Università degli Studi di Padova

Fisica 1

Student :
Alex Gasparini

2 marzo 2026

Indice

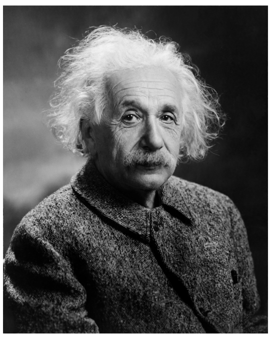
Introduzione La **Fisica** è una scienza speriementale che si occupa di sviluppare modelli matematici in grado di descrivere fenomeni naturali e fornire predizioni quantitative. Con questa definizione capiamo che la fisica è una disciplina che si preoccupa di prevedere eventi naturali, usanso dei modelli matematici. Questa concezzione di fisica è relativamente recente, infatti venne idealizzata da **Galileo Galieli**. Galileo nato a Pisa il 15 febbraio 1564 e morto l'8 gennaio 1642, portò ad un cambiamento radicale nella scena scientifica di all'ora: usare un approccio **qualitativo**, e non **quantitativo** come si faceva fino a quel momento.

Galileo Galieli

Prima di Galileo si usava un approccio basato sui sensi, facciamo un esempio per capire meglio: per indicare la temperatura atmosferica si diceva "è molto caldo", "è freddo", "è mite" ecc... Pertanto non si usava una misura precisa ed universale, e questo poteva portare a delle ambiguità perchè ognuno percepisce i sensi a modo suo, e quindi ciò che è caldo per me, per te potrebbe essere tiepido o addirittura freddo.

Galileo riconobbe questo problema e decise di misurare i fenomeni basandosi sui strumenti di misura, così chiunque possa avere un valore oggettivo, senza l'uso dei sensi. Se questo a primo impatto vi sembra un qualcosa di ovvio è proprio perchè questa idea che ha avuto Galileo è la basa fondante della fisica odierna.

In questo corso vedremo due macro-argomenti: **Meccanica** e **Termodinamica**. La meccanica è la disciplina che si occupa di studiare i moti mentre la termodinamica studia come gli scambi di energia sotto forma di calore. La prima che vedremo è la meccanica che si divide in due categorie: **Cinematica** e **Dinamica**. La cinematica si occupa di studiare come avvengono i moti, e quindi di riuscire a predirre i moti conoscendo le condizioni iniziali, mentre la dinamica studia il perchè avvengono i moti, andando ad analizzare le relazioni tra causa e concausa.



Albert Einstein

Un concetto fondamentale da capire e mettere in chiaro è che per questo corso noi consideremo il tempo come variabile indipendente, e che quindi relazioneremo tutte le altre grandezze fisiche rispetto al tempo, questo perchè fino ad un centinaio di anni fa si credeva che il tempo fosse uguale per tutti, e quindi tutti possono replicare gli esperimenti ed avere gli stessi risultati.

Questo però fu smentito nel 1905 da **Albert Einstein** con la **Relatività Ristretta**, scoprendo che il tempo è relativo e che quindi a parità di esperimeno si possono misurare grandezze diverse. Per fortuna, gli effetti che ha scoperto Einstein sono rilevanti solo a velocità prossime alla luce, quindi nei nostri casi studio tratteremo esempi più concreti, di oggetti che difficilmente raggiungono velocità elevate, pertanto questo ci permette di tralasciare gli effetti relativistici e dare per assodato che il tempo è unico per tutti gli osservatori.

1 Meccanica: Cinematica

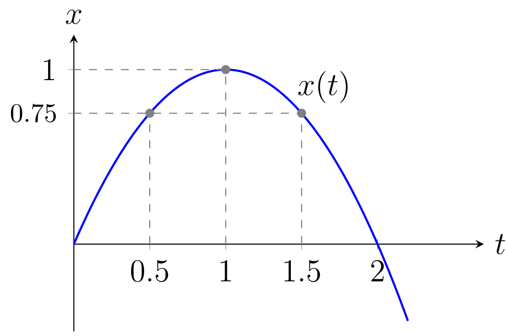
Definizione 1: Legge Oraria

Una **Legge Oraria** è una qualsiasi funzione che descrive lo spazio (usa sola dimensione) rispetto al tempo. Un esempio può essere

$$x(t) = 2t - t^2$$

con x si intende la posizione e t il tempo

La legge oraria è fondamentale perchè ci permette di analizzare interamente il moto e sopratutto ci permette di disegnare il **grafico spazio-tempo**, altro non è che il grafico della funzione legge oraria. Ad esempio prendendo l'esempio $x(t) = 2t - t^2$ possiamo disegnare il grafico ed abbiamo



