Cristina Caligaris
Andrea Guarise
Marco W. Bassignana

AULA DI

# FISICA

Osservare, sperimentare
e comprendere


App HOEPLI LINK
REALTÀ AUMENTATA

Edizione **OPENSCHOOL**

| | |
|---|---|
| 1 | **LIBRO**DITESTO |
| 2 | **E-BOOK+** |
| 3 | RISORSE**ONLINE** |
| 4 | **PIATTAFORMA** |

HOEPLI

AULA DI FISICA

Cristina Caligaris
Andrea Guarise
Marco W. Bassignana

# AULA DI FISICA

## Osservare, sperimentare e comprendere

EDITORE ULRICO HOEPLI MILANO

Via Hoepli 5, 20121 Milano (Italy)
tel. +39 02 864871 – fax +39 02 8052886
e-mail hoepli@hoepli.it

**www.hoepli.it**

LIBRO
DIGITALE

# Presentazione

## La struttura del testo

Il testo ***Aula di Fisica***, oltre a rispondere ai programmi e alle direttive formative ministeriali, è stato concepito allo scopo di attribuire un ruolo formativo preponderante all'attività sperimentale, utilizzando materiale di facile reperibilità, in grado di evidenziare concretamente i fenomeni fisici, a cui segue una fase di ragionamento e discussione volta a pervenire alla formulazione di leggi, principi e formule.

Ben comprendendo che i limiti di tempo possono imporre al Docente di dover eseguire solo una parte delle esperienze proposte, il testo rimane sempre fruibile anche nel caso in cui si optasse per trattare gli argomenti senza l'esecuzione pratica dell'esperimento proposto, il cui svolgimento, i risultati e le conseguenze logiche sono sempre esposti per intero e in modo esaustivo. Questo permette di alternare fasi di didattica sperimentale e di didattica frontale senza penalizzare la fluidità e la completezza della trattazione.

La sezione *Proviamoci insieme* comprende esercizi svolti nell'ottica di accompagnare lo studente nell'applicazione di quanto appena studiato. Gli esercizi, più che al calcolo, sono finalizzati alla comprensione del concetto e alla sua applicabilità nella vita di tutti i giorni. Il testo infatti si prefigge di superare i limiti dovuti alla mancanza di conoscenze matematiche formalizzate.

L'opera è suddivisa in **moduli**, a loro volta strutturati in **unità didattiche** indipendenti, che rendono possibile l'adozione di percorsi formativi differenziati e adattabili alle necessità delle singole classi e delle specifiche realtà territoriali.

| | |
|---|---|
| **Modulo A**<br>***Grandezze fisiche e loro misura*** | La prima unità didattica analizza le grandezze fisiche e il Sistema Internazionale; la seconda unità illustra strumenti, metodi ed errori di misura. |
| **Modulo B**<br>***Le forze*** | Nella prima unità si introducono le forze, nella seconda l'equilibrio delle forze e nella terza la pressione e l'equilibrio dei fluidi. |
| **Modulo C**<br>***Dinamica*** | Nella prima unità didattica partendo dalla Dinamica si arriva a comprendere la Cinematica; nella seconda si introduce il concetto di sistemi di riferimento e il moto circolare; nella terza si accenna alle leggi della gravitazione universale. |
| **Modulo D**<br>***Lavoro ed energia*** | Nella prima unità didattica si analizzano i concetti di lavoro, energia e potenza, mentre nella seconda si affrontano la quantità di moto e gli urti. |
| **Modulo E**<br>***Termodinamica*** | Nella prima unità didattica si formalizzano i concetti di temperatura e calore, mentre nella seconda si studiano le leggi dei gas ed i principi della Termodinamica. |
| **Modulo F**<br>***Meccanica ondulatoria e ottica*** | Nella prima unità didattica si introducono le onde e le oscillazioni, nella seconda la luce e l'ottica. |
| **Modulo G**<br>***Elettricità e magnetismo*** | Nelle tre unità si affrontano i fenomeni elettrici e i modelli atomici; il campo elettrico, la corrente elettrica e i circuiti; il campo elettrico e l'induzione elettromagnetica. |

L'**eBook+** che completa il volume può essere utilizzato su dispositivo elettronico (tablet, LIM e computer) e offre:

- domande a completamento, a scelta multipla e vero o falso interattive e autocorrettive;
- video;
- approfondimenti sulla Fisica e sui suoi protagonisti: non solo biografie ma curiosità sui principali personaggi incontrati.

**Risorse online** hoepliscuola.it

Il sito fornisce ulteriori materiali integrativi a disposizione del docente, come le mappe, le formule dirette e inverse, le rubriche *La strumentazione utile* e *Riassumendo...* e schede per le esperienze in formato .pdf e .xls.

## Realtà aumentata

App HOEPLI LINK REALTÀ AUMENTATA

Attraverso la app Hoepli Link è possibile visualizzare gli approfondimenti e i video anche in realtà aumentata.

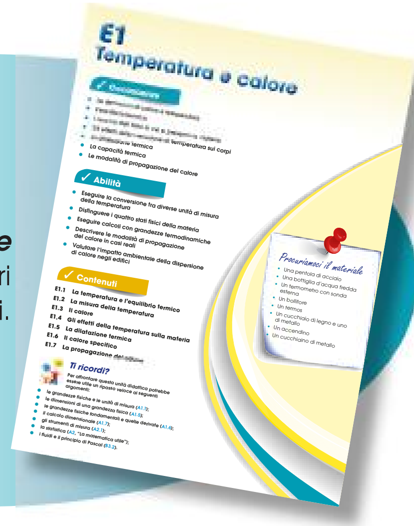
Per visualizzare i contenuti digitali in AR è sufficiente:
- scaricare la app sullo smartphone o sul tablet dagli store App Store Google play
- inquadrare le pagine del libro con la fotocamera.

Gli autori ringraziano anticipatamente quanti vorranno fare loro pervenire, attraverso l'Editore, critiche e suggerimenti atti a migliorare il testo.

Cristina Caligaris    Andrea Guarise    Marco W. Bassignana

## Il volume è suddiviso in sette moduli, strutturati in unità didattiche indipendenti, allo stesso tempo consequenziali tra loro e arricchite di uno stimolante apparato didattico.

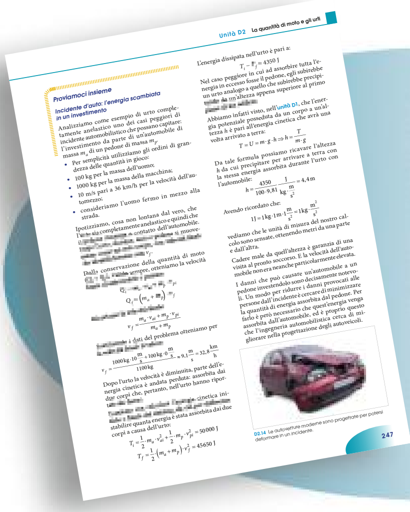

L'**apertura di modulo** riporta le competenze e le abilità che lo studente dovrà acquisire.




In **apertura di unità**, il box ***Procuriamoci il materiale*** elenca tutti gli oggetti che saranno necessari per la realizzazione degli esperimenti.

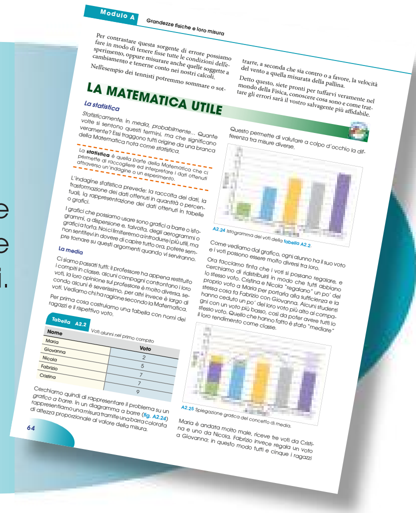

La rubrica ***Rimbocchiamoci le maniche*** racchiude l'**attività esperienziale** e contiene l'elenco di tutto il materiale necessario, la descrizione dettagliata dell'esperimento con l'analisi quantitativa o qualitativa del risultato e la formalizzazione teorica di quanto emerso dall'esperimento.

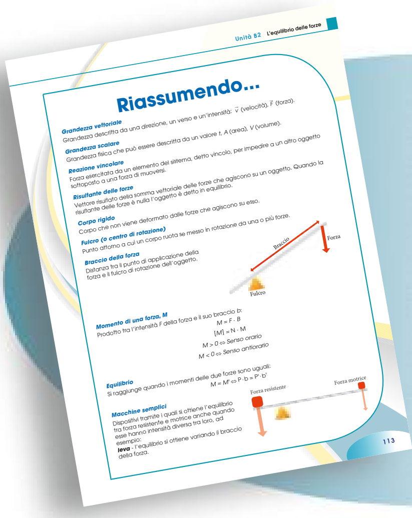

Il box ***A cosa ci serve*** presenta **le applicazioni pratiche** del concetto esposto. Nel corso della trattazione sono continui i riferimenti a fatti e curiosità realmente accaduti nella vita di tutti i giorni. Il box ***Per i più curiosi*** propone **approfondimenti**, con curiosità per collegamenti con altre materie e argomenti più complessi da sviluppare a discrezione del docente.




In ***Proviamoci insieme*** vengono presentati alcuni **esercizi svolti** con calcoli eseguiti nel dettaglio e attenzione all'uso delle unità di misura.

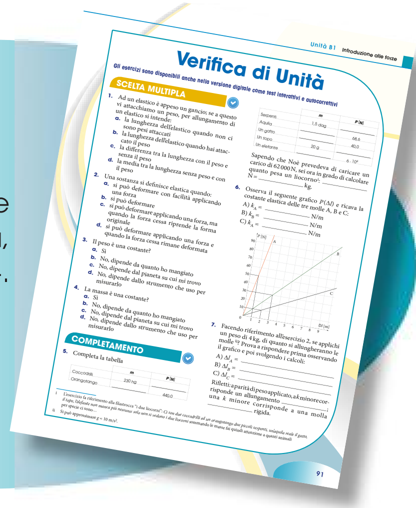
A fine unità, ***La matematica utile*** riassume
le nozioni matematiche necessarie
alla comprensione dei fenomeni fisici.

