

Lez 2 4/10/16

Fisica Sperimentale e Applicazioni  
Didattiche

# Il metodo scientifico

Il motivo per questa importanza della matematica e' conseguenza di uno dei punti cardine del metodo sperimentale, **la riproducibilita' degli esperimenti**.

Questo significa che se due sperimentatori diversi eseguono lo stesso esperimento seguendo esattamente le stesse procedure devono trovare lo stesso identico risultato (vedremo dopo in che senso le parole esattamente ed identico devono essere intese).

Occorre allora un qualche metodo obiettivo che permetta di dire quando le procedure ed i risultati sono gli stessi. **Questo si risolve associando a tutte quelle proprieta' che si ritengono essenziali in un dato esperimento una procedura di misura ed un valore misurato.**

# Il metodo scientifico

A questo punto i due sperimentatori possono confrontare tra loro tutti i valori ottenuti per le quantita' misurate e quindi decidere se i loro risultati sono gli stessi o no.

Dunque i risultati di un esperimento vengono riportati in termini di un insieme di numeri che esprimono in parte i valori di alcune quantita' necessarie per definire le condizioni sperimentali (per esempio la temperatura e l'umidita' della stanza) ed in parte i risultati dell'esperimento.

A questo punto, oltre a decidere se i due esperimenti conducano o no allo stesso risultato, possono nascere altre domande, per esempio se esista una relazione tra le condizioni sperimentali ed i risultati che si ottengono.

Questo significa correlare tra loro i numeri associati alle condizioni sperimentali con i numeri che si associano ai risultati.

E' esattamente a questo livello che la matematica viene in aiuto in quanto strumento naturale per esprimere relazioni tra numeri.

# Il metodo scientifico

A questo punto possiamo spiegare il senso che si da nelle scienze sperimentali alle parole **esattamente ed identico** impiegate nel contesto precedente.

Infatti **ogni misura e' intrinsecamente soggetta ad una indeterminazione** (spesso chiamata familiarmente, sebbene in modo improprio, errore). Questa indeterminazione puo' essere dovuta a varie cause, la piu' ovvia e' legata ai nostri strumenti di misura. Per esempio non si possono realisticamente misurare distanze inferiori al millimetro usando un normale doppio centimetro.

**A causa di cio' e' fondamentale che ogni sperimentatore dia i risultati di ogni misura con la relativa indeterminazione sperimentale.** Infatti, potrebbe accadere che effettuando un identico esperimento due sperimentatori trovino gli stessi risultati misurando le lunghezze con una precisione al millimetro (cio`e usando strumenti di misura sensibili a questa distanza), mentre ripetendo l'esperimento con strumenti sensibili al micron (millesimo di millimetro) trovino risultati diversi.

# Il metodo scientifico

**Dunque la riproducibilita', elemento necessario per validare un risultato sperimentale (od una legge fisica), non ha valore universale.**

Infatti viene a dipendere dalla bonta' degli strumenti a nostra disposizione. Questo fa sì che **le equazioni matematiche che si trovano nei testi di discipline sperimentali non vadano intese in senso strettamente matematico.**

**La loro interpretazione e' che esse sono valide con un'approssimazione limitata dalle indeterminazioni con le quali si sono misurate le varie quantita' che intervengono nelle equazioni stesse.**

# Il metodo scientifico

Questo aspetto non e' spesso molto sottolineato, ma e' un elemento essenziale delle scienze sperimentali e del modo nel quale progrediscono.

Infatti spesso si legge della scoperta che una certa legge non e' piu' valida e che deve essere sostituita con un'altra. Il tipico esempio e' quello della meccanica di Newton che e' stata sostituita dalla teoria della relativita' di Einstein.

Questo non significa che la meccanica di Newton sia "sbagliata".

Non c'e' dubbio che per velocita' prossime a quella della luce occorra usare la relativita', ma per velocita' piccole le equazioni della meccanica di Newton sono perfettamente adeguate.

Infatti, in quest'ultimo caso occorrerebbero misure di una precisione fantastica per poter stabilire che la meccanica newtoniana da un risultato non corretto.

