sono indipendenti e si muovono entrambe di moto uniforme

i Il vettore velocità $\vec{v}_0 = (v_{0x}, v_{0y})$ rimane invariato per tutto il moto

Esercizi su MRU

Esercizio # 218

50 Km

$$v_1 = 50 \text{ Km/h}$$

120 Km

$$v_2 = 30 \text{ Km/h}$$

$$v_{\text{MEDIA}} = ?$$

- A) 40 Km/h
 B) 44 "
 C) 38 "
 D) 32 "
 E) 34 "

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{\Delta t_1 + \Delta t_2}$$

$$\Delta t_1 = ? \quad \Delta t_2 = ?$$

$$v_1 = \frac{\Delta x_1}{\Delta t_1} \Rightarrow \Delta t_1 = \frac{\Delta x_1}{v_1} = \frac{50}{50} = 1 \text{ h}$$

$$v_2 = \frac{\Delta x_2}{\Delta t_2} \Rightarrow \Delta t_2 = \frac{\Delta x_2}{v_2} = \frac{120}{30} = 4 \text{ h}$$

$$v_m = \frac{170}{5} = 34 \text{ Km/h}$$

E) ✓

Esercizio 219

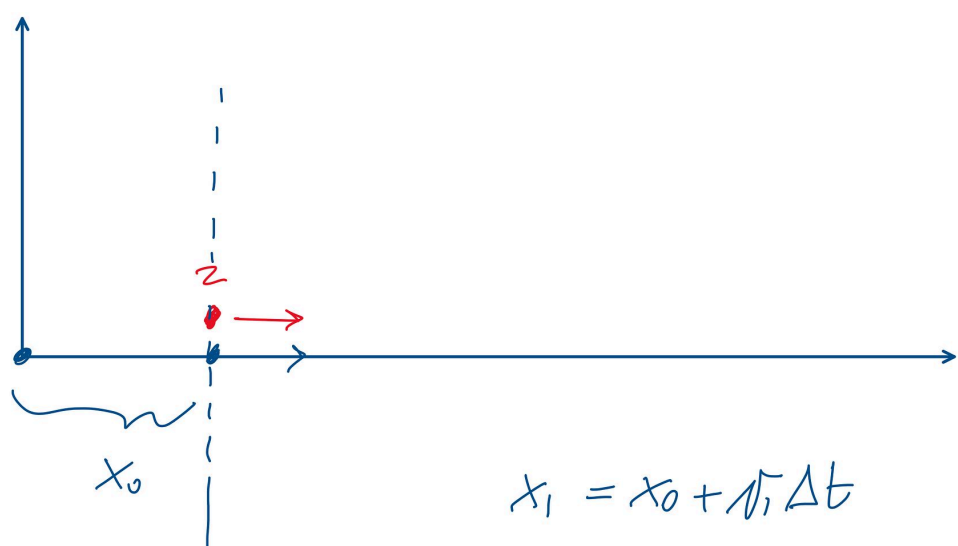
$$v_1 = 10 \text{ m/s}$$

$$\Delta t_2 = 10 \text{ s}$$

$$v_2 = 30 \text{ m/s}$$

$$\Delta t_2:$$

- A) 5 s
 B) 10 s
 C) 50 s
 D) 1 s
 E) 0,5 s



$$x_1 = x_0 + v_1 \Delta t$$

$$x_2 = v_2 \Delta t$$

Impongo $x_1 = x_2 \Rightarrow x_0 + v_1 \Delta t = v_2 \Delta t$

$$\Delta t (v_1 - v_2) = -x_0$$

$$\Delta t = - \frac{x_0}{(v_1 - v_2)} = - \frac{100}{(10 - 30)}$$

$$= - \frac{100}{(-20)} = \frac{100}{20} = 5$$

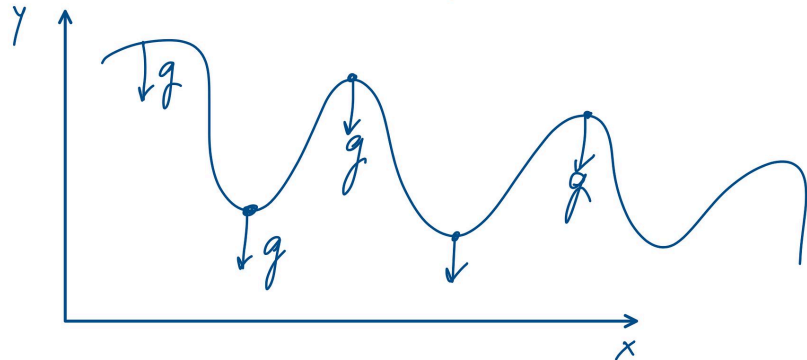
$$\Delta t = 5 \text{ s}$$

Moto in caduta libera o di un proiettile 2D

Caso particolare del piu' generale MUA:

