

## 1. Introduzione alla fisica

### **Prerequisiti**

Saper eseguire le comuni operazioni in  $\mathbb{R}$ , saper riconoscere le figure geometriche più comuni e le loro caratteristiche (aree e volumi)

### **Sapere**

Conoscere il metodo scientifico, il significato di grandezza, dell'uso degli strumenti di misura, gli errori e loro tipi, caratteristiche degli strumenti, errori assoluto e relativo, conoscere i criteri di arrotondamento, il significato di cifre significative, della notazione scientifica, sapere come si rappresentano i dati.

### **Saper fare**

Saper distinguere tra grandezze fondamentali e derivate, saper utilizzare i più comuni strumenti di misura, saper ridurre gli errori nella misura sia scegliendo adeguatamente gli strumenti che utilizzandoli per evitare i comuni errori accidentali. Saper scegliere i giusti strumenti in base alle grandezze da misurare, con particolare riguardo alla loro portata e sensibilità. Saper trattare con i dati, sapere eseguire arrotondamenti e portare i dati in notazione scientifica laddove richiesto. Saper riconoscere un qualunque tipo di proporzionalità. Saper redigere una relazione di laboratorio. Saper affrontare, in linee generali, un problema.

## 1.1 Introduzione alla Fisica

La fisica è la scienza della natura nel senso più ampio. Scopo della fisica è lo studio dei fenomeni naturali, ossia di tutti gli eventi che possano essere descritti ovvero quantificati attraverso grandezze fisiche opportune, al fine di stabilire *principi e leggi* che regolano le interazioni tra le grandezze stesse e rendano conto delle loro reciproche variazioni. Quest'obiettivo è talvolta raggiunto attraverso la fornitura di uno schema semplificato, o modello, del fenomeno descritto. L'insieme di principi e leggi fisiche relative ad una certa classe di fenomeni osservati definiscono una teoria fisica deduttiva, coerente e relativamente *auto consistente*, costruita tipicamente a partire dall'induzione sperimentale.

## 1.2 Metodo scientifico sperimentale

Il **metodo scientifico** è la modalità tipica con cui la scienza procede per raggiungere una conoscenza della realtà *oggettiva, affidabile, verificabile e condivisibile*. Esso consiste, da una parte, nella raccolta di evidenza empirica e misurabile attraverso l'osservazione e l'esperimento; dall'altra, nella formulazione di ipotesi e teorie da sottoporre nuovamente al vaglio dell'esperimento.

Esso è stato applicato e codificato da **Galileo Galilei** nella prima metà del XVII secolo. Precedentemente l'indagine della natura consisteva nell'adozione di teorie che spiegassero i fenomeni naturali senza che fosse necessaria una verifica sperimentale delle teorie stesse che venivano considerate vere in base al principio di autorità.

Il metodo sperimentale moderno richiede, invece, che le teorie fisiche debbano fondarsi sull'osservazione dei fenomeni naturali, debbano essere formulate come relazioni matematiche e che debbano essere messe alla prova tramite esperimenti:

*« [...] sempre se ne sta su conclusioni naturali, attenenti a i moti celesti, trattate con astronomiche e geometriche dimostrazioni, fondate prima sopra sensate esperienze ed accuratissime osservazioni. [...]. Stante, dunque, ciò, mi par che nelle dispute di problemi naturali non si dovrebbe cominciare dalle autorità di luoghi delle Scritture, ma dalle sensate esperienze e dalle dimostrazioni necessarie »*

(**Galileo Galilei**, Lettera a madama Cristina di Lorena granduchessa di Toscana)

Il percorso seguito per arrivare alla stesura di una legge scientifica (e in particolare di una legge fisica) a partire dall'osservazione di un fenomeno si articola nei seguenti passi, ripetuti ciclicamente:

1. **Osservazione di un fenomeno fisico.** Un fenomeno fisico è un qualsiasi evento in cui siano coinvolte delle grandezze fisiche, ossia delle proprietà di un corpo che siano misurabili.
2. **Elaborazione di un'ipotesi esplicativa e formulazione di una previsione da verificare che segua l'ipotesi elaborata.** L'ipotesi viene solitamente formulata semplificando la situazione reale in modo tale da individuare delle relazioni tra le grandezze semplici da verificare, queste sono di solito indicate con l'espressione *condizioni ideali* (un esempio, nel caso dell'esperimento del piano inclinato è l'assunzione che la forza di attrito sia trascurabile).
3. **Esecuzione di un esperimento.** L'esperimento consiste nella ripetizione in condizioni controllate di osservazioni di un fenomeno fisico e nell'esecuzione di misure delle grandezze coinvolte nel fenomeno stesso.
4. **Analisi e interpretazione dei risultati** (conferma o smentita dell'ipotesi iniziale).

Nel caso in cui l'ipotesi venga confermata la relazione che essa descrive diviene una legge fisica.

**Considerazione importante:** una legge fisica rimane valida finché non venga dimostrato il contrario, ovvero venga confutata con esperimenti che ne dimostrino la inesattezza circa il caso generale da esso descritta. Questo è uno dei dogmi fondamentali delle scienze in generale che apre la possibilità ad ulteriori aggiustamenti alle teorie fisiche al momento accreditate, ponendo l'attenzione

sulla **ripetibilità** degli esperimenti. Non potrà, infatti, essere accettata una teoria fisica qualora gli esperimenti condotti da chi ha ipotizzato quelle leggi non possano esseri ripetibili anche in altri luoghi, diversi da quelli in cui i fisici hanno condotto i loro esperimenti. Per avere un'idea di questo, basti pensare al fatto che le leggi di relatività dei moti, descritti da Galilei, sono rimasti indiscussi per circa quattrocento anni, fino a quando, un noto scienziato del XX secolo, Albert Einstein, li mette in discussione. Piuttosto che dimostrarne la falsità avviene un vero e proprio ampliamento delle leggi relativistiche, dimostrando che le leggi di Galilei di invarianza delle masse e dei tempi rimangono valide a patto che i moti avvengano con velocità molto inferiori della velocità della luce, che è di circa  $300.000 \frac{km}{s}$ .

### 1.3 Grandezze fisiche fondamentali

Nella seconda edizione del *Vocabolario Internazionale di Metrologia* (anche noto come VIM3 del 1993) una grandezza era definita come "**la proprietà misurabile di un fenomeno, corpo o sostanza, che può essere distinta qualitativamente e determinata quantitativamente**"; nell'edizione del *VIM 3*, pertanto, la misurazione non può essere applicata alle proprietà nominali, le quali non possono pertanto essere definite "grandezze". Nella definizione di "grandezza" del *VIM 3* il termine "riferimento" può essere una unità di misura, una procedura di misura, o un materiale di riferimento, o una loro combinazione. Sebbene in base a questa definizione, il concetto di "grandezza" coincida con quello di "grandezza fisica scalare", può essere considerato "grandezza" anche un vettore le cui componenti siano grandezze. Il concetto di grandezza, inoltre, può essere specificato progressivamente in vari livelli di concetti specifici.

Nel Sistema internazionale di unità di misura (detto anche **SI**), adottato per legge in Italia dal 1976 ed obbligatorio negli atti pubblici, le grandezze si dividono in 7 **grandezze base** e numerose **grandezze derivate** dalle precedenti.

In questo caso, è possibile scegliere la proprietà di un particolare sistema ed eleggerla a *unità di misura* per quella grandezza fisica. Fissata l'unità di misura, la quantità di tale grandezza per un qualsiasi altro sistema potrà dunque essere univocamente specificata da un *valore numerico* ottenuto dal rapporto con la proprietà scelta come campione di riferimento. Le grandezze fisiche fondamentali sono sette, e sono misurate nel Sistema internazionale in:

Grandezza fisica	Simbolo della grandezza fisica	Simbolo dimensionale	Nome dell'unità SI	Simbolo dell'unità SI
lunghezza	$l, x, r, ..$	L	metro	m
massa	$m$	M	chilogrammo	kg
tempo	$t$	T	secondo	s
corrente elettrica	$I, i$	I	ampere	A
temperatura termodinamica	$T$	$\Theta$	kelvin	K
quantità di sostanza	$n$	N	mole	mol
intensità luminosa	$I_v$	J	candela	cd

Da considerare che a volte grandezze omogenee, cioè grandezze dello stesso tipo, possono essere espresse con unità di misura diverse tra di loro. Possono essere adoperati multipli o sottomultipli della stessa grandezza in base alle dimensioni trattate.

Potrebbe quindi essere necessario utilizzare multipli o sottomultipli di grandezze fondamentali, così come riportati nella seguente tabella:

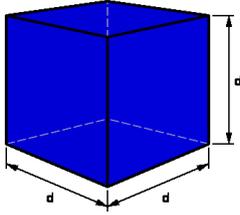
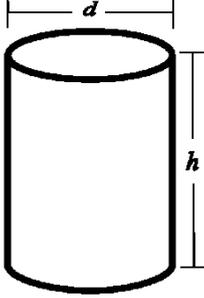
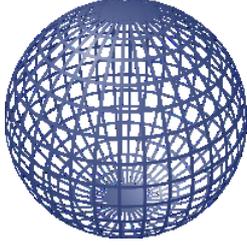
<b>Multipli e sottomultipli nel Sistema Internazionale</b>			
<b>fattore di moltiplicazione</b>	<b>prefisso</b>	<b>simbolo</b>	<b>valore</b>
$10^{24}$	yotta	Y	1 000 000 000 000 000 000 000 000
$10^{21}$	zetta	Z	1 000 000 000 000 000 000 000
$10^{18}$	exa	E	1 000 000 000 000 000 000
$10^{15}$	peta	P	1 000 000 000 000 000
$10^{12}$	tera	T	1 000 000 000 000
$10^9$	giga	G	1 000 000 000
$10^6$	mega	M	1 000 000
$10^3$	chilo	k	1 000
$10^2$	etto	h	100
$10^1$	deca	da	10
$10^{-1}$	deci	d	0.1
$10^{-2}$	centi	c	0.01
$10^{-3}$	milli	m	0.001
$10^{-6}$	micro	$\mu$	0.000 001
$10^{-9}$	nano	n	0.000 000 001
$10^{-12}$	pico	p	0.000 000 000 001
$10^{-15}$	femto	f	0.000 000 000 000 001
$10^{-18}$	atto	a	0.000 000 000 000 000 001
$10^{-21}$	zepto	z	0.000 000 000 000 000 000 001
$10^{-24}$	yocto	y	0.000 000 000 000 000 000 000 001

#### **1.4 Grandezze fisiche derivate**

Per grandezza fisica derivata intendiamo qualunque grandezza che non è direttamente indicata nel sistema internazionale delle misure. Ad esempio tratteremo di grandezze quali le velocità, le accelerazioni, le forze,... che sono grandezze direttamente esprimibili rispetto a grandezze fondamentali quali le masse, le lunghezze, i tempi.

