Fisica

Note di corso

Emanuele Galiano
Andrea Leone
Sofia Lo Vecchio

2025/2026

Prefazione

Queste dispense sono nate come appunti personali per il corso di Fisica tenuto presso il Dipartimento di Matematica e Informatica dell'Università di Catania tenuto dal Prof. Marco Ruggieri nell'anno accademico 2025/2026. L'obiettivo principale di questo materiale è stato fornire una risorsa personale di studio sulla parte teorica del corso, raggruppando concetti chiave, definizioni, teoremi, immagini ed esempi in unico documento.

Questo file non deve essere visto come un testo ufficiale o completo sull'argomento, in quanto potrebbero esserci errori, omissioni o imprecisioni. Invito pertanto chi legge questo documento a consultare le dispense ufficiali del corso proposte dal docente ed eventuali testi di riferimento consigliati. Inoltre, invito chiunque noti errori o abbia suggerimenti a contattarmi via email:

- **Email personale**: galianoo.emanuele@gmail.com,
- **Email universitaria**: emanuele.galiano@studium.unict.it;

oppure se ancora presente online, aprire una **issue** o una **pull request** nel repository GitHub associato a queste dispense:

`https://github.com/emanuelegaliano/Fisica`

In particolare, all'interno del repository GitHub sono presenti il codice open-source dei sorgenti LaTeX utilizzati per generare queste dispense, oltre a tutti i file di supporto come immagini, bibliografia e altro materiale utile.

Licenza

Questo documento, intitolato Fisica, è distribuito sotto licenza **Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0)**.

La presente licenza è stata scelta con l'obiettivo di favorire la diffusione, la condivisione e il riutilizzo del materiale didattico, garantendo al contempo il riconoscimento dell'autore originale e la preservazione della natura open delle opere derivate.

Diritti concessi

In conformità con i termini della licenza Creative Commons BY-SA 4.0, è consentito a chiunque di:

- copiare e ridistribuire il materiale in qualsiasi mezzo o formato;
- adattare, modificare e trasformare il materiale;
- utilizzare il materiale anche per scopi commerciali.

Tali diritti sono concessi a titolo gratuito e non possono essere revocati, purché siano rispettate le condizioni indicate nella sezione seguente.

Condizioni

L'utilizzo del materiale è subordinato al rispetto delle seguenti condizioni:

- **Attribuzione (BY):** deve essere fornita un'adeguata attribuzione dell'opera, citando l'autore originale, il titolo del documento e la fonte. L'attribuzione deve essere effettuata in modo ragionevole e non tale da suggerire che l'autore originale approvi l'uso o le modifiche apportate.
- **Condividi allo stesso modo (SA):** nel caso in cui il materiale venga modificato, trasformato o utilizzato per creare opere derivate, tali opere devono essere distribuite sotto la *stessa licenza* Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International.

Non è consentito applicare termini legali o misure tecnologiche che limitino giuridicamente altri utenti dall'esercitare i diritti concessi dalla licenza.

Assenza di garanzia

Il materiale è fornito *"così com'è"*, senza garanzie di alcun tipo, esplicite o implicite. In particolare, l'autore non garantisce l'accuratezza, la completezza o l'assenza di errori nel contenuto del documento e declina ogni responsabilità per eventuali danni derivanti dall'uso del materiale.

Testo completo della licenza

Il testo legale completo della licenza Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International è disponibile al seguente indirizzo:

`https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/`

Copyright © 2026 Emanuele Galiano
Andrea Leone
Sofia Lo Vecchio

Indice

Capitolo 1

Cinematica

La **cinematica** è il ramo della meccanica che si occupa dello studio del **moto dei corpi**, descrivendone le caratteristiche geometriche e temporali *senza analizzare le cause fisiche* che lo producono. In altre parole, la cinematica si concentra sullo studio di *come* un corpo si muove, prescindendo dalle forze o dalle interazioni responsabili del moto stesso.

Per poter descrivere quantitativamente il movimento di un corpo è necessario introdurre alcuni **concetti fondamentali**, quali il **sistema di riferimento**, la **posizione**, la **traiettoria**, la **velocità** e l'**accelerazione**. Tali grandezze permettono di costruire una descrizione matematica completa del moto, valida indipendentemente dalla natura fisica del corpo considerato.