Cioe' nel contesto "quotidiano" (oggetti relativamente grandi a basse velocita') la meccanica di Newton e' perfettamente adeguata a descrivere i fenomeni.

La relativita' di Einstein e' equivalente a quella di Newton quando il moto avviene a piccole velocita' rispetto alla velocita' della luce, cioe' **la relativita' non invalida la meccanica di Newton ma la ingloba in una teoria piu' ampia.**

Per esempio in alcuni casi occorre tenere conto di correzioni relativistiche anche nella nostra vita quotidiana, quando i sistemi GPS calcolano la nostra posizione: se non lo facessimo, l'errore sulla posizione sarebbe di molte decine di metri dopo pochi minuti di uso del navigatore.

**Nessuna teoria fisica e' "sbagliata", ma ogni teoria fisica ha un suo preciso ambito di applicazione**

# Il metodo scientifico

Science is a horrible history of beatiful theories murdered by ugly facts

## L'elemento centrale del metodo e' rappresentato dall'esperimento.

A questo si arriva partendo dall'osservazione di un dato fenomeno naturale e dalla successiva elaborazione di quanto osservato.

Questa elaborazione puo' consistere o in un tentativo di classificazione o nel tentativo di individuare i parametri che hanno un ruolo importante nel fenomeno stesso.

A titolo esemplificativo consideriamo la caduta dei gravi. Si inizia osservando che qualunque corpo non appoggiato a superfici vincolate alla terra cade. Successivamente si cerca di capire quali siano i parametri rilevanti effettuando varie prove con corpi ed altezze di caduta diversi. Si vede che i tempi di caduta possono dipendere da vari fattori, quali la forma del corpo, la sua massa, ecc.

# Il metodo scientifico

Il passo successivo e' quello di pensare ad uno o piu' esperimenti che ci permettano di isolare il comportamento del fenomeno rispetto a certe variabili piuttosto che ad altre.

Nella caduta dei gravi, il far cadere un foglio di carta, oppure lo stesso foglio accartocciato, mostra che la presenza dell'aria e' un fattore dal quale dipende il tempo di caduta.

Si progetta allora un esperimento in cui corpi di forma e massa diverse cadono all'interno di un tubo a vuoto o in cui l'effetto dell'aria puo' essere trascurato.

Questo ci permette di formulare una conseguenza teorica: tutti i gravi, nello stesso punto della terra e nel vuoto, cadono con la stessa accelerazione. Abbiamo cosi dato una interpretazione teorica, o abbiamo formulato un modello della caduta dei gravi in certe condizioni.

Un passo ulteriore e' nella ricerca di una teoria (o modello) piu' generale, cioe' che oltre a spiegare la caduta dei gravi, spieghi anche altri fenomeni. Nel caso in esame, una teoria piu' generale e' la teoria della gravitazione universale di Newton, della quale la caduta dei gravi e' un caso particolare.

E' importante sottolineare che non sempre viene seguita la strada sopra delineata. In alcuni casi puo' accadere (ed e' in effetti accaduto) che venga enunciata una teoria la cui elaborazione dia luogo a delle conseguenze che possono essere comparate con un esperimento disegnato esattamente per questo scopo.

# Il metodo scientifico

Occorre anche comprendere quella che puo' sembrare una limitazione del metodo scientifico, ma che e' invece la sua grande forza. Il confronto tra osservazione e teorie avviene solo attraverso loro elaborazioni piu' o meno sofisticate che finiscono in un esperimento da un lato e certe conseguenze della teoria dall'altro, **che agiscono dunque come un filtro**. Questo fatto fa sì che una teoria fisica non possa mai essere considerata di validita' universale. Infatti esiste sempre la possibilita' che un nuovo esperimento non sia in accordo con le predizioni della teoria considerata.