#### **1.5 Aree e Volumi di figure geometriche note**

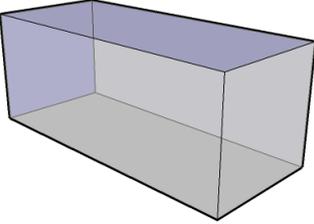
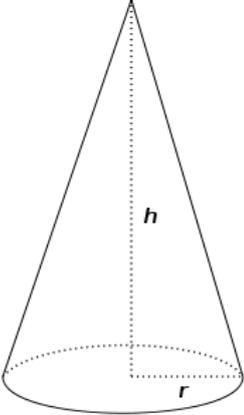
Il concetto di grandezza derivata è parimenti esprimibile in matematica, dove ad esempio l'area di una figura regolare è esprimibile attraverso il prodotto di grandezze fondamentali e misurabili quali gli spigoli (i lati) della stessa figura -  $l \times l$  per il quadrato,  $b \times h$  per il rettangolo,  $\frac{b \times h}{2}$  per il triangolo- e così via per le altre figure geometriche piane regolari) analogamente per il calcolo dei volumi di figure solide:

$$V = d^3$$

$$V = \frac{\pi d^2}{4} h$$

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 \quad (1)$$

$$V = a \times b \times c$$

$$V = \frac{\pi r^2}{3} h \quad (2)$$

### 1.6 Densità di massa

La densità (chiamata più correttamente massa volumica o massa specifica) di un corpo (spesso indicata dal simbolo  $\rho$  o anche  $\delta$ ) è definita come il rapporto tra la massa di un corpo ed il suo volume. Se  $m$  è la massa e  $V$  il volume si ha dunque:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Nel Sistema Internazionale la densità si misura in  $\text{kg/m}^3$ ; nel sistema CGS in  $\text{g/cm}^3$ .

*Nella figura affianco è evidente che se sui due piatti di una bilancia mettiamo da una parte del ferro e dall'altro lo stesso volume di materiale fatto in plastica, il piatto contenente il ferro tenderà a scendere, indicando una maggiore massa, anche a parità di volume occupato.*



La densità quindi tiene conto della quantità di materia che un corpo ha quando è fatto di una certa sostanza.

<b>Densità di alcuni solidi (a 0°C di temperatura e alla pressione di 1 atm)</b>	
<b>Nome</b>	<b>Densità (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Alluminio	2.70
Argento	10.49
Cemento	2.7-3.0
Ferro	7.96
Ghiaccio	0.92
Legno (densità media)	0.75
Legno di cedro	0.31-0.49
Legno d'ebano	0.98
Legno d'olmo	0.54-0.60
Legno di pino bianco	0.35-0.50
Legno di quercia	0.6-0.9
Nichel	8.8
Oro	19.3
Ottone	8.44-9.70
Mercurio	17.6
Piombo	11.3
Platino	21.37
Rame	8.96
Sughero	0.22-0.26
Terra (valor medio*)	5.52
Tungsteno	19.3

## 1.7 Misure

Abbiamo prima definito le grandezze fisiche necessarie a descrivere i fenomeni e le loro unità di misura. Ora diventa necessario procedere alla misurazione delle stesse per riuscire ad ottenere una analisi quantitativa e non solo qualitativa dei fenomeni osservati. Possiamo così definire la **misura** come quel processo che permette di conoscere una caratteristica di un determinato oggetto (ad esempio la lunghezza o la massa o un tempo trascorso) dal punto di vista **quantitativo**, tramite un'unità di misura, cioè una grandezza standard che, presa  $N$  volte, associ un valore univoco alla caratteristica da misurare.

Quindi alla fine di una misurazione dovremo sempre aver quantificato quella grandezza. Non può esserci misurazione valida se non viene restituito un valore misurato della grandezza osservata.

## 1.8 Strumenti di misura

I classici strumenti utilizzati per misurare le grandezze fisiche fondamentali sono costituiti dai misuratori di lunghezza (un righello è un misuratore di lunghezza), i misuratori di masse (le bilance) i misuratori di tempo (cronometri), i misuratori di velocità (il tachimetro dell'automobile), i misuratori di forza (il **dinamometro** a molla), i misuratori di temperatura (termometro) e così via. Per ogni grandezza che misurare vengono ideati strumenti atti allo scopo.

## 1.9 Errori di misura

In ogni procedimento di misura di una grandezza fisica, si ottiene una misura inevitabilmente accompagnata da un'**incertezza** o **errore** sul valore misurato. Una caratteristica fondamentale degli errori che influenzano le misure di grandezze fisiche è la sua **ineliminabilità**, ossia una misura può essere ripetuta molte volte o eseguita con procedimenti o strumenti migliori, ma in ogni caso l'errore sarà sempre presente. L'incertezza fa parte della natura stessa dei procedimenti di misura. In un esperimento, infatti, non è mai possibile eliminare un gran numero di fenomeni fisici che possono causare dei disturbi alla misurazione. Una misura può quindi fornire solamente una **stima** del **valore vero** di una grandezza coinvolta in un fenomeno fisico.

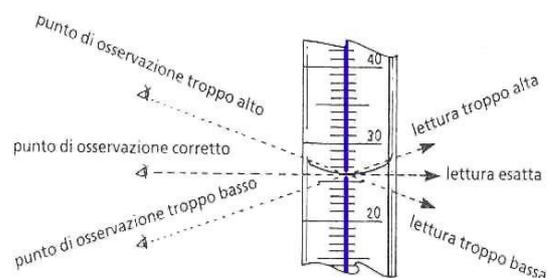
Le incertezze o **errori** che influenzano una misura sono solitamente suddivise a seconda delle loro caratteristiche in:

- **errori casuali**. Quando la loro influenza sulla misura è completamente imprevedibile e indipendente dalle condizioni in cui si svolge la misura stessa. Questi errori influenzano la misura in modo casuale, ossia conducono alcune volte ad una sovrastima del valore della grandezza misurata, altre volte ad una sottostima.
- **errori sistematici**. Gli errori sistematici influenzano una misura sempre in uno stesso senso, ossia conducono sempre a una sovrastima o ad una sottostima del valore vero. Sorgenti comuni di errori sistematici sono gli errori di **taratura** di uno strumento e gli errori nel procedimento di misura.

Contrariamente agli errori casuali, gli errori sistematici possono essere eliminati anche se la loro individuazione è difficile, infatti è possibile osservare l'effetto di incertezze sistematiche solo conoscendo a priori il valore vero della grandezza che si intende misurare o confrontando i risultati di misure svolte con strumenti e procedimenti diversi.

Un altro esempio relativo alla lettura di strumenti analogici è l'**errore di parallasse**, dovuto ad un cattivo posizionamento dell'operatore rispetto allo strumento,

solitamente riscontrabile con strumenti a lancetta o comunque dovuto ad un errore di posizionamento dell'osservatore.



## 1.10 C.L.I.L. PROJECT

### Measures

We first defined the physical quantities needed to describe the phenomena and their units of measurement. Now it becomes necessary to measure them to be able to obtain a qualitative and quantitative analysis not only of the observed phenomena. We can thus define the measurement process that allows us to know the quality of a given object (eg the length or mass or an elapsed time) from the quantitative point of view, using a unit of measurement (see page 3), which is a standard size which, taken N times, associating a unique value to the quality to be measured. So at the end of a measurement we always have quantified that magnitude. There can be no valid measurement if it does not return a value measured by the observed.

### Measuring tools

The classic instruments used to measure the fundamental physical quantities are formed by the meters in length (a ruler is a meter in length), the meters of the masses (the scales) measuring the time (chronometers), the measuring speed (the speedometer of 'automobile), the force meters (the spring dynamometer), the temperature gauges (thermometer) and so on for many other variables which we want to proceed to measuring instruments are designed for the purpose.

### Measurement errors

In each measurement procedure of a physical quantity, the measure is inevitably accompanied by an **uncertainty** or **error** in the measured value. A fundamental characteristic of the errors that affect the measurements of physical quantities is its non-eliminable, ie a measurement can be repeated many times or performed with processes or tools best, but in any case the error will always be present. The uncertainty is part of the nature of the measurement procedures. In an experiment, in fact, it is never possible to eliminate a large number of physical phenomena that can cause disturbances to the measurement, by changing the conditions in which the experiment takes place. A measure can therefore provide only an **estimate** of the true value of a magnitude involved in a physical phenomenon.

