

# LA FISICA

Introduzione  
Metodo sperimentale  
Grandezze fisiche

# Introduzione alla Fisica (I)

Il nome Fisica deriva dalla parola greca φύσις, che vuol dire "natura" e consiste dichiaratamente nello studio della natura.

A partire all'incirca dagli anni '30 del secolo XX, in seguito alla sistemazione razionale degli studi sugli atomi, la fisica viene divisa in Fisica Classica e Fisica Moderna.

Tradizionalmente la Fisica Classica si divide in varie parti e cioè Meccanica, Acustica, Termologia, Ottica ed Elettromagnetismo (o Elettrologia) e questa divisione ha origine proprio, ad eccezione dell' Elettromagnetismo, dalle nostre sensazioni: sensazioni di movimento di suono, di luce, di calore.

La Fisica si è però molto allontanata da questo suo inizio puramente empirico e soggettivo e cerca di creare una descrizione della Natura indipendente dai limiti variabili ed estremamente vaghi delle nostre sensazioni individuali.

Per ottenere ciò la Fisica ricorre al Metodo Sperimentale: si misura tutto ciò che, secondo le nostre osservazioni, partecipa ad un fenomeno.

Si applica cioè il metodo di Galileo Galilei che fu il primo a proporlo e di fatto applicarlo in pratica.

Prima le conoscenze della Filosofia Naturale si basavano sugli assiomi aristotelici, puri assiomi mai verificati che facevano parte della Filosofia ma erano ben lontani ed in completa opposizione ad un vero studio dei fenomeni naturali. In questo senso Galileo fu il primo fisico della storia.

## Introduzione alla Fisica (II)

Le misure delle Grandezze Fisiche implicate in un fenomeno sono espresse da Numeri Reali ed intervengono come tali nei vari ragionamenti nei quali si fa uso prevalente del linguaggio matematico.

Molte parti della Matematica sono nate e sono state sviluppate per esigenze imposte dalla Fisica.

Oltre alla Fisica Classica si è sviluppata nel XX Secolo la cosiddetta Fisica Moderna che, sempre basandosi su osservazioni e misure di grandezze fisiche prevalentemente legate da un lato all'estremamente piccolo (molecole, atomi, nuclei, particelle elementari) e dall'altro all'estremamente grande e distante (astri e osservazioni astronomiche) e all'estremamente veloce (Onde Elettromagnetiche e Luce) ha descritto brillantemente tutte queste fenomenologie rispettivamente nella Teoria della Relatività (Ristretta e Generale) e nella Meccanica Quantistica.

Gli studi attuali sono rivolti ad una maggiore comprensione sia per quanto riguarda lo studio della Struttura della Materia sia per quanto riguarda lo studio delle Interazioni Fondamentali.

## Introduzione alla Fisica (III)

Come si è accennato lo studio della Fisica può essere suddiviso in sei argomenti principali:

1. *Meccanica Classica*, che studia il moto degli oggetti che sono grandi rispetto agli atomi e che si muovono a velocità molto più basse della velocità della luce;
2. *Relatività*, che è una teoria che descrive oggetti che si muovono a qualsiasi velocità, anche velocità che si avvicinano alla velocità della luce;
3. *Termodinamica*, che studia la temperatura, il calore, il lavoro, e il comportamento statistico di sistemi con un grande numero di particelle;
4. *Elettromagnetismo*, che studia l'elettricità, il magnetismo e i campi elettromagnetici;
5. *Ottica*, che studia il comportamento della luce e la sua interazione con i materiali;
6. *Meccanica Quantistica*, un insieme di teorie che collegano il comportamento della materia a livello submicroscopico alle osservazioni macroscopiche.

# Fenomeni, misure e Leggi Fisiche

## Fenomeni, Osservazioni e Misure

Un fenomeno è una *variazione* dello stato di cose che ci circonda e che i nostri sensi, o direttamente, o per mezzo di strumenti, ci permettono di osservare ed è quindi una transizione da uno stato A ad uno stato B diverso in almeno qualcosa da A.

Esempi di fenomeni sono:

- a) Un oggetto inizialmente su un tavolo (stato A) cade sul suolo e qui si ferma in una certa posizione (stato B)
- b) Si gira l'interruttore di una lampada elettrica. Il filamento di questa inizialmente a temperatura ambiente (stato A), diviene incandescente (stato B)

Questi fenomeni (molti altri se ne potrebbero trovare) sono sufficienti a mostrare che osservare un fenomeno significa constatare che, in un tempo più o meno lungo, ha luogo la "transizione" da uno "stato iniziale" A a uno "stato finale" B.

Naturalmente ciò è possibile *solo se la transizione da A a B si ripete*; se cioè, a partire dall'osservazione di A e da eventuali effetti concomitanti, si nota sistematicamente che entro un certo tempo *si perviene sempre* allo stato B. Questa correlazione infatti induce e poi permette di stabilire una "correlazione" definita fra A e B.

