

## CAPITOLO 1

### 1.1 IL METODO SCIENTIFICO

La nascita del **metodo scientifico** moderno, basato sulla osservazione e sulla sperimentazione, si può far risalire a Galileo (1564-1642). Si tratta di una vera e propria rivoluzione rispetto al vecchio metodo aristotelico che per quasi 20 secoli non era stato messo in discussione. Aristotele, filosofo greco del IV sec. a. C. era stato assertore dell'idea che la scienza dovesse essere fondata sulla cosiddetta **induzione completa**, cioè sull'osservazione di tutti i casi e sulla deduzione delle possibili conseguenze attraverso ragionamenti di assoluto rigore logico. Con Galileo si comincia invece a far seguire all'accurata osservazione dei fenomeni naturali, la loro reiterata riproduzione, cioè si comincia a sperimentare ed a misurare, si raccolgono quanti più dati possibili, si formulano leggi precise con l'aiuto della matematica, si elaborano teorie generali. Descriviamo brevemente le diverse fasi nelle quali si articola il metodo scientifico moderno, o **metodo sperimentale**:

- 1. Osservazione accurata del fenomeno naturale oggetto di studio**
- 2. Identificazione delle grandezze che devono essere misurate.** Ciò implica la formulazione di una ipotesi, suggerita dall'osservazione, sulle cause che provocano il fenomeno, sugli effetti che esse producono e sui rapporti causa-effetto.
- 3. Sperimentazione.** Stabilite le condizioni di osservazione, si procede alla sperimentazione, cioè alla riproduzione reiterata del fenomeno in tali condizioni. Si misurano accuratamente le grandezze e si riportano i valori trovati.
- 4. Formulazione della legge.** Attraverso l'esame dei valori ottenuti con le misurazioni si giunge a formulare in termini matematici la legge che regola il fenomeno studiato.
- 5. Verifica e generalizzazione della legge.** Una volta trovata la legge in certe condizioni, è necessario procedere alla sua generalizzazione, il che si fa eseguendo esperienze nelle più svariate condizioni.
- 6. Inquadramento della legge in una teoria.**

#### 1.1.1 Definizione di grandezza. Concetto di misura

Dicesi **grandezza fisica** qualunque proprietà che possa venire misurata, cioè confrontata quantitativamente con altre grandezze omogenee. La **misurazione** è un'operazione con la quale si associa un numero ad una proprietà (grandezza) fisica, cioè un'operazione che consente di esprimere quantitativamente la proprietà stessa. La **misura** di una grandezza è il numero che esprime il valore del rapporto tra la grandezza stessa ed un campione omogeneo scelto come unità di misura.

#### 1.1.2 Sistemi di misura

La necessità di misurare impone la scelta di una **unità di misura** per ogni grandezza fisica. Tuttavia, se si scelgono con accortezza alcune grandezze definite

**fondamentali**, è possibile definire tutte le altre (**grandezze derivate**) mediante combinazioni abbastanza semplici delle prime. Le scritture delle grandezze derivate mediante combinazioni delle grandezze fondamentali vengono dette **formule dimensionali** o **equazioni dimensionali**. Di seguito elenchiamo i vari sistemi di misura:

- a) **Il sistema di misura internazionale (S.I.)**. Il fisico italiano Giovanni Giorgi propose, nel 1935, un sistema di misura che assume come grandezze fondamentali la lunghezza, la massa, il tempo e l'intensità di corrente elettrica. Il sistema Giorgi, integrato nel 1960 con altre due grandezze fondamentali (la temperatura assoluta e l'intensità luminosa) ed ulteriormente perfezionato nel corso della XIV Conferenza Generale sui Pesi e le Misure nel 1971, ha preso il nome di sistema internazionale di misura (S.I.). Le grandezze fondamentali e le rispettive unità di misura del sistema S.I. sono riportate in tabella.

Grandezze		Unità di misura	
lunghezza	$l$	<i>metro</i>	$m$
massa	$m$	<i>chilogrammo-massa</i>	$kg$
intervallo di tempo	$t$	<i>secondo</i>	$s$
temperatura assoluta	$T$	<i>grado Kelvin</i>	$^{\circ}K$
intensità luminosa	$I$	<i>candela</i>	$cd$
intensità di corrente elettrica	$i$	<i>ampère</i>	$A$

- b) **Il sistema pratico**. I tecnici preferiscono scegliere come grandezze fondamentali la lunghezza, la forza e il tempo assumendo come rispettive unità di misura il metro, il chilogrammo-peso e il secondo; tale sistema viene indicato con la sigla MKS
- c) **Il sistema CGS**. La sigla CGS è costituita dalle tre unità fondamentali scelte: centimetro, grammo-massa, secondo

### 1.1.3 Errori di misura

Ogni volta che si esegue una misurazione si commettono degli errori, per cui la misura di una grandezza si può conoscere soltanto con una certa approssimazione. Gli errori sono di due tipi: sistematici e casuali.