Uncertainties or **errors** that affect a measure are usually divided according to their characteristics in:

- • **Random** errors. When their influence on the measurement is completely unpredictable and independent of the conditions in which it performs the same extent. These errors affect the extent randomly, ie some times lead to an overestimation of the value of the measured quantity, other times to an underestimation.
- • **Systematic** errors. The systematic errors affect a measure always in the same sense, that always lead to an overestimate or an underestimate of the true value. Common sources of systematic errors can be: errors of calibration of an instrument or errors in the measurement procedure.

In contrast to random errors, systematic errors can be eliminated even if their detection is difficult, in fact it is possible to observe the effect of systematic uncertainties only cone-go down a priori the true value of the quantity being measured or comparing the results of measurements carried out with different tools and processes. Another example of how to read analog instruments is given by the **error of parallax**, due to poor positioning of the operator with respect to the instrument, usually found with tools in hand or in any case due to a positioning error of the observer

• **Esempio 1**

Una navetta spaziale orbita intorno alla Terra a un'altitudine di 300km. Quanto vale questa distanza (a) in miglia e (b) in millimetri?

Caso (a): Si utilizza il fattore di conversione metro-miglio,  $1\text{miglio} = 1,609\text{km}$ , per cui si ha  

$$300\text{ Km} = \frac{300\text{ Km}}{1,609\text{ Km}} = 186,45\text{ miglia}$$

Caso (b): Attraverso la ben nota equivalenza,  $1\text{Km} = 10^6\text{ mm}$ , si ottiene, nella notazione scientifica  

$$300\text{Km} = 300 \cdot 10^6\text{ mm} = 3 \cdot 10^2 \cdot 10^6\text{ mm} = 3 \cdot 10^8\text{ mm}$$

• **Esempio 2**

Il micrometro ( $10^{-6}\text{ m} = 1\mu\text{m}$ ) è spesso chiamato micron. (a) Quanti micron fanno 1.0 km? (b) Quale frazione di un centimetro è uguale a  $1\mu\text{m}$ ? (c) Quanti micron ci sono in 1.0 yd (yard)?

Caso (a): Essendo  $1\text{m} = 10^6\mu\text{m}$  e  $1\text{Km} = 10^3\text{ m}$ , si avrà che  $1\text{km} = 10^3 \cdot 10^6\mu\text{m} = 1,0 \cdot 10^9\mu\text{m}$

Caso (b): Essendo  $1\text{m} = 10^6\mu\text{m}$  e  $1\text{cm} = 10^{-2}\text{ m}$ , si avrà  $1\mu\text{m} = 10^{-4}\text{ cm}$

Caso (c): Essendo  $1\text{yd} = 0.9144\text{m}$  e  $1\text{m} = 10^6\mu\text{m}$ , si avrà  $1\text{yd} = 0.9144 \cdot 10^6\mu\text{m}$ .

• **Esempio 3**

Una unità di misura usata per i terreni agricoli è l'ettaro, definito come  $10.000\text{m}^2 = 10^4\text{m}^2$ . Una miniera di carbone a cielo aperto consuma ogni anno 75 ettari di terra, per una profondità di 26m. Qual è il volume di terra corrispondente in chilometri cubi?

**Soluzione:** Il volume di un solido retto con due basi parallele è sempre dato dal prodotto dell'area della base per la sua altezza. Ciò consente di pensare ad una superficie di base di forma qualunque. L'area di base è pari a  $75\text{ettari} \cdot 10^4\text{m}^2$ . Segue che  $V = A_b \cdot h$  (area di base per altezza), quindi  

$$V = 75 \cdot 10^4\text{m}^2 \cdot 26\text{m} = 1,95 \cdot 10^7\text{ m}^3$$
; ma  $1\text{Km}^3 = 10^9\text{ m}^3$ , pertanto  $V = 1,95 \cdot 10^{-2}\text{ km}^3$ .

• **Esempio 4**

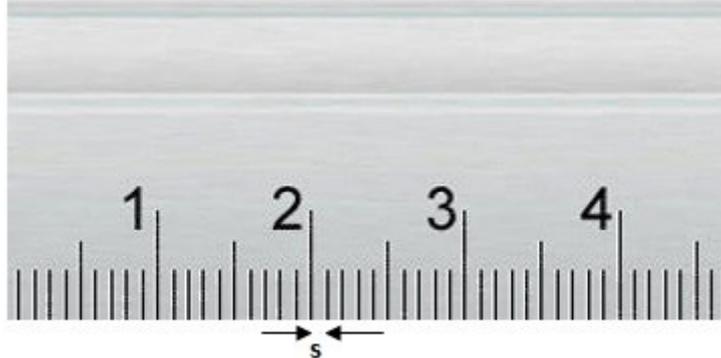
Un'unità astronomica (UA) è la distanza media della Terra dal Sole, pari a circa  $1,5 \cdot 10^8\text{ km}$ . La velocità della luce, indicata con  $c$ , è di circa  $3 \cdot 10^8\text{ m/s}$ . Esprimere la velocità della luce in unità astronomiche al minuto.

**Soluzione:** Il valore cercato è ottenibile con le opportune operazioni. Tenuto conto che  $1\text{UA} = 1,5 \cdot 10^3 \cdot 10^8\text{ m}$  ricavando  $10^8\text{ m} = \frac{1\text{UA}}{1,5 \cdot 10^3}$  e che  $1\text{s} = \frac{1}{60}\text{min}$  sostituendo avremo che la velocità della luce espressa in UA/min sarà:

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{3 \cdot 1\text{UA}}{10^3 \cdot 1,5} \cdot \frac{60}{\text{min}} = 120 \cdot 10^{-3}\text{ UA/min} = 0,12\text{ UA/min}$$

### 1.11 Sensibilità di uno strumento

La sensibilità di uno strumento è il minimo valore di una grandezza fisica che può essere apprezzato dallo strumento. Quindi una variazione del valore della grandezza di una quantità inferiore ad  $s$  non comporta alcuna variazione del valore misurato dallo strumento.



### 1.12 Precisione di uno strumento

Possiamo definire la precisione dello strumento l'accuratezza con cui è noto il valore misurato dallo strumento; esso dipende in generale dalle caratteristiche costruttive dello strumento ( per es., dalla precisione con cui sono noti i valori dei suoi componenti) e ci consente di stabilirne l'affidabilità di una misura.

### 1.13 Portata o fondo scala

La portata di uno strumento è il valore massimo che lo strumento è in grado di misurare; oltre questo valore non può essere effettuata alcuna misura valida. Nella figura affianco, la portata della bilancia è di 5kg. Se mettessimo su di essa una massa maggiore della sua portata lo strumento darebbe una misura errata o rischierebbe di rompersi.



### 1.14 Errore assoluto

Possiamo definire come errore assoluto la differenza tra il valore misurato ed il valore esatto, ovvero

$$E_a = E_{mis} - E_{es} \quad (4)$$

dove  $E_a$  è l'errore assoluto,  $E_{mis}$  il valore misurato e  $E_{es}$  il valore esatto della grandezza considerata.

Possiamo quindi dire che il valore assoluto quantifica di quanto ci stiamo discostando rispetto al valore esatto.

### 1.15 Valore medio

Quando vogliamo misurare una grandezza è necessario ripetere più volte la misura, semmai cambiando osservatore o lo strumento utilizzato per accertarci della bontà delle misure effettuate. In tal caso è utile considerare il valor medio tra le misure effettuate perché verosimilmente sarà il valore che maggiormente si avvicinerà al valore esatto della grandezza.

Dette  $x_1, x_2, \dots, x_n$  le  $n$  misurazioni effettuate, diremo valor medio, il valore ottenuto dalla media aritmetica dei singoli valori, ovvero:

$$x_m = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (5)$$

### 1.16 Errore relativo

L'**errore relativo** di una misura è definito come il rapporto tra l'errore assoluto e il valore esatto della grandezza. Generalmente assumiamo come valore esatto della grandezza quello ottenuto dal valor medio della serie di misure effettuate ( $E_{es} \approx x_m$ ), ovvero:

$$E_r = \frac{E_a}{x_m} \quad (6)$$

dove  $E_r$  = errore relativo,  $E_a$  = errore assoluto,  $x_m$  = valore medio

Spesso è utile esprimere l'errore relativo in forma percentuale in modo da avere idea di quanto possa aver inciso l'errore rispetto alla grandezza reale. Avremo quindi:

$$E_{r\%} = \frac{E_a}{x_m} \cdot 100\% \quad \text{ovvero} \quad E_{r\%} = E_r \cdot 100\% \quad (7)$$

#### • Esempio 5

Misurando una sbarra, di lunghezza esatta pari a 36cm, con un righello otteniamo una misura pari a 35,8cm. Trovare l'errore assoluto, l'errore relativo e l'errore relativo percentuale.

In questo esempio  $E_{es} = 36\text{cm}$  mentre  $E_{mis} = 35,8\text{cm}$ . Ne possiamo facilmente ricavare usando la formula (4) l'errore assoluto:  $E_a = E_{mis} - E_{es} = (35,8 - 36)\text{cm} = 0,2\text{cm}$ .

L'errore relativo, usando la formula (6), è  $E_r = \frac{E_a}{E_{es}} = \frac{0,2\text{cm}}{36\text{cm}} = 0,00556$

L'errore percentuale dalla formula (7) è  $E_{r\%} = E_r \cdot 100\% = 0,00556 \cdot 100\% = 0,55\%$

Come possiamo notare in questo esempio è stato commesso un errore di circa mezzo punto percentuale, che è un errore accettabile rispetto ad un eventuale errore che superi il punto percentuale.

Possiamo così dedurre che l'errore relativo ci dà un'idea di come possa aver influito l'errore commesso (errore assoluto) rispetto alla misura esatta.