Se nel caso dell'oggetto che cade la forza peso cambiasse direzione accidentalmente e senza alcuna regolarità, se, ferma restando la tensione elettrica, l'aprire e chiudere l'interruttore non fosse regolarmente seguito dall'incandescenza del filamento, noi non saremmo in grado di stabilire una correlazione fra A e B e quindi di osservare il fenomeno corrispondente.

In conclusione ogni fenomeno è e deve essere "riproducibile".

## Fenomeni, misure e Leggi Fisiche II

Per tutte le Scienze Sperimentali deve essere considerato valido l'assioma fondamentale in base al quale si ritiene che:

- i. Uno stato iniziale *A* si evolve nello stato finale *B* quando si riproducono le circostanze, chiamate anche "cause", che determinano la transizione da *A* a *B*
- ii. In linea di principio sia sempre possibile o naturalmente oppure con un nostro intenzionale intervento (ad es. quando si gira l'interruttore di una lampada elettrica) ripristinare, partendo da *A*, quelle "cause" di cui *B* è globalmente l'"effetto".

Il poter descrivere con una correlazione "causa - effetto" la transizione fra *A* e *B* è il primo passo necessario per comprendere un fenomeno.

La descrizione di un fenomeno deve implicare solo elementi di giudizio oggettivi inerenti al fenomeno ed essere indipendente dalle caratteristiche fisiologiche dell'osservatore e ovviamente esprimibile in termini razionali.

L'unico modo di poter fare ciò è quello di sostituire alle parole i numeri e cioè "misurare" ciò che possa, secondo il nostro giudizio, partecipare "in modo determinante" al fenomeno che interessa.

# Fenomeni, misure e Leggi Fisiche III

Per quanto concerne la misura occorre sempre avere presente la massima di Lord Kelvin:

Io affermo che quando voi potete misurare ed esprimere in numeri ciò di cui state parlando, voi sapete effettivamente qualcosa; ma, quando non vi è possibile esprimere in numeri l'oggetto della vostra indagine, insoddisfacente ne è la vostra conoscenza e scarso il vostro progresso dal punto di vista scientifico.

Sostituire ad un concetto esprimibile qualitativamente con parole più o meno idonee, un "numero" che sia il risultato di una misura, significa rendere quantitativa la Filosofia Naturale e quindi fare della Scienza.

Questa evoluzione, dal qualitativo al quantitativo, della Filosofia della Scienza è principalmente dovuta a Galileo Galilei ed è una delle basi del metodo sperimentale, detto anche Metodo Galileiano.

## Metodo Sperimentale

Il metodo sperimentale è un metodo generale per cui si parte dall'osservazione dei fenomeni così come si presentano in natura, per sottoporli poi all'esperienza, cioè all'osservazione eseguita nelle condizioni più opportune per metterne in evidenza i lati essenziali

Per esempio, per studiare la caduta dei gravi Galileo fece uso del piano inclinato che gli permetteva di avere ancora a disposizione una forza costante, come quella di gravità, ma di entità minore in modo che le accelerazioni determinate da questa forza potevano essere rese ancora abbastanza piccole (tanto più piccole quanto meno inclinato era il piano), che tutto il fenomeno del moto diveniva facilmente suscettibile di osservazione e misura.

# Fenomeni, misure e Leggi Fisiche IV

## Metodo Sperimentale (segue)

In generale l'esperienza consiste nel produrre o riprodurre artificialmente i fenomeni in condizioni facilmente controllabili, le più semplici possibili.

Nel progettare un esperimento bisogna cercare di ridurre al minimo od eliminare tutte le cause secondarie che possano renderne difficile l'interpretazione.

L'eliminazione di tali cause secondarie porta a semplificazioni notevolissime e rende comprensibili, nei loro aspetti fondamentali, dei fenomeni altrimenti inestricabili.

L'attrito con le sue manifestazioni complesse e spesso riposte, ha celato per secoli le leggi semplici della Meccanica. Galileo Galilei ha enunciato, in forma corretta, le leggi meccaniche ed essenzialmente il principio di inerzia, proprio perché, nello studio dei fenomeni ha saputo per primo discernere fra i fatti essenziali e le perturbazioni dovute agli attriti.

Il metodo sperimentale in definitiva permette di determinare le relazioni esistenti fra le grandezze che intervengono in modo essenziale in un fenomeno stabilendo fra esse rapporti quantitativi di causa ed effetto.

Quando queste relazioni sono legittimamente estendibili a tutta una classe di fenomeni (p.es. alla generica caduta di un grave, qualunque sia il grave, l'altezza da cui cade, etc.) si enunciano in forma generale e si dicono "Leggi"

In sostanza una legge fisica è la formulazione matematica della correlazione che si stabilisce fra lo stato iniziale A e lo stato finale B in ragione delle cause che determinano la transizione fra A e B.