- a) **Errori sistematici**. Sono quelli dovuti a cattiva qualità degli strumenti usati o a loro imperfetta taratura o ad un uso male appropriato di essi o ad un'imperizia dello sperimentatore. Loro caratteristica è quella di influire sempre nello stesso senso e nella stessa misura in successive ripetizioni dell'osservazione. Si può cercare di ridurli usando strumenti della massima precisione e dedicando la massima cura alle misure da eseguire.
- b) **Errori casuali**. Sono quelli dovuti all'inevitabile imperfezione degli strumenti e dei sensi dell'osservatore o alle variazioni, pure inevitabili e incontrollabili, dei fattori esterni. Essi possono influire sulla misura ora in un senso ora nell'altro e, in quanto non riproducibili, sono praticamente inevitabili.

### 1.1.4 Calcolo degli errori casuali

**Valore medio:** se di una grandezza  $G$  si ripete la misura  $n$  volte e si determinano i valori  $I_1, I_2, \dots, I_n$ , si definisce valore medio aritmetico  $I_m$ :

$$I_m = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n}$$

**Errore assoluto.** Se le misurazioni sono poche, si può ritenere che la misura di una grandezza  $G$  abbia un valore compreso tra il massimo trovato ( $I_{\max}$ ) e il minimo ( $I_{\min}$ ). In tal caso si può dire che la misura media  $I_m$  è affetta da un errore assoluto  $E$  che al massimo può assumere il seguente valore:

$$E = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{2}$$

e assumiamo come misura della grandezza  $I = I_m \pm E$ .

**Errore quadratico medio.** Se le misurazioni sono molte, si dimostra che il valore medio  $I_m$  è affetto da un errore, detto errore quadratico medio, espresso dalla seguente relazione:

$$E_M = \sqrt{\frac{\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2 + \dots + \epsilon_n^2}{n(n-1)}}$$

dove  $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_n$  sono gli scarti dalla media, cioè

$$\epsilon_1 = I_1 - I_m$$

$$\epsilon_2 = I_2 - I_m$$

.....

Si dimostra che si può assumere come misura della nostra grandezza il seguente valore:

$$I = I_m \pm 3E_M$$

**Errore relativo.** L'errore relativo è dato da uno dei seguenti rapporti:

$$E_r = \frac{E}{I_m} \quad E_r = \frac{E_M}{I_m}$$

L'errore relativo viene di solito espresso in percentuale ed in tal caso prende il nome di **errore relativo percentuale**

$$\eta = (E_r \times 100)\%$$

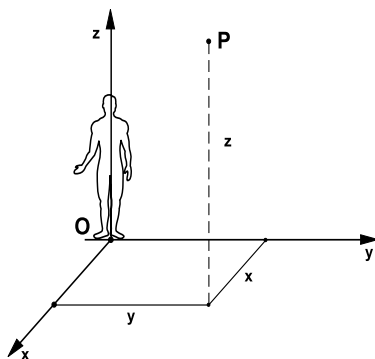
## CAPITOLO 2

### 2.1 CINEMATICA

La **cinematica** è quella parte della fisica che studia il moto dei corpi senza occuparsi delle cause che lo provocano o che ne modificano i caratteri. Nell'ambito della cinematica, il più semplice fra i sistemi fisici è quello schematizzabile come un punto materiale. Si dice che un sistema fisico è schematizzabile come **punto materiale** se le sue dimensioni lineari sono piccole rispetto alla precisione con cui ci interessa determinarne la posizione. Dunque, la **cinematica del punto materiale** si occupa di descrivere come varia la posizione di un punto materiale via via che passa il tempo. Per fare questo è innanzitutto necessario dare la definizione della grandezza fisica **posizione**.

#### 2.1.1 La posizione

La **posizione** di un corpo è nota quando sappiamo dove si trova. In uno spazio completamente vuoto, tutte le posizioni sarebbero tra loro equivalenti. Perciò la posizione è un concetto relativo: ha senso parlare della posizione di un corpo solo rispetto alla posizione di altri corpi che vengono presi come riferimento. L'insieme dei riferimenti scelti per individuare la posizione dei corpi che si trovano in una certa porzione di spazio viene detto un **sistema di riferimento**. Se un punto si muove nello spazio, il sistema di riferimento può essere rappresentato da tre assi  $x, y, z$  non complanari intersecantisi in un punto assunto come origine.



**Figura 2.1** Sistema di assi coordinati ortogonali nello spazio

#### 2.1.2 I vettori

Un **vettore** è una grandezza che può essere rappresentata da un segmento orientato: essa è caratterizzata oltre che da una **intensità** o **modulo** anche da una **direzio**ne con **verso**. Per indicare che una grandezza fisica è una grandezza vettoriale, la indichiamo con una lettera con sovrapposto un trattino: ad esempio  $\vec{v}$ .

##### a) Somma di vettori collineari

Due o più vettori si dicono **collineari** se giacciono su una stessa retta.

Il vettore **risultante** dall'addizione di due vettori collineari ha direzione uguale a quella dei vettori componenti, verso concorde con quello dell'addendo più grande, modulo uguale alla somma algebrica dei moduli.

### b) Somma di vettori concorrenti

Se due vettori concorrenti  $\vec{a}$  e  $\vec{b}$  sono applicati in uno stesso punto **P** la loro **risultante** è la diagonale di un parallelogramma che ha per lati i vettori stessi.