Con questo grafico possiamo capire varie informazioni, in primis dove si trova la funzione in un determinato punto. Ad esempio se io volessi trovare dove si trova l'oggetto descritto da questa legge oraria al tempo $t = 1s$, basta che calcoliamo $x(1) = 1m$. Pertanto dopo $1s$ abbiamo scoperto che il nostro oggetto è a $1m$ dall'inizio. Possiamo però fare anche un ragionamento contrario, ovvero chiederci a che tempi il nostro oggetto è a $0.75m$ dall'inizio. Quindi dobbiamo risolvere l'equazione $x(t) = 0.75$, che porta alle soluzioni $t_1 = 0.5s$ e $t_2 = 1.5s$, il che vuol dire che il nostro oggetto è a $0.75m$ dall'origine in 2 instanti, questo fa presagire che il nostro oggetto sia andato avanti e poi sia tornato indietro.

N.B. nei grafici spazio-tempo non ha senso disegnare il semiasse positivo delle ascisse, dato che implicherebbe un tempo negativo, quindi per convenzione si è deciso di partire con $t = 0s$.

Definizione 2: Velocità Media

Definiamo la **velocità media** di un moto nell'intervallo $[t_0, t_1]$, con $t_1 > t_0$, con la seguente espressione

$$v_m = \frac{\Delta x(t)}{\Delta t} = \frac{x(t_1) - x(t_0)}{t_1 - t_0}$$

con v_m si intende la velocità media e $x(t)$ la legge oraria del moto.

Usando l'esempio di prima possiamo calcolare la velocità media nell'intervallo $[1, 1.5]$

$$v_m = \frac{x(t_1) - x(t_0)}{t_1 - t_0} = \frac{0.75 - 1}{1.5 - 1} = -0.5$$

Spesso però più che la velocità media a noi ci interessa la **velocità istantanea**.

Definizione 3: Velocità Istanta

Definiamo la **velocità istantanea** di un moto come il limite della velocità media nell'intervallo $[t, t + \Delta t]$, con $\Delta t > 0$, per $\Delta t \to 0$.

$$v(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{x(t + \Delta t) - x(t)}{\Delta t}$$

Ma questo riconosciamo che è la definizione di derivata, quindi possiamo dire che

$$v(t) = \frac{dx(t)}{dt} = \dot{x}(t)$$

in fisica spesso è usata anche la notazione $\dot{x}(t)$ per indicare la derivata di una funzione rispetto al tempo.

Quindi rimanendo all'esempio di prima, possiamo calcolare la velocità istantanea

$$v(t) = \frac{dx(t)}{dt} = \frac{d}{dt}\left(2t - t^2\right) = 2 - 2t$$

La velocità istantanea la possiamo interpretare come la velocità che è segnata dal tachimetro in una macchina che sta eseguente il moto descritto dalla legge oraria $x(t)$. Quindi con il solito esempio possiamo calcolare la velocità in qualsiasi momento, e per esempio se io volessi sapere a che velocità stà andando il nostro oggetto al momento $t = 2s$ basta calcolare $v(2) = -2m/s$. Il meno sta ad indicare la direzione nel quale stiamo percorrendo, ed in questo caso è come se stessimo facendo la retromarcia dato che il segno meno sta a dire che stiamo andando in direzione opposta rispetto a dove punta l'auto.

Definizione 4: Accelerazione Media

Definiamo l'**accelerazione media** di un moto nell'intervallo $[t_0, t_1]$, con $t_1 > t_0$, con la seguente espressione

$$a_m = \frac{\Delta v(t)}{\Delta t} = \frac{v(t_1) - v(t_0)}{t_1 - t_0}$$

con a_m si intende l'accelerazione media e $v(t)$ la velocità istantanea del moto.

Come prima, più che l'accelerazione media a noi ci interessa l'accelerazione istantanea.