MOTO IN CADUTA LIBERA o MOTO DI UN PROIETTILE 2D

Consideriamo $\vec{a} = \vec{g}$ $\vec{g}$ = accelerazione di gravità

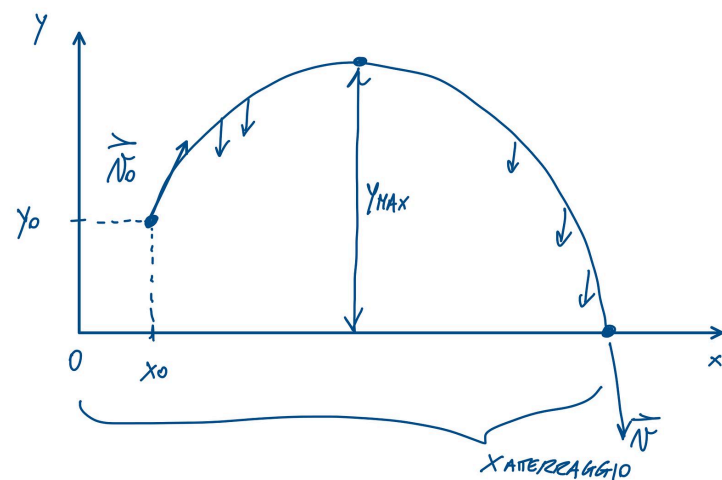


$$\vec{g} = (0; -g) \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$(a_x = 0; a_y = -g)$$

$$\begin{cases} v_x = v_{0x} + a_x t = v_{0x} \\ v_y = v_{0y} + a_y t = v_{0y} - g t \end{cases}$$

$$\begin{cases} x = x_0 + v_{0x} t + \frac{1}{2} a_x t^2 = x_0 + v_{0x} t \\ y = y_0 + v_{0y} t + \frac{1}{2} a_y t^2 = y_0 + v_{0y} t - \frac{1}{2} g t^2 \end{cases} \quad \text{Moto parabolico}$$



Riepilogo

Moto in caduta libera (o di un proiettile) 2D

Caso specifico

Solo la gravità agisce: $a_x = 0$ e $a_y = -g$

Equazioni del moto

$$v_x(t) = v_{0x}$$

$$v_y(t) = v_{0y} - g t$$

$$x(t) = x_0 + v_{0x} t$$

$$y(t) = y_0 + v_{0y} t - \frac{1}{2} g t^2$$

Traiettoria

$$y = y_0 + \frac{v_{y0}}{v_{x0}}(x - x_0) - \frac{g}{2v_{x0}^2}(x - x_0)^2$$



i La traiettoria è una **parabola**: il moto orizzontale è uniforme, mentre quello verticale è uniformemente accelerato.



YouTube



Oro di Tamberi nel Salto in Alto | Europei di Atletica 2026

Il meglio dello Sport sui canali Rai da rivedere su <https://www.raipley.it/sport/>
Gianmarco "Gimbo" Tamberi si conferma a Birmigham il miglior altista europeo al...

▶ 02:58



YouTube



Olimpiadi di Parigi 2024 – Atletica – Salto in lungo – Mattia Furlani – Bronzo

Un salto nella storia! Mattia Furlani regala all'Italia una straordinaria medaglia di bronzo nel salto in lungo alle Olimpiadi di Parigi 2024. Una prestazione carica di...

▶ 01:16



YouTube



World First! Motorbike Flip Between Two Moving Trucks

Freestyle motocross rider @LucAckermannFMX takes on his most dangerous feat yet – backflipping a motorbike between two moving trucks 🚚 🏍️ Launching at 74...

Esercizi:

Esercizio #268 (Tommasi)

14,7	dopo	3 s	A)
29,4	"	3 s	B)
44,1	"	3 s	C)
88,2	"	9 s	D)
44,1	"	9 s	E)

$$\vec{v}_0 = \vec{0} \quad \left\{ \begin{array}{l} v_{0x} = 0 \\ v_{0y} = 0 \end{array} \right.$$

$$x = x_0 + v_{0x}t = 0$$

$$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$\begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} x = 0 \\ y = -\frac{1}{2} g t^2 \end{cases}$$



$$y = -\frac{1}{2}gt^2 \quad \left\{ \begin{array}{l} t=3s \rightarrow -\frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 9 \approx 45m \\ t=9s \rightarrow -\frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 81 \approx 405m \end{array} \right.$$

c) 44,1 MHz ✓

Esercizio 269

$\Delta t = 8 \text{ s}$ (andata + ritorno)

$v_{kritisch} =$

A)	98 m/s
B)	4,9 m/s
C)	78,4 m/s
D)	156,8 m/s
E)	39,2 m/s

$$v_y = v_{0y} - g t_{\text{RT}} \quad t_{\text{RT}} = \frac{8}{2} = 4 \text{ s}$$

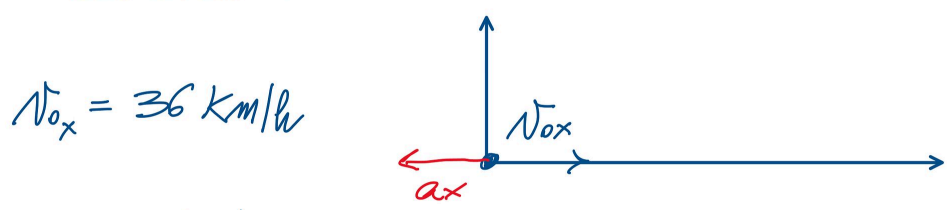
||
0
↳ marche marche de ferret

$$V_y = -gt_{\text{в.п.}} \approx -10 \cdot 4 = -40 \text{ м/с}$$

$$V_y \approx 40 \text{ m/s}$$

$E) \checkmark$

Esercizio #256



$$a_x = -5 \text{ m/s}^2$$

$L_{ARGESTO} = ?$

- | | | |
|----|-----|---|
| A) | 2 | S |
| B) | 20 | S |
| C) | 200 | S |
| D) | 7,2 | S |
| E) | 72 | S |

$$v_x = v_{0x} + a_x t \quad \text{Impulse} \quad v_x = 0 \quad (\text{fermo})$$

$$0 = v_{0x} + at$$

$$t = - \frac{v_{ox}}{a}$$

$$V_{ax} = 36 \text{ km/h} = 36 \frac{1}{36} \text{ m/s} = 10 \text{ m/s}$$

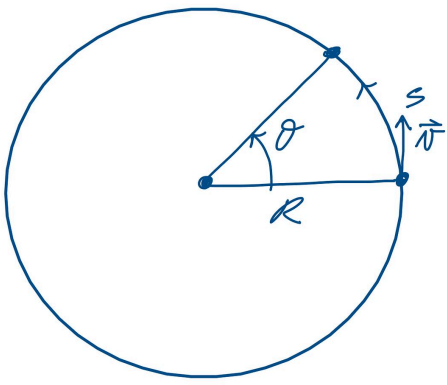
$$t_{\text{Arresto}} = + \frac{10}{(+5)} = 2 \text{ s}$$