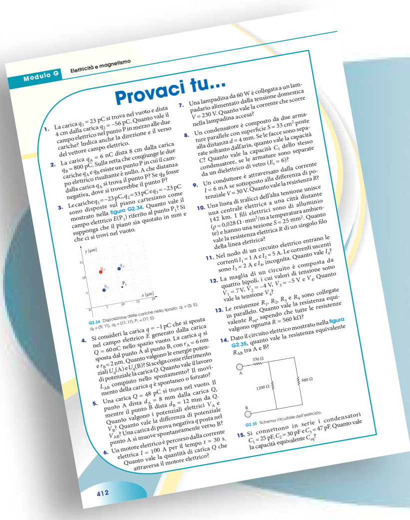



***Riassumendo*** sintetizza in modo
schematico le definizioni e le formule
più importanti.

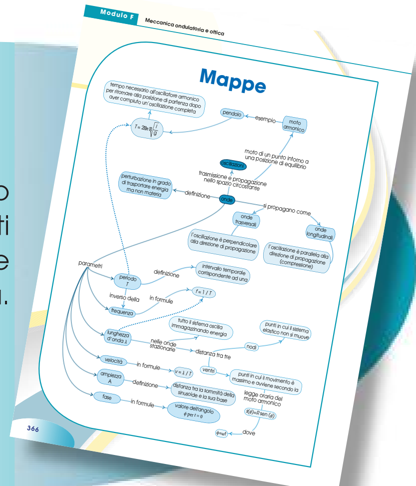
La ***Verifica di Unità*** contiene
esercizi rapidi a risposta chiusa,
interattivi all'interno dell'eBook+.




La sezione ***Provaci tu...*** propone
numerosi esercizi di fine unità,
suddivisi per argomento.

Le ***mappe di fine modulo*** riassumono
e schematizzano visivamente i contenuti
principali: sono adatte anche
alla didattica inclusiva.



# Indice

# Indice dell'Area digitale

# Introduzione

## Dai *perché* alla Fisica

L'uomo si pone continuamente delle domande, sin dai tempi più antichi. Già dai primi anni di vita, i bambini iniziano a chiedere: "*Perché*?". La curiosità di capire è una caratteristica innata nell'uomo, il perché di questo lo lasceremo alle discussioni dei filosofi, noi, in questa sede, cercheremo di rispondere a molte di queste domande.

La Fisica, che ci accingiamo a scoprire, è una disciplina scientifica che nasce dalla ricerca delle risposte ad alcune delle innumerevoli domande che ci siamo posti nel corso della Storia. In origine lo scienziato si occupava di tutti i quesiti che ci poniamo, osservando la natura che ci circonda; la sua era una figura molto diversa da quella che conosciamo oggi, poiché scienza, filosofia e religione non erano separate.

Nei secoli successivi, lo studio delle Scienze si è differenziato in molte discipline sempre più specialistiche, ciascuna volta all'analisi di alcuni fenomeni specifici, ma le domande più basilari sulla natura hanno dato origine proprio a quella che oggi chiamiamo **Fisica**, che è dunque la più anziana di tutte le Scienze. Ma quali sono queste domande a cui daremo una risposta?

Le domande che si ponevano gli uomini del passato non sono poi così diverse da quelle che incuriosiscono noi oggi.

"*Prendiamo questo libro: se lo solleviamo e lo lasciamo, cade. Perché?*
*Quando tocca il pavimento emette un rumore. Perché?*
*Più lo facciamo cadere dall'alto, maggiore sarà il rumore. Perché?*

*Ma poi cos'è il rumore?*

*Guardiamo meglio il libro: la carta è bianca, i caratteri neri, ci sono anche dei bei disegni colorati, ma cosa sono i colori?*
*Per vederli serve la luce del Sole o di una lampadina.*
*Ma cos'è il Sole? E la lampadina? E cos'è la luce?*"

Quante domande, solo osservando un semplice libro. Come trovare le risposte? E come capire se abbiamo trovato quelle giuste?

Ci è voluto un po' di tempo, anzi… tanto tempo, migliaia di anni, ma oggi possiamo rispondere a tutte queste domande.

Per secoli le risposte sono state principalmente qualitative, o hanno fatto riferimento a concetti filosofici astratti. Abbiamo dovuto attendere il XVI secolo, con Galileo Galilei, per veder nascere la scienza come la conosciamo oggi, la **scienza del misurabile**, **del ripetibile**, la **scienza del metodo scientifico**.

Il **metodo scientifico** è una particolare e ben definita metodologia operativa che gli scienziati hanno messo a punto nel corso del tempo e che sarà il più importante regalo che questo libro e questa materia faranno a chi avrà la pazienza di applicarvisi.

## A cosa ci serve la Fisica?

A nostro avviso esistono due motivi per studiare la Fisica:

- ✔ imparare le leggi che governano la Natura, o almeno quelle che conosciamo, per poterle applicare e risolvere i problemi pratici della nostra Società;
- ✔ capire il **metodo scientifico**, per poter imparare a valutare criticamente ciò che accade attorno a noi.

Ma se la prima risulta quasi scontata, la seconda è ancor più importante.

E chissà che qualcuno non decida di fare della Fisica una professione. Sì, perché la Fisica è anche una professione, quella esercitata dai fisici. Già, ma chi sono questi fisici? E cosa fanno?

## Professione Fisico

Conosciamo dunque queste persone che nella vita hanno scelto di fare della Fisica una professione. I fisici si dividono in due grandi famiglie: i fisici sperimentali e i fisici teorici.

Quando sono di fronte a un fenomeno di cui non conoscono la spiegazione, i fisici si dividono in due squadre.

I primi (fig. 1), gli **sperimentali**, iniziano a studiarlo cercando di "misurare" in qualche modo quello che succede. Torniamo all'esempio del libro: cercherebbero di capire quanto tempo ci mette il libro a cadere da diverse altezze, o quanto rumore fa cadendo (come farlo è un'altra bella domanda).

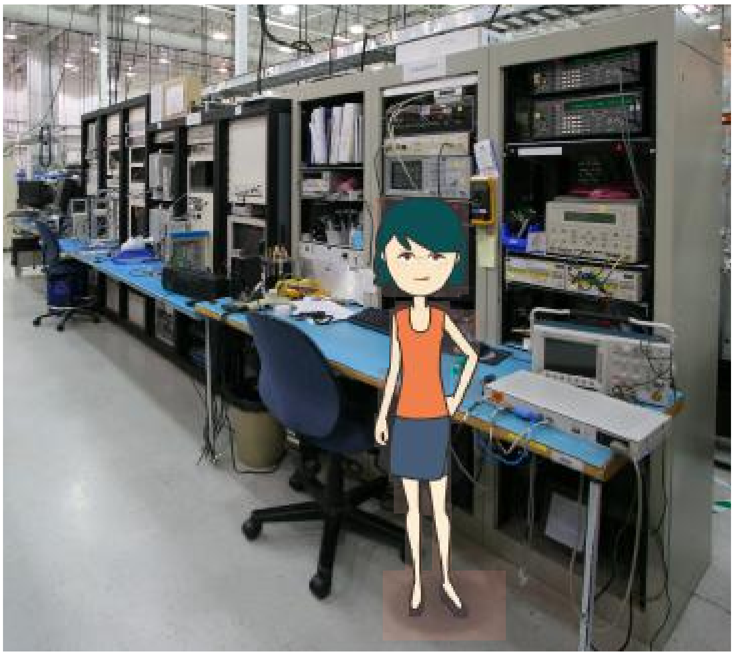


Fig. 1 *I fisici sperimentali hanno il compito di eseguire misure accurate dei fenomeni fisici.*

I secondi (fig. 2), i **teorici**, analizzano i numeri, le “misure” ottenute dai primi e cercano di ricavare delle leggi, espresse con il linguaggio della matematica, che trovino una corrispondenza con le misure di partenza e che possano prevedere il comportamento del fenomeno in casi diversi da quelli osservati dai colleghi-avversari. Cercano di ricavare ciò che si dice un “modello”.

A questo punto la prima squadra effettua nuove misure, per vedere se il modello ricavato dai teorici è giusto o sbagliato, nel qual caso il problema dovrà essere rianalizzato dalla seconda squadra… e così via, in una specie di partita a ping-pong, che si conclude quando il modello è ritenuto sufficientemente corretto ed entrambi i gruppi potranno concedersi il lusso di festeggiare, insieme, la loro conquista.

I fisici sperimentali lavorano nei laboratori, luoghi specifici che vengono attrezzati, di volta in volta, con il materiale e gli strumenti necessari per gli studi da effettuare. I laboratori possono assumere diverse dimensioni: possono essere piccoli se allestiti nelle stanze delle Università e nei centri di ricerca, oppure possono essere enormi complessi, grossi come piccole città, come ad esempio il CERN di Ginevra in Svizzera (figg. 3 e 4).