Nello studio della cinematica, i corpi reali vengono spesso schematizzati come *punti materiali*, ovvero oggetti dotati di massa ma privi di estensione spaziale. Questa approssimazione risulta lecita quando le dimensioni del corpo sono trascurabili rispetto alle distanze percorse o quando la forma e la rotazione del corpo non influenzano in modo significativo il moto analizzato.

In questo capitolo verranno introdotti i concetti fondamentali della **cinematica del punto materiale**, partendo dalla definizione di sistema di riferimento e di posizione, per poi analizzare le grandezze cinematiche principali e le loro relazioni matematiche.

1.1 Sistema di riferimento e posizione

1.1.1 Vettori

Un vettore è caratterizzato da **modulo**, **direzione** e **verso**. Il **modulo** del vettore posizione $\vec{r}$, indicato con $|\vec{r}|$, rappresenta la distanza del punto materiale dall'origine del sistema di riferimento ed è dato da:

$$|\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

Tra le operazioni fondamentali sui vettori si ricordano:

- **Somma vettoriale**: $\vec{a} + \vec{b}$
- **Differenza vettoriale**: $\vec{a} - \vec{b}$
- **Moltiplicazione per uno scalare**: $\lambda\vec{a}$
- **Prodotto scalare**:

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}|\,|\vec{b}| \cos\theta$$

Il prodotto scalare è una grandezza *scalare* e risulta particolarmente utile nello studio delle grandezze cinematiche e dinamiche.

1.1.2 Sistema di riferimento

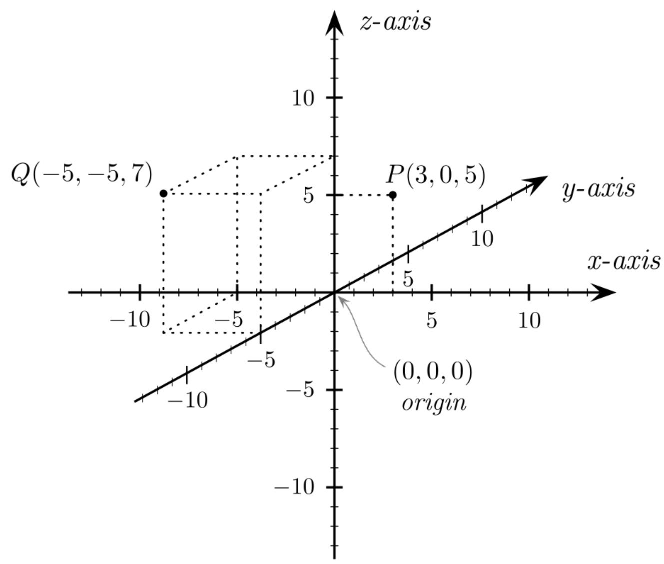

Figura 1.1: Esempio di sistema di riferimento cartesiano tridimensionale.

La descrizione del moto di un corpo non può prescindere dalla scelta di un **sistema di riferimento**. Un sistema di riferimento è costituito da:

- un **osservatore**;
- un **sistema di coordinate spaziali**;
- un **orologio** per la misura del tempo.

Ogni misura di posizione, velocità o accelerazione è sempre *relativa al sistema di riferimento adottato*. Di conseguenza, lo stesso fenomeno fisico può essere descritto in modo differente se osservato da sistemi di riferimento diversi.

Nel caso più semplice si utilizza un **sistema di riferimento cartesiano**. Nel moto unidimensionale è sufficiente introdurre un solo asse orientato, generalmente indicato con l'asse x, dotato di un'origine e di un verso positivo.

1.1.3 Posizione e vettore posizione

La **posizione** di un punto materiale è individuata, in generale, da un *vettore*, detto **vettore posizione**. Esso è definito come il vettore che congiunge l'origine del sistema di riferimento con la posizione occupata dal punto materiale all'istante di tempo considerato.

Indicando con $\vec{r}(t)$ il vettore posizione, si ha:

$$\vec{r} = \vec{r}(t)$$

Nel caso tridimensionale, il vettore posizione può essere espresso in coordinate cartesiane come:

$$\vec{r}(t) = x(t)\,\hat{\imath} + y(t)\,\hat{\jmath} + z(t)\,\hat{k}$$

dove $x(t)$, $y(t)$ e $z(t)$ sono le coordinate del punto materiale lungo i tre assi cartesiani, mentre $\hat{\imath}$, $\hat{\jmath}$ e $\hat{k}$ sono i **versori** associati agli assi.