$$t_{\text{transport}} = 2s$$

A) ✓

Definizione Moto circolare uniforme (MCU):

Moto Circolare Uniforme



$$s = R\theta$$

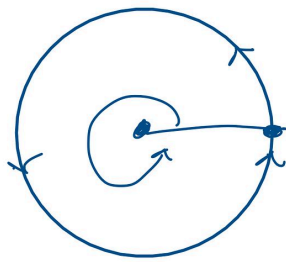
Se in un intervallo di Tempo $\Delta t \rightarrow \Delta\theta$

$$\omega = \text{vel. angolare} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

$\theta \rightarrow \text{rad}$

$$[\omega] = \text{rad/s} \quad \text{velocit\`a angolare o pulsazione}$$

Il periodo = $\Delta t \rightarrow$ percorso
tutte le
circonferenze



In un giro:

$$\omega \cdot T = 2\pi$$

$T = \frac{2\pi}{\omega}$

 Periodo di oscillazione

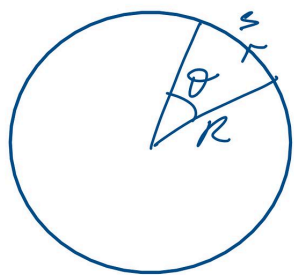
$$[T] = \frac{\text{rad}}{\text{rad/s}} = \text{s}$$

Frequenza di oscillazione

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

 $[f] = \text{s}^{-1} = \text{Hz}$

Come si legano le grandezze angolari e spaziali:



$$s = R\theta$$
$$\Delta s = R\Delta\theta$$
$$\frac{\Delta s}{\Delta t} = R \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

$v = \omega R$

Accelerazione:

Del momento $\vec{v}$ non \u00e8 costante

$\Downarrow$

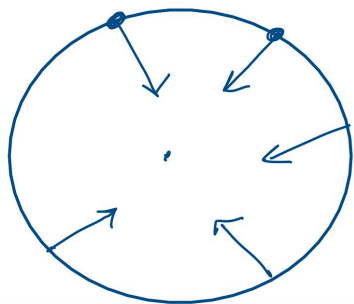
Modulo OK

Direzione X

Verso X

$$\vec{a} \neq \vec{0}$$

$$a_{\text{CENTRIFUGA}} = \frac{v^2}{R} = \frac{\omega^2 R^2}{R}$$
$$= \omega^2 R$$



$a_{\text{CENTRIFUGA}} = \omega^2 R = \frac{v^2}{R}$

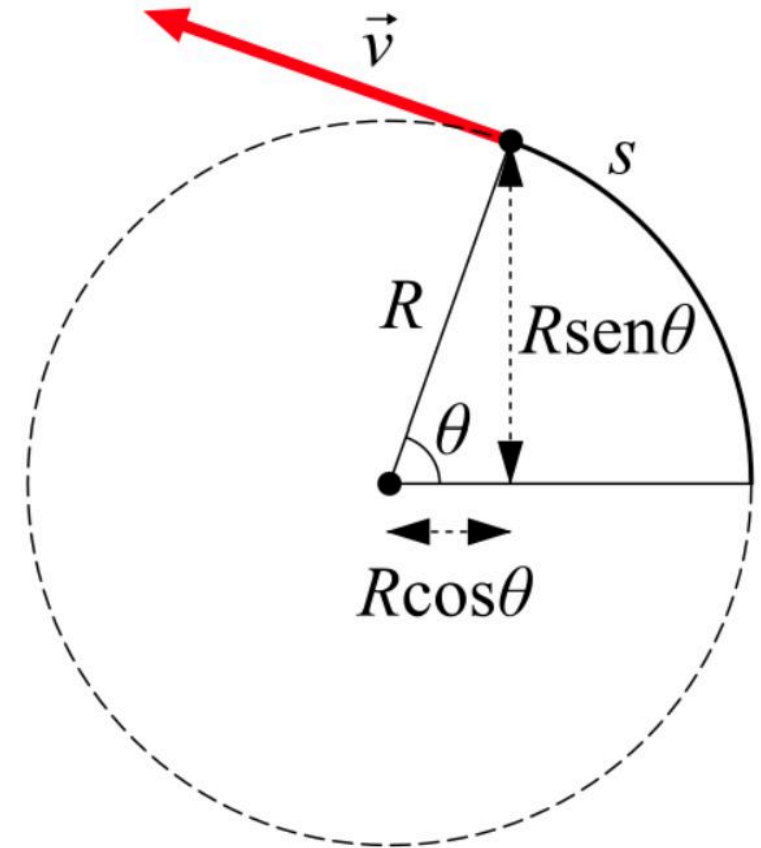
Riepilogo Moto Circolare Uniforme (MCU)

Definizione

Un corpo compie moto circolare uniforme (MCU) quando percorre una traiettoria circolare di raggio R con il modulo della velocità costante (solo il modulo) il vettore $\vec{v}$ **non è costante!**

Grandezze fondamentali

- Raggio: R (costante)
- Velocità scalare: $v = \text{const}$
- Periodo: T — tempo per un giro completo
- Frequenza: $f = 1/T$ — numero di giri al secondo [Hz]
- Velocità angolare: ω — angolo percorso per unità di tempo [rad/s]



la velocità è sempre tg alla circonf.