Tuttavia questa formulazione ha il valore di una legge solo quando la transizione  $A \rightarrow B$  risulti essere un caso particolare di una classe di fenomeni aventi in comune le stesse relazioni fra cause ed effetti



# Grandezze Fisiche

Il concetto di Grandezza Fisica e' intimamente legato al concetto di misura. Non si puo' definire e, al limite, neppure parlare di una grandezza fisica se non la si sa misurare.

La prima percezione di molte grandezze fisiche ci viene dai sensi.

Questo vale per le piu' basilari nozioni della fisica quali:

Tempo, Spazio, (e la loro combinazione che chiamiamo movimento) e Materia.

## Definizione Operativa delle Grandezze Fisiche

Per poter dare una definizione scientifica di una grandezza fisica occorre pero' un procedimento piu' rigoroso che vada al di la' della semplice definizione qualitativa che viene dalla percezione sensoriale.

Di fatto per definire scientificamente delle grandezze si usa il punto di vista operazionale che consiste nello stabilire un insieme di operazioni di laboratorio, inclusi i calcoli matematici che possano rendersi necessari, che, in relazione alla grandezza data, conducono alla determinazione di un numero riferito ad una opportuna unita' di misura.

# Tempo (I)

Stando a letto, correndo per uscire, viaggiando in treno noi siamo consapevoli (... se siamo consapevoli di qualche cosa) dello scorrere del Tempo.

Tutti portiamo con noi un mezzo per misurare il tempo: **il battito del cuore**.

Per tutta la durata della nostra vita il cuore pulsa circa 1 volta al secondo, talvolta un po' di meno (piu' lentamente) talvolta un po' di piu' (piu' velocemente).

Fin dall' Antichita' altri modi di misurare il tempo sono:

- L'alternarsi del giorno e della notte segnato dal sole
- Le fasi lunari
- La successione delle 4 stagioni

Da tali considerazioni consegue che per misurare un intervallo di tempo occorre fare riferimento ad un evento che noi assumiamo ripetersi regolarmente nel tempo e definire un intervallo di tempo unitario come l'intervallo di tempo che intercorre fra due ripetizioni dell'evento.

In questo modo abbiamo costruito un "orologio"

L'operazione di misura di un intervallo di tempo qualsiasi consiste nel contare quanti intervalli di tempo unitarii (e/o quale frazione di intervallo di tempo unitario) intercorrono fra i due eventi considerati.

## Tempo (II)

Da quanto esposto si comprende che l'unita` di misura e`, a priori, *arbitraria*

Per definizione l'unita` di misura del tempo nel Sistema Internazionale (SI)<sup>(\*)</sup> e` 1 secondo, indicato con la lettera s (1 s).

Altre unita` sono:

- ❑ il minuto (min),  $1 \text{ min} = 60 \text{ s}$ ,
- ❑ l'ora (h),  $1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$ ,
- ❑ il giorno (g) (1 giorno solare medio = 24 h) per cui  
 $1 \text{ g} = 24 \text{ h} = 1440 \text{ min} = 86400 \text{ s}$

(\*) Il Sistema Internazionale (SI) fu definito nel 1960 e le sue grandezze fondamentali sono *lunghezza, tempo e massa* con unita` fondamentali rispettivamente metro (m), secondo (s), chilogrammo (kg)

## Tempo (III)

Prima del 1960 l'intervallo temporale campione era definito in termini del *giorno solare medio* per l'anno 1900. (Un giorno solare è l'intervallo di tempo fra due apparizioni successive del sole al punto più alto della sua traiettoria nel cielo ogni giorno). Il *secondo* era definito come  $\left(\frac{1}{60}\right)\left(\frac{1}{60}\right)\left(\frac{1}{24}\right) = \left(\frac{1}{86400}\right)$  di un giorno solare medio.

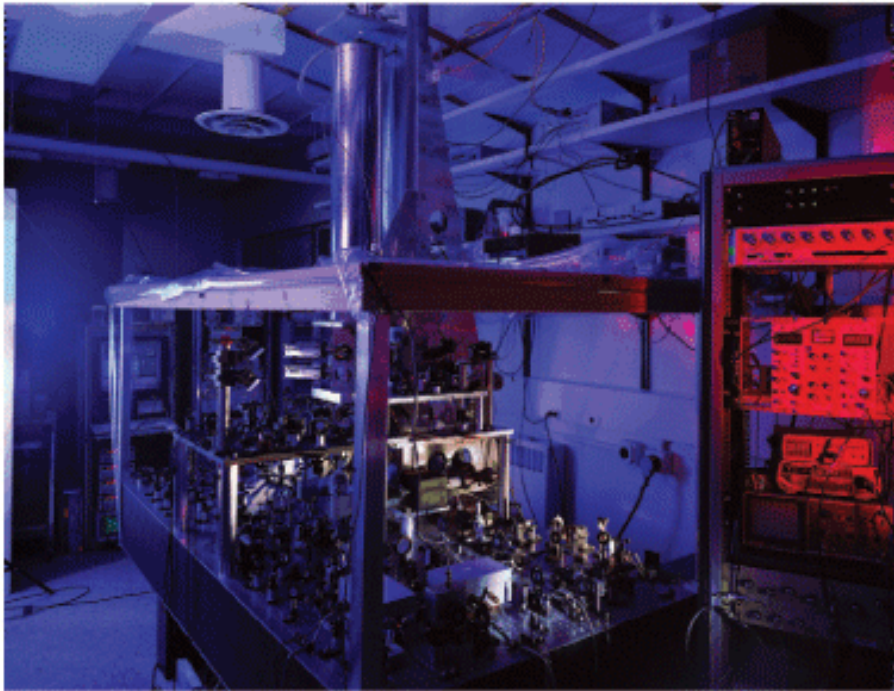
Tuttavia con misure successive più accurate ci si accorse che il periodo di rotazione della terra varia lentamente nel tempo per cui il moto di rotazione terrestre, cui tale campione è legato, non va bene come campione di intervallo temporale quando si richiedono maggiori accuratezze nelle misure.