### 1.17 Misura diretta ed indiretta

La misura **diretta** è il metodo nel quale il valore della grandezza è ottenuta confrontando la grandezza di interesse, con un'altra della stessa specie, scelta come campione e rappresentante l'unità di misura (o un multiplo di essa). Un semplice esempio di questa metodologia, è quella usata per la misura di una lunghezza con un righello graduato: il righello (che rappresenta la grandezza di riferimento) viene accostato all'oggetto da misurare, confrontando la lunghezza di quest'ultimo (il misurando) con la scala graduata del righello, si ricava la misura.

La **misura indiretta** è il metodo nel quale la misura è ottenuta leggendo una o più grandezze legate funzionalmente al valore del misurando, ma non omogenee alla grandezza d'interesse. Per poter utilizzare questo metodo è necessario conoscere preventivamente le relazioni che legano tra loro queste grandezze.

Alcuni esempi di misura con il metodo indiretto:

- misura della superficie di un tavolo o del volume di un corpo di forma regolare;
- misura della pressione tramite la misura dell'altezza di una colonna di liquido (es. barometro a mercurio);
- misura della temperatura tramite l'altezza del liquido in un termometro a mercurio.

### 1.18 Criteri di arrotondamento

Quando effettuiamo misure ed andiamo a calcolare, ad esempio, l'errore relativo essendoci una divisione da fare, potrebbe accadere che vi siano molte cifre dopo la virgola, quindi siamo costretti a procedere ad un arrotondamento.

Dovendo procedere, ad esempio, ad un arrotondamento alla quarta cifra decimale decideremo di **approssimare per difetto** se essa è 0, 1, 2, 3, 4. Mentre andremo ad **approssimare per eccesso** se essa è 5, 6, 7, 8, 9. Se avessimo quindi il valore 0,006324532 come risultato di una operazione, sarebbe opportuno approssimare per difetto, scrivendo 0,006 poichè la quarta cifra è 3. Nel caso in cui il numero dovesse essere 0,006678, avremmo potuto approssimare per eccesso scrivendolo come 0,007.

### 1.19 Cifre significative

Possiamo definire le cifre significative di un numero come il minimo numero di cifre necessarie ad esprimere un dato valore senza comprometterne la precisione. Il conteggio delle cifre significative si fa con queste regole:

- tutti i valori non nulli rappresentano cifre significative.
- gli zeri compresi tra cifre non nulle sono cifre significative.
- (es. gli zeri in questo numero sono significativi 4506002 )
- gli zeri che precedono la prima cifra significativa non sono cifre significative. (es. 0,003 ha una sola cifra significativa)
- gli zeri finali sono significativi solo se presente la virgola (es. in 13900 gli zeri non sono significativi, ma in 13900,0 tutti gli zeri sono significativi)

### 1.20 Notazione scientifica

Quando scriviamo i risultati di un problema, spesso capita che i numeri che stiamo trattando sono o molto piccoli, con molti zeri prima di una cifra significativa oppure molto grandi, rendendo anche difficile indicarli quando superano le unità solitamente adoperate (miliardi,...). Si è reso quindi opportuno scrivere i numeri con una notazione che fosse condivisa da tutti. Si è giunti così alla decisione di adoperare la notazione scientifica per indicare i numeri molto grandi o molto piccoli.

Qualunque sia il numero da portare in notazione scientifica è necessario tenere in mente che una volta trasformato avrà la seguente forma:

$$a, b \cdot 10^k \quad (8)$$

(ad esempio:  $2,3 \cdot 10^5$ ) dove  $a$  è la parte intera,  $b$  la parte decimale e  $k$  l'esponente cui dobbiamo elevare la base 10.

Le regole da seguire per portare il numero in notazione scientifica sono le seguenti:

- la parte intera  $a$  deve essere sempre un numero compreso tra 1 e 9 (mai 0)
- $k$  è l'esponente che troviamo in base a quante cifre dobbiamo spostarci verso destra ( $k$  negativo) o verso sinistra ( $k$  positivo) per arrivare alla forma (8) prima indicata.

Vediamo qualche esempio.

Supponiamo di voler scrivere in notazione scientifica il numero 0,0023 .

La parte  $a, b$  sarà sicuramente formata dal numero 2,3 . Per portare la virgola da dove si trova fino a destra del 2, dobbiamo muoverci verso destra di tre posizioni, quindi otterremo:

$$0,0023 = 2,3 \cdot 10^{-3} \quad \text{essendo per l'appunto } k = -3$$

Vediamo un altro esempio. Portiamo in notazione scientifica il numero 1246.

Possiamo vederlo come fosse 1246,0 dovendo portare la virgola da dopo il 6 a dopo l'1, quindi di 3 posizioni verso sinistra, k sarà +3. Avremo così:

$$1246 = 1,246 \cdot 10^3$$

È ormai evidente che con questo metodo ogni numero può essere portato in notazione scientifica. Quindi anche se abbiamo un numero già espresso come potenza di 10, ma non in notazione scientifica, può essere facilmente portato in questa forma.

Ad esempio il numero  $0,3 \cdot 10^{-5}$  può essere portato in notazione scientifica, spostandoci di una posizione verso destra (quindi  $k=-1$ ),

$$3,0 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-1} = 3,0 \cdot 10^{-6} \text{ (*)}$$

### 1.21 *Richiamo di matematica sulle potenze*

#### **Definizioni**

$$a^n = a \cdot a \cdot \dots \cdot a \quad n \text{ volte}$$

$$a^0 = 1$$

$$a^{-1} = \frac{1}{a}$$

#### **Proprietà**

$$(a^n)^m = a^{nm}$$

potenza di potenza

(9)

$$\frac{a^n}{a^m} = a^{n-m}$$

rapporto tra potenze

#### **Definizione**

$$a^{\frac{n}{m}} = \sqrt[m]{a^n}$$

esponente frazionario

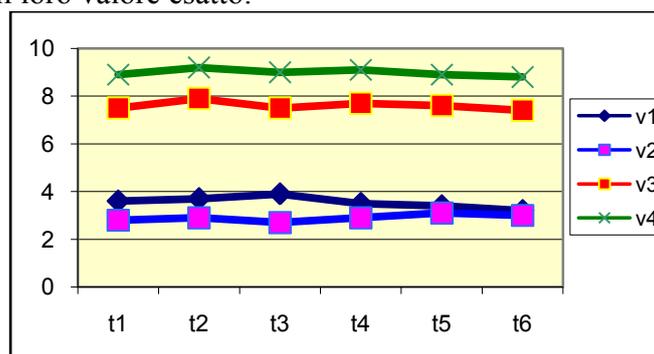
### 1.22 Rappresentazione dei dati

L'indagine quantitativa di un fenomeno naturale si realizza sempre attraverso la misura delle grandezze fisiche che lo caratterizzano; la comprensione del fenomeno richiede spesso di individuare una correlazione, un legame o una dipendenza funzionale fra di esse. Questa indagine può essere utilmente condotta dapprima esplicitando i valori ottenuti, raccolti in una tabella e successivamente utilizzando metodologie grafiche finalizzate alla rappresentazione delle relazioni fra due o più grandezze fisiche.

La rappresentazione **tabulare** rappresenta quindi un primo metodo per rappresentare dei dati. Ad esempio se volessimo rappresentare la velocità istantanea di un corpo in movimento al passare del tempo, potremmo trovarci con una tabella del tipo:

<i>velocità</i> / <i>tempo</i>	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$	$v_M$ velocità me- dia
$v_1$	3,6	3,7	3,9	3,5	3,4	3,2	<b>3,55</b>
$v_2$	2,8	2,9	2,7	2,9	3,1	3,0	<b>2,9</b>
$v_3$	7,5	7,9	7,5	7,7	7,6	7,4	<b>7,6</b>
$v_4$	8,9	9,2	9,0	9,1	8,9	8,8	<b>8,98333</b>

Un altro modo per rappresentare gli stessi dati, è quello grafico; esso mette in evidenza l'andamento dei valori piuttosto che il loro valore esatto.



### 1.23 Leggi di proporzionalità

In natura, può esistere una relazione tra due grandezze fisiche qualsiasi. Esempi sono la massa e il peso, la temperatura e la pressione o il volume di un gas, oppure il campo elettrico in un punto e la carica elettrica nei punti circostanti.

Le relazioni in natura possono essere qualsiasi, ovvero avere carattere funzionale.

Le relazioni di proporzionalità più semplici sono quella diretta, quadratica o inversa.

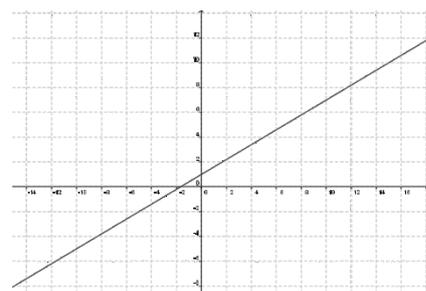
Se una grandezza la cui misura  $y$  varia linearmente al variare di un'altra grandezza di misura  $x$  (ossia in modo che se  $x$  raddoppia, triplica, etc.. anche  $y$  raddoppia, triplica, etc.) diciamo che  $y$  è espressa in funzione di  $x$  da una legge di proporzionalità diretta.