Periodo, Frequenza e Velocità Angolare

Periodo T

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi}{\omega}$$

Frequenza f

$$f = \frac{1}{T} \quad [\text{Hz} = \text{s}^{-1}]$$

Velocità angolare ω

Angolo percorso nell'unità di tempo:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

Inoltre $v = \omega \cdot R$

Posizione angolare

L'angolo θ percorso a partire da θ_0 cresce linearmente nel tempo:

$$\theta(t) = \theta_0 + \omega t$$

❗ ω costante $\leftrightarrow$ velocità angolare uniforme: ogni secondo il corpo percorre sempre lo stesso angolo ω [rad].

Accelerazione Centripeta

Origine

Anche se $|\vec{v}|$ è costante, la direzione cambia: esiste quindi un'accelerazione. Essa è diretta verso il centro della circonferenza e si chiama accelerazione centripeta

Formula

$$a_c = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$$

In forma vettoriale

Puntando verso il centro (verso $-\hat{r}$):

$$\vec{a}_c = -\omega^2 \vec{r}$$

Proprietà

- Sempre perpendicolare a $\vec{v}$
- Sempre diretta verso il centro
- Modulo costante (poiché v e R sono costanti)



Nel MCU l'accelerazione non è nulla! È centripeta e causa il cambiamento di direzione della velocità.

Equazioni del Moto in Coordinate Cartesiane

Scegliendo l'origine nel centro della circonferenza e $\theta_0 = 0$:

Posizione

$$x(t) = R \cos(\omega t)$$

$$y(t) = R \sin(\omega t)$$

Velocità

$$v_x(t) = -R\omega \sin(\omega t) = -v \sin(\omega t)$$

$$v_y(t) = R\omega \cos(\omega t) = v \cos(\omega t)$$

Accelerazione

$$a_x(t) = -R\omega^2 \cos(\omega t) = -\omega^2 x(t)$$

$$a_y(t) = -R\omega^2 \sin(\omega t) = -\omega^2 y(t)$$

Verifica del modulo

Modulo della velocità (costante):

$$|\vec{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = R\omega = v$$

Modulo dell'accelerazione (costante):

$$|\vec{a}_c| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = R\omega^2 = \frac{v^2}{R}$$

i Le componenti x e y oscillano come seno e coseno: il MCU è strettamente legato al moto armonico semplice.

Schema Moto Circolare Uniforme

Cinematica angolare

$$\theta(t) = \theta_0 + \omega t$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

Velocità

$$v = \omega R$$

$$\vec{v} \perp \vec{r}, \quad |\vec{v}| = \text{cost.}$$

Accelerazione centripeta

$$a_c = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$$

Diretta verso il centro, $\perp$ a v

Periodo e frequenza

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$f = \frac{1}{T} \quad [\text{Hz}]$$

❗ Nel MCU: $|\vec{v}| = \text{cost.}$, direzione di $\vec{v}$ varia $\rightarrow$ accelerazione centripeta $\neq 0$. La forza centripeta $F = m \cdot a_c = m \cdot v^2/R$ è necessaria per mantenere il corpo in orbita circolare.

Esercizi:

Esercizio # 304

$$v_1; v_2 = 4v_1 \quad w_1/w_2 \quad a_1 = a_2$$

- A) $w_1 = 4w_2$
- B) $w_1 = 2w_2$
- C) $w_1 = w_2$
- D) $2w_1 = w_2$
- E) $4w_1 = w_2$

$$a_c = w^2 R \quad a_1 = a_2$$

$$w_1^2 \cancel{v_1} = w_2^2 v_2 = w_2^2 4 \cancel{v_1}$$

$$w_1^2 = 4 w_2^2$$

$$\frac{w_1^2}{w_2^2} = 4$$

$$\left(\frac{w_1}{w_2} \right)^2 = 4$$

$$\sqrt{\left(\frac{w_1}{w_2} \right)^2} = \sqrt{4} \quad 2$$

$$\boxed{\frac{w_1}{w_2} = 2}$$

B) ✓

Applicazione: la Centrifuga

Una centrifuga è un dispositivo essenziale nei laboratori, in particolare in quelli veterinari, per separare i componenti di fluidi come il sangue. Analizziamo le caratteristiche del suo movimento circolare uniforme.

Dati della centrifuga:

- Velocità di rotazione: 3000 giri/minuto
- Raggio (r): 0.10 m

Utilizziamo l'accelerazione di gravità $g = 9.81 \text{ m/s}^2$.

(a) Frequenza (f)

La frequenza è il numero di giri al secondo.

$$f = \frac{3000 \text{ giri}}{1 \text{ minuto}} \times \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ secondi}} = 50 \text{ Hz}$$

(b) Periodo (T)

Il periodo è il tempo necessario per compiere un giro completo.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50 \text{ Hz}} = 0.02 \text{ s}$$

(c) Velocità Angolare (ω)

La velocità angolare misura la rapidità con cui cambia l'angolo.

$$\omega = 2\pi f = 2\pi(50 \text{ Hz}) = 100\pi \text{ rad/s}$$

$$\omega \approx 314.16 \text{ rad/s}$$

(d) Velocità Lineare (v)

La velocità lineare di un campione sulla periferia.

$$v = \omega r = (314.16 \text{ rad/s})(0.10 \text{ m})$$

$$v \approx 31.42 \text{ m/s}$$

(e) Accelerazione Centripeta (a_c)

L'accelerazione centripeta mantiene il campione sulla traiettoria circolare.