1.2 Traiettoria, legge oraria e velocità

1.2.1 Traiettoria

La **traiettoria** di un punto materiale è il *luogo geometrico* dei punti occupati dal corpo durante il suo moto in un dato sistema di riferimento. Essa rappresenta l'insieme delle posizioni assunte dal vettore posizione $\vec{r}(t)$ al variare del tempo.

Se la traiettoria è una linea retta si parla di *moto rettilineo*, mentre se è una curva il moto è detto *curvilineo*. La forma della traiettoria dipende dalla scelta del sistema di riferimento.

1.2.2 Legge oraria del moto

Per descrivere completamente un moto non è sufficiente conoscere la traiettoria, ma è necessario sapere *come la posizione varia nel tempo*. A tal fine si introduce la **legge oraria del moto**, definita come la relazione matematica:

$$\vec{r} = \vec{r}(t)$$

Nel caso di un moto unidimensionale lungo l'asse x, la legge oraria si riduce a:

$$x = x(t)$$

1.2.3 Velocità media e velocità istantanea

La **velocità media** è definita come il rapporto tra lo spostamento del punto materiale e l'intervallo di tempo impiegato:

$$\vec{v}_m = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

Nel limite in cui l'intervallo di tempo tende a zero si ottiene la **velocità istantanea**, definita come:

$$\boxed{\vec{v}(t) = \frac{d\vec{r}}{dt}}$$

La velocità istantanea è un vettore tangente alla traiettoria in ogni punto e rappresenta una delle grandezze fondamentali della cinematica.

1.3 Spostamento e accelerazione

1.3.1 Spostamento

Nel descrivere il moto di un punto materiale è importante distinguere tra **posizione** e **spostamento**. Lo **spostamento** è una grandezza vettoriale che descrive la variazione della posizione del punto materiale tra due istanti di tempo t_1 e t_2.

Indicando con $\vec{r}(t_1)$ e $\vec{r}(t_2)$ i vettori posizione agli istanti iniziale e finale, il vettore spostamento $\Delta\vec{r}$ è definito come:

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}(t_2) - \vec{r}(t_1)$$

Lo spostamento dipende *solo* dalla posizione iniziale e finale del punto materiale e non dal percorso seguito durante il moto. Per questo motivo, due moti differenti possono avere lo stesso spostamento.

Nel caso di un moto unidimensionale lungo l'asse x, lo spostamento si riduce a una grandezza scalare:

$$\Delta x = x(t_2) - x(t_1)$$

È importante non confondere lo spostamento con la **distanza percorsa**, che rappresenta invece la lunghezza totale della traiettoria seguita dal punto materiale ed è una grandezza *scalare*.

1.3.2 Accelerazione media

Così come la velocità descrive la variazione della posizione nel tempo, l'**accelerazione** descrive la variazione della velocità nel tempo. L'**accelerazione media** è definita come il rapporto tra la variazione della velocità e l'intervallo di tempo in cui tale variazione avviene:

$$\vec{a}_m = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

dove:

$$\Delta\vec{v} = \vec{v}(t_2) - \vec{v}(t_1)$$

L'accelerazione media è una grandezza **vettoriale** e può essere diversa da zero anche quando il modulo della velocità rimane costante, come accade nel moto circolare.

1.3.3 Accelerazione istantanea

Nel limite in cui l'intervallo di tempo tende a zero, si definisce l'**accelerazione istantanea** come:

$$\boxed{\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}}{dt}}$$

Poiché la velocità è a sua volta la derivata temporale del vettore posizione, l'accelerazione può essere espressa anche come:

$$\boxed{\vec{a}(t) = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}}$$

L'accelerazione istantanea fornisce una descrizione completa delle variazioni del moto, poiché tiene conto sia delle variazioni del *modulo* della velocità sia delle variazioni della sua *direzione*. Essa rappresenta una delle grandezze fondamentali della cinematica ed è alla base dello studio della dinamica.

1.4 Moti rettilinei

I **moti rettilinei** sono quei moti in cui la traiettoria del punto materiale è una *linea retta*. In questi casi, il moto può essere descritto completamente mediante una sola coordinata spaziale, generalmente indicata con x.

Tra i moti rettilinei rivestono particolare importanza il **moto rettilineo uniforme** e il **moto rettilineo uniformemente accelerato**, che rappresentano modelli fondamentali della cinematica.