Definizione 5: Accelerazione Istanta

Definiamo l'**accelerazione istantanea** di un moto come il limite dell'accelerazione media nell'intervallo $[t, t + \Delta t]$, con $\Delta t > 0$, per $\Delta t \to 0$.

$$a(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{v(t + \Delta t) - v(t)}{\Delta t} = \frac{dv(t)}{dt} = \dot{v}(t)$$

Ricordando la definizione di velocità istantanea posssiamo dire che

$$a(t) = \frac{dv(t)}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{dx(t)}{dt}\right) = \frac{d^2x(t)}{dt^2} = \ddot{x}(t)$$

Da qui possiamo usare il **TFCI** (Teorema Fondamentale del Calcolo Integrale) per ricavare le formule inverse, infatti ricordiamo il TFCI, sia $a, b \in \mathbb{R}$ con $a < b$ e f una qualsiasi funzione integrabile in $[a, b]$

$$\frac{dF(x)}{dx} = f(x) \implies \int_a^b f(s)\,ds = F(b) - F(a)$$

Quindi prendendo la definizione di velocità istantanea

$$\dot{x}(t) = v(t) \implies \int_{t_1}^{t_2} v(s)\,ds = x(t_2) - x(t_1)$$

Che riscrivendo e ponendo $t_1 = 0$ e $t_2 = t$

$$\int_0^t v(s)\,ds = x(t) - x(0) \implies x(t) = x(0) + \int_0^t v(s)\,ds \tag{1}$$

Analogamente possiamo fare lo stesso ragionamento per l'accelerazione

$$\dot{v}(t) = a(t) \implies \int_0^t a(s)\,ds = v(t) - v(0) \implies v(t) = v(0) + \int_0^t a(s)\,ds \tag{2}$$

Inoltre possiamo sostituire la definizione che abbiamo appena trovato per la velocità (1) nella equazione (2). Stando attendi a rinominare le variabili per evitare confusione

$$\begin{aligned}
x(t) &= x(0) + \int_0^t \underline{v(s)}\,ds \\
&= x(0) + \int_0^t \underline{\left(v(0) + \int_0^s a(z)\,dz\right)}\,ds \\
&= x(0) + \int_0^t v(0)\,ds + \int_0^t \int_0^s a(z)\,dz\,ds \\
&= x(0) + v(0)t + \int_0^t \int_0^s a(z)\,dz\,ds
\end{aligned}$$

Con quest'ultima equazione abbiamo scoperto che possiamo trovare la legge oraria avendo soltanto lo spazio iniziale $x(0)$, la velocità iniziale $v(0)$ e dalla funzione dell'accelerazione in funzione del tempo.

Inoltre grazie al TFCI e usando la definizione di velocità media nell'intervallo $[t_1, t_2]$ la possiamo trovare anche dalla funzione velocità istantanea, esando la definizione di media integrale

$$\begin{aligned}
v_m &= \frac{x(t_2) - x(t_1)}{t_2 - t_1} \\
&= \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} v(s)\,ds
\end{aligned}$$

Definizione 6: Tipologie di Moti

Si dice

(i) **Stato di Quiete** un corpo tale che

$$v(t) = 0 \qquad a(t) = 0$$

(ii) **Moto Uniforme** un corpo tale che

$$v(t) = k \in \mathbb{R} \setminus \{0\} \qquad a(t) = 0$$

(iii) **Moto Uniformemente Accelerato** un corpo tale che

$$v(t) = f(t) \qquad a(t) = k \in \mathbb{R} \setminus \{0\}$$

con $f(t)$ una qualsiasi espressione analitica rispetto al tempo

(iv) **Moto Vario** un corpo tale che

$$v(t) = f_1(t) \qquad a(t) = f_2(t)$$

con $f_1(t)$, $f_2(t)$ due qualsiasi espressioni analitiche rispetto al tempo

Facciamo un esempio, determinare il tipo di moto di un oggetto con la seguente legge oraria

$$x(t) = at^2$$

con $a \in \mathbb{R}\setminus\{0\}$. In primis notiamo che il corpo si muove, dato che c'è una dipendenza della posizione rispetto al tempo, pertanto possiamo già dire che non è in stato di quiete. Per controllare le altre casistiche dobbiamo calcolare la velocità, quindi calcoliamo la derivata di questa legge oraria

$$v(t) = \dot{x}(t) = \frac{d}{dt}\left(at^2\right) = 2at$$

Dopo che abbiamo trovato l'espressione di $v(t)$ possiamo affermare che non può essere un moto uniforme, dato che la velocità non è costante. Per controllare se è un moto uniformemente accelerato o vario ci serve sapere l'accelerazione, che quindi possiamo trovare facendo una derivata

$$a(t) = \dot{v}(t) = \frac{d}{dt}(2at) = 2a$$

Ora notiamo che l'accelerazione è costante, dato che non è dipendente da t, pertanto possiamo dire che la legge oraria data descrive un moto uniformemente accelerato.