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{(31.42 \text{ m/s})^2}{0.10 \text{ m}}$$

$$a_c \approx 9879.6 \text{ m/s}^2$$

Per esprimerla in multipli di g :

$$\frac{a_c}{g} = \frac{9879.6 \text{ m/s}^2}{9.81 \text{ m/s}^2} \approx 1007.1 \text{ g}$$



Perché le Centrifughe Separano i Componenti del Sangue?

Le centrifughe sfruttano l'enorme accelerazione centripeta generata dalla rotazione ad alta velocità. Questa forza "artificiale" spinge i componenti più densi del sangue (come i globuli rossi) verso il fondo della provetta, mentre i componenti meno densi (come il plasma) rimangono in superficie. Questo permette ai veterinari di separare rapidamente e con precisione le diverse frazioni del sangue per analisi diagnostiche.

Qualche esercizio aggiuntivo.....



Esercizio 2 — Il Falco Pescatore

Un falco pescatore si tuffa in picchiata con una velocità iniziale $v_0 = 20\text{ m/s}$ e un angolo $\theta = 30^\circ$ sotto l'orizzontale, partendo da un'altezza di 15 m sopra la superficie dell'acqua. Analizziamo le grandezze del suo volo.

Utilizziamo l'accelerazione di gravità $g = 9.81\text{ m/s}^2$. Definiamo l'asse Y positivo verso l'alto e l'asse X positivo orizzontalmente in avanti.

- Componente orizzontale della velocità iniziale: $v_{0x} = v_0 \cos \theta = 20 \cos(30^\circ) \approx 17.32\text{ m/s}$
- Componente verticale della velocità iniziale: $v_{0y} = -v_0 \sin \theta = -20 \sin(30^\circ) = -10\text{ m/s}$ (negativa perché verso il basso)
- Spostamento verticale: $\Delta y = -15\text{ m}$

(a) Tempo per raggiungere l'acqua

Usiamo l'equazione della posizione verticale:

$$\begin{aligned}\Delta y &= v_{0y}t + \frac{1}{2}at^2 \\ -15 &= (-10)t + \frac{1}{2}(-9.81)t^2 \\ -15 &= -10t - 4.905t^2\end{aligned}$$

Riorganizziamo in una forma quadratica $at^2 + bt + c = 0$:

$$4.905t^2 + 10t - 15 = 0$$

Applichiamo la formula quadratica $t = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$:

$$\begin{aligned}t &= \frac{-10 \pm \sqrt{10^2 - 4(4.905)(-15)}}{2(4.905)} \\ t &= \frac{-10 \pm \sqrt{100 + 294.3}}{9.81} \\ t &= \frac{-10 \pm \sqrt{394.3}}{9.81} \approx \frac{-10 \pm 19.86}{9.81}\end{aligned}$$

Considerando solo la soluzione positiva (il tempo non può essere negativo):

$$t \approx \frac{9.86}{9.81} \approx 1.005\text{ s}$$

Il falco pescatore impiega circa **1.01 secondi** per raggiungere l'acqua.

(b) Distanza orizzontale percorsa

Poiché non ci sono forze orizzontali, il moto orizzontale è uniforme:

$$\Delta x = v_{0x}t$$

Usiamo il tempo calcolato al punto (a):

$$\begin{aligned}\Delta x &= (17.32\text{ m/s})(1.005\text{ s}) \\ \Delta x &\approx 17.41\text{ m}\end{aligned}$$

La distanza orizzontale percorsa è di circa **17.41 metri**.

(c) Velocità al momento dell'impatto con l'acqua

Calcoliamo le componenti della velocità al tempo $t \approx 1.005\text{ s}$.

Componente orizzontale: rimane costante

$$v_x = v_{0x} = 17.32\text{ m/s}$$

Componente verticale:

$$\begin{aligned}v_y &= v_{0y} + at \\ v_y &= -10\text{ m/s} + (-9.81\text{ m/s}^2)(1.005\text{ s}) \\ v_y &\approx -10 - 9.86 \approx -19.86\text{ m/s}\end{aligned}$$

Modulo della velocità (v):

$$\begin{aligned}v &= \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \\ v &= \sqrt{(17.32)^2 + (-19.86)^2} \\ v &= \sqrt{300.00 + 394.42} = \sqrt{694.42} \approx 26.35\text{ m/s}\end{aligned}$$

Direzione della velocità (ϕ): (angolo rispetto all'orizzontale)

$$\begin{aligned}\tan \phi &= \frac{v_y}{v_x} \\ \tan \phi &= \frac{-19.86}{17.32} \approx -1.147 \\ \phi &= \arctan(-1.147) \approx -48.9^\circ\end{aligned}$$

La velocità al momento dell'impatto è di circa **26.35 m/s** con un angolo di circa **48.9° sotto l'orizzontale**.

L'Arte del Tuffo del Falco Pescatore

Il calcolo mostra la fisica dietro l'impressionante abilità del falco pescatore. La sua traiettoria di tuffo ottimizzata gli permette di raggiungere l'acqua con la velocità e l'angolo precisi per catturare la preda, minimizzando la resistenza e massimizzando l'efficacia della caccia.

Esercizio 3: Il Salto del Delfino

Applichiamo le formule della cinematica a un esempio reale: il salto di un delfino, analizzando traiettoria e velocità.