Nel 1967 il secondo fu ridefinito in modo da sfruttare l'alta precisione raggiungibile con lo strumento denominato "*Orologio Atomico*" che utilizza come orologio di riferimento la frequenza di vibrazione caratteristica dell'atomo di Cesium-133.

Il secondo (s) è attualmente definito come 9 192 631 770 periodi di vibrazione della radiazione dell'atomo di Cesium-133

## Tempo (IV)

Così appare un orologio atomico che è un delicato strumento di misura installato come campione in un laboratorio dedicato e non è affatto "portatile"



Il campione primario degli Stati Uniti per la misura del tempo è un orologio atomico a fontana di cesio sviluppato al NIST di Boulder, Colorado. Questo orologio non guadagna e non perde un secondo in 20 milioni di anni.



Un altro orologio atomico (da Wikipedia)



# Tempo (V)

---

## Valori approssimati di alcuni intervalli di tempo

---

	Intervallo di tempo (s)
Età dell'Universo	$5 \times 10^{17}$
Età della Terra	$1.3 \times 10^{17}$
Età media di uno studente all'Università	$6.3 \times 10^8$
Un anno	$3.2 \times 10^7 \approx \pi \cdot 10^7$
Un giorno	$8.6 \times 10^4$
Una lezione in aula	$3.0 \times 10^3$
Intervallo fra due battiti cardiaci	$8 \times 10^{-1}$
Periodo di un'onda sonora udibile	$\sim 10^{-3}$
Periodo tipico di un'onda radio	$\sim 10^{-6}$
Periodo di oscillazione di un atomo in un solido	$\sim 10^{-13}$
Periodo delle onde luminose visibili	$\sim 10^{-15}$
Durata di una collisione fra nuclei	$\sim 10^{-22}$
Tempo di attraversamento di un protone da parte della luce	$\sim 10^{-24}$

---

<sup>2</sup> Il *periodo* è definito come l'intervallo di tempo necessario per effettuare una oscillazione completa.

# Lunghezza (I)

Nel caso della Grandezza Fisica "**Lunghezza**" si definiscono un'unità di misura, a priori *arbitraria*, e la relativa procedura di misura come segue:

Si fissa una distanza fra due punti, a priori *arbitrari*, come lunghezza unitaria e si esprimono tutte le distanze *contando quante lunghezze unitarie* (e/o quale loro frazione) occorre disporre, una di seguito all'altra, senza soluzione di continuità, lungo il segmento di retta che unisce i due punti fino a ricoprire tutta la distanza da misurare.

È dunque evidente che, come nel caso del tempo, anche l'unità di misura della lunghezza, è a priori, *arbitraria*.

Ad esempio fino a poco tempo fa, mentre nei Paesi dell' Europa Continentale veniva usato il "metro", nei Paesi Anglosassoni veniva utilizzato il "*pie*de" ("*foot*") come unità fondamentale ( $1 \text{ foot} = 0.3048 \text{ m}$ )

Per definizione l'unità di misura della lunghezza nel Sistema Internazionale (SI) è 1 metro, indicato con la lettera m (1m) e i suoi multipli, ad es. il kilometro (km)  
 $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$  e sottomultipli, ad es, il millimetro (mm)  
 $1 \text{ mm} = 0.001 \text{ m}$

## Lunghezza (II)

Fino al 1960 Il campione di lunghezza di "1 metro" era definito come la distanza fra due linee su una specifica barra di platino-iridio conservata sotto condizioni controllate al "Bureau International des Poids et Mesures" a Sèvres (Parigi). Questo campione corrispondeva, nelle intenzioni, a "un decimilionesimo" ( $10^{-7}$ ) della distanza fra l'equatore e il Polo Nord presa sul meridiano che passa attraverso Parigi.

Il *metro*, come campione, fu abbandonato essenzialmente per l'accuratezza limitata con cui si poteva determinare la distanza fra le linee sulla barra che non rispondeva ai requisiti della Scienza e della Tecnologia.