*Fig. 3* *Il globo della Scienza e dell’Innovazione, posto nei pressi dell’ingresso dei laboratori.*

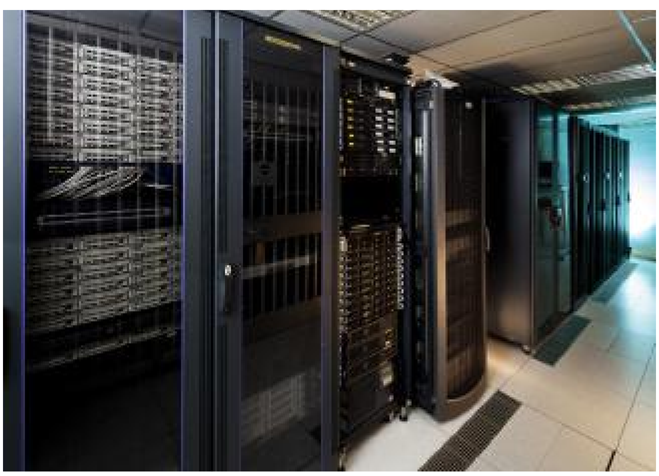


*Fig. 5* *L’uso dei computer, come quello della matematica, è all’ordine del giorno per i fisici.*

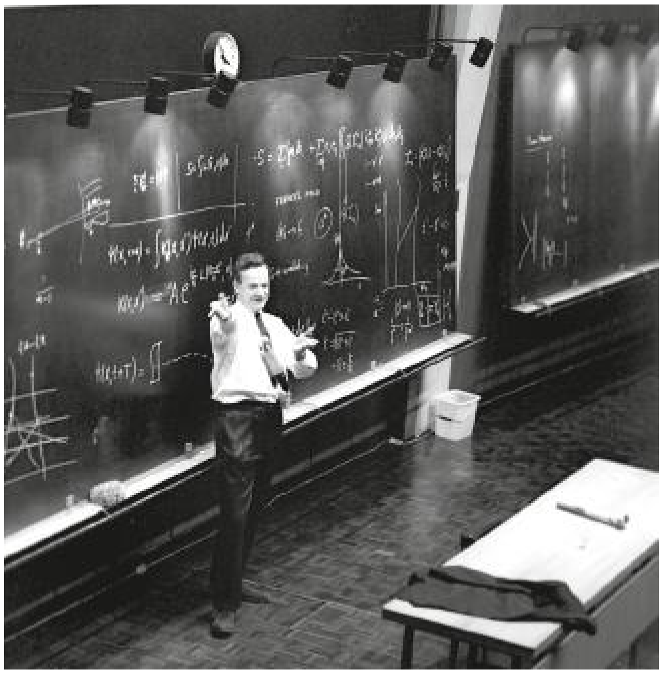


*Fig. 2* *Richard Feynman (1918-1988), uno dei più grandi fisici teorici del secolo scorso, Premio Nobel per la fisica nel 1965 per i suoi studi sull’Elettrodinamica Quantistica. (Fotografia gentilmente concessa dal CERN[i], tutti i diritti riservati).*

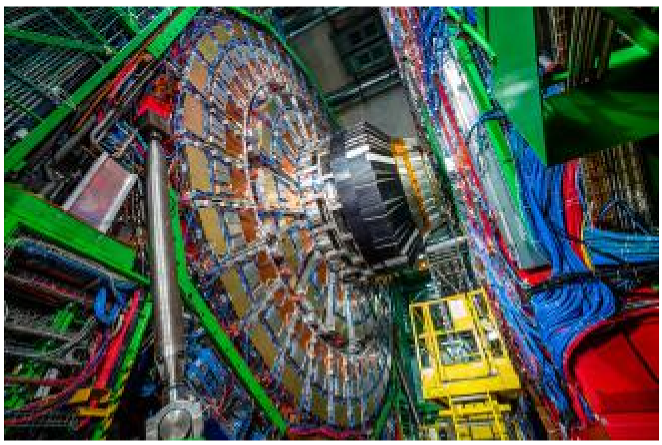


*Fig. 4* *Una parte del rilevatore dell’esperimento CMS, installato sotto terra è lungo 20 metri, alto 15 e pesa oltre 12 000 tonnellate.*

Ai fisici teorici invece bastano carta e penna per fare i conti, o più verosimilmente oggi giorno una buona padronanza del computer (fig. 5).

Anche questo strumento nasce dall’esigenza dei fisici di fare conti sempre più complessi, anzi in pratica è una loro invenzione. Esattamente come il WEB, nato proprio per aiutare i fisici a giocare la loro partita a ping-pong senza doversi sempre incontrare di persona.

Possiamo dunque iniziare il nostro viaggio in cui vestiremo i panni del fisico, a volte giocando con gli sperimentali e a volte con i teorici, per dare un po’ di risposte alle nostre domande, ben sapendo che alle domande non c’è mai fine.

Ma in fondo è proprio questa la cosa più bella della Scienza.

[i] Il CERN (Organizzazione Europea Per la Ricerca Nucleare) è uno dei principali laboratori di ricerca al mondo, specializzato nello studio delle particelle elementari, ovvero di tutto ciò che è davvero moto, molto piccolo, i mattoni stessi con cui è costruito l’Universo.

MODULO **A**

# GRANDEZZE FISICHE E LORO MISURA

**A1** Le grandezze fisiche e il Sistema Internazionale

**A2** Strumenti, metodi ed errori di misura

## ✓ Competenze

- Misurare grandezze fisiche con strumenti opportuni e fornire il risultato associando l'errore sulla misura
- Rappresentare dati e fenomeni con un linguaggio algebrico, grafico o con tabelle

## ✓ Abilità

- Eseguire una misura di lunghezza e di tempo
- Scegliere lo strumento di misura più adatto a eseguire una misura
- Eseguire semplici misure dirette e indirette
- Valutare l'incertezza strumentale e quella casuale in una misurazione
- Produrre grafici significativi per visualizzare i dati di un'esperienza

**Area Digitale**

- Approfondimenti
- Video
- Esercizi interattivi

# A1
# Le grandezze fisiche e il Sistema Internazionale

## ✓ Conoscenze

- Le grandezze fisiche e le loro dimensioni (lunghezza e tempo)
- Gli strumenti di misura e le loro caratteristiche
- Le unità di misura del Sistema Internazionale
- I multipli e i sottomultipli delle unità di misura
- I sistemi di coordinate a una, due e tre dimensioni
- La notazione scientifica e le cifre significative
- La rappresentazione grafica delle funzioni

## ✓ Abilità

- Eseguire una misura di lunghezza
- Eseguire una misura di tempo
- Rappresentare sul piano cartesiano una retta
- Risolvere problemi, anche per via grafica, che implicano l'uso di funzioni e di equazioni
- Esprimere i numeri in notazione scientifica
- Applicare le proprietà delle potenze
- Utilizzare correttamente il concetto di approssimazione

## ✓ Contenuti



### *Procuriamoci il materiale*

- Un banco
- Alcuni fogli da disegno di formato A3
- Un paio di forbici
- Una gomma
- Uno smartphone, dotato di cronometro
- Il compagno più alto della classe

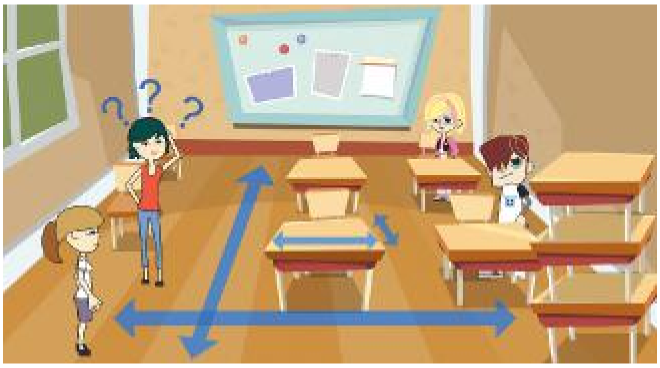
## A1.1 Introduzione alle grandezze fisiche e alle unità di misura: le lunghezze

Come avremo potuto intuire da quanto detto nell'introduzione, gran parte del lavoro dei Fisici riguarda le *misure*, ma cos'è una misura? E perché ne parliamo?

Uno dei primi problemi pratici in cui ci si imbatte nella vita è capire quanto sono grandi gli oggetti che ci circondano o quanto siano distanti tra loro. Guardiamoci attorno (fig. A1.1) e riflettiamo.

- Quanto sono larghi i banchi su cui siamo seduti?
- Quanto sono distanti tra loro?
- Quanto è grande l'aula?
- Gli stessi banchi starebbero in un'aula più piccola? E quanti ne starebbero in una più grande?

Tutte queste domande portano dunque a chiederci cosa sono e come si misurano le lunghezze.



A1.1 Quanto è grande un banco? Quanti posso metterne in un'aula?

### Le grandezze fisiche

Le *lunghezze* appartengono alla grande famiglia delle *grandezze fisiche*, essa racchiude tutto ciò che ci circonda e che possiamo misurare.

Le **grandezze fisiche** sono tutte quelle caratteristiche o proprietà delle cose che ci circondano e che siamo in grado di valutare in modo quantitativo, cioè tramite valori numerici che ne indicano una misura.

Volendo chiarire cos'è una *misura*, ci siamo imbattuti nel concetto di *grandezza fisica*, e per definire le grandezze fisiche occorre parlare di *misure*. È un po' come la vecchia storia se sia nato prima l'uovo o la gallina: come spesso succede, all'inizio di una storia c'è sempre un po' di confusione, ma tutto sarà più chiaro nelle prossime pagine.

### Le lunghezze

Tornando alla nostra *lunghezza*, ora possiamo dire che essa è una grandezza fisica che rappresenta la quantità di spazio occupato da un oggetto in una data direzione.

La **lunghezza** è la grandezza fisica che rappresenta la quantità di spazio occupato da un oggetto lungo una direzione.

Per acquisire dimestichezza con le *lunghezze*, iniziamo con il misurare la larghezza del banco, ovvero la sua dimensione lungo il lato maggiore. In Fisica, anche la larghezza appartiene alla famiglia delle *lunghezze*.

Una misura di lunghezza si effettua sempre confrontando l'estensione dell'oggetto da misurare con quella di un altro oggetto scelto come campione. Guardiamo gli oggetti che abbiamo sotto mano, sono tantissimi e, potenzialmente, tutti usabili. Dovendo pur iniziare da qualche parte, decidiamo di usare i nostri piedi, anzi le nostre scarpe.

## RIMBOCCHIAMOCI LE MANICHE

### *Quante scarpe è largo un banco?*

#### Procuriamoci il materiale

- Un paio di scarpe (anche se ce ne serve una soltanto)
- Un banco

#### All'opera!

Seguiamo l'esempio dei nostri compagni di viaggio (fig. A1.2), prendiamo una scarpa, appoggiamola sul banco per la sua lunghezza e contiamo quante volte la scarpa sta dentro al banco: otteniamo così una misura della lunghezza del banco.

A1.2 Misuriamo un banco usando una scarpa come strumento di misura.

#### Ragioniamoci su...

Misurare il banco non è poi così difficile: basta confrontare la lunghezza del banco con quella della scarpa.

Misurando poi con lo stesso metodo la larghezza dell'aula (fig. A1.3) potremmo anche stabilire quante file di banchi l'aula può contenere.