La relazione matematica che lega grandezze così espresse è del tipo:

$$y = ax + b \quad (10)$$

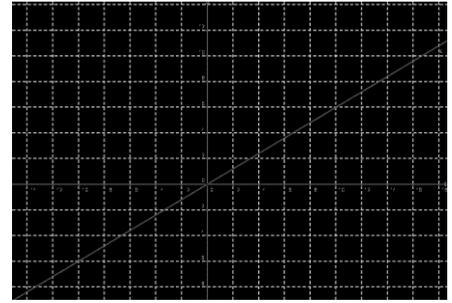
quello di fianco ne è una rappresentazione grafica

Se il rapporto tra queste due misure è costante, l'equazione con cui la si esprime è



$$y = k \cdot x \quad (11)$$

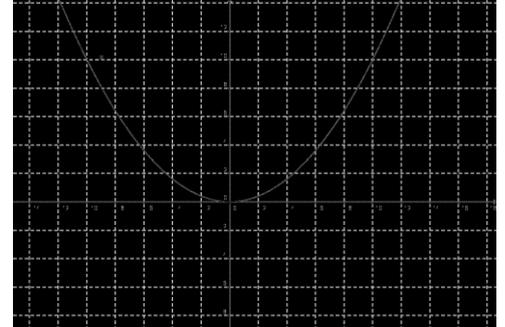
che graficamente rappresenta una retta passante per l'origine, di pendenza  $k$ .



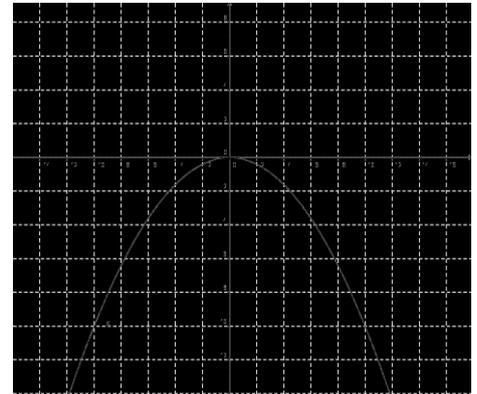
Se una grandezza la cui misura  $y$  varia al variare di un'altra grandezza di misura  $x$  in modo che  $x = 2, 3, 4, \dots$ , implica  $y = 4k, 9k, 16k, \dots$ , con  $k$  costante, diciamo che la  $y$  è espressa in funzione di  $x$  da una legge di proporzionalità diretta alla seconda potenza. Tale legge è espressa dall'equazione:

$$y = k \cdot x^2 \quad (12)$$

che graficamente rappresenta una parabola con vertice nell'origine e concavità verso l'alto, se  $k > 0$ ,



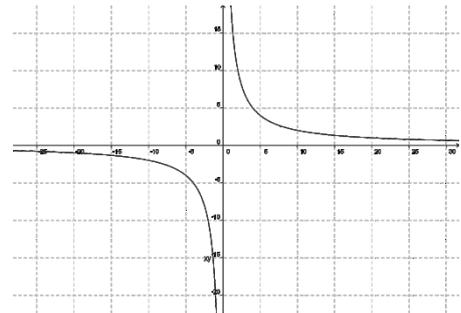
verso il basso se  $k < 0$ .



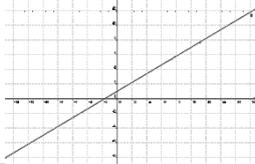
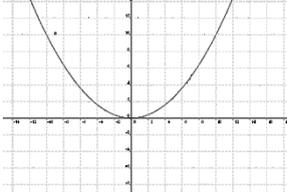
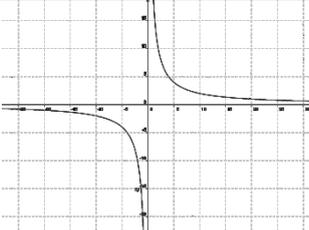
Se una grandezza la cui misura  $y$  varia al variare di un'altra grandezza di misura  $x$  in modo che il prodotto tra esse assuma sempre lo stesso valore  $k$ , diciamo che la  $y$  è espressa in funzione di  $x$  da una legge di proporzionalità inversa. L'equazione che descrive tale legge è:

$$x \cdot y = k \quad \text{ovvero} \quad y = \frac{k}{x} \quad (13)$$

che graficamente corrisponde ad un'iperbole equilatera avente per asintoti gli assi  $x$  e  $y$ .



Riassumendo le diverse situazioni che possiamo avere:

<b>Proporzionalità</b>	<b>Curva</b>	<b>Relazione</b>	<b>Grafico</b>
Lineare	Retta	$y = ax + b$	
Quadratica	Parabola	$y = k \cdot x^2$	
Inversa	Iperbole	$y = \frac{k}{x}$	

## 1.24 **Relazione di laboratorio di fisica**

Uno dei momenti strettamente legati allo svolgimento di esperienze di laboratorio, è quello in cui va redatta la **relazione di laboratorio**. Il metodo scientifico utilizzato per osservare e documentare un fenomeno fisico è alla base delle esercitazioni di laboratorio che ci si accinge a documentare.

Il metodo scientifico richiama:

la scelta delle grandezze da osservare e la loro comprensione;  
la realizzazione dell'esperimento con la scelta delle grandezze da osservare;  
l'individuazione degli strumenti di misura e le modalità di misura;  
la raccolta dei dati e la loro elaborazione necessaria a gestire le informazioni;  
la formulazione di un modello matematico e di una legge fisica  
la verifica della legge fisica e l'individuazione dei limiti di validità della stessa;  
la rappresentazione dei processi e dei fenomeni attraverso modelli.

Il carattere scientifico di una relazione di laboratorio costituirà quindi la base per eseguire l'esercitazione e documentarla in modo efficace.

### **GUIDA ALLA REDAZIONE**

I contenuti delle relazioni tecniche devono seguire la regola delle **quattro C**:

#### **CHIARI, COMPRENSIBILI, CONCISI E CORRETTI**

La relazione deve essere presentata in forma schematica, prevedendo la suddivisione del testo in sezioni o paragrafi.

Evitare affermazioni del tipo "...grande ...", "... troppo piccolo..." in quanto manca il termine di confronto.

La forma dovrebbe essere **impersonale** ad eccezione delle conclusioni (si deve preferire la forma "si è utilizzato un voltmetro per misurare la tensione tra i punti A e B" piuttosto che "abbiamo utilizzato un voltmetro per misurare la tensione tra i punti A e B").

La descrizione dovrebbe essere il più possibile **oggettiva** (i pareri personali sono da evitare e devono comparire solo nella conclusione dei risultati ottenuti).

- prima di iniziare a redigere la relazione di laboratorio è necessario:
- studiare l'esperienza avendo chiaro lo scopo;
- preparare una scaletta dettagliata delle azioni che si vogliono svolgere;
- preparare un foglio con tabelle predisposte a prendere nota dei dati rilevati durante l'esperienza di laboratorio;
- eseguire l'esperienza di laboratorio;
- scrivere una bozza della relazione e correggerla;
- scrivere la relazione e correggerla;
- completare la relazione con elaborati grafici e tabelle elaborati eventualmente con l'ausilio di software.

## Laboratorio di **FISICA** - ESPERIENZA N° .....

Cognome e Nome \_\_\_\_\_ Classe \_\_\_\_\_

Gruppo (*se si lavora in gruppo indicare il nome degli altri componenti*)

\_\_\_\_\_

Attività svolta il: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ Relazione consegnata il: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

### **RELAZIONE DI LABORATORIO**

**Titolo:** \_\_\_\_\_

#### **1) TITOLO**

Il titolo di una relazione deve indicare in modo molto sintetico, ma esauriente, (in non più di una decina di parole) l'argomento trattato.

Molto spesso la ricerca bibliografica si effettua attraverso la lettura del titolo ed è quindi importante renderlo il più significativo possibile affinché l'argomento risulti di interesse anche per i motori di ricerca.

#### **2) ELENCO STRUMENTI, APPARECCHIATURE E DISPOSITIVI**

Deve riportare il nome delle apparecchiature, dei componenti e degli strumenti utilizzati (specificare in tal caso la sensibilità, ossia la minima variazione di grandezza da esso misurabile e la portata dello strumento), anche sotto forma di tabella. Tutti i materiali richiamati dovranno essere menzionati nella descrizione della prova.

#### **3) SCHEMI**

Devono essere riportati gli schemi di montaggio, elettrici o topografici atti a rappresentare le prove con evidenziati i collegamenti e le indicazioni necessarie ad ottenere una perfetta corrispondenza tra i due schemi.

#### **4) RICHIAMI TEORICI** (Matematici e Fisici)

La descrizione del modello matematico e fisico di riferimento per la prova va esposto sinteticamente con le formule (indicate con numeri consecutivi indicati fra parentesi tonde in corrispondenza del margine destro del foglio) ed i riferimenti alle unità di misura del sistema SI. Si possono presentare anche i dati in forma grafica e/o tabellare anche per rendere possibile il confronto con un'esposizione analoga dedotta dai risultati sperimentali.

#### **5) DESCRIZIONE DELLA PROVA** (Procedura Sperimentale)

Viene presentata la ragione della prova o della ricerca e viene descritta l'esperienza svolta in laboratorio, relazionando ogni singolo passo ed analizzando e commentando i risultati ottenuti, in modo che le singole fasi siano logicamente interconnesse tra di loro.

Vengono riportati di seguito i punti da documentare:

a) **Obiettivi.** Rappresentano il motivo per cui viene effettuata la prova; per ciascun obiettivo devono essere evidenziati i passi che si vogliono effettuare o ciò che si vuole determinare.

b) **Descrizione delle apparecchiature.** Tale paragrafo riporta le modalità con le quali le apparecchiature vengono utilizzate e sono collegate tra di loro (fare riferimento ai manuali d'uso delle apparecchiature). Tale descrizione può essere riportata nel paragrafo "Descrizione delle procedure" qualora si ritenga che le apparecchiature non debbano essere descritte separatamente dallo svolgimento della prova.

c) **Descrizione delle procedure.** Tale paragrafo illustra passo-passo le modalità di svolgimento della prova. Si farà riferimento agli schemi, alle tabelle, ai diagrammi e alle figure.

d) **Analisi e sintesi dei risultati.** I risultati si riportano possibilmente in forma grafica e/o tabellare unitamente, quando possibile, ai dati teorici per poterne effettuare il confronto. Oltre alle tabelle e ai diagrammi si valuti se presentare anche delle figure. Nell'analizzare e sintetizzare i risultati attenzione va posta alle cifre significative, alle unità di misura e quando necessario utilizzare la notazione scientifica.

e) **Verifica** - La verifica è richiesta qualora si renda necessario confrontare i risultati sperimentali con i valori di specifica iniziali. In tal caso vengono riportati sia i valori di specifica iniziali sia la procedura necessaria a verificarli.