Negli anni '60 e '70 del secolo scorso il *metro* era definito come 1 650 763,73 lunghezze d'onda della luce rosso-arancio emessa da una lampada a gas Krypton-86

Nell'ottobre 1983 il metro (m) fu ridefinito come la distanza percorsa dalla luce nel vuoto durante un intervallo di tempo di 1/299 792 458 secondi (cioè circa 3.3 miliardesimi di secondo!!).

Questa definizione, che è la più recente e attuale, stabilisce che la velocità della luce nel vuoto è esattamente 299 792 458 metri al secondo. In unità "umane" circa 30 cm/ns.



# Lunghezza (III)

## Valori approssimati di alcune lunghezze

	Lunghezza (m)
Distanza dalla Terra del quasar più distante che si conosca	$1.4 \times 10^{26}$
Distanza dalla Terra della galassia più lontana	$9 \times 10^{25}$
Distanza dalla Terra della galassia più vicina (Andromeda)	$2 \times 10^{22}$
Distanza dal Sole della stella più vicina (Proxima Centauri)	$4 \times 10^{16}$
Un anno luce	$9.46 \times 10^{15}$
Raggio medio dell'orbita della Terra attorno al Sole	$1.50 \times 10^{11}$
Distanza media Terra-Luna	$3.84 \times 10^8$
Distanza dell'equatore dal polo Nord	$1.00 \times 10^7$
Raggio medio della Terra	$6.37 \times 10^6$
Quota tipica di un satellite che orbita attorno alla Terra	$2 \times 10^5$
Lunghezza di un campo di calcio	$9.1 \times 10^1$
Lunghezza di una mosca	$5 \times 10^{-3}$
Dimensione di un granello di polvere	$\sim 10^{-4}$
Dimensione tipica di una cellula di un organismo vivente	$\sim 10^{-5}$
Diametro dell'atomo di idrogeno	$\sim 10^{-10}$
Diametro del nucleo dell'atomo	$\sim 10^{-14}$
Diametro del protone	$\sim 10^{-15}$

<sup>1</sup> Per i numeri con più di tre cifre verrà usata la notazione standard usata internazionalmente, in cui i gruppi di tre cifre sono separati da uno spazio e non da una virgola. Con questa regola 10 000 equivale a ciò che si scrive in notazione americana come 10,000 e  $\pi = 3.14159265$  verrà scritto come 3.141 592 65.

# Spazio (I)

Il concetto di «lunghezza» ci aiuta a descrivere oggetti in una dimensione, ma noi viviamo in uno spazio a 3 dimensioni, equivalenti fra di loro.

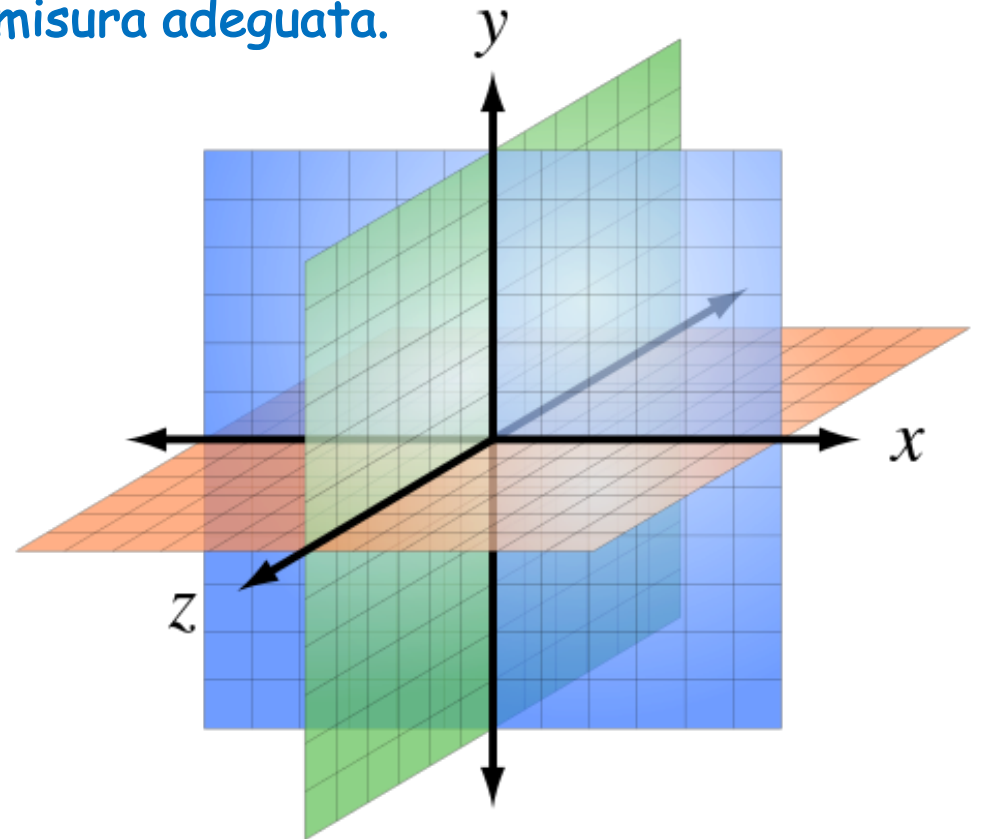
«Equivalenti» nel senso che tutte le direzioni nello spazio hanno le stesse proprietà, cioè lo spazio tri-dimensionale in cui ci troviamo è omogeneo e isotropo.