A1.3 Misuriamo la larghezza dell'aula usando la scarpa.

### E adesso come procediamo?

Questo approccio ha però dei limiti. Se riportiamo in una tabella le varie misure ottenute dai nostri compagni, espresse in "scarpe", notiamo immediatamente un paio di ostacoli:

- le scarpe non sono tutte uguali, possono essere più lunghe o più corte, quindi molte misure sono diverse;
- le scarpe non ci permettono di ottenere una *misura precisa*.

Se volessimo condividere con altre persone il risultato delle nostre misure non potremmo certo dire che il nostro banco è lungo due scarpe *e un po'*.

La prima domanda che ci verrebbe posta, infatti, sarebbe: "Scarpe di che numero?" e la seconda sarebbe: "E *un po'* quanto?".

## Le unità di misura

Il primo problema ci porta dunque a confrontarci con l'esigenza di avere un campione di misura che sia condiviso da tutti e che sia possibile comunicare ad altri senza fraintendimenti.

Si può dunque decidere di verificare quale sia la taglia delle scarpe più diffusa in classe e usare quella.

Nella nostra classe il numero di calzatura più diffuso è il 44. A questo punto dovremmo ripetere la misura dei banchi solo con scarpe numero 44, ma per non continuare a camminare scalzi e per permettere a tutti di eseguire la misura, dobbiamo inventarci qualcosa: ricaviamo uno strumento di misura basato sulla lunghezza della scarpa.

## RIMBOCCHIAMOCI LE MANICHE

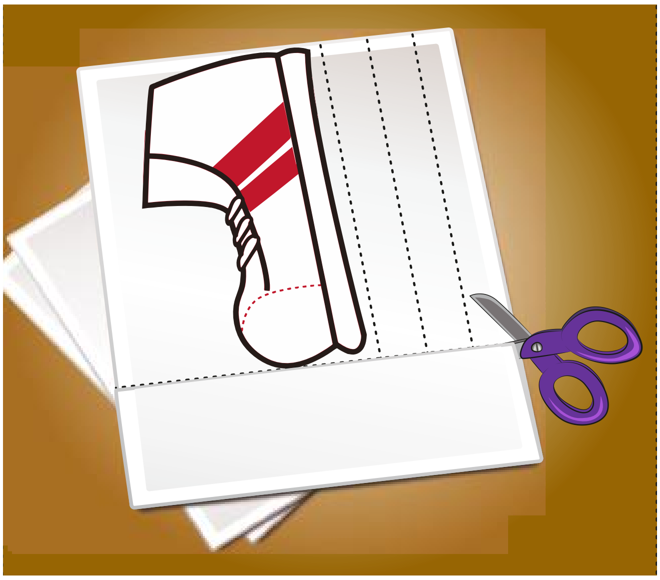
### *Costruiamo uno strumento di misura*

### Procuriamoci il materiale

- La scarpa del numero più diffuso in classe
- Alcuni fogli da disegno di formato A3
- Un paio di forbici

### All'opera!

Prendiamo un foglio di carta abbastanza grande e tagliamolo in una serie di strisce della lunghezza uguale a quella della nostra scarpa (fig. A1.4). Produciamone abbastanza per tutti i compagni.



A1.4 Ricaviamo delle strisce di carta della stessa lunghezza della scarpa.

### Cosa abbiamo imparato?

Anche se non sembra, abbiamo appena ottenuto molti risultati importantissimi. Vediamo quali.

Per cominciare abbiamo definito uno *strumento campione* con cui creare altri strumenti di misura tarati su quello campione.

Uno **strumento campione** è un oggetto, usato per misurare una data grandezza fisica, utilizzato come riferimento per tutti gli altri strumenti che assolvono allo stesso scopo. L'operazione di **taratura** è il procedimento di confronto di altri strumenti di misura con quello campione, così da poterli usare al suo posto.

Ma non è finita. Ora riponiamo in un posto sicuro, dove non si possa perdere o danneggiare, il nostro campione. D'ora in avanti per eseguire le misure useremo gli strumenti da esso derivati.

Se dovessimo perdere o danneggiare tutte le nostre strisce di carta, potremo sempre ricavarne altre dal campione originario, con buona pace del compagno che ci ha rimesso una scarpa.

Quando dovremo comunicare ad altri le nostre misure potremo dire, ad esempio, che i nostri banchi, tralasciando per il momento la parte eccedente, sono lunghi 2 *scarpe n. 44*.

Abbiamo appena definito *un'unità di misura* per le lunghezze, la *scarpa n. 44*.

Si definisce **unità di misura** una grandezza assunta come campione e termine di confronto per la misurazione di tutte le grandezze a essa confrontabili.

Se qualche altro compagno volesse eseguire delle misure di lunghezza a noi comprensibili dovrà semplicemente avere cura di effettuarle usando a sua volta la nostra stessa *unità di misura*.

D'ora in poi, tutte le volte che comunicheremo o scriveremo una misura, dovremo ricordarci che essa è *sempre* composta da due parti: un valore numerico e l'unità di misura che stiamo usando:

*Misura* = *Valore misurato* + Unità di misura

Storicamente, per la definizione delle unità di misura, le cose non sono andate molto diversamente da quanto esposto.

Ci si è accordati su un oggetto adatto per essere usato come unità di misura campione, da confrontare con l'oggetto o la quantità da misurare.

Per praticità si sono quindi fatte delle copie, dette *strumenti di misura*, tarate sul campione originale.

### E adesso come procediamo?

Rimane irrisolto un problema: il nostro strumento di misura non è completamente adatto allo scopo.

I nostri banchi, come abbiamo visto, sono un po' più lunghi di 2 scarpe n. 44, ma come ci regoliamo con la parte eccedente?

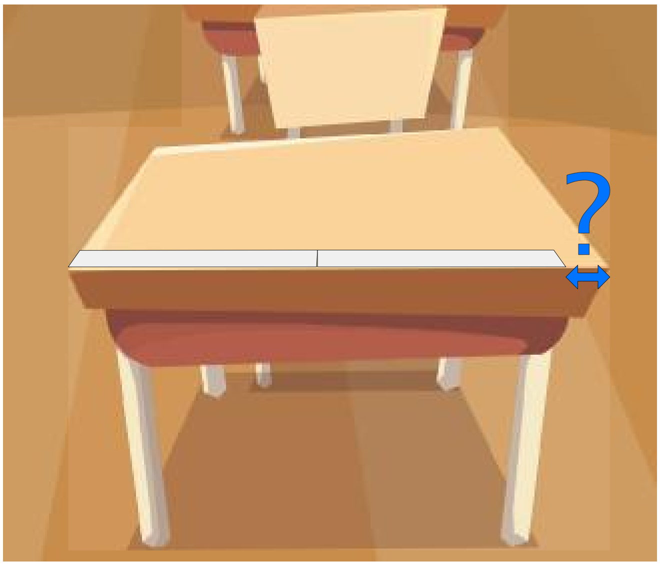
Risolveremo subito anche questo problema parlando di *sottomultipli* di un'unità di misura.

La nostra unità di misura è anche poco pratica per misurare grandi distanze, questo lo risolveremo invece con i suoi *multipli*.

## A1.2 Multipli, sottomultipli e il sistema metrico decimale

### I sottomultipli e la sensibilità di uno strumento

Misurando la lunghezza del banco, abbiamo visto un primo limite dell'unità di misura da noi definita, la *scarpa n. 44*: il banco è un po' più lungo di *due scarpe n. 44*, ma quanto più lungo non possiamo quantificarlo (fig. A1.5).




**A1.5** Misurando il banco con la striscia di carta ne avanza un pezzo, come ci regoliamo?

Ovviare a questo problema non è difficile, prendiamo la striscia di carta appena ricavata e tracciamo una linea che la divida in due parti. Tracciamo quindi altre due linee che dividano le due metà in altre due parti uguali.

Abbiamo ottenuto dei *sottomultipli* della nostra unità di misura, rispettivamente metà di una *scarpa n. 44*:

$$\frac{1}{2}\ \textit{scarpa n. 44}$$

e un quarto:

$$\frac{1}{4}\ \textit{scarpa n. 44}$$

Continuando in questo modo, possiamo ottenere ulteriori sottomultipli suddividendo il nostro strumento in modo sempre più fine: 1/8 *scarpa n. 44*, 1/16 *scarpa n. 44* e così via.

Abbiamo ottenuto uno strumento di misura più *sensibile* rispetto a quello da cui eravamo partiti.

La **sensibilità** di uno strumento è la minima variazione di una grandezza fisica che lo strumento può misurare.

Se ora proviamo a ripetere la nostra misura del banco, otteniamo che esso è lungo:

$$L_{banco\,1} = \left(2 + \frac{1}{2} + \frac{1}{8}\right) scarpe\ n.44$$

semplificando, si ottiene:

$$L_{banco\,1} = \left(2 + \frac{5}{8}\right) scarpe\ n.44$$

Come spesso capita, i banchi, anche se molto simili, non sono tutti uguali, soprattutto se andiamo a confrontare quelli di aule o scuole diverse. Supponendo che gli alunni della classe a fianco alla nostra ci portino i loro risultati, potremmo trovare che i loro banchi sono lunghi invece:

$$L_{banco\,2} = \left(2 + \frac{7}{16}\right) scarpe\ n.44$$

Qual è il più lungo? Il nostro, basta eseguire il calcolo:

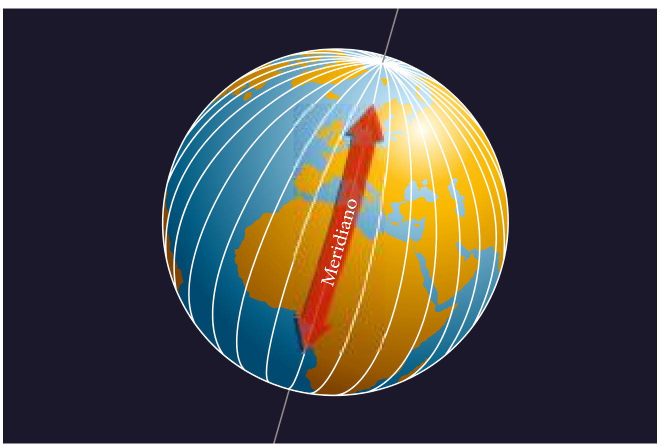
$$\begin{cases} L_{banco\,1} = \dfrac{21}{8} scarpe\ n.44 \\ L_{banco\,2} = \dfrac{39}{16} scarpe\ n.44 \end{cases} \Rightarrow \frac{21}{8} > \frac{39}{16} \Rightarrow \frac{42}{16} > \frac{39}{16}$$

a occhio, però, non è così evidente se non si è allenati con le frazioni. A questo punto ci rendiamo conto che la nostra unità di misura è certamente adatta a eseguire misure di lunghezza, ma sicuramente non è molto comoda da utilizzare, soprattutto se vogliamo eseguire dei confronti.