Se i vettori concorrenti addendi sono numerosi, si definisce la loro **risultante** il vettore ottenuto nel seguente modo: si dispongono i vettori uno dopo l'altro (il punto di applicazione dell'uno coincidente con l'estremo libero del precedente) e si congiunge il punto di applicazione del primo con l'estremo libero dell'ultimo.

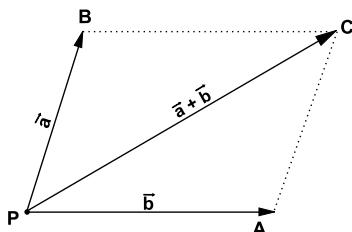


Figura 2.2 Regola del parallelogramma

E' spesso più comodo sommare o sottrarre i vettori analiticamente. Lo si può fare scomponendo i vettori nelle loro componenti.

Il vettore  $\vec{A}$  in figura può essere pensato come il vettore risultante di due vettori:  $A_x$  parallelo all'asse x e  $A_y$  parallelo all'asse y:

$$\vec{A} = A_x + A_y$$

$A_x$  e  $A_y$  sono le componenti di A. Se  $\theta$  è l'angolo tra il vettore A e l'asse x:

$$A_x = A \cos \theta$$

$$A_y = A \sin \theta$$

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$$

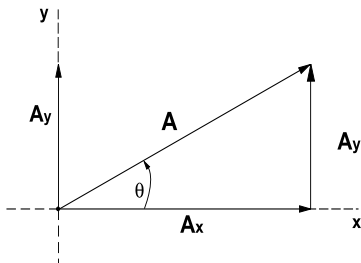


Figura 2.3 Componenti di un vettore

Se  $\vec{A}$  e  $\vec{B}$  sono due vettori la cui somma è il vettore  $\vec{C}$ , la componente x di  $\vec{C}$  (y di  $\vec{C}$ ) è uguale alla somma delle componenti x di  $\vec{A}$  e  $\vec{B}$  (y di  $\vec{A}$  e  $\vec{B}$ ):

$$\begin{aligned} C_x &= A_x + B_x \\ C_y &= A_y + B_y \\ C &= \sqrt{C_x^2 + C_y^2} \end{aligned}$$

### c) Differenza di due vettori

La differenza  $\vec{D}$  fra due vettori  $\vec{a}$  e  $\vec{b}$  ( $\vec{D} = \vec{a} - \vec{b}$ ) è definito come la somma del vettore  $\vec{a}$  e del vettore  $-\vec{b}$ .

#### d) Prodotto scalare di due vettori

Dati due vettori  $\vec{a}$  e  $\vec{b}$  si definisce il prodotto scalare  $\vec{a} \cdot \vec{b}$  come  $\vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{b} \cdot \vec{a} = ab \cos \theta$  dove  $\theta$  è l'angolo compreso. Se  $\vec{a}$  e  $\vec{b}$  sono fra loro ortogonali, allora il prodotto scalare è nullo.

#### e) Prodotto vettoriale di due vettori

Si definisce prodotto vettoriale  $\vec{a} \times \vec{b}$  di due vettori, il vettore che ha come modulo la quantità  $ab \sin \theta$ , come direzione quella ortogonale al piano individuato da  $\vec{a}$  e  $\vec{b}$  e come verso quello da cui si vede ruotare  $\vec{a}$  verso  $\vec{b}$ .

### 2.1.3 Legge oraria di un punto materiale

Per individuare la posizione P di un punto ad un certo istante si danno le coordinate x,y,z di P rispetto alla terna cartesiana.

Se il punto si muove, le coordinate mutano col passare del tempo, per cui scriveremo:

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases}$$

Si chiama **legge oraria** l'insieme delle relazioni che esprimono in funzione del tempo le coordinate della posizione occupata dal punto in movimento.

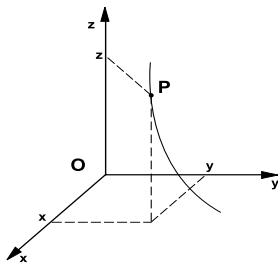


Figura 2.4 Sistema di riferimento

La **traettoria** è costituita dall'insieme delle posizioni occupate dal punto col trascorrere del tempo. Una prima classificazione del movimento viene fatta in base alla traettoria: si parla infatti di moto rettilineo, circolare, ellittico, ecc. secondochè la traettoria sia, rispettivamente, un tratto di retta, una circonferenza o un'ellisse.

### 2.1.4 Velocità ed accelerazione

La **velocità scalare media** in un certo intervallo di tempo è data dal rapporto fra lo spazio percorso in tale intervallo di tempo e l'intervallo di tempo stesso.

$$v_m(t_0, t_1) = \frac{s_1 - s_0}{t_1 - t_0} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Se il valore della velocità scalare media  $v_m(t_0, t)$  non varia comunque si scelgano gli istanti  $t_0$  e  $t$ , il moto si dice **uniforme** e si chiama **velocità scalare** il rapporto tra lo spazio percorso in un qualsiasi intervallo di tempo e l'intervallo di tempo stesso