Per definire la posizione di un oggetto nello spazio bisogna quindi avere un sistema di riferimento in 3-D e un'unità di misura adeguata.

Normalmente consideriamo un sistema di riferimento cartesiano ortogonale, in cui i 3 assi di riferimento ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) sono scelti in modo da semplificare la descrizione del nostro sistema.

Definiamo la posizione di un punto generico «P» nello spazio con 3 numeri che danno la posizione della proiezione del punto sui 3 assi cartesiani:

$$\vec{r}_P = (x_P, y_P, z_P)$$



## Spazio (II)

Il vettore 3-dimensionale  $\vec{r}$  ha componenti  $x_p$ ,  $y_p$  e  $z_p$ . Ognuna delle componenti è uno scalare (un numero che può assumere tutti i valori reali, positivi e negativi). La lunghezza (modulo) del vettore  $\vec{r}$  indica la distanza fra il punto P e l'origine del sistema di riferimento:

$$|\vec{r}_p| = \sqrt{x_p^2 + y_p^2 + z_p^2} \quad (\text{teorema di Pitagora in 3 dimensioni})$$

Una volta definito il sistema di riferimento, possiamo definire 3 vettori di lunghezza unitaria («versori») che sono allineati con i 3 assi cartesiani:

$\hat{i}$  lungo x

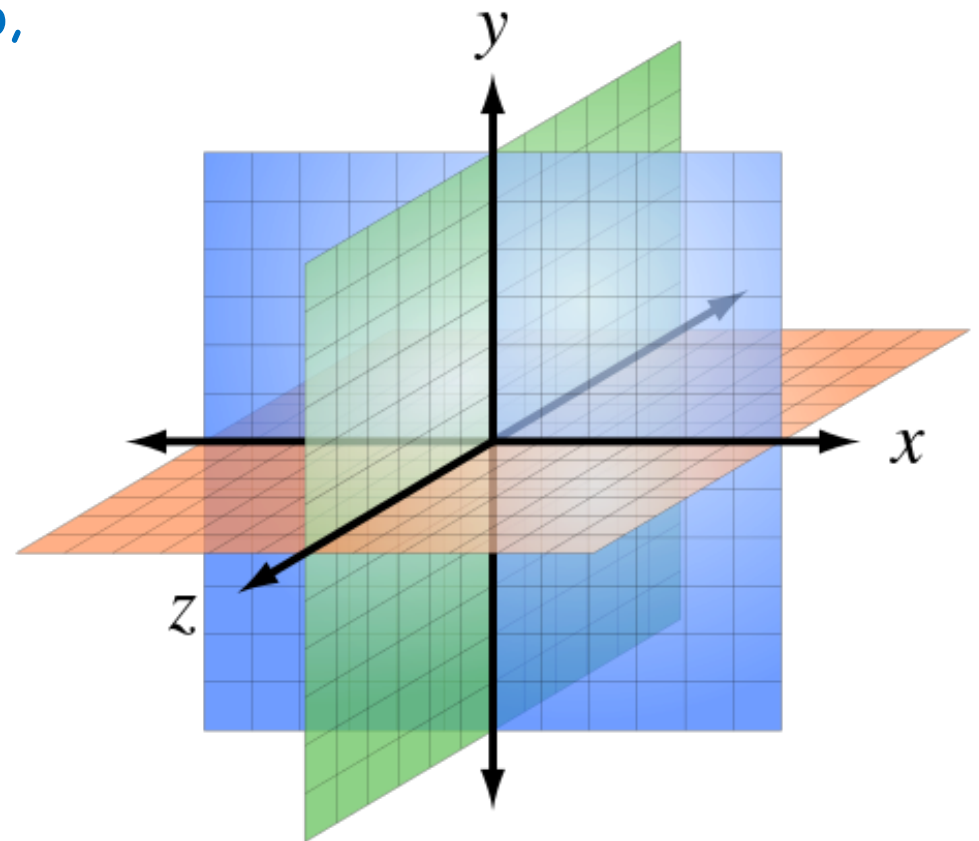
$\hat{j}$  lungo y

$\hat{k}$  lungo z

Quindi possiamo anche esprimere la posizione del punto generico «P» nello spazio come:

$$\vec{r}_p = x_p \hat{i} + y_p \hat{j} + z_p \hat{k}$$

Attenzione: i versori per definizione non hanno dimensione né unità di misura.