## Il metro e il sistema decimale

Alcune unità di misura, ancora in uso in molti paesi, hanno avuto un'origine simile a quella inventata da noi.

In Fisica e in Ingegneria si è però deciso di optare per un'unità di misura delle lunghezze più comoda e che conoscete sicuramente: il "metro", che nelle formule si indica con la lettera "m" minuscola.




A1.6 La prima definizione del metro si basava sulla suddivisione del meridiano terrestre.

Il metro venne introdotto per la prima volta in Francia nel 1791, definito come una lunghezza pari a 1/10 000 000 del quarto del meridiano terrestre passante per Parigi, una raffigurazione del meridiano in questione è visibile nella figura A1.6, per capire in dettaglio cosa sia un **meridiano** vi rimandiamo al paragrafo A1.4 ("Le coordinate geografiche").

Nel corso della storia sia la definizione teorica sia i campioni di riferimento del metro hanno subito molte variazioni, quella attuale sarà affrontata nell'unità A2, ma per gran parte della sua storia, il campione di riferimento è consistito in una barra di Platino Iridio, conservata proprio in Francia, a Parigi. Copie fedeli di riferimento vennero prodotte e conservate in altri luoghi, uno dei quali si trova in Italia a Torino.

### Multipli e sottomultipli nel sistema metrico decimale

La vera innovazione avvenuta con l'introduzione del metro, più che l'adozione di quella particolare lunghezza, fu la decisione di adottare il *sistema decimale* per la definizione di **multipli** e **sottomultipli** nelle unità di misura.

Per ottenere i *sottomultipli* che servono, anziché dividere il campione per due, come fatto da noi per semplicità, lo si divide in dieci parti, ottenendo il *deci*metro, che a sua volta si può dividere in altre dieci parti, ottenendo il *centi*metro e così via.


A1.7 Placca metrica a uso pubblico.

Come per tutti i grandi cambiamenti, anche il passaggio al sistema metrico decimale non fu indolore, in molti luoghi vennero affisse tabelle di conversione, come quella rappresentata nella **figura A1.7**, per aiutare le persone ad abituarsi alla novità.

Quando invece trattiamo lunghezze troppo grandi per essere rappresentate comodamente con il nostro campione (pensiamo alla distanza tra due città), useremo i *multipli* dell'unità di misura. Nel caso del metro, moltiplicando per dieci o per cento otterremo rispettivamente il *deca*metro e l'*etto*metro, molto poco usati nella pratica; moltiplicando per mille otterremo il *kilo*metro [km], che invece è molto usato.

La **tabella A1.1** riporta il fattore di moltiplicazione e i prefissi da applicare al nome dell'unità di misura quando utilizziamo multipli o sottomultipli.

**Tabella A1.1** Elenco dei fattori di moltiplicazione e dei prefissi da applicare al nome dell'unità di misura quando utilizziamo multipli o sottomultipli

| Fattore di moltiplicazione | Prefisso | |
|---|---|---|
| | Nome | Simbolo |
| 1 000 000 000 000 000 000 000 000 = $10^{24}$ | yotta | Y |
| 1 000 000 000 000 000 000 000 = $10^{21}$ | zetta | Z |
| 1 000 000 000 000 000 000 = $10^{18}$ | exa | E |
| 1 000 000 000 000 000 = $10^{15}$ | peta | P |
| 1 000 000 000 000 = $10^{12}$ | tera | T |
| 1 000 000 000 = $10^{9}$ | giga | G |
| 1 000 000 = $10^{6}$ | mega | M |
| 1 000 = $10^{3}$ | kilo | k |
| 100 = $10^{2}$ | etto | h |
| 10 = $10^{1}$ | deca | da |
| 1 = $10^{0}$ | | |
| 0,1 = $10^{-1}$ | deci | d |
| 0,01 = $10^{-2}$ | centi | c |
| 0,001 = $10^{-3}$ | milli | m |
| 0, 000001 = $10^{-6}$ | micro | µ |
| 0, 000 000 001 = $10^{-9}$ | nano | n |
| 0, 000 000 000 001 = $10^{-12}$ | pico | p |
| 0, 000 000 000 000 001 = $10^{-15}$ | femto | f |
| 0, 000 000 000 000 000 001 = $10^{-18}$ | atto | a |
| 0, 000 000 000 000 000 000 001 = $10^{-21}$ | zepto | z |
| 0, 000 000 000 000 000 000 000 001 = $10^{-24}$ | yocto | y |

Nella **tabella A1.1**, all'interno della colonna riportante i fattori di moltiplicazione, notiamo una convenzione molto usata: quando i numeri diventano molto grandi o molto piccoli è comodo scriverli avvalendosi della *notazione esponenziale*. In pratica, si esprimono i numeri utilizzando il loro equivalente in potenze di dieci[i].

Ad esempio per quanto riguarda la distanza media tra la Terra e il Sole, anziché scrivere che essa vale:

$$D_{Terra,Sole} = 149\,000\,000\,000 \text{ m}$$

scriveremo:

$$D_{Terra,Sole} = 149 \cdot 10^{9} \text{ m} = 1{,}49 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

che rende la scrittura più concisa. Ci renderemo inoltre conto come, una volta imparato ad usarla, i calcoli si semplifichino e rischieremo meno sbagli. Tornando alla misura del nostro banco, se ci dotiamo di un metro (qualsiasi tipo andrà bene) vedremo che esso è lungo circa 70 cm, facile da comunicare ad altri, visto che siamo tutti d'accordo su cosa sia un metro.

Confrontando i due banchi di lunghezza leggermente diversa di cui abbiamo scritto sopra otterremo:

$$L_{banco\,1} = 73{,}5 \text{ cm}$$

$$L_{banco\,2} = 68{,}25 \text{ cm}$$

Riconoscendo immediatamente il più lungo, senza nessuna fatica. Il metro è dunque un'unità di misura decisamente più adatta rispetto alla nostra e, d'ora in poi, anche noi ci adegueremo ad utilizzarla.

i Per una spiegazione dettagliata della conversione si veda la rubrica "La matematica utile" alla fine di questa unità.

## PER I PIÙ CURIOSI
### Le unità di misura Imperiali

La nostra unità di misura di fantasia, la *scarpa n. 44* e i suoi sottomultipli frazionari, non sono poi così irrealistici.

Esiste un sistema di misura per molti versi simile, le *unità imperiali*, ancora in uso in molti Paesi.

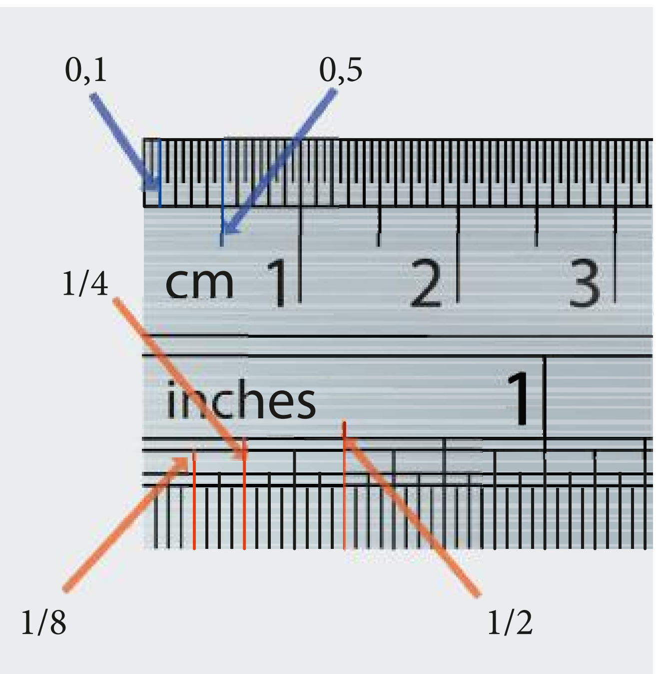
Questo sistema prende come riferimento alcune unità di lunghezza tratte dalle misure di alcune parti del corpo umano, ad esempio:

- il *pollice* (in inglese *inch*), pari a 25,4 mm;
- il *piede* (in inglese *foot*), pari 304,8 mm.

Come evidenziato nella **figura A1.8**, i sottomultipli di queste unità sono espressi come valori frazionari.

Queste unità, ufficialmente abbandonate, sono ancora in uso nei Paesi anglosassoni e non è raro nella pratica incontrale nel nostro Paese in alcuni campi, ad esempio per la misura del diametro delle tubazioni o delle dimensioni di monitor, così come per indicare le dimensioni caratteristiche di molti strumenti musicali, ad esempio il diametro dei tamburi.

La differenza più importante tra le misure imperiali e quelle metriche è la suddivisione dei sottomultipli, frazionaria nel primo caso e decimale nel secondo.




A1.8 Confronto tra centimetri e pollici.

## A1.3 La misura del tempo

Insieme alla lunghezza, esiste un'altra importante grandezza fisica con cui ci confrontiamo continuamente, qualsiasi cosa facciamo, anche quando non stiamo facendo assolutamente nulla: il **tempo**.