Il Problema

Un delfino salta fuori dall'acqua con una velocità iniziale $v_0 = 6 \text{ m/s}$ e un angolo di lancio $\theta = 60^\circ$ rispetto all'orizzontale. Assumendo $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ e trascurando la resistenza dell'aria, calcolare:

- (a) L'altezza massima (H_{max}) raggiunta dal delfino.
- (b) Il tempo totale (T_{volo}) in cui il delfino rimane fuori dall'acqua.
- (c) La distanza orizzontale (R) percorsa prima di rientrare in acqua.
- (d) La velocità del delfino (modulo e direzione) al momento del rientro in acqua.

Successivamente, se il delfino vuole atterrare su un cerchio posto a 3 m di distanza orizzontale (dalla posizione di lancio), quale angolo di lancio deve usare, mantenendo la stessa velocità iniziale $v_0 = 6 \text{ m/s}$?

Svolgimento Completo

(a) Altezza Massima (H_{max})

Utilizziamo la formula per l'altezza massima in un moto del proiettile:

$$\begin{aligned} H_{max} &= \frac{(v_0 \sin \theta_0)^2}{2g} \\ H_{max} &= \frac{(6 \text{ m/s} \cdot \sin(60^\circ))^2}{2 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2} \\ H_{max} &= \frac{(6 \cdot 0.866)^2}{19.62} \text{ m} \\ H_{max} &\approx 1.32 \text{ m} \end{aligned}$$

(b) Tempo Totale Fuori dall'Acqua (T_{volo})

Il tempo di volo si calcola come:

$$\begin{aligned} T_{volo} &= \frac{2v_0 \sin \theta_0}{g} \\ T_{volo} &= \frac{2 \cdot 6 \text{ m/s} \cdot \sin(60^\circ)}{9.81 \text{ m/s}^2} \\ T_{volo} &= \frac{12 \cdot 0.866}{9.81} \text{ s} \\ T_{volo} &\approx 1.06 \text{ s} \end{aligned}$$

(c) Distanza Orizzontale al Rientro (Gittata R)

La gittata è data dalla formula:

$$\begin{aligned} R &= \frac{v_0^2 \sin(2\theta_0)}{g} \\ R &= \frac{(6 \text{ m/s})^2 \cdot \sin(2 \cdot 60^\circ)}{9.81 \text{ m/s}^2} \\ R &= \frac{36 \cdot \sin(120^\circ)}{9.81} \text{ m} \\ R &= \frac{36 \cdot 0.866}{9.81} \text{ m} \\ R &\approx 3.18 \text{ m} \end{aligned}$$

(d) Velocità al Rientro in Acqua

In assenza di resistenza dell'aria, per simmetria, il modulo della velocità al rientro in acqua è uguale al modulo della velocità iniziale, $v_0 = 6 \text{ m/s}$.

L'angolo di rientro sarà $-\theta_0$ rispetto all'orizzontale, quindi -60° (ovvero 60° sotto l'orizzontale).

Componenti della velocità al rientro:

- $v_x = v_0 \cos \theta_0 = 6 \cos(60^\circ) = 6 \cdot 0.5 = 3 \text{ m/s}$
- $v_y = -v_0 \sin \theta_0 = -6 \sin(60^\circ) = -6 \cdot 0.866 \approx -5.20 \text{ m/s}$

Determinare l'Angolo di Lancio per una Gittata di 3 m

Vogliamo $R = 3 \text{ m}$ con $v_0 = 6 \text{ m/s}$. Usiamo di nuovo la formula della gittata:

$$\begin{aligned} R &= \frac{v_0^2 \sin(2\theta_0)}{g} \\ 3 &= \frac{6^2 \sin(2\theta_0)}{9.81} \\ 3 &= \frac{36 \sin(2\theta_0)}{9.81} \\ \sin(2\theta_0) &= \frac{3 \cdot 9.81}{36} \\ \sin(2\theta_0) &= \frac{29.43}{36} \\ \sin(2\theta_0) &\approx 0.8175 \end{aligned}$$

Ci sono due possibili angoli il cui seno è 0.8175:

- $2\theta_0 = \arcsin(0.8175) \approx 54.83^\circ$
- $2\theta_0 = 180^\circ - 54.83^\circ = 125.17^\circ$

Dividendo per 2 otteniamo i due angoli di lancio possibili:

- $\theta_0 \approx \frac{54.83^\circ}{2} \approx 27.4^\circ$
- $\theta_0 \approx \frac{125.17^\circ}{2} \approx 62.6^\circ$

Il delfino potrebbe usare un angolo di circa **27.4°** o **62.6°** per atterrare a 3 metri di distanza.



Casi particolari: Moto Rettilineo Uniforme (MRU)

Il Moto Rettilineo Uniforme (MRU) è il movimento più semplice in cinematica, caratterizzato da una traiettoria rettilinea e una velocità costante. Questo implica che l'accelerazione dell'oggetto è sempre nulla.



Velocità Costante

Il vettore velocità $\vec{v}$ mantiene **modulo**, **direzione e verso** inalterati per tutta la durata del moto.



Accelerazione Nulla

Poiché non ci sono variazioni di velocità, l'accelerazione $\vec{a}$ è sempre **zero**.



Equazione del Moto

La posizione $x(t)$ in funzione del tempo è data da ¹.



Grafici

Il grafico $x(t)$ è una retta inclinata, $v(t)$ una retta orizzontale e $a(t)$ coincide con l'asse del tempo.

Esempio Pratico: Il Cane Corridore

Immaginiamo un cane che corre in linea retta a una velocità costante di **8 m/s** per **15 secondi**.