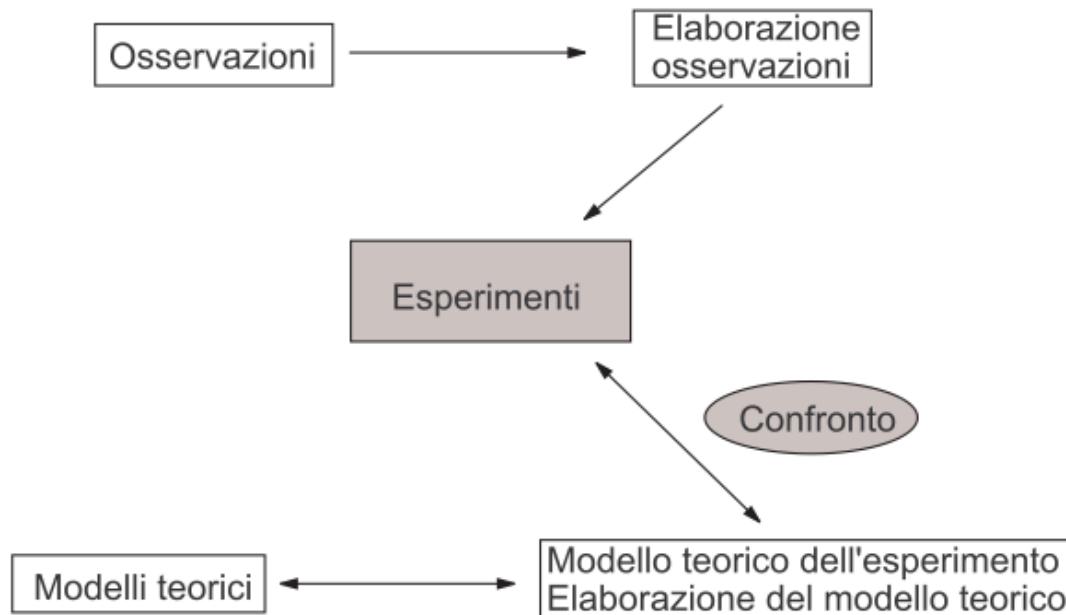


Figura 1.1: Il diagramma illustra il metodo sperimentale e le connessioni tra le attività osservazionali, sperimentali e teoriche.

# Il metodo scientifico

Ma questa 'e proprio la grande forza e vitalita' di questo metodo che contiene in se stesso la possibilita' di riparare ai difetti di una teoria, di accrescerla ed eventualmente creare una teoria piu' completa.

I progressi della fisica e delle altre scienze sperimentalistiche sono proprio dovuti alla continua evoluzione degli esperimenti e la corrispondente espansione del campo delle teorie. Un ulteriore punto di grande importanza e' che le nuove teorie, dovendo spiegare sia i nuovi esperimenti che quelli gi`a spiegati dalle vecchie teorie, sono vincolate a contenere al proprio interno le vecchie teorie stesse (p. es. la teoria della relativita' ristretta "contiene" la meccanica di Newton).

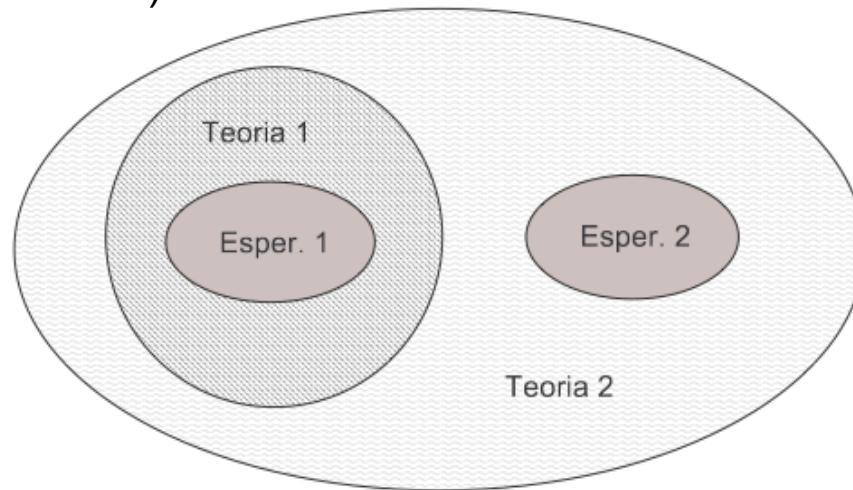


Figura 1.2: *Relazione tra teorie ed esperimenti. La teoria 1 spiega l'insieme degli esperimenti 1 ma non spiega gli esperimenti 2. La teoria 2 spiega entrambi gli insiemi di esperimenti e contiene quindi al suo interno anche la teoria 1.*

# IL METODO SCIENTIFICO

MODIFICA DEL MODELLO

SCHEMATIZZAZIONE: il fenomeno da studiare viene schematizzato con un MODELLO (semplice)



MISURA: associa un numero, con una data unità di misura, ad ogni variabile dello schema.