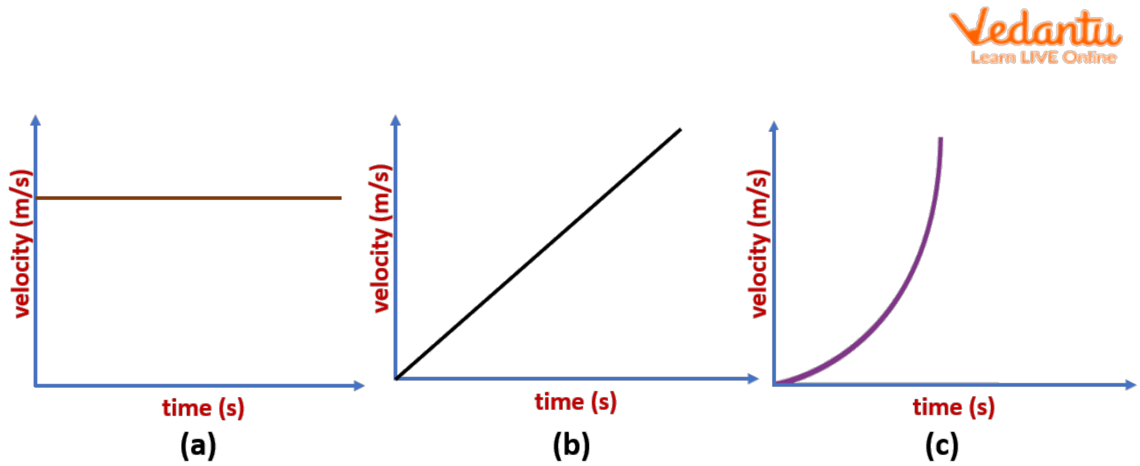

Figura 1.2: Grafici velocità–tempo per diversi tipi di moto: (a) **moto rettilineo uniforme**, caratterizzato da velocità costante nel tempo e accelerazione nulla; (b) **moto rettilineo uniformemente accelerato**, in cui la velocità varia linearmente nel tempo a causa di un'accelerazione costante; (c) **moto con accelerazione variabile**, nel quale la velocità cresce in modo non lineare nel tempo.

1.4.1 Moto rettilineo uniforme (MRU)

Il **moto rettilineo uniforme** è caratterizzato da una **velocità costante nel tempo**. Di conseguenza:

- l'accelerazione è nulla;
- il corpo percorre spazi uguali in tempi uguali.

Derivazione della legge oraria. Nel moto rettilineo uniforme la velocità è costante nel tempo. In forma differenziale, il legame tra posizione e velocità è espresso dalla relazione:

$$d\vec{r} = \vec{v}\,dt$$

Integrando entrambi i membri tra un istante iniziale t_0 e un generico istante t, si ottiene:

$$\int_{\vec{r}(t_0)}^{\vec{r}(t)} d\vec{r} = \int_{t_0}^{t} \vec{v}\,dt$$

Poiché la velocità $\vec{v}$ è costante, essa può essere portata fuori dall'integrale:

$$\int_{\vec{r}(t_0)}^{\vec{r}(t)} d\vec{r} = \vec{v}\int_{t_0}^{t} dt \quad \Rightarrow \quad \vec{r}(t) - \vec{r}(t_0) = \vec{v}(t - t_0)$$

Da cui segue l'espressione della legge oraria vettoriale del moto rettilineo uniforme:

$$\vec{r}(t) = \vec{r}(t_0) + \vec{v}(t - t_0)$$

Nel caso di moto unidimensionale lungo l'asse x, ponendo $t_0 = 0$ e indicando con x_0 la posizione iniziale, la legge oraria assume la forma scalare:

$$\boxed{x(t) = x_0 + vt}$$

dove:

- x_0 è la posizione iniziale;
- v è la velocità costante;
- t è il tempo.

Nel moto rettilineo uniforme la velocità istantanea coincide in ogni istante con la velocità media, infatti:

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

poiché lo spostamento è direttamente proporzionale all'intervallo di tempo considerato.

Esempio: MRU

Un punto materiale si muove con velocità costante $v = 2\,\mathrm{m/s}$ e posizione iniziale $x_0 = 1\,\mathrm{m}$. Determinare la posizione al tempo $t = 4\,\mathrm{s}$.