Per calcolare lo spazio percorso, utilizziamo l'equazione del moto semplificata (partendo da $x_0 = 0$):

$$s = v \cdot t$$

$$s = 8 \text{ m/s} \cdot 15 \text{ s} = 120 \text{ m}$$

Il cane percorre una distanza di **120 metri**.



Esercizio moto rettilineo unif. acc.

Il Cavallo da Corsa

Un cavallo parte da fermo ($v_0 = 0$) e accelera uniformemente con $a = 3 \text{ m/s}^2$.

Domande:

- Qual è la sua velocità dopo 5 secondi?
- Quanto spazio ha percorso in 5 secondi?
- Dopo quanti secondi raggiunge 18 m/s?
- Qual è la sua velocità dopo aver percorso 48 m?

Svolgimento:

(a) Velocità dopo 5 secondi:

Utilizziamo la prima equazione del MRUA: ¹

$$v(5) = 0 + (3 \text{ m/s}^2) \cdot (5 \text{ s}) = 15 \text{ m/s}$$

(b) Spazio percorso in 5 secondi:

Utilizziamo la seconda equazione del MRUA (assumendo $x_0 = 0$): ²

$$x(5) = 0 + (0 \text{ m/s}) \cdot (5 \text{ s}) + \frac{1}{2} \cdot (3 \text{ m/s}^2) \cdot (5 \text{ s})^2$$

$$x(5) = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 25 = 37.5 \text{ m}$$

(c) Tempo per raggiungere 18 m/s:

Utilizziamo la prima equazione del MRUA, risolvendo per t :

$$v(t) = v_0 + a \cdot t \implies 18 \text{ m/s} = 0 + (3 \text{ m/s}^2) \cdot t$$

$$t = \frac{18 \text{ m/s}}{3 \text{ m/s}^2} = 6 \text{ s}$$

(d) Velocità dopo aver percorso 48 m:

Utilizziamo la terza equazione del MRUA (indipendente dal tempo): ³

$$v^2 = (0 \text{ m/s})^2 + 2 \cdot (3 \text{ m/s}^2) \cdot (48 \text{ m})$$

$$v^2 = 288 \text{ m}^2/\text{s}^2 \implies v = \sqrt{288} \approx 16.97 \text{ m/s}$$



Moto in 1D con Decelerazione — Frenata

Il moto in una dimensione con decelerazione si verifica quando l'accelerazione è diretta in senso opposto alla velocità, causando una riduzione progressiva della grandezza vettoriale della velocità dell'oggetto. Questo è ciò che accade, ad esempio, durante una frenata.

Direzione Contraria

La forza frenante agisce nella direzione opposta al movimento, rallentando il veicolo.

Accelerazione Costante Negativa

In molti casi, possiamo approssimare la decelerazione con un'accelerazione costante ma di segno negativo.

Spazio di Frenata

È la distanza percorsa dall'inizio della frenata fino all'arresto completo del mezzo.

Esempio: Frenata di un'Auto

Un'auto frena con un'accelerazione $a = -5 \text{ m/s}^2$ partendo da una velocità iniziale $v_0 = 20 \text{ m/s}$.

(a) Tempo per fermarsi

Per calcolare il tempo necessario all'auto per fermarsi ($v = 0$), usiamo l'equazione della velocità:

$$v(t) = v_0 + a \cdot t$$

Sostituendo i valori:

$$0 = 20 \text{ m/s} + (-5 \text{ m/s}^2) \cdot t$$

$$t = \frac{-20 \text{ m/s}}{-5 \text{ m/s}^2} = 4 \text{ s}$$

L'auto si ferma in **4 secondi**.

(b) Spazio di frenata

Per trovare lo spazio percorso durante la frenata (Δx quando $v = 0$), possiamo usare l'equazione indipendente dal tempo:

$$v^2 = v_0^2 + 2a \cdot \Delta x$$

Risolvendo per Δx e sostituendo i valori:

$$0^2 = (20 \text{ m/s})^2 + 2(-5 \text{ m/s}^2) \cdot \Delta x$$

$$0 = 400 - 10 \cdot \Delta x$$

$$\Delta x = \frac{400}{10} = 40 \text{ m}$$

Lo spazio di frenata è di **40 metri**.

(c) Velocità dopo 2 secondi

Per calcolare la velocità dopo $t = 2 \text{ s}$, utilizziamo nuovamente l'equazione della velocità:

$$v(t) = v_0 + a \cdot t$$

Sostituendo i valori:

$$v(2) = 20 \text{ m/s} + (-5 \text{ m/s}^2) \cdot 2 \text{ s}$$

$$v(2) = 20 - 10 = 10 \text{ m/s}$$

Dopo 2 secondi, l'auto viaggia a **10 m/s**.

L'Importanza dello Spazio di Arresto

Il concetto di spazio di frenata, unito al tempo di reazione del conducente, determina lo **spazio di arresto totale**. Questo è cruciale per la sicurezza stradale, specialmente in presenza di ostacoli improvvisi o attraversamenti di animali. Comprendere questi calcoli aiuta a valutare distanze di sicurezza e tempi di reazione adeguati.



Esercizio Caduta Libera – Caduta da un'Altezza

Un gatto cade da un davanzale alto 5 m con velocità iniziale $v_0 = 0$ m/s. Calcoliamo le grandezze della sua caduta.