OSSERVAZIONE sperimentale di correlazioni quantitative tra le grandezze misurate.



RISULTATI  $\xrightarrow{\text{induco}}$  LEGGE FISICA

LEGGE FISICA  $\xrightarrow{\text{deduco}}$  PREVISIONI



= VERIFICA Sperimentale delle previsioni



Distinzione fra cause dominanti e secondarie:

Trattando solo le cause dominanti si puo' sostituire al sistema fisico un "modello", che perciò rappresenta la schematizzazione del fenomeno in esame  $\rightarrow$  il "modello" e' un'idealizzazione matematica, eg. Il punto materiale

Il metodo scientifico si basa sulle osservazioni sperimentali che, associate all'intuizione, servono a riconoscere gli elementi fondamentali e caratteristici di un fenomeno e a formulare ipotesi sulla sua natura.

Il metodo scientifico consiste nel continuo alternarsi di osservazioni sperimentali e speculazioni teoriche. La verità scientifica non è mai assoluta, ma solo la migliore disponibile per la descrizione del fenomeno

Non O.K.



Che cos'è la *Fisica*?

## Il metodo sperimentale: ...c'era una volta..



Galileo Galilei (1564 – 1642), osservando i corpi che cadono, si convince che tutti corpi, indipendentemente dal loro peso, cadono con la stessa velocità, e che tale velocità cresce in modo uniforme durante il tempo di caduta.....



Decide perciò di dimostrare la validità della sua idea (ipotesi) portando come prova risultati di esperimenti.

Ma la caduta di un corpo si dimostra troppo rapida per essere **misurata** durante un esperimento.....

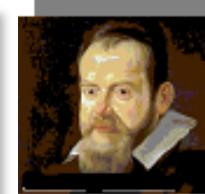
Così, Galileo, deve cercare un modo per **semplificare il problema**.....



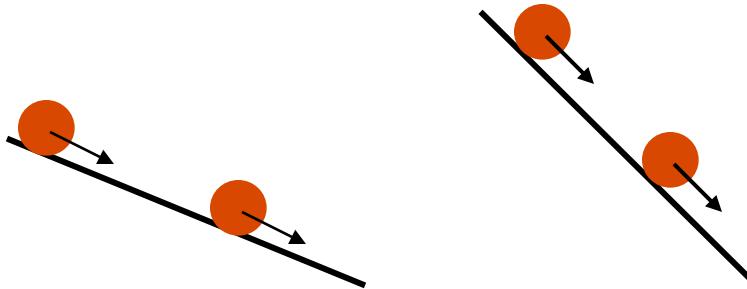
Che cos'è la *Fisica*?

## Il metodo sperimentale: un esempio

Inventa, per questo, un esperimento più semplice: *la “caduta” di un corpo lungo un piano inclinato....*



In fondo - pensa Galileo - un “piano verticale” non è altro che un “piano molto inclinato” ed il comportamento di un corpo che scende lungo un piano inclinato deve osservare le stesse regole di un corpo che cade verticalmente.....



Causa dominante: forza di gravità'