### **5.1) TABELLE**

Riportano i dati, riportati possibilmente in una tabella, oggetto delle misure effettuate evidenziando in chiaro le grandezze e relative unità di misura.

### **5.1) DIAGRAMMI**

Riportano la rappresentazione grafica quando i dati rilevati si riferiscono ad una coppia di grandezze variabili legate tra di loro. Devono essere incluse l'intestazione del diagramma, le grandezze rappresentate sugli assi e le loro unità di misura. Se necessario si possono importare fogli elettronici od immagini.

### **5.3) FIGURE**

Eventuali figure possono chiarire l'esecuzione delle prove.

## **6. CONCLUSIONI**

Le conclusioni sono importantissime per il docente, supervisore o manager che voglia comprendere l'argomento trattato ed i risultati.

Le conclusioni rispondono alle domande:

- Che cosa si conosce dopo l'esperienza o ricerca?
- Perché è stato fatto il lavoro?
- Come è stato fatto?

Devono anche fornire le conclusioni del lavoro, con eventuali risultati quantitativi.

Le conclusioni si redigono, quindi, sulla base:

- dei commenti ed osservazioni dedotti dai risultati ottenuti;
- della compatibilità dei risultati rispetto al modello teorico;
- della valutazione dello scostamento dei dati ottenuti (valori, grafici, relazioni tra grandezze, ...) rispetto alle specifiche (formule, ipotesi, grafici, ...) iniziali;
- degli aspetti innovativi emersi dalle prove.

## 1.25 Il metodo per impostare e risolvere i problemi di fisica

(non è il metodo scientifico delle sperimentazioni)

In matematica, come in fisica, è il modo di ragionare a fare la differenza. Non serve quasi a nulla imparare a memoria molte formule, è necessario conoscerne pochissime. Queste però vanno analizzate con attenzione, vanno capite. Col tempo e l'impegno si diventa in grado di ottenere tutte le altre formule senza doverle imparare a memoria. Questa capacità si acquisisce lentamente e con fatica, in compenso offre soddisfazioni e possibilità che vanno ben oltre il campo della matematica e della fisica.

Prima di affrontare un problema dobbiamo sempre chiederci che cosa stiamo facendo, quali sono i nostri strumenti. Per affrontare un problema di fisica dobbiamo quindi chiederci prima di tutto "**che cosa è la fisica?**"

E' la scienza che studia le **relazioni quantitative** tra le **grandezze naturali misurabili**.

**Come si affronta quindi un problema di fisica?**

Bisogna **identificare prima di tutto le grandezze misurabili** (quali e quante sono) e le **relazioni quantitative** fra queste grandezze.

Fatto questo si rappresenta il problema, magari suddiviso in sottoproblemi più semplici.

**Come si rappresenta un problema?**

Di solito si sceglie di fare un **grafico bidimensionale** (si utilizza il piano cartesiano). A tale scopo bisogna **identificare due variabili** (una sarà rappresentata sull'asse delle ascisse, una su quella delle ordinate). Vanno scelti **origine, direzione, verso e unità di misura**.

**Scelto il sistema di riferimento si riscrive il sistema di equazioni opportunamente semplificato**, a patto che il sistema di riferimento sia stato scelto con criterio.

**Come si risolve il problema?**

Risolviendo il sistema di equazioni.

**Quando vanno inseriti i valori numerici nelle equazioni?**

**Dopo la risoluzione algebrica**. In caso contrario si rischiano approssimazioni e la mancata possibilità di molte semplificazioni algebriche.

"Tutto qui?"

**NO, ottenuti i risultati bisogna valutare la loro ragionevolezza**, magari **confrontandoli coi risultati attesi**. Il **confronto va fatto su tre livelli**: piano **grafico**, piano **algebrico**, piano **fisico**. Il confronto deve essere almeno qualitativo e valutare **segno e ordine di grandezza!**

**Come si sceglie il sistema di riferimento?**

Non esiste una regola, esiste il buon senso, esistono delle convenzioni piuttosto furbe. Se ad esempio decidiamo di iniziare a misurare il tempo dall'inizio dell'esperimento (e non dal giorno del nostro ultimo compleanno), la variabile  $t_i$  diventa uguale a 0 e la variabile  $t_f$  può essere più semplicemente chiamata  $t$ ; decidiamo di fissare l'origine delle posizioni nel luogo in cui si trova inizialmente l'oggetto di cui studiamo il moto, la variabile  $s_i$  diventa uguale a 0 e la variabile  $s_f$  può essere più semplicemente chiamata  $s$ .

**Tra queste formule qualcuna va imparata a memoria?**

Sì e no. Facendo esercizio vi accorgete che alcuni problemi sono più frequenti di altri e quindi tenderete a ricordarne le formule risolutive per non perdervi ogni volta in una montagna di conti.

A questo punto, e soltanto a questo punto, dopo la risoluzione algebrica, noti i dati e individuate le variabili richieste, è possibile sostituire i valori (alle variabili note) e goderci i risultati.

**Analisi dimensionale**

Un aspetto cruciale durante lo svolgimento di un problema è quello legato a svolgere correttamente l'analisi dimensionale. Di cosa si tratta?

Quando abbiamo una formula, una qualsiasi, essa esprime sicuramente delle grandezze derivate da grandezze fondamentali, quindi in qualche modo risultando la combinazione algebrica di alcune di esse. Bisogna fare attenzione nei calcoli che le dimensioni delle grandezze che stiamo calcolando siano quelle giuste.

Facciamo un esempio:

Se in un problema ci chiede di trovare la forza cui è soggetto un corpo e sappiamo che il corpo ha massa  $m = 300\text{g}$  e subisce una accelerazione di  $a = 3\text{m/s}^2$ , ricordandoci che la forza si esprime in

Newton ed un Newton è pari a  $1N = \frac{1\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$

(1Kg per un metro fratto secondo quadro). Se lasciamo la massa del corpo in grammi senza portarla in Kg il risultato che verrà fuori sarà sicuramente errato.

Altra situazione

Nel calcolare lo spazio percorso da un corpo, facciamo finta di ricordare la formula in modo errato (questo può accadere soprattutto durante le verifiche scritte!) e ci ricordiamo che lo spazio percorso nel moto rettilineo uniforme vale  $s = v^2 \cdot t$  (velocità al quadrato per il tempo). Supponiamo che la velocità sia  $v = 3\text{m/s}$  ed il tempo  $t = 27\text{s}$ .

Se eseguiamo i calcoli e l'analisi dimensionale otterremo:

$s = v^2 \cdot t = (3\text{m/s})^2 \cdot 27\text{s} = \frac{9\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot 27\text{s} = 243 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$  che dimensionalmente non rappresenta certo uno spazio.

Eseguito quindi l'analisi dimensionale, in questo caso, possiamo renderci conto del fatto che la formula sicuramente era errata.

Attenzione però!!!

Se la formula che crediamo di ricordare è dimensionalmente corretta ma differisce solo per una costante siamo nei guai. Se ad esempio avessimo ricordato anziché la formula di prima quest'altra

$s = \frac{1}{2} v \cdot t$ . L'analisi dimensionale avrebbe restituito una coerenza dimensionale seppur con una formula e quindi un risultato errati!

Quindi è vero che le formule non serve impararle a memoria (facendo i problemi a casa si evitano talune disattenzioni) ma bisogna in ogni caso stare attenti durante i calcoli senza dare per scontato che le dimensioni del risultato siano quelle che ci aspettiamo.

Ricordate in particolar modo alcuni punti essenziali:

- non dovete ricordare a memoria molte equazioni risolventi,
- ricordate invece e comprendete a fondo il sistema di equazioni che modella la situazione generica,
- scegliete con intelligenza il sistema di riferimento in modo da semplificare il sistema di equazioni,
- fate un bel disegno e desumete da lì quanto più possibile (dovrete comunque giustificare tutto, ma almeno saprete cosa aspettarvi come risultato),
- scrivete o pronunciate una breve conclusione sulla ragionevolezza (o non ragionevolezza) dei risultati ottenuti; molto meglio affermare che il proprio risultato non è quanto ci si aspettava che fare finta di niente e dare l'idea di non aver capito nulla

## 1.26 Riassumendo e glossario dei termini incontrati

Abbiamo introdotto lo studio della **Fisica**, chiarendo che la stessa si occupa dei fenomeni naturali sotto l'aspetto della quiete, dei moti, delle forze, degli aspetti termici ed elettromagnetici.

Si può parlare della Fisica come una scienza, da Galileo che introdusse il **metodo scientifico**, che consiste nello studiare i fenomeni fisici seguendo un ordine ben preciso: Osservazione, Ipotesi, Esperimento di verifica, analisi dei risultati che se confermati portano alla legge.

Per studiare quindi un qualunque fenomeno abbiamo bisogno di capire quali sono le **grandezze** in gioco, tra quelle **fondamentali** e quelle **derivate**.

Abbiamo introdotto il concetto di **densità di massa**, che quantifica in qualche modo la quantità di materia che è presente in un corpo.