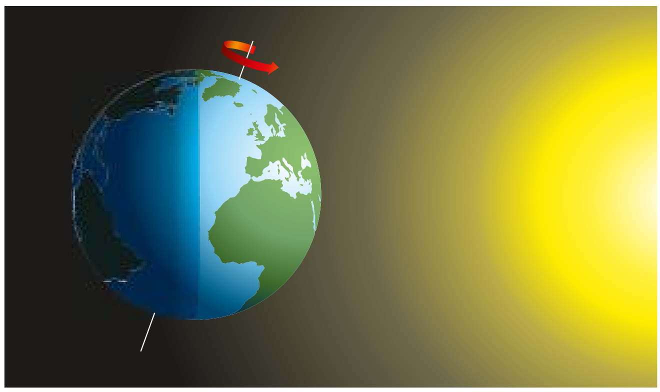
Dare una definizione del concetto di tempo non è un'impresa facile, anzi probabilmente il tempo è una di quelle cose che, sebbene ci siano chiarissime a livello intuitivo, diventano un vero rompicapo quando ci azzardiamo a cercarne una buona definizione.

Il tempo scorre, passa, continuamente. "Fugge", dicevano gli antichi.

Come abbiamo visto, *misurare*, *quantificare*, *confrontare* e *avere dei punti di riferimento* sono esigenze che gli uomini hanno sempre avuto. Questa esigenza è nata presto anche per quanto riguarda il tempo.

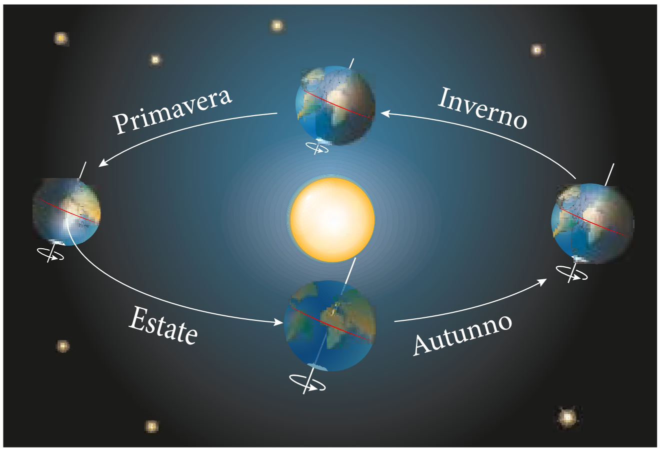
Tutte le volte che ci si accorgeva che un qualche fenomeno richiedeva per compiersi una certa quantità di tempo, sempre quella, si è iniziato ad attribuire un determinato nome a quel periodo.

La Terra ruota attorno al proprio asse, impiegando una certa quantità di tempo per effettuare una rotazione completa; l'alternarsi di periodi di illuminazione e di buio, dovuto a tale rotazione diede origine alla più naturale delle unità di misura del tempo: il **giorno**.



A1.9 L'alternarsi di periodi di illuminazione e di buio, dovuto alla rotazione terrestre attorno al proprio asse.

Abbiamo poi chiamato **anno** la quantità di tempo che la Terra impiega a compiere un giro completo (detta *orbita* in termini tecnici) attorno al Sole. L'uomo primitivo, e non solo lui, non aveva le idee molto chiare su questo *moto di rivoluzione*, ma esso era responsabile dell'alternarsi ciclico e sempre uguale delle stagioni. Poco importa cosa le causasse, l'intervallo con cui si ripetevano era sufficientemente regolare da essere un buon campione per la misura del tempo. Nella **figura A1.10** notiamo come la posizione della Terra nel suo moto di rivoluzione attorno al Sole influenzi le stagioni.




**A1.10** L'alternanza delle stagioni, dovuta alla rivoluzione del nostro pianeta attorno al Sole, diede origine al concetto di anno.

Abbiamo dunque iniziato a confrontare la durata delle nostre attività con questi fenomeni di durata nota. Se ricordiamo cosa abbiamo fatto con le lunghezze, possiamo vedere che questo è proprio definire delle unità di misura, ad esempio il *giorno* e l'*anno*, ottenute tramite dei campioni di riferimento: rispettivamente il tempo di rotazione della Terra attorno al proprio asse e il tempo di percorrenza di un'orbita attorno al Sole. Il tutto senza aver mai risposto alla domanda di partenza su cosa sia il tempo.

Non è un caso se molte delle unità di misura più antiche hanno origine nell'osservazione dei *fenomeni astronomici*, vale a dire quelli che riguardano i corpi celesti. Gli uomini, in ogni parte del globo avevano sotto gli occhi, o meglio sopra le loro teste, gli stessi fenomeni, con le stesse durate. Così, da quando si ha memoria, un giorno o un anno sono uguali per tutti. Nel corso della storia si è resa più precisa la definizione di questi intervalli, ma non ci sono stati grossi sconvolgimenti o disaccordi.

Per ottenere una granularità più fine, il giorno è stato poi diviso in 24 ore, che a loro volta sono state divise in 60 minuti ciascuna, e ogni minuto è stato diviso in 60 secondi.

Le origini storiche di queste suddivisioni sono complesse, ma vennero rispettate anche quando si decise di formalizzare l'unità di misura fondamentale della durata di un intervallo di tempo: il *secondo*, indicato nelle formule con la lettera "s" minuscola.

Un **secondo** è pari a 1/86 400 volte la durata media di un giorno solare.

Infatti, 1 ora è composta da 60 minuti, ogni minuto è composto da 60 secondi, che porta un'ora a essere composta da $60 \cdot 60$ secondi = 3600 secondi. Un giorno è composto da 24 ore, pari dunque a $24 \cdot 3600$ secondi = 86 400 secondi.

E tutt'oggi, nella pratica, almeno fino ad arrivare ai secondi, il tempo si misura con questo misto di sistema, un po' in *base* 12 e un po' in *base* 60.

Questi intervalli di tempo erano infatti troppo diffusi, radicati, e in fondo comodi, per abbandonarli e sostituirli integralmente con un sistema a base decimale come avvenne per il metro.

Quindi, anche se *ufficialmente* i multipli del secondo seguono le stesse regole che abbiamo già visto per il metro, ben raramente capiterà di trovare espresse grandezze temporali in questa forma. Difficilmente ci troveremo a confrontarci con ettosecondi [hs], kilosecondi [ks], megasecondi [Ms] o qualcuno degli altri multipli possibili del sistema decimale.

Il sistema a base decimale è invece usato sia ufficialmente, che nella pratica, per i sottomultipli del secondo: abbiamo quindi il decimo di secondo, il centesimo di secondo e così via.

La tabella A1.2 riassume i principali multipli e sottomultipli del secondo utilizzati nella pratica e in questo libro. Notiamo come il sistema decimale sia riservato ai sottomultipli del secondo mentre, per le ragioni storiche precedentemente espresse, si siano mantenute per le durate superiori le grandezze di uso comune.

**Tabella A1.2** Unità di misura del tempo nella pratica

| Denominazione | Durata in secondi e notazione esponenziale | |
|---|---|---|
| Anno | 31 556 926,08 s | $3{,}1556 \cdot 10^7$ s |
| Giorno | 86 400 s | $8{,}64 \cdot 10^4$ s |
| Ora | 3 600 s | $3{,}6 \cdot 10^3$ s |
| Minuto | 60 s | $6 \cdot 10^1$ s |
| Secondo | 1 s | $10^0$ s |
| Decimo di secondo | 0,1 s | $10^{-1}$ s |
| Centesimo di secondo | 0,01 s | $10^{-2}$ s |
| Millesimo di secondo | 0,001 s | $10^{-3}$ s |

## Come misurare il tempo

La misura del tempo ha sempre avuto molta importanza pratica per l'umanità. Un'accurata misura del tempo poteva, e in molti campi può ancora, diventare una questione di vita o di morte.

Non è un'esagerazione: sbagliare a valutare il tempo restante prima del tramonto poteva significare ritrovarsi nell'oscurità in posti pericolosi, come il pendio di una montagna. I marinai, prima dell'invenzione del GPS[ii], potevano basarsi solo sull'osservazione delle stelle per stimare la propria posizione, ma questo permetteva loro di capire solo a che latitudine si trovassero, una stima della longitudine poteva invece essere effettuata solo conoscendo esattamente quanto tempo era trascorso da quando si era lasciata la terraferma[iii].

Proprio per queste ragioni gli strumenti di misura del tempo, detti *orologi*, sono sempre stati fonte di studio e continui perfezionamenti.

I primi strumenti di misura del tempo furono le meridiane, strumenti basati sullo spostamento dell'ombra di un oggetto su una superficie causato dal moto apparente del Sole, e in una continua corsa al perfezionamento, siamo arrivati ai moderni orologi al quarzo e agli orologi atomici usati per fornire l'odierno campione di riferimento dell'unità fondamentale, il secondo.

### PER I PIÙ CURIOSI
#### Dalle meridiane all'orologio atomico

I primi orologi usati nella storia furono le *meridiane*. Una semplice meridiana si può ottenere tramite un bastone conficcato verticalmente nel terreno, o su un muro: il movimento dell'ombra del bastone scandisce il passare del tempo, permettendo di determinare l'ora del giorno tramite opportuni segni disegnati sul terreno o, più in generale, sul *quadrante* della meridiana. Esse sono note fin dall'antichità, ma hanno l'evidente svantaggio di poter essere usate solo durante il giorno e quando non ci sono nuvole. Se non sapete come sia fatta una meridiana, ne potete osservare un esempio nella figura A1.11.


**A1.11** Le meridiane sono state tra i primi strumenti utilizzati per la misura del tempo.

Successivamente ci fu l'introduzione delle *clessidre*, originariamente *ad acqua* e in seguito *a sabbia*, in cui il flusso regolare di un liquido (o di granelli di sabbia) tra due recipienti permetteva di stimare, in modo anche abbastanza preciso, il trascorrere del tempo. Come illustrato da Emma (fig. A1.12), la clessidra misura la durata di un intervallo di tempo, confrontandola con la quantità di tempo necessaria al materiale contenuto in un recipiente per travasarsi nell'altro.