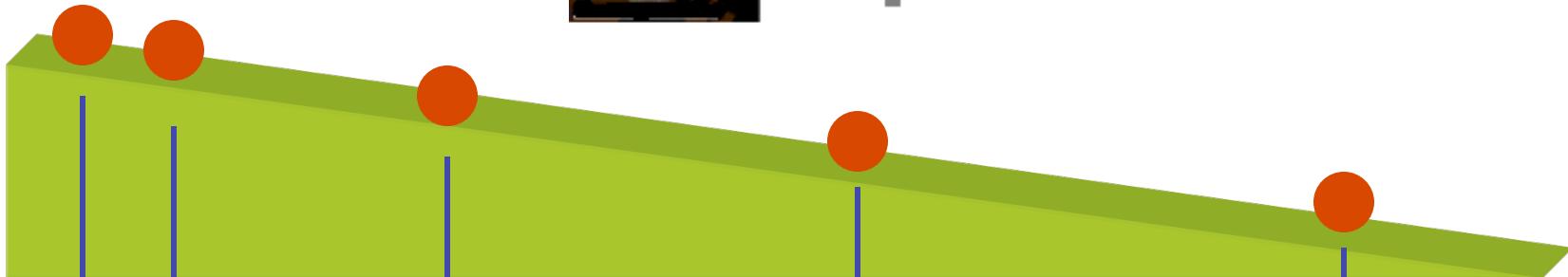


Cause secondarie: attriti, rotolamento



Che cos'è la *Fisica*?

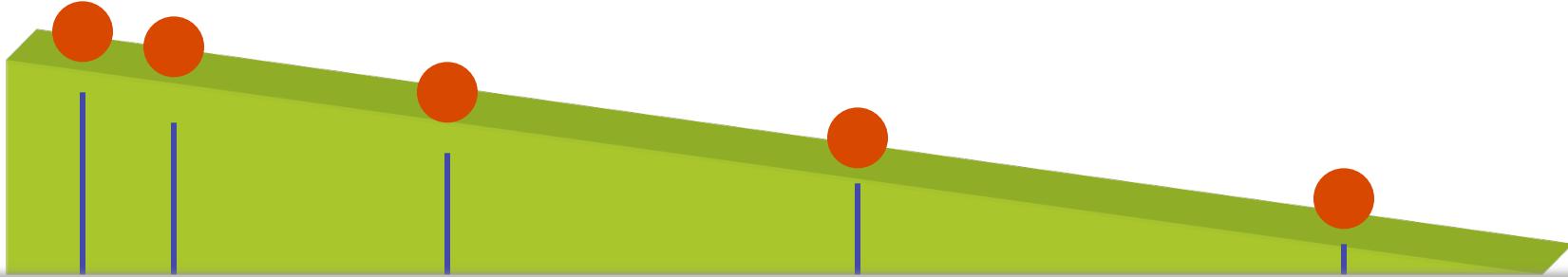
## Il metodo sperimentale: ... c'era una volta...



Con l'aiuto di un *orologio ad acqua*, appositamente costruito per questo esperimento, Galileo dimostra, attraverso **misure** di spazio e di tempo, che lo **spazio** percorso dalla sfera lungo il piano inclinato, cresce in **modo direttamente proporzionale** al quadrato del **tempo** impiegato a scendere.

Galileo compie questi esperimenti utilizzando **piani con diverse inclinazioni**, e tutte le volte ottiene **misure che confermano la sua ipotesi**.

## Il metodo sperimentale: ... c'era una volta...



### Misurare il tempo senza orologi

I risultati dell'esperimento con il piano inclinato sono eccezionali nonostante la semplicità dell'apparato sperimentale. Bisogna sottolineare il fatto che all'epoca di Galileo non esistevano orologi né cronometri e che i metodi disponibili non avevano la precisione necessaria a calcolare il tempo di caduta della sfera.

Per risolvere questo problema, Galileo progetta e realizza un orologio ad acqua, che presenta in questo modo nei suoi Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze: "Quanto poi alla misura del tempo, si teneva una gran secchia piena d'acqua, attaccata in alto, la quale per un sottil cannellino, saldatogli nel fondo, versava un sottil filo d'acqua, che s'andava ricevendo con un piccol bicchiero per tutto 'l tempo che la palla scendeva nel canale e nelle sue parti: le particelle poi dell'acqua, in tal guisa raccolte, s'andavano di volta in volta con esattissima bilancia pesando, dandoci le differenze e proporzioni de i pesi loro le differenze e proporzioni de i tempi; e questo con tal giustezza, che, come ho detto, tali operazioni, molte e molte volte replicate, già mai non differivano d'un notabil momento".