Per studiare il fenomeno non solo sotto l'aspetto qualitativo ma anche sotto quello quantitativo è necessario eseguire delle **misure**, attraverso degli **strumenti di misura**. Ma è necessario fare attenzione perché ogni misurazione nasconde un errore, piccolo o grande che sia. Tocca a noi decidere gli strumenti giusti, ma anche evitare **errori casuali** o **sistematici**, che in qualche modo inficerebbero sui risultati attesi. La necessità quindi di utilizzare strumenti più **sensibili**, laddove è richiesta una

maggiore **precisione**, con un adeguata **portata**.

L'**errore** può essere **assoluto**, cioè esattamente quant'è l'errore commesso, oppure **relativo**, che in qualche modo contestualizza l'errore dicendoci se esso è accettabile o meno.

Avendo a che fare con numeri, si rende necessario stabilire dei **criteri di arrotondamento** laddove il numero abbia diverse cifre decimali ed anche introdurre una unica rappresentazione degli stessi, in modo da uniformare i risultati, ovvero con l'uso della **notazione scientifica**.

Quegli stessi dati è opportuno, dopo averli raccolti, **rappresentarli** in modo opportuno ad esempio utilizzando la forma **tabulare** o quella **grafica**, a seconda se si voglia osservare l'aspetto quantitativo o quello qualitativo.

Proprio con i grafici, è stato opportuno richiamare alcuni concetti riguardo i grafici più noti, tra cui le **rette**, le **parabole** e le **iperboli**, corrispondenti ciascuno ad un tipo di **proporzionalità**. Infine, in questo capitolo, abbiamo voluto chiarire alcuni aspetti importanti su come si debba redigere una **relazione** riguardante una esperienza **di laboratorio** e su come vadano **affrontati i problemi di fisica**, onde evitare che seppur a conoscenza della parte teorica si trovi difficoltà a gestire il problema in tutti i suoi aspetti.

### 1.27 Problemi proposti

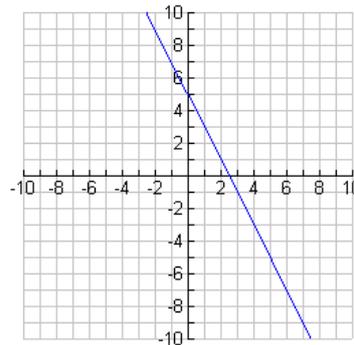
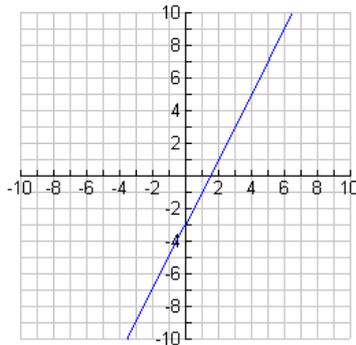
#### La rappresentazione dei dati

- 1) Rappresenta sul piano cartesiano il grafico delle seguenti funzioni lineari:  $2x - y = 0$ ;  $x - \frac{3}{2}y = 0$   
e  $-x + 2y = 0$

- 2) La seguente tabella fornisce alcuni punti del piano: come è possibile dire se stanno o non stanno su una retta? La dipendenza tra  $x$  ed  $y$  è lineare?

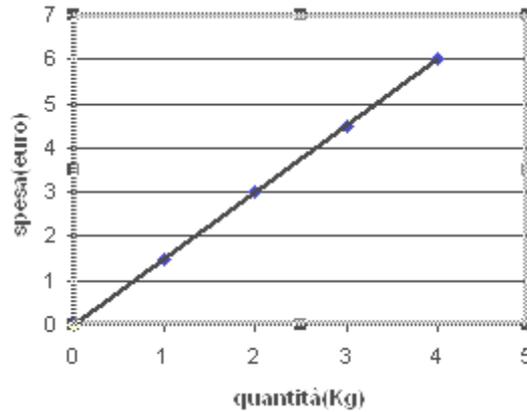
$x$	$y$
-2	5
-1	7
0	9
1	11
2	13
3	15
4	17

- 3) Determina la formula della funzione lineare il cui grafico passi per coppia di punti:  $A(3; -1/3)$ ,  $B(2; -3)$   
4) Determina la formula della funzione lineare che rappresenta i seguenti grafici



- 5) Disegna le rette  $y = 3$ ;  $y = 0$ ; ed  $x = 5$   
6) Spiega il significato di proporzionalità diretta alla prima potenza (o **dipendenza lineare** o **correlazione lineare**) tra due grandezze. Fai due esempi facendo riferimento a grandezze fisiche di uso corrente.  
7) Osservando questo grafico completa la seguente tabella

Quantità (Kg)				
Spesa (euro)				



Indicando con  $s$  la spesa e con  $q$  la quantità, scrivi la relazione (formula) matematica considerando la spesa come variabile dipendente. Indica il tipo di proporzionalità, spiegando il ragionamento che hai fatto per rispondere.

Indica il tipo di proporzionalità, spiegando il ragionamento che hai fatto per rispondere.

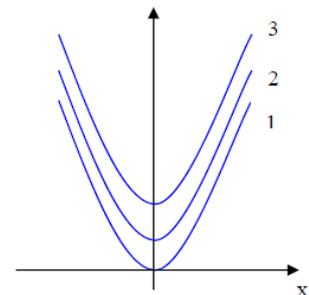
8) Rappresenta sul piano cartesiano il grafico della seguente funzione lineare:  $3x - y = 0$

9) La seguente tabella fornisce alcuni punti del piano: disegna la curva che li unisce? La dipendenza tra  $x$  ed  $y$  è lineare di primo grado? La proporzionalità tra  $x$  ed  $y$  è diretta alla seconda potenza (**proporzionalità quadratica**)? Qual è la relazione matematica tra  $x$  ed  $y$ ?

$x$	$y$
-2	5
-1	2
0	1
1	2
2	5
3	10
4	.....

10) La relazione  $y = k \cdot x^2$  è come quella che c'è tra l'area del cerchio ed il suo raggio? Sul piano cartesiano l'area in funzione del raggio risulterà una funzione quadratica?

11) In riferimento ai grafici riportati in figura, quali sono le tue considerazioni? Se per il grafico della curva 1, la relazione matematica è  $y = 3 \cdot x^2$ , quale potrebbe essere la relazione matematica dei grafici 2 e 3?



12) Dati i valori riportati in tabella disegna la curva che esprime la velocità in funzione del tempo. Puoi fare qualche ulteriore considerazione?

Tempo (s)	Accelerazione ( $m/s^2$ )	Velocità ( $m/s$ )
1	2	1
2	2	4
3	2	9
4	2	16

### Notazioni – Multipli - Sottomultipli

- 13) La frase “30 minuti equivale a 0,30 ore” è una frase errata? Perché?
- 14) Conta 1 euro al giorno. Quanti giorni occorrono per contare 1 milione di euro?
- 15) Scrivi in notazione scientifica i seguenti numeri: 0,000024; 86400; 1; 0,00000000001; 134.545,33
- 16) Stima la tua età in secondi ed esprimi il risultato in notazione scientifica.
- 17) Stima il tuo peso in grammi ed esprimi il risultato in notazione scientifica.
- 18) Un  $\text{cm}^2$  di un circuito integrato contiene 1 milione di transistor. Qual è la superficie occupata da ogni singolo transistor?
- 19) Quali delle seguenti relazioni è corretta?  
 $1 \text{ g/cm}^3 \Leftrightarrow 1000 \text{ kg/m}^3$     $10^{-3} \text{ kg/m}^3$     $10 \text{ kg/m}^3$   
 $1 \text{ kg/m}^3 \Leftrightarrow 10 \text{ g/cm}^3$     $10^{-3} \text{ g/cm}^3$     $1000 \text{ g/cm}^3$
- 20) Nei tessuti dei pesci del mare Adriatico sono state trovate tracce di Hg nelle proporzioni di 4 parti/milione. Quindi in 1 kg di carne sono presenti:  
 4mg    4 g    4 ng    4  $\mu\text{g}$
- 21) La velocità della luce è circa  $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ . Nel Sistema Internazionale si può esprimere, usando multipli e sottomultipli delle unità fondamentali come:  
 30 cm/ns    0,3 cm/ns    30 m/ $\mu\text{s}$     3 m/ $\mu\text{s}$
- 22) Un virus è lungo circa  $10^{-8} \text{ m}$ . Tale lunghezza può esprimersi come:  
 1 mm    1  $\mu\text{m}$     10 nm    10  $\mu\text{m}$   
 ricordando che il simbolo  $n$ , sta per *nano*.
- 23) Vi sono circa  $7,5 \cdot 10^{12}$  cellule nell'organismo umano ed il diametro medio di ciascuna cellula è circa 10  $\mu\text{m}$ . Quanto sarebbe lunga la catena formata dalle cellule disposte in linea l'una accanto all'altra?  
  $75 \cdot 10^6 \text{ km}$      $75 \cdot 10^6 \text{ m}$      $7,5 \cdot 10^6 \text{ m}$      $0,75 \cdot 10^6 \text{ km}$
- 24) Lo spessore di un foglio di carta misura 80  $\mu\text{m}$ . Quanti fogli bisogna appoggiare l'uno sopra l'altro per ottenere uno spessore complessivo di 2,20 cm.?
- 25) Fai uso delle notazioni esponenziali per completare le equivalenze (es.:  $1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$ )  
 $1 \text{ m} = \dots\dots\dots \text{ mm}$     $1 \text{ m} = \dots\dots\dots \text{ mm}^2$     $1 \text{ m} = \dots\dots\dots \text{ mm}^3$   
 $1 \text{ cm} = \dots\dots\dots \text{ m}$     $1 \text{ cm}^2 = \dots\dots\dots \text{ m}^2$     $1 \text{ cm}^3 = \dots\dots\dots \text{ m}^3$   
 $1 \text{ mm} = \dots\dots\dots \text{ m}$     $1 \text{ mm}^2 = \dots\dots\dots \text{ m}^2$     $1 \text{ mm}^3 = \dots\dots\dots \text{ m}^3$   
 $1 \text{ m} = \dots\dots\dots \text{ cm}$     $1 \text{ m}^2 = \dots\dots\dots \text{ cm}^2$     $1 \text{ m}^3 = \dots\dots\dots \text{ cm}^3$