(a) Tempo di caduta per il gatto

Usiamo l'equazione della posizione in caduta libera ($g = 9.81$ m/s²):

$$\begin{aligned}\Delta y &= v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \\ -5 \text{ m} &= (0 \text{ m/s}) t + \frac{1}{2} (-9.81 \text{ m/s}^2) t^2 \\ -5 &= -4.905 t^2 \\ t^2 &= \frac{5}{4.905} \approx 1.019 \\ t &\approx \sqrt{1.019} \approx 1.01 \text{ s}\end{aligned}$$

Il gatto impiega circa **1.01 secondi** per cadere.

(b) Velocità all'impatto per il gatto

Utilizziamo l'equazione della velocità per determinare la velocità finale:

$$\begin{aligned}v &= v_0 + at \\ v &= 0 \text{ m/s} + (-9.81 \text{ m/s}^2)(1.01 \text{ s}) \\ v &\approx -9.91 \text{ m/s}\end{aligned}$$

La velocità all'impatto è di circa **9.91 m/s** (diretta verso il basso).

Caduta con Velocità Iniziale Diversa

Supponiamo ora che un secondo oggetto venga **lanciato verso il basso** con una velocità iniziale $v_0 = 3$ m/s dalla stessa altezza di 5 m.

(c) Tempo di caduta per il secondo oggetto

Con $v_0 = 3$ m/s (verso il basso, quindi positivo se consideriamo il basso come direzione positiva o se usiamo $+g$ e $+\Delta y$):

$$\begin{aligned}\Delta y &= v_0 t + \frac{1}{2} g t^2 \\ 5 &= 3t + \frac{1}{2} (9.81) t^2 \\ 4.905 t^2 + 3t - 5 &= 0\end{aligned}$$

Risolvendo con la formula quadratica:

$$\begin{aligned}t &= \frac{-3 \pm \sqrt{3^2 - 4(4.905)(-5)}}{2(4.905)} \\ t &= \frac{-3 \pm \sqrt{9 + 98.1}}{9.81} \\ t &= \frac{-3 \pm \sqrt{107.1}}{9.81} \approx \frac{-3 \pm 10.35}{9.81}\end{aligned}$$

Considerando solo la soluzione positiva:

$$t \approx \frac{7.35}{9.81} \approx 0.75 \text{ s}$$

Il secondo oggetto impiega circa **0.75 secondi**.

(d) Confronto e Riflessioni sulla Caduta

- Gatto:** 1.01 s
- Oggetto lanciato:** 0.75 s

Come previsto, l'oggetto lanciato verso il basso raggiunge il suolo più velocemente. Nella realtà, i gatti possiedono un incredibile **"righting reflex"** che permette loro di raddrizzarsi a mezz'aria per atterrare sulle zampe, riducendo l'impatto. Questo non modifica le leggi fondamentali della fisica della caduta (tempo e velocità di impatto) ma è un meccanismo biologico di sopravvivenza.

La Fisica e il "Righting Reflex"

Il **righting reflex** dimostra una complessa interazione tra biologia e fisica. Sebbene la traiettoria e la velocità siano dettate dalla gravità, il gatto manipola il proprio momento angolare per riorientarsi.

Riepilogo della Lezione

Moto Uniformemente Accelerato (MUA) in 2D

- Equazioni di posizione: $x(t)$ e $y(t)$
- Equazioni della velocità: $v_x(t)$ e $v_y(t)$
- Caso particolare: moto di un proiettile ($a_x = 0$, $a_y = g$)

Moto Rettilineo Uniforme (MRU)

- Caso limite del MUA con $a = 0$
- Velocità costante in modulo e direzione
- Traiettoria rettilinea: $x(t) = x_0 + v_{0x} t$

Moto Circolare Uniforme (MCU)

- Velocità scalare costante, direzione variabile
- Periodo T , frequenza f , velocità angolare ω
- Accelerazione centripeta: $a_x = v^2/R = \omega^2 R$

Equazioni del MCU in coordinate cartesiane

- $x(t) = R \cos(\omega t)$, $y(t) = R \sin(\omega t)$
- Componenti di velocità e accelerazione sinusoidali
- Legame con il moto armonico semplice

Prossima lezione: Moto Circolare Non Uniforme e Moto Armonico Semplice

Domande di Autovalutazione

MUA in 2D

Un corpo parte da $(0, 0)$ con $v_{0x} = 3 \text{ m/s}$, $v_{0y} = 0 \text{ m/s}$ e accelerazione $a_x = 0$, $a_y = -9,81 \text{ m/s}^2$. Qual è la posizione del corpo dopo $t = 2 \text{ s}$?

Moto del proiettile

Un proiettile viene lanciato con velocità iniziale $v_0 = 20 \text{ m/s}$ a 30° rispetto all'orizzontale. Qual è la gittata massima? ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$)

MRU

Un corpo si muove di moto rettilineo uniforme con $\mathbf{v} = (4, 3) \text{ m/s}$. Qual è il modulo della velocità? Dopo 5 s , qual è la sua posizione se parte dall'origine?

MCU — Periodo e frequenza

Una ruota gira a 120 giri al minuto (rpm). Calcola: il periodo T , la frequenza f e la velocità angolare ω .

MCU — Accelerazione centripeta

Un'auto percorre una curva circolare di raggio $R = 50 \text{ m}$ a velocità costante $v = 20 \text{ m/s}$. Qual è il modulo dell'accelerazione centripeta?

MCU — Equazioni cartesiane

Un punto si muove su una circonferenza di raggio $R = 2 \text{ m}$ con $\omega = \pi \text{ rad/s}$. Scrivi le equazioni $x(t)$ e $y(t)$ e calcola la posizione a $t = 0,5 \text{ s}$.

 Suggerimento: per ogni domanda, identifica prima le grandezze note, poi scegli l'equazione appropriata e verifica le unità di misura nel risultato.