**A1.12** La clessidra permette di misurare intervalli di tempo.

In epoca più recente, si iniziarono a costruire orologi meccanici, che permettevano di misurare il tempo con precisione ed essere anche trasportati a bordo delle navi, per stimare con precisione la posizione della nave in alto mare. Fu proprio questa l'applicazione pratica che maggiormente spinse a migliorare gli orologi, che passarono dai voluminosi *pendoli* ai moderni *cronografi*. Con l'introduzione della moderna elettronica, i componenti meccanici vennero sostituiti dagli *orologi al quarzo*, dispositivi basati sulla caratteristica di alcuni materiali di vibrare in modo regolare nel tempo quando sottoposti a condizioni elettriche opportune.

Il tipo di orologio di più recente introduzione è infine quello *atomico:* esso è un dispositivo molto complesso, che sfrutta le caratteristiche di vibrazione degli atomi di *Cesio*. Non è certamente un orologio comune, e il suo utilizzo è limitato a pochi laboratori come riferimento per fornire l'ora esatta. Uno di questi dispositivi, che fornisce l'ora ufficiale per l'Italia, è in funzione a Torino presso l'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRIM).

ii Global Positioning System: un sistema di satelliti che permette a dispositivi, come i nostri smartphone, di conoscere con notevole precisione la posizione sulla superficie terrestre.

iii Latitudine e longitudine verranno trattate nel paragrafo A1.4.

Il principio fisico su cui si basano questi orologi è anche alla base della moderna definizione del *secondo*:

Un **secondo** è definito come la durata di 9 192 631 770 periodi della radiazione corrispondente alla transizione tra due livelli iperfini, da (F = 4, MF = 0) a (F = 3, MF = 0), dello stato fondamentale dell'atomo di cesio – 133.

Una definizione molto complessa, la cui spiegazione va ben oltre gli obiettivi di questo testo, ma merita almeno citarla per dare l'idea di quanto impegno si è messo per definire con estrema precisione l'unità di misura del tempo.

Si può dunque affermare che l'evoluzione dell'orologio è andata di pari passo con la comprensione dei fenomeni studiati dalla fisica.

### I sistemi di numerazione in base 60 e in base 12

Il sistema di misura del tempo vanta, nella pratica, una peculiarità rispetto a quanto visto per il metro e a quanto vedremo per le altre grandezze fisiche: alcuni multipli di uso comune dell'unità fondamentale non sono espressi in base dieci: ad esempio un minuto è composto da 60 secondi e 60 minuti formano un'ora.

Le origini del sistema di numerazione in base 60, o *sessagesimale*, sono molto antiche, risalgono ai Sumeri e arrivano a noi attraverso la cultura Babilonese e quella Greca. Le motivazioni all'origine di tale modo di contare sono per lo più avvolte dal mistero, forse nacquero da ragioni astronomiche, forse da ragioni pratiche ormai sconosciute, fatto sta che tutt'oggi continuiamo a utilizzare la base 60 in molti campi, oltre che nella misura del tempo; anche le coordinate del globo terrestre e, in generale, le misure degli angoli in gradi sono espresse in base 60.

Le ragioni per cui continuiamo con questa tradizione sono squisitamente pratiche: quando dobbiamo dividere un cerchio in parti, il 60 diventa un numero comodo.

Una circonferenza è facile da dividere in 6 settori con angoli al centro di 60 gradi ciascuno, per un totale di 360 gradi. Il numero 60 poi è divisibile per 2, 3, 5, 6, 12, 15 e 30, il che lo rende molto comodo nei conti.

La misura del tempo, almeno sulla scala del giorno e dell'anno, è originata dall'osservazione di fenomeni ciclici dovuti alla rotazione della Terra sul suo asse o attorno al Sole, questo ha portato alla costruzione di quadranti circolari per gli orologi, rimane quindi naturale l'uso della base 60, adatta alle suddivisioni di una circonferenza, per questo genere di misure.

## A1.4 I sistemi di riferimento

**Lunghezze** e **tempi** sono concetti che rappresentano realtà fisiche che *vivono,* per modo di dire, attorno a noi. Abbiamo introdotto le lunghezze per misurare i banchi della nostra classe e il tempo per quantificare la durata delle nostre azioni, ad esempio quanto tempo occorre per passare dalla lezione di Fisica e quella di Italiano. Tempi e lunghezze hanno spesso utilità pratica solo quando vengono messi in relazione e rappresentati nell'ambiente che ci circonda. Per fare questo serve conoscere i cosiddetti "sistemi di riferimento".

Un **sistema di riferimento** è una rappresentazione astratta dello spazio e del tempo in cui eseguiamo le misure dei fenomeni fisici che ci interessa studiare.

### *Proviamoci insieme*

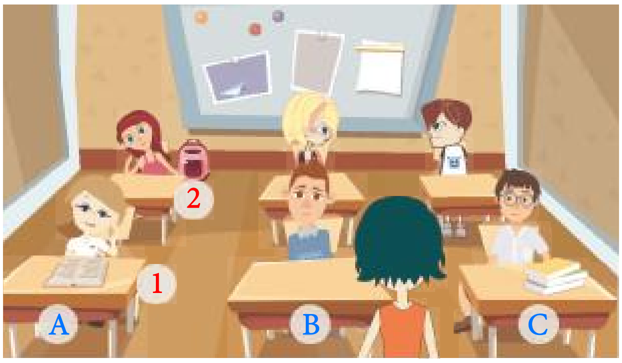
#### *Inventiamo un sistema di riferimento*

Siamo a inizio anno e, che ci crediate o no, molti docenti faticano a ricordare i nomi di tutti gli studenti. Come possiamo aiutare il professore di Fisica a chiamare uno studente per interrogarlo se non si ricorda ancora il suo nome?

C'è un modo semplice. Decidiamo che le file di banchi sono etichettate con le lettere dell'alfabeto, da sinistra a destra avremo la A, la B e così via…

Le *righe* saranno invece identificate dai numeri: 1, 2, 3 ecc…

A questo punto, ogni banco sarà identificato da una lettera e da un numero, come schematizzato nella **figura A1.13**.




**A1.13** Abbiamo definito un sistema di riferimento per identificare un banco all'interno della classe.

Al professore, basterà ora chiamare lo studente del banco C3, anche se non ricorda il suo nome. Quello che abbiamo appena fatto è stato definire un *sistema di riferimento* utile al nostro scopo.

Un sistema di riferimento simile è in uso nel *gioco degli scacchi* per identificare le caselle sulla scacchiera (**fig. A1.14**), così come nel gioco della *battaglia navale*.


**A1.14** La scacchiera del gioco degli scacchi è dotata di un sistema di riferimento.

## I sistemi di coordinate

In Fisica è importante rappresentare il problema di cui ci si sta occupando, a volte può essere divertente farlo con veri e propri disegni; ma è più corretto che i problemi vengano rappresentati su dei grafici, utilizzando gli strumenti messi a disposizione dalla matematica e dalla geometria.

In particolare, ogni qualvolta si vogliono identificare punti, rette o qualsiasi altro luogo geometrico in un grafico, diventa indispensabile dotarsi di un *sistema di coordinate*.

Si definisce **sistema di coordinate** un sistema di riferimento basato su *coordinate* che permetta di individuare la posizione di un oggetto in uno spazio.

Un sistema di coordinate è costituito dall'insieme di un punto arbitrario, detto *origine* O, e di un sistema di assi rispetto ai quali misurare gli spostamenti.

In base al numero di coordinate usate, si ottiene uno specifico sistema di riferimento, come indicato nella **tabella A1.3**.

**Tabella A1.3** Legame tra numero di coordinate utilizzate e nome del sistema di riferimento

| Numero coordinate | Nome sistema di riferimento |
|---|---|
| 1 | Unidimensionale o monodimensionale |
| 2 | Bidimensionale |
| 3 | Tridimensionale |

Esistono molti possibili sistemi di coordinate, ma noi ci limiteremo a quelli più importanti.

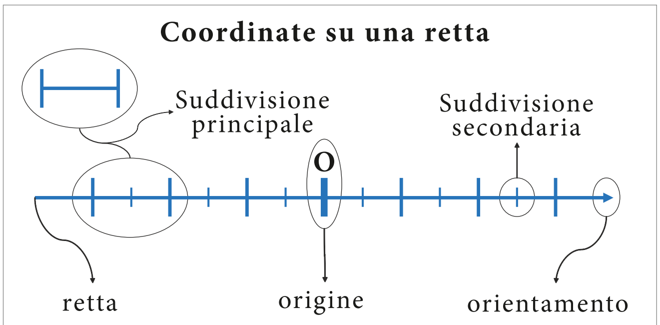
### Coordinate su una retta

Un sistema di riferimento lineare, quello che vive su una retta, è composto da una *retta orientata*, ovvero con una freccia che ne indica il verso positivo[iv], e un'*origine*, solitamente denominata O.

Dopo aver stabilito un'unità di misura, che può esser indicata vicino alla retta stessa, e la *scala di suddivisione*[v] del grafico, segniamo ogni unità della scala principale con un trattino.

È possibile fare quindi suddivisioni più fini della scala principale dividendola in due o più parti che indicheranno la scala secondaria, ovvero un *sottomultiplo* (**fig. A1.15**).

Tipicamente la **scala di suddivisione** coincide con l'*unità di misura* della grandezza che stiamo trattando, ma non è obbligatorio. Supponiamo di rappresentare le distanze espresse in km tra varie città: l'unità di misura è il km, ma potremmo decidere di mettere una tacca principale ogni 100 km e una tacca secondaria ogni 10 km.




**A1.15** Rappresentazione di un sistema di riferimento su una retta o unidimensionale.

Se identifichiamo un punto sulla retta, la **distanza del punto dall'origine** è la **coordinata del punto**.

### Proviamoci insieme

#### Punti su una retta

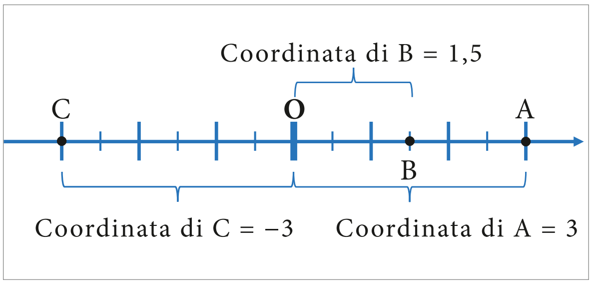
Proviamo a identificare i seguenti punti sulla retta:
$A = 3$ che leggiamo: punto A di coordinata 3; $B = 1{,}5$ e $C = -3$

iv In Fisica verso e direzione non sono sinonimi e sono concetti molto importanti che approfondiremo in seguito.

v Potrà capitare per brevità di chiamare la *scala di suddivisione* semplicemente *scala*. Dobbiamo però fare attenzione a non confonderci con il concetto di *scala di rappresentazione* di un disegno, cioè il rapporto di quanto disegnato sulla carta con le dimensioni dell'oggetto nel mondo reale.