## Prefissi per le potenze di dieci

Potenza	Prefisso	Abbreviazione	Potenza	Prefisso	Abbreviazione
$10^{-24}$	yocto	y	$10^3$	chilo	k
$10^{-21}$	zepto	z	$10^6$	mega	M
$10^{-18}$	atto	a	$10^9$	giga	G
$10^{-15}$	femto	f	$10^{12}$	tera	T
$10^{-12}$	pico	p	$10^{15}$	peta	P
$10^{-9}$	nano	n	$10^{18}$	exa	E
$10^{-6}$	micro	$\mu$	$10^{21}$	zetta	Z
$10^{-3}$	milli	m	$10^{24}$	yotta	Y
$10^{-2}$	centi	c			
$10^{-1}$	deci	d			

# Grandezze Fisiche Fondamentali e Derivate

Le grandezze fisiche che si presentano possono essere di due tipi:  
Grandezze Fondamentali e Grandezze Derivate.

- a) Grandezze Fondamentali: non sono definite in termini di altre grandezze. Il numero di grandezze fondamentali è il minimo necessario per fornire una descrizione consistente e non ambigua di tutte le grandezze della fisica. Lunghezza e Tempo sono esempi di grandezze fondamentali. La definizione operativa di una grandezza fondamentale si può dividere in due passi:
- I) Scelta di una unità fondamentale campione
  - II) Individuazione di un procedimento per confrontare la grandezza in esame con l'unità fondamentale. In tale confronto consiste il procedimento di misura in seguito al quale la misura della grandezza viene espressa mediante un numero e una unità di misura.
- b) Grandezze Derivate: sono quelle la cui definizione operativa è basata sulla combinazione, cioè rapporto, prodotto, elevamento a potenza, di grandezze fisiche fondamentali; ne sono esempi la velocità, l'accelerazione, il volume, la densità e così via.

# Analisi Dimensionale (I)

Nella Fisica la parola *dimensione* caratterizza la natura fisica di una grandezza. Ad esempio se la grandezza fisica *distanza* è misurata in metri oppure in piedi oppure in fathoms (unità anglossasone usata soprattutto per le profondità marine) *resta sempre una distanza*: questo concetto si esprime dicendo che la distanza ha la *dimensione* di una *lunghezza*.

I simboli utilizzati per specificare lunghezza, massa e tempo sono

Lunghezza	↔	L
Massa	↔	M
Tempo	↔	T

Per indicare le dimensioni di una grandezza fisica si adoperano anche le parentesi quadre [ ].

Ad es. Le dimensioni della velocità  $v$  si esprimono come  $[v] = [L][T]^{-1}$

Le dimensioni di un' area  $A$  si esprimono come  $[A] = [L]^2$



## Analisi Dimensionale (II)

Una procedura molto utile è quella dell' *analisi dimensionale* che permette di effettuare un controllo su un'equazione ottenuta mediante calcoli e constatare se corrisponde a quanto ci si attende.

Come si è visto le *dimensioni possono essere trattate come quantità algebriche* per cui in un'equazione

- a) Le quantità possono essere sommate o sottratte solo se hanno le medesime dimensioni
- b) I due membri di un'equazione devono avere le stesse dimensioni

Ne consegue che *una relazione può essere giusta solo se in entrambi i membri le dimensioni di tutti i termini additivi sono le stesse.*

# Analisi Dimensionale (III)

## Esempio

La formula che descrive la posizione in funzione del tempo nel caso di un moto uniformemente accelerato (ad es. un'automobile che accelera con accelerazione costante), come vedremo è data da  $x = \frac{1}{2}at^2$

La quantità  $x$  a sinistra ha le dimensioni di una lunghezza. Affinché l'equazione sia dimensionalmente corretta anche il membro a destra deve avere le dimensioni di una lunghezza. Il controllo dimensionale si esegue sostituendo nell'equazione sopra all'accelerazione e al tempo le loro dimensioni e cioè

$$[a] = \frac{[L]}{[T]^2} \quad \text{e} \quad [T] \quad \text{per cui la forma dimensionale di } x = \frac{1}{2}at^2 \quad \text{è}$$
$$[L] = \frac{[L]}{\cancel{[T]^2}} \cdot \cancel{[T]^2} = [L]$$

cioè le dimensioni del tempo si cancellano lasciando la dimensione della lunghezza nel membro di destra, come deve essere.



# Stime e calcoli di ordini di grandezza

Spesso è utile calcolare una risposta approssimata ad un dato problema fisico quando l'informazione disponibile è piccola. Questa risposta può essere poi utilizzata per determinare se è necessario o meno un calcolo più preciso. Una tale approssimazione è basata di solito su certe assunzioni che devono essere modificate se è richiesta una maggiore precisione.