Con questo strumento Galileo riesce a rivelare che lo spazio percorso dalla sfera di metallo non è proporzionale al tempo impiegato a percorrerlo, come avrebbe detto Aristotele, ma al quadrato del tempo. Gli strumenti di misura di Galileo ricostruiti fedelmente ai giorni nostri hanno mostrato che Galileo aveva potuto ottenere l'accuratezza che dichiara.

Poiché Galileo capisce che lo stesso tipo di moto caratterizza la sfera sul piano inclinato e in caduta libera, con il suo strumento riesce a "vedere a rallentatore" il moto accelerato, studiandolo in una situazione in cui l'accelerazione è inferiore a quella di gravità.



Che cos'è la *Fisica*?

**Il metodo sperimentale: ...c'era una volta...**

**Galileo dimostra così, che le leggi fisiche possono essere formulate in modo matematico e comprovate sperimentalmente**

**La natura parla il linguaggio della matematica!**

Le relazioni quantitative tra le variabili che descrivono il modello, **indotte sperimentalmente**, possono essere espresse da relazioni tra numeri

# Osservazioni soggettive e oggettive

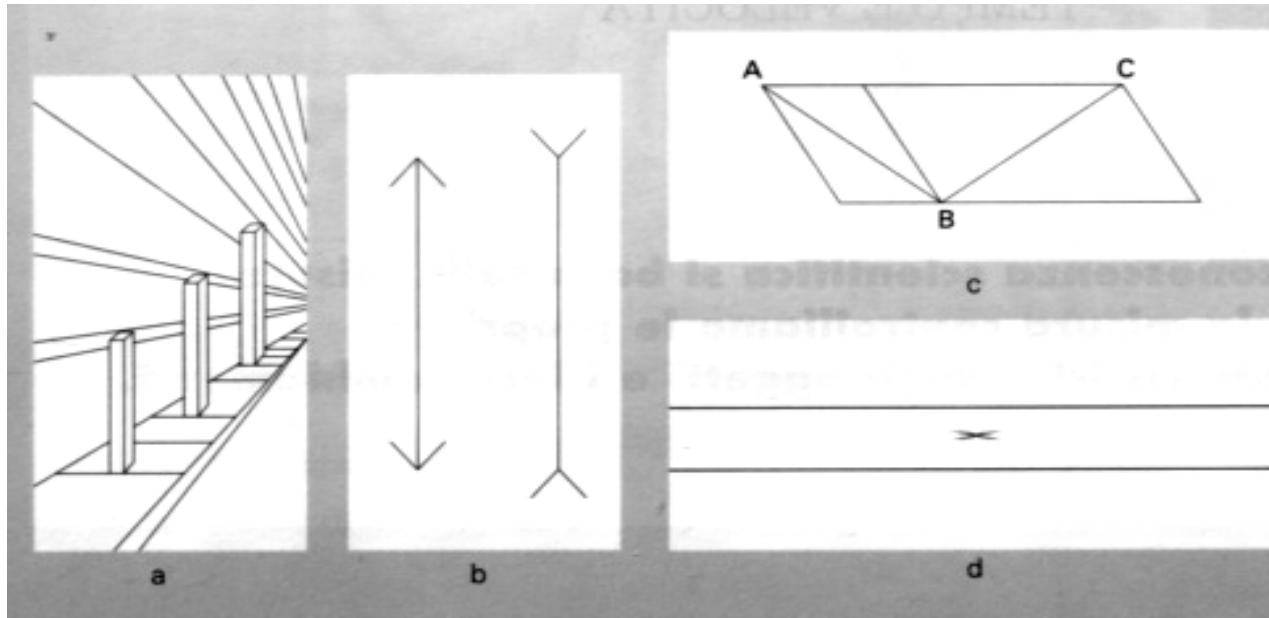
Le osservazioni sono sempre compiute dai nostri **sensi**, che costituiscono il mezzo con cui l'uomo ha **relazione** con il mondo esterno.

A volte, si tratta di osservazioni in cui i sensi rivelano direttamente qualche elemento che interviene nel processo, p.es. l'intensita' di un suono; in tal caso si tratta di valutazioni legate al singolo osservatore – **osservazioni soggettive**- che possono risentire del suo stato generale, fisico e psichico o delle condizioni ambientali e che quindi non sono corrette per dare una descrizione del fenomeno valida per tutti gli osservatori.