Soluzione. Applicando la legge oraria:

$$x(4) = 1 + 2 \cdot 4 = 9\,\mathrm{m}$$

1.4.2 Moto rettilineo uniformemente accelerato (MRUA)

Il **moto rettilineo uniformemente accelerato** è caratterizzato da una **accelerazione costante**. In questo tipo di moto la velocità varia linearmente nel tempo, mentre la posizione varia quadraticamente.

Le equazioni fondamentali del MRUA sono:

$$\begin{aligned} v(t) &= v_0 + at \\ x(t) &= x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \\ v^2 &= v_0^2 + 2a(x - x_0) \end{aligned}$$

dove:

- x_0 è la posizione iniziale;
- v_0 è la velocità iniziale;
- a è l'accelerazione costante.

Derivazione della legge oraria. Nel moto rettilineo uniformemente accelerato l'accelerazione è costante. La relazione fondamentale tra velocità e accelerazione è:

$$a = \frac{dv}{dt}$$

Scritta in forma differenziale, essa diventa:

$$dv = a\,dt$$

Integrando tra un istante iniziale t_0 e un generico istante t, si ottiene:

$$\int_{v(t_0)}^{v(t)} dv = \int_{t_0}^{t} a\,dt$$

Poiché l'accelerazione a è costante:

$$v(t) - v(t_0) = a(t - t_0)$$

Indicando con $v_0 = v(t_0)$ la velocità iniziale e ponendo, senza perdita di generalità, $t_0 = 0$, si ricava la legge oraria della velocità:

$$\boxed{v(t) = v_0 + at}$$

Per ottenere la legge oraria della posizione, si utilizza la relazione fondamentale:

$$v = \frac{dx}{dt}$$

ovvero, in forma differenziale:

$$dx = v(t)\,dt = (v_0 + at)\,dt$$

Integrando tra $t_0 = 0$ e t, si ottiene:

$$\int_{x_0}^{x(t)} dx = \int_{0}^{t} (v_0 + at)\,dt$$

da cui:

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

e quindi la legge oraria del MRUA:

$$\boxed{x(t) = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2}$$

Esempio: MRUA

Un punto materiale parte dalla posizione $x_0 = 0$ con velocità iniziale $v_0 = 2\,\mathrm{m/s}$ ed è soggetto a un'accelerazione costante $a = 1\,\mathrm{m/s^2}$. Determinare la posizione al tempo $t = 3\,\mathrm{s}$.

Soluzione. Utilizzando la legge oraria:

$$x(3) = 0 + 2 \cdot 3 + \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 3^2 = 6 + 4.5 = 10.5\,\mathrm{m}$$

1.5 Moto balistico e moto parabolico

Il **moto balistico**, detto anche **moto parabolico**, è un caso di *moto curvilineo nel piano.* Esso descrive il movimento di un punto materiale soggetto unicamente alla forza di gravità, trascurando la resistenza dell'aria. In tali condizioni l'accelerazione è costante e diretta verticalmente verso il basso.

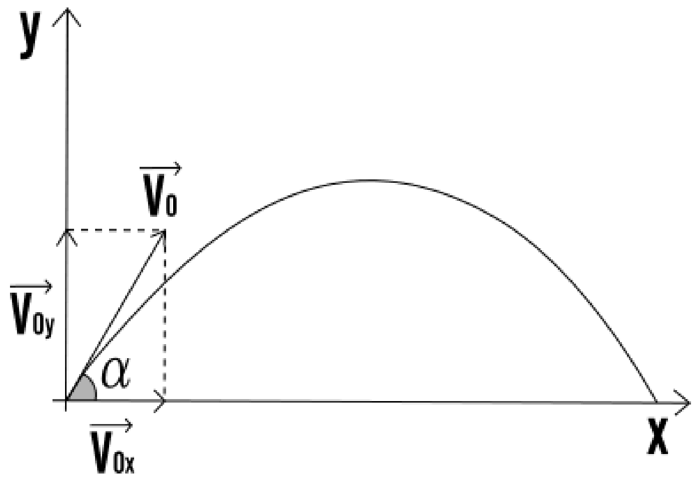

Figura 1.3: Moto balistico: un punto materiale viene lanciato con velocità iniziale $\vec{v}_0$ che forma un angolo α con l'orizzontale. La traiettoria seguita è una parabola.