Esercizio 1

Siano due punti materiali su una linea, che chiameremo p_1 e p_2, siano date le loro leggi orarie

$$p_1 : x_1(t) = v_1 t$$

$$p_2 : x_2(t) = v_2 t + x_0$$

con $v_1, v_2, x_0 \in \mathbb{R}^+ \setminus \{0\}$. Discutere per quali valori di v_1, v_2, x_0 il punto p_1 supererà p_2, e se lo farà in quanto tempo.

svolgimento. In primis notiamo che i due moti descritti sono entrambi delle rette nel piano cartesiano, pertanto si incontreranno sempre in un unico punto tranne quando il coefficiente angolare delle rette è uguale, e quindi se $v_1 = v_2$ non si raggiungono mai. Per tutti gli altri casi i due punti si incontrano in un punto che troviamo ponendo le posizioni uguali

$$\begin{aligned} x_1(t) &= x_2(t) \\ v_1 t &= v_2 t + x_0 \\ (v_1 - v_2)t &= x_0 \\ t &= \frac{x_0}{v_1 - v_2} \end{aligned}$$

Pertanto i due punti materiali si incontrano sempre al tempo t, però ricordiamo che il tempo può essere solo positivo, ma ricordiamo che $x_0 > 0$ e quindi affinchè il tempo sia positivo è necessario che $v_1 - v_2 > 0 \implies v_1 > v_2$. Pertanto il punto p_1 supererà p_2 solo se $v_1 > v_2$ e in tal caso lo supera al tempo $t = \dfrac{x_0}{v_1 - v_2}$ □

Esercizio 2

Un punto che si muove con moto uniformemente accelerato lungo l'asse x passa nella posizione x_1 con velocità $v_1 = 1.9$ m/s e nella posizione $x_2 = x_1 + \Delta x$ con velocità $v_2 = 8.2$ m/s. Calcolare, sapendo che $\Delta x = 10$ m:

1. quanto vale l'accelerazione a;
2. quanto tempo impiega il punto a percorrere il tratto Δx.

svolgimento. Dato che è un moto uniformemente accelerato, possiamo scrivere subito la legge oraria e della velocità calcolate al tempo t_2 (cioè quella di x_2 e v_2) e poniamo $t_1 = 0s$ il tempo iniziale.

$$\begin{cases} v_2 = v_1 + at \\ x_2 = x_1 + v_1 t + \frac{1}{2}at^2 \end{cases} \implies \begin{cases} v_2 = v_1 + at \\ x_1 + \Delta x = x_1 + v_1 t + \frac{1}{2}at^2 \end{cases} \implies \begin{cases} v_2 = v_1 + at \\ \Delta x = v_1 t + \frac{1}{2}at^2 \end{cases}$$

□

Senza troppa difficoltà notiamo che questo è semplicemente un sistema di equazioni a due incognite dato che $v_2, v_1, \Delta x$ li conosciamo e quindi risolviamo per a e t (che sono le richieste dell'eserizio)

$$\begin{aligned} v_2 = v_1 + at \implies at = v_2 - v_1 &\implies \Delta x = v_1 t + \frac{1}{2}(v_2 - v_1)t \\ &\implies 2\Delta x = 2v_1 t + (v_2 - v_1)t \\ &\implies 2\Delta x = (v_2 + v_1)t \\ &\implies t = \frac{2\Delta x}{v_2 + v_1} = \frac{2 \cdot 10}{1.9 + 8.2} \approx 1.98s \end{aligned}$$

Trovato il tempo, cerchiamo l'accelerazione

$$v_2 = v_1 + at \implies a = \frac{v_2 - v_1}{t} = \frac{8.2 - 1.9}{1.98} \approx 3.18 m/s^2$$

Esercizio 3

In un rally automobilistico un pilota deve percorrere nel tempo minimo un tratto $d = 1$ km, partendo e arrivando da fermo. Le caratteristiche dell'auto sono tali che l'accelerazione massima è $a_1 = 2.5$ m/s^2, mentre il sistema di freni permette una decelerazione massima $a_2 = -3.8$ m/s^2. Supponendo che il moto sia rettilineo, determinare il tempo ottenuto nella prova.