Per ovviare a tali inconvenienti ed estendere il campo di osservazione direttamente accessibile ai nostri sensi, di solito si usano strumenti che sono stati sviluppati in modo da essere sensibili all'elemento in esame, traducendone le caratteristiche mediante una risposta accessibile ai nostri sensi in maniera semplice, p.e s. mediante la posizione di indici su scale graduate –**osservazioni oggettive**

## L' affidabilità dei nostri sensi:1

I nostri sensi ci forniscono informazioni soggettive della realtà. Ad esempio la sensazione di caldo e di freddo dipende dalla sensibilità delle persone e dall' ambiente in cui ritrovano.



- a) le altezze dei parallelepipedi sono uguali
- b) i due segmenti sono uguali
- c)  $AB = BC$
- d) le rette sono parallele. In questi casi, la vista e' stata sviata dall' abitudine a vedere in prospettiva .



## L' affidabilità dei nostri sensi:2

### Come funzioniamo?



## L' affidabilità dei nostri sensi:3

***Cosa rappresenta questa immagine?***



Alcune persone in questa immagine vedono un uccello, altre un' antilope.

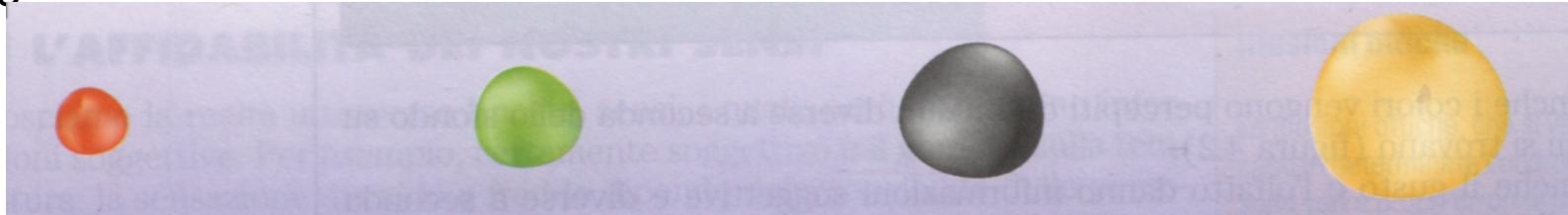
**In generale, possiamo dire che l' interpretazione che diamo di un fenomeno condiziona il nostro modo di vederlo.**

## Introduzione alla misura: misurare con i nostri sensi

Per poter confrontare i risultati delle nostre esperienze non possiamo limitarci alle informazioni che ci danno i nostri sensi, ma dobbiamo usare strumenti che permettano di acquisire dati controllabili e il più possibile svincolati dall'esperienza soggettiva.

### Per esempio:

Supponiamo di dover effettuare la misura diretta del volume di questi oggetti.



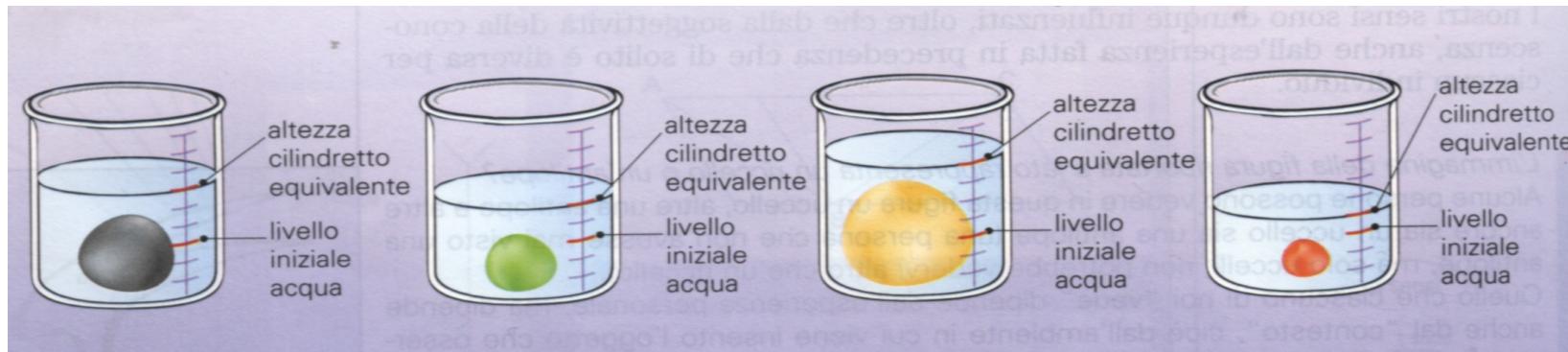
Un metodo semplice e' quello di mettere in ordine crescente gli oggetti, dopo averli confrontati a due a due. In questo modo però non abbiamo una misura. Attraverso i nostri sensi siamo riusciti solo a dare un ordine ai volumi.