## Grandezze omogenee – Arrotondamenti - Cifre significative

26) Indica quali sono le operazioni permesse e calcola il risultato.

$$0,2 \text{ dL} + 1,4 \text{ dL} = \dots\dots\dots 0,4 \text{ kg} + 700 \text{ g} = \dots\dots\dots$$

$$21,2 \text{ m}^3 : 7,2 \text{ m}^2 = \dots\dots\dots 23 \text{ m} : 0,45 \text{ s} = \dots\dots\dots$$

$$12,4 \text{ kg} + 76,1 \text{ m}^3 = \dots\dots\dots 500 \text{ kg} : 0,5 \text{ m}^3 = \dots\dots\dots$$

27) Arrotonda alla seconda cifra decimale i seguenti numeri

$$1,899 \dots\dots\dots 120,034 \dots\dots\dots$$

$$8,765 \dots\dots\dots 0,999 \dots\dots\dots$$

29) Stabilisci il numero di cifre significative dei seguenti numeri

$$580,12 \dots\dots\dots 0,037 \dots\dots\dots 10,0220 \dots\dots\dots$$

$$5,76 \dots\dots\dots 1,040 \dots\dots\dots 1,04 \dots\dots\dots$$

30) Associa al valore di ogni grandezza lo strumento con cui è stata misurata e di cui è riportata la sensibilità

valore grandezza	sensibilità strumento di misura
3,44 m	1 $\mu\text{m}$
0,34 mm	1 cm
5,977 mm	0,01mm

31) La misurazione del volume e della massa di un oggetto ha fornito rispettivamente i valori  $V = 2,40 \text{ cm}^3$  e  $m = 7,5 \text{ g}$ . L'oggetto ha una densità pari a:

$$\square 3,125 \text{ g/cm}^3 \quad \square 3,13 \text{ g/cm}^3 \quad \square 3,1 \text{ g/cm}^3 \quad \square 3,2 \text{ g/cm}^3$$

32) Fra le seguenti misure, quali sono state scritte correttamente?

$$\square l = 32 \text{ g} \pm 1 \text{ g} \quad \square t = 80 \text{ s} \pm 0,1 \text{ s} \quad \square c = 80^\circ \text{C} \pm 1^\circ \text{C}$$

33) Adottando per la somma e la differenza il criterio di arrotondare in modo che il risultato abbia un numero di cifre decimali pari al numero (*addendo, minuendo, sottraendo*) che ne ha di meno, calcola:

$$0.1435 + 1.27 + 3.3 + 2.7122 = \dots\dots\dots$$

34) Sommare le seguenti lunghezze:  $l_1 = 2,844 \text{ cm}$  e  $l_2 = 1,12 \text{ cm}$

35) In un'operazione di moltiplicazione, divisione, o elevazione a potenza ed estrazione di radice si deve mantenere lo stesso numero di cifre significative di quante sono contenute nella quantità che ha la minor precisione di quelle tra cui si opera. Calcola:

$$1,348 \cdot 2,02 \cdot 0,3531 = \dots\dots\dots$$

36) Calcolare la velocità di un carrello che percorre 0,75 m in 2,42 secondi

37) Calcolare l'area di un rettangolo di lati  $l_1 = 7,58 \text{ cm}$  e  $l_2 = 12,65 \text{ cm}$

38) Dire a quanti chilogrammi corrispondono 540 grammi

## Valore Medio – Errori – Propagazione degli errori

39) Calcolare l'errore % delle seguenti misure:  $(3.1 \pm 0.2)$  m  $(6 \pm 0.4)$  s

40) Prendiamo in considerazione le seguenti due misure:

lunghezza di una strada:  $L_s = (35,42 \pm 0,01)$  Km

spessore di una moneta:  $S_m = (0,2 \pm 0,1)$  cm

Quale risulta la più accurata?

41) Metti in ordine le seguenti misure di lunghezze dalla più precisa alla meno precisa.

- a.  $(1,345 \pm 0,120)$  m      b.  $(984 \pm 2)$  km  
 c.  $(0,027 \pm 0,003)$  cm      d.  $(8900 \pm 10)$ mm

42) La resistenza di un conduttore (l'unità di misura è l'  $\Omega$  e si legge ohm) misurata da tre studenti ha dato i seguenti risultati:  $17,10 \Omega$ ,  $16,99 \Omega$  e  $17,08 \Omega$ . Calcola la migliore stima per l'esito della misura (*valore medio*) e l'errore assoluto della misura effettuata dagli studenti.

43) Data la serie di misure 6,20; 6,22; 5,98; 6,20; 6,20, in metri, il risultato corretto della misura è:

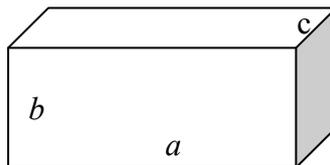
- $(6,16 \pm 0,02)$  m      $(6,16 \pm 0,01)$  m      $(6,16 \pm 0,12)$  m

44) Nove misure diverse della larghezza della cattedra forniscono la seguente serie di risultati: 1.21m, 1.23m, 1.20m, 1.20m, 1.19m, 1.24m, 1.22m, 1.21m, 1.21m. Si determinino il valore medio, l'errore assoluto, l'errore relativo e si riporti il risultato della misura con il corretto numero di cifre significative.

45) Si supponga che una misura, dei lati, di un banco fornisca i seguenti valori: **lato a** =  $(75,0 \pm 0,1)$  cm e **lato b** =  $(50,6 \pm 0,1)$  cm. Calcola il perimetro e l'area del banco.

46) Supponiamo di aver effettuato le misure di due pesi e di aver ottenuto come risultato  $p_1 = (21.3 \pm 0.4)$  g e  $p_2 = (19.61 \pm 0.06)$  g. Usando le regole di propagazione degli errori si calcolino  $p_1 + p_2$ ,  $p_1 - p_2$ ,  $p_1 \cdot p_2$ ,  $p_1 : p_2$ , con il corretto numero di cifre significative.

47) Siano dati i lati di un parallelepipedo,  $a = (28,9 \pm 0,1)$  cm,  $b = (14,5 \pm 0,1)$  cm,  $c = (9,0 \pm 0,1)$  cm. Valutare il volume ed il suo errore assoluto.



### 1.28 In laboratorio

#### Misure dirette ed indirette

- 1) Misurare l'altezza della nostra scuola senza poter effettuare misure dirette della stessa.

#### Proporzionalità diretta

- 2) Verifica della proporzionalità diretta tra il volume e l'altezza di una colonna d'acqua, utilizzando acqua ed un cilindro graduato;

#### Densità e massa

- 3) Individuare la densità di un corpo, noti massa e volume;

### 1.29 **Approfondimento: Galileo Galilei**

« La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua, e conoscer i caratteri, ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto. »

(Galileo Galilei, *Il Saggiatore*, Cap. VI)

Galileo Galilei, ritratto di Justus Sustermans

**Galileo Galilei** (Pisa, 15 febbraio 1564) è stato un fisico, filosofo, astronomo e matematico italiano, considerato il padre della scienza moderna.

Il suo nome è associato ad importanti contributi in dinamica e in astronomia - fra cui il perfezionamento del telescopio, che gli permise importanti osservazioni astronomiche - e all'introduzione del metodo scientifico (detto spesso *metodo galileiano* o *metodo scientifico sperimentale*). Di primaria importanza furono il suo ruolo nella rivoluzione astronomica e il suo sostegno al sistema eliocentrico e alla teoria copernicana.

Sospettato di eresia e accusato di voler sovvertire la filosofia naturale aristotelica e le Sacre Scritture, Galileo fu processato e condannato dal Sant'Uffizio, nonché costretto, il 22 giugno 1633, all'abiura delle sue concezioni astronomiche e al confino nella propria villa di Arcetri. Questo processo è stato annullato 359 anni dopo, il 31 ottobre 1992, dal cardinale Poupard che scrive che la condanna del 1633 fu ingiusta e arretrata, per un'indebita commistione di teologia e cosmologia pseudo-scientifica e da Papa Giovanni Paolo II, nel suo discorso ai partecipanti alla sessione plenaria della Pontificia Accademia delle scienze.

La fondamentale importanza che la figura di Galileo riveste riguarda il suo ruolo nel recupero del **metodo scientifico** sviluppato in epoca ellenistica e successivamente quasi dimenticato, grazie al suo attento studio di alcune opere scientifiche, in particolare quelle di Archimede.

La sua importanza per la rinascita della scienza in generale e della fisica in particolare è riferibile alle scoperte che fece per mezzo di esperimenti, quali, ad esempio, il principio di relatività, la scoperta delle quattro lune principali di Giove, dette appunto satelliti galileiani (Io, Europa, Ganimede e Callisto), il principio di inerzia e che la velocità di caduta dei gravi è la stessa per tutti i corpi, indipendentemente dalla massa o dal materiale.

Galileo si interessò inoltre del problema della misura della velocità della luce: egli intuì infatti che questa non poteva essere infinita, ma i suoi tentativi per misurarla furono infruttuosi.