Il moto balistico può essere interpretato come la **composizione di due moti indipendenti**:

- un moto rettilineo uniforme lungo la direzione orizzontale;

- un moto rettilineo uniformemente accelerato lungo la direzione verticale.

1.5.1 Sistema di riferimento e condizioni iniziali

Si consideri un sistema di riferimento cartesiano con asse x orizzontale e asse y verticale, con origine nel punto di lancio. La velocità iniziale $\vec{v}_0$ forma un angolo α con l'orizzontale ed è scomposta nelle componenti:

$$\vec{v}_0 = (v_{0x}, v_{0y}) = (v_0 \cos\alpha,\ v_0 \sin\alpha)$$

L'unica accelerazione agente è quella di gravità:

$$\vec{a} = (0,\ -g), \qquad g \simeq 9{,}81\,\mathrm{m/s^2}$$

1.5.2 Derivazione delle leggi orarie

Le componenti dell'accelerazione sono:

$$a_x = 0, \qquad a_y = -g$$

Dalla relazione fondamentale della cinematica:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

si ottengono, separatamente lungo i due assi:

$$\frac{dv_x}{dt} = 0$$
$$\frac{dv_y}{dt} = -g$$

Integrando rispetto al tempo:

$$v_x(t) = v_{0x}$$
$$v_y(t) = v_{0y} - gt$$

Per determinare le leggi orarie della posizione si utilizza la relazione:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

che lungo i due assi diventa:

$$\frac{dx}{dt} = v_{0x}$$
$$\frac{dy}{dt} = v_{0y} - gt$$

Integrando e ponendo $x_0 = 0$ e $y_0 = 0$, si ottengono le leggi orarie del moto balistico:

$$\boxed{\begin{aligned} x(t) &= v_{0x}\, t \\ y(t) &= v_{0y}\, t - \frac{1}{2} g t^2 \end{aligned}}$$

1.5.3 Equazione della traiettoria

Dalla legge oraria del moto orizzontale si ricava:

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

Sostituendo nella legge oraria verticale:

$$y = \frac{v_{0y}}{v_{0x}}\, x - \frac{g}{2v_{0x}^2}\, x^2$$

Esplicitando le componenti della velocità iniziale:

$$\boxed{y = x \tan\alpha - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2\alpha}\, x^2}$$

Tale equazione rappresenta una **parabola** con concavità rivolta verso il basso, da cui il nome di *moto parabolico*.

1.5.4 Tempo di volo, gittata e altezza massima

Il tempo di volo t_f si ottiene imponendo $y(t_f) = 0$:

$$v_{0y} t_f - \frac{1}{2} g t_f^2 = 0 \quad \Rightarrow \quad t_f = \frac{2 v_0 \sin \alpha}{g}$$

La **gittata** del moto è:

$$R = x(t_f) = v_{0x} t_f = \frac{v_0^2}{g} \sin(2\alpha)$$

L'**altezza massima** raggiunta dal punto materiale è:

$$h_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

La gittata risulta massima per un angolo di lancio:

$$\alpha = 45^\circ$$

Quota massima come caso di MRUA. Il moto verticale del punto materiale è un moto rettilineo uniformemente accelerato con accelerazione $-g$. La legge oraria della velocità lungo l'asse y è:

$$v_y(t) = v_0 - gt$$

La quota massima viene raggiunta quando $v_y = 0$:

$$t = \frac{v_0}{g}$$

Sostituendo nella legge oraria della posizione:

$$y(t) = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

si ottiene:

$$\boxed{y_{\max} = \frac{v_0^2}{2g}}$$

1.5.5 Esempio: lancio parabolico

Un punto materiale viene lanciato dal suolo con velocità iniziale $v_0 = 20\,\mathrm{m/s}$ e angolo $\alpha = 30^\circ$. Determinare la gittata del moto.

Soluzione. Applicando la formula della gittata:

$$R = \frac{20^2}{9{,}81} \sin(60^\circ) \approx 35{,}3\,\mathrm{m}$$

1.6 Moto circolare uniforme

Il **moto circolare uniforme** è un particolare caso di *moto curvilineo* in cui un punto materiale si muove lungo una **circonferenza** di raggio costante R con **velocità di modulo costante**.

Sebbene il modulo della velocità rimanga costante, il moto non è uniforme in senso vettoriale, poiché la *direzione* della velocità cambia continuamente nel tempo. Ne segue che l'accelerazione del punto materiale non è nulla.