Le regole per determinare il cosiddetto *ordine di grandezza* di un numero sono:

1. Si esprime il numero in notazione scientifica con il moltiplicatore delle potenze di dieci compreso fra 1 e 10 con le sue unità.
2. Se il moltiplicatore è minore di 3,162 (la radice quadrata di 10) si conviene che l'ordine di grandezza del numero è la potenza di dieci della notazione scientifica. Se invece il moltiplicatore è maggiore di 3,162, l'ordine di grandezza diviene la potenza di dieci più uno.

Se una quantità cresce in valore di tre ordini di grandezza, questo vuol dire che il suo valore cresce di un fattore di circa  $10^3 = 1000$ .

Il simbolo  $\sim$  sta per "è dell'ordine di". Quindi

$$0.008 \text{ m} \sim 10^{-2} \text{ m} \quad 0.002 \text{ m} \sim 10^{-3} \text{ m} \quad 720 \text{ m} \sim 10^3 \text{ m}$$

Di solito, quando si calcola un *ordine di grandezza*, i risultati sono affidabili entro un fattore 10.

# Cifre Significative (I)

Tutte le misure reali hanno un qualche grado di inesattezza normalmente chiamato errore sperimentale. Tale "errore" non deve essere interpretato come uno sbaglio, bensì come una indeterminazione intrinseca al metodo sperimentale scelto per condurre la misura, agli strumenti che si adoperano e così via. Tutto ciò introduce per una misura un intervallo di valori possibili piuttosto che un valore ben determinato. La determinazione di tale intervallo è parte intrinseca della misura stessa e dà una misura della "*precisione*" della misura che si vuole compiere; il semi-intervallo è chiamato errore sperimentale.

Ad es. se l'osservatore A misura  $v = 5,38 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  con precisione 1%  
il risultato va espresso come  
 $v = (5,38 \pm 0,05) \frac{\text{m}}{\text{s}}$  per cui  $5,33 < v_{\text{vero}} < 5,43 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Se l'osservatore B misura  $v = 5,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  con precisione 3%  
il risultato va espresso come  
 $v = (5,25 \pm 0,16) \frac{\text{m}}{\text{s}}$  per cui  $5,09 < v_{\text{vero}} < 5,41 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

L'ultima cifra ha un grado di incertezza ed è chiaro che riportare ulteriori cifre decimali non avrebbe senso in quanto completamente sconosciute dal punto di vista sperimentale.

In entrambi i casi A e B di cui sopra tutte e tre le cifre nel valore misurato sono significative

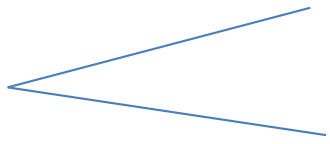
# Cifre Significative (II)

## Regole empiriche per determinare il numero di cifre significative

### Moltiplicazione

Quando si moltiplicano diverse quantità, il numero di cifre significative nella risposta finale è lo stesso numero di cifre significative della meno accurata delle quantità da moltiplicare. La stessa regola vale per la divisione.

Esempio:  $3,60 \times 5,387$



Risultato Corretto	19,4
Risultato Errato	19,3932

Si possono dichiarare solo 3 cifre significative poiché il numero meno accurato 3,60, contiene 3 cifre significative.

N.B. La presenza di zeri in un dato può essere fraintesa:

Si supponga che sia per un oggetto  $t = 1500$  s:

Il valore è ambiguo dato che non si sa se gli ultimi due zeri vengano adoperati per collocare il punto decimale o se essi rappresentino cifre significative nella misura.

Per rimuovere questa ambiguità è pratica comune l'uso della notazione scientifica per indicare il numero di cifre significative quindi:

$t = 1,5 \times 10^3$  s     se ci sono 2 cifre significative

$t = 1,50 \times 10^3$  s     se ci sono 3 cifre significative

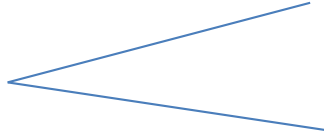
# Cifre Significative (III)

## Regole empiriche per determinare il numero di cifre significative

### Somma

Quando i numeri vengono sommati (o sottratti), il numero di posti decimali nel risultato deve essere uguale al più piccolo numero di posti decimali di ciascun termine nella somma.

Esempio:  $123 + 5,35$



Risultato Corretto	128
Risultato Errato	128,35

Arrotondamenti: se come risultato di una addizione o di una sottrazione il numero di cifre significative deve essere ridotto allora *l'ultima cifra mantenuta deve restare come è* se l'ultima cifra eliminata è compresa tra 0 e 5 mentre deve *essere aumentata di 1 unità* se l'ultima cifra eliminata è maggiore di 5. Se invece l'ultima cifra eliminata vale 5, allora *l'ultima cifra mantenuta* deve essere arrotondata al numero pari più prossimo.

Per evitare l'accumulazione di errori quando si usa un calcolatore tascabile è buona norma effettuare *prima* tutti i calcoli e poi arrotondare il risultato finale.