Calcoliamo poi la distanza tra A e B e quella tra A e C.

Il problema è schematizzato nella figura A1.16.




A1.16 La distanza di un punto dall'origine ne identifica la coordinata.

I punti che si trovano nella semiretta positiva (quella con la freccia) avranno coordinate positive, mentre quelli posizionati nella semiretta negativa avranno coordinate negative.

Notiamo che mentre in Matematica le rette sono sempre parallele ai lati del foglio e orientate verso destra o verso l'alto, in Fisica questo criterio non è necessariamente vero. Capita di dover impostare un verso e una direzione in modo differente ed è opportuno non dare nulla per scontato.

Un primo vantaggio pratico di un sistema di coordinate è che possiamo calcolare agevolmente la distanza tra due punti.

La distanza tra A e B è data dalla relazione:

$$AB = A - B = 3 - 1{,}5 = 1{,}5$$

La distanza tra A e C è:

$$AC = A - C = 3 - (-3) = 3 + 3 = 6$$

Trattando problemi di Fisica, ricordiamoci che la distanza tra A e B, non è proprio uguale alla distanza tra B e A: spesso muovere Maometto o muovere la montagna fa la sua bella differenza e la distanza tra B e A sarà:

$$BA = B - A = 1{,}5 - 3 = -1{,}5$$

Uguale in valore assoluto (ovvero il valore numerico), ma di segno opposto.

Questo indica il verso del moto.

Lo sappiamo istintivamente: andare in vacanza o tornare dalla vacanza, anche se la strada è la stessa, non sono la stessa cosa.

### Coordinate cartesiane sul piano

Se i punti si trovano su un piano, quello che si è solito fare è impostare un *riferimento cartesiano ortogonale*. Una terminologia difficile per indicare una cosa molto simile a ciò che abbiamo fatto per etichettare i banchi della classe o, se siamo pratici di computer, per orientarci in un foglio “Excel”.

Analizziamo il significato delle parole: il *sistema di riferimento* sappiamo già cosa sia. Dicendo **ortogonale** indichiamo che trovandoci su un piano, per identificare la posizione di un oggetto avremo bisogno di due rette e che queste saranno tra di loro *ortogonali*, ovvero si incroceranno nell'origine, formando quattro angoli retti.

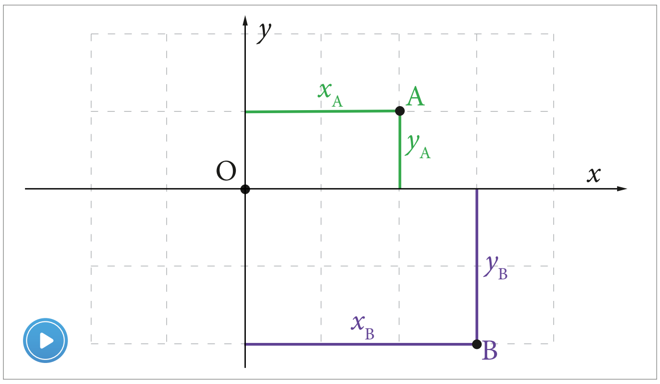
Il termine **cartesiano** infine è usato per omaggiare Renato Cartesio, che per primo lo introdusse nei suoi studi.

Ora vediamo come costruire un riferimento cartesiano: prendiamo due rette orientate, ortogonali tra loro, e posizioniamole in modo che si incontrino nell'origine O.

Siccome l'origine è sempre l'intersezione degli assi, possiamo trascurare di indicarla esplicitamente con la lettera O.

L'asse orizzontale viene detto delle *ascisse*, quello verticale delle *ordinate*.

Per un punto sul piano avremo due coordinate, la prima indica la distanza del punto dall'origine lungo l'asse delle ascisse, la seconda la distanza del punto dall'origine lungo l'asse delle ordinate.




A1.17 Le coordinate di due punti su un piano cartesiano.

#### Proviamoci insieme

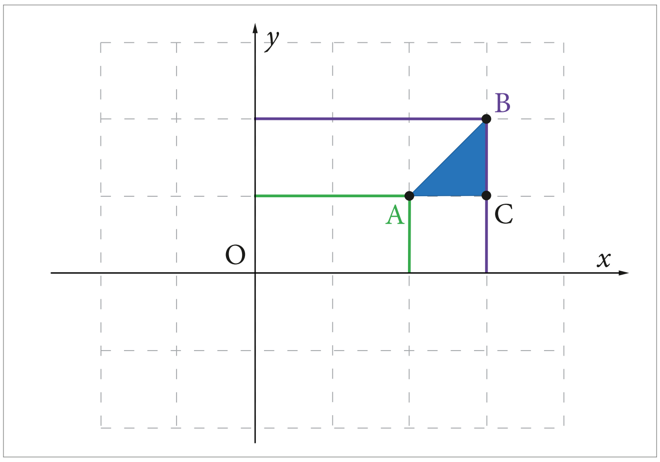
##### Punti sul piano

Identifichiamo sul piano un punto A(2;1) che si legge: punto A di coordinate 2 e 1, e un punto B(3;–2), di coordinate 3 e –2. Calcoliamone anche la distanza.

Notiamo che l'ordine con cui si indicano le coordinate è importante: il primo numero indica le ascisse, il secondo le ordinate.

In Matematica siamo abituati a indicare gli assi dicendo che $x$ è sempre la coordinata delle ascisse e $y$ quella delle ordinate, inoltre, queste due variabili indicano delle generiche grandezze, che non hanno un'unità di misura fisica, ma una generica scala di misura indicata a lato del grafico e che, per una più facile visualizzazione del problema, è uguale per entrambi gli assi. Infine, sempre in Matematica, l'asse delle ascisse ha sempre il verso positivo verso destra, mentre quello delle ordinate verso l'alto.
In Fisica, invece, gli **assi cartesiani** indicheranno delle misure di grandezze fisiche, spesso diverse tra ascisse e ordinate, per cui non è necessario che la scala e le unità di misura siano uguali per i due assi. Per lo stesso motivo, a volte, sarà più comodo scegliere come verso positivo quello diretto in basso per le ordinate piuttosto che la sinistra per le ascisse.

Sul piano, il calcolo della distanza tra due punti è meno immediato: consideriamo il triangolo rettangolo ABC e calcoliamo la lunghezza dei lati.




A1.18 Il calcolo delle distanze su un piano si riconduce al calcolo dei lati di un triangolo.

Osserviamo la figura A1.18, per il lato AC possiamo fare il ragionamento della distanza su una retta:

$$AC = x_C - x_A = 3 - 2 = 1$$

Anche per il lato CB possiamo fare analogo ragionamento, anche se lungo l'asse delle ordinate:

$$CB = y_B - y_C = 2 - 1 = 1$$

Notiamo che il lato AB corrisponde all'ipotenusa del triangolo rettangolo ABC per cui, usando il teorema di Pitagora abbiamo:

$$AB = \sqrt{AC^2 + CB^2} = \sqrt{1+1} = \sqrt{2}$$

Sostituendo le coordinate alle distanze, possiamo scrivere la formula generale:

$$AB = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}$$

Per chi provasse a fare i conti e non capisse che fine abbia fatto C:

$$AB = \sqrt{AC^2 + CB^2} = \sqrt{(x_C - x_A)^2 + (y_B - y_C)^2}$$

osserviamo il grafico e notiamo che $x_B = x_C$ e $y_A = y_C$ :

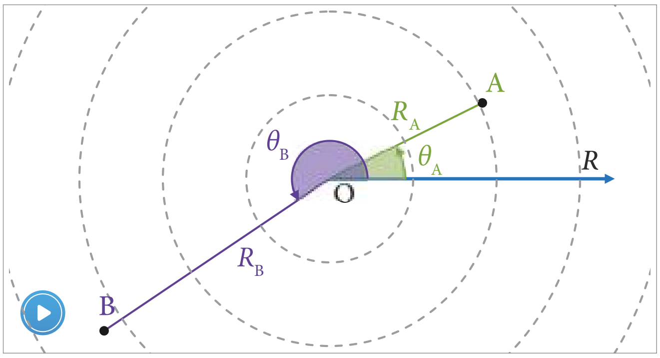
$$AB = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}$$

in cui, cosa molto comoda, non compaiono più le coordinate del punto C.

## Coordinate polari sul piano

Per identificare un punto del piano abbiamo visto che servono due coordinate, nel sistema cartesiano queste sono le ascisse e le ordinate. Anche se il più famoso, quello cartesiano non è l'unico sistema di coordinate possibile. Quando lo spazio in cui ci muoviamo è una circonferenza oppure una sfera, è più comodo usare un sistema di coordinate diverso, chiamato *polare*.

Le *coordinate polari* sono sempre un sistema di due coordinate, la posizione di un punto sarà però espressa in funzione di due coordinate diverse da $x$ e $y$, che chiameremo $R$ e $\theta$, dove quest'ultima è la lettera greca *teta* minuscola. Per meglio capire cosa rappresentano queste due nuove coordinate osserviamo la figura A1.19.




A1.19 Il sistema di coordinate polari identifica un punto tramite un angolo $\theta$ e una distanza $R$.

Le coordinate polari sono costruite usando un punto detto *polo* (corrispondente all'origine O) e un semiasse orientato (corrispondente al semiasse positivo delle ascisse).

La coordinata $R$ corrisponde alla distanza del punto dal polo, mentre $\theta$ è l'angolo che $R$ forma con il semiasse.

$R$ è un numero reale positivo; l'angolo $\theta$ può variare all'interno dell'angolo giro: $0 \le \theta < 360°$.