1.6.1 Descrizione geometrica del moto

Si consideri un punto materiale che si muove su una circonferenza di raggio R e centro O. La posizione del punto è individuata dall'angolo $\theta(t)$ formato dal raggio vettore con un asse di riferimento fissato.

La lunghezza dell'arco di circonferenza percorso è legata all'angolo dalla relazione geometrica:

$$s = R\theta$$

1.6.2 Velocità angolare

Si definisce **velocità angolare** ω come la derivata temporale dell'angolo:

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

Nel moto circolare uniforme la velocità angolare è **costante**. L'equazione differenziale:

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega$$

integrata tra t_0 e t fornisce:

$$\theta(t) - \theta(t_0) = \omega(t - t_0)$$

Indicando con $\theta_0 = \theta(t_0)$ l'angolo iniziale, si ottiene la legge oraria angolare:

$$\boxed{\theta(t) = \theta_0 + \omega(t - t_0)}$$

Ponendo $t_0 = 0$:

$$\boxed{\theta(t) = \theta_0 + \omega t}$$

La velocità angolare è legata al **periodo** T del moto (tempo necessario per compiere un giro completo) dalla relazione:

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

1.6.3 Velocità tangenziale

La **velocità tangenziale** $\vec{v}$ è sempre tangente alla traiettoria circolare e perpendicolare al raggio vettore.

Il suo modulo si ottiene derivando l'arco di circonferenza rispetto al tempo:

$$v = \frac{ds}{dt}$$

Usando la relazione $s = R\theta$:

$$v = R\frac{d\theta}{dt}$$

Poiché $\omega = \frac{d\theta}{dt}$, segue:

$$\boxed{v = R\omega}$$

Il modulo della velocità è costante, mentre la direzione varia continuamente.

1.6.4 Accelerazione centripeta

Nel moto circolare uniforme l'accelerazione è dovuta esclusivamente al cambiamento di direzione della velocità. Consideriamo due istanti molto vicini t_1 e t_2 e le corrispondenti velocità $\vec{v}_1$ e $\vec{v}_2$, di uguale modulo v ma direzione diversa.

La variazione di velocità è:

$$\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$$

Dal triangolo delle velocità si ricava, per piccoli angoli $\Delta\theta$:

$$|\Delta\vec{v}| \simeq v\,\Delta\theta$$

Il modulo dell'accelerazione è definito come:

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

Sostituendo:

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

Nel limite $\Delta t \to 0$:

$$|\vec{a}| = v\,\frac{d\theta}{dt} = v\omega$$

Usando la relazione $v = R\omega$, si ottiene:

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

L'accelerazione è detta **centripeta** ed è sempre diretta verso il centro della circonferenza.

Poiché la velocità angolare è costante, l'**accelerazione tangenziale è nulla**.

1.6.5 Esempio: moto circolare uniforme

Un punto materiale si muove di moto circolare uniforme su una circonferenza di raggio $R = 2\,\mathrm{m}$ con velocità angolare $\omega = 3\,\mathrm{rad/s}$.

Determinare il modulo della velocità e dell'accelerazione centripeta.

Soluzione. La velocità tangenziale vale:

$$v = R\omega = 2 \cdot 3 = 6\,\mathrm{m/s}$$

L'accelerazione centripeta risulta:

$$a_c = R\omega^2 = 2 \cdot 3^2 = 18\,\mathrm{m/s^2}$$

Riferimenti

- Capitolo 1 del libro *Fisica. Meccanica e Termodinamica* [1].
- Materiale visto a lezione.
- Figura 1.1 da Wikipedia Commons: `https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page`.
- Figura 1.2: `https://seo-fe.vedantu.com/physics/velocity-time-graph`.
- Figura 1.3 da Youmath: `https://www.youmath.it/lezioni/fisica/cinematica/2956-moto-parabolico-moto-del-proiettile.html`.

Capitolo 2

Dinamica del punto materiale

[WIP]

Capitolo 3

Termodinamica

[WIP]

Capitolo 4

Elementi di Onde

[WIP]

Capitolo 5

Cenni di Meccanica Quantistica

[WIP]

Bibliografia

[1] U. Gasparini, M. Margoni e F. Simonetto. *Fisica. Meccanica e Termodinamica.* Padova, Italy: Piccin–Nuova Libraria, 2019. ISBN: 9788829929726.