Chiaramente il tempo migliore lo ha quando accelera al massimo per un tempo t_1, poi arrivato ad una velocità v_1 inizia a frenare brutamente fino ad arrivare a $v_2 = 0$. Il moto lo possiamo dividere in due moti uniformemente accelerato, il primo in cui accelera con $a = a_1$, mentre nel secondo in cui accelera con $a = a_2$, quindi possiamo scrivere le leggi orarie per i due moti, per la fase di accelerazione abbiamo quindi da t_0 a t_1 ricordando che parte da fermo quindi $v_0 = 0$

$$v_1 = v_0 + a_1 \Delta t_1 \implies v_1 = a_1 \Delta t_1$$

Con $\Delta t_1 = t_1 - t_0$. Mentre il secondo moto ha equazione ricordando che $v_2 = 0$

$$v_2 = v_1 + a_2 \Delta t_2 \implies -v_1 = a_2 \Delta t_2$$

Con $\Delta t_2 = t_2 - t_1$. Ma da questo deduciamo che $a_1 \Delta t_1 = -a_2 \Delta t_2$, dato che entrambe sono uguali a v_1. Ora ricordiamo che il punto in un certo punto del tragitto deve cambiare moto (cioè il momento t_1), chiamiamo x_1 la posizione al tempo t_1, e deve valere $x_1 \in (0, d)$. Ora quindi nel primo tratto compierà uno spazio di x_1, mentre nel secondo tratto compierà uno spazio $d - x_1$ (cioè quello mancante). Quindi possiamo scrivere le leggi orarie dei due moti, partiamo dal primo

$$x_1 = \frac{1}{2} a_1 \Delta t_1^2$$

Mentre il secondo ha equazione, ponendo $v_1 = -a_2 \Delta t_2$

$$d - x_1 = v_1 \Delta t_2 + \frac{1}{2} a_2 \Delta t_2^2 \implies d - x_1 = -a_2 \Delta t_2^2 + \frac{1}{2} a_2 \Delta t_2^2 = -\frac{1}{2} a_2 \Delta t_2^2$$

Ora possiamo imporre un sistema con le equazioni che abbiamo scoperto, in modo tale da scoprire $x_1, \Delta t_1$ e Δt_2, dato che tutte le altre costanti le conosciamo.

$$\begin{cases} a_1\Delta t_1 = -a_2\Delta t_2 \\ x_1 = \frac{1}{2}a_1\Delta t_1^2 \\ d - x_1 = -\frac{1}{2}a_2\Delta t_2^2 \end{cases}$$

Isoliamo Δt_1 dalla prima e sommiamo la prima e la seconda

$$\begin{cases} \Delta t_1 = -\frac{a_2}{a_1}\Delta t_2 \\ x_1 + (d - x_1) = \left(\frac{1}{2}a_1\Delta t_1^2\right) + \left(-\frac{1}{2}a_2\Delta t_2^2\right) \end{cases}$$

$$d = \frac{1}{2}a_1\left(-\frac{a_2}{a_1}\Delta t_2\right)^2 - \frac{1}{2}a_2\Delta t_2^2$$

$$d = \frac{1}{2}\frac{a_2^2}{a_1}\Delta t_2^2 - \frac{1}{2}a_2\Delta t_2^2$$

$$d = \left(\frac{1}{2}\frac{a_2^2}{a_1} - \frac{1}{2}a_2\right)\Delta t_2^2 \implies \Delta t_2 = \sqrt{\frac{2da_1}{a_2^2 - a_2a_1}} = \sqrt{\frac{2\cdot 1000\cdot 2.5}{(-3.8)^2 - (-3.8)(2.5)}} \approx 14.45s$$

Ora possiamo calcolare Δt_1 con la prima equazione

$$\Delta t_1 = -\frac{a_2}{a_1}\Delta t_2 = -\frac{-3.8}{2.5}\cdot 14.45 \approx 21.97s$$

Trovati i tempi, non è necessario trovare x_1 dato che non è richiesto dal problema, quindi il tempo per percorrere interamente la distanza d dobbiamo sommare i tempi dei due moti

$$t_{tot} = \Delta t_1 + \Delta t_2 = 14.45 + 21.97 = 36.42s$$