Inoltre questo e' possibile solo se gli oggetti hanno forma molto simile.

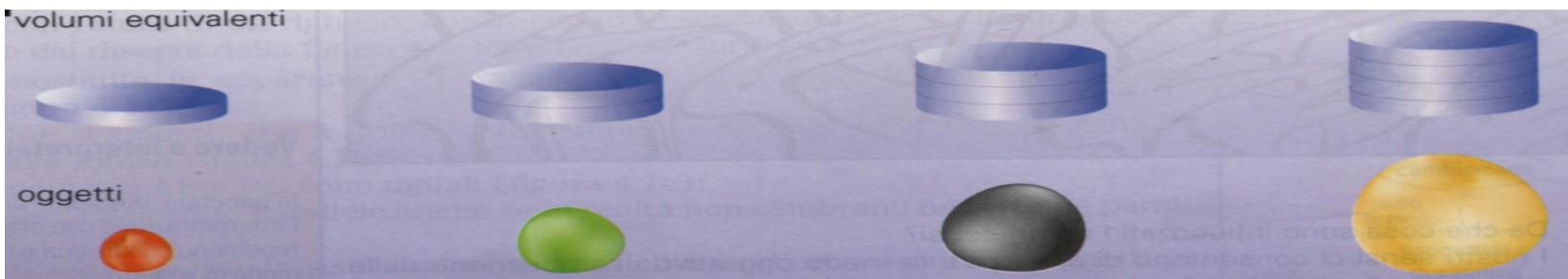
# Introduzione alla misura: misurare con strumenti

## Un metodo preciso:

Immergendo gli oggetti, in cilindri aventi la stessa base, si valuta l'innalzamento del livello del liquido.



La differenza fra livello finale e iniziale di ciascun vaso, ci da' il **volume** dei corpi.



Il volume dell' oggetto più piccolo può essere preso come **CAMPIONE DI MISURA**

# Grandezze fisiche

Una grandezza fisica e' "qualcosa" che si ritiene, in base agli esperimenti e all'intuizione, sia adatta a descrivere un fenomeno

Nello studio dei vari fenomeni, si incontrano un gran numero di **enti** che intervengono nei fenomeni stessi. E' possibile dividere tali enti in **classi** in modo che tutti gli elementi di una classe possiedano alcuni specifici elementi in comune e che ricorrono continuamente nelle piu' comuni esperienze quotidiane, come quelli relativi a forma e dimensione dei corpi, loro peso, caldi o freddi, colore e luminosita', velocita' e accelerazione, forza che sviluppano, suono che emettono, etc., etc.

Si dice che una classe di enti individua una **grandezza fisica** quando per tutti gli elementi della classe:

- sia possibile definire, senza possibilita' di equivoci, la validita' dei **principi di uguaglianza e somma** (e sottrazione)
- sia fissata una **unita' di misura**

# Definizione operativa delle grandezze fisiche

- Una grandezza fisica si ritiene definita quando e' stato specificato il modo in cui essa puo' essere misurata
- La misura della grandezza fisica deve essere **riproducibile**
- **Misura diretta**: mediante confronto tra grandezze omogenee
- Definizione operativa:
  - A) Criterio di confronto → concetto di uguaglianza
  - B) criterio di somma
  - C) unita' di misura
  - D) risultato
- **Misura indiretta**: tramite l'applicazione di leggi fisiche

# Misura di grandezze fisiche

Per esempio quando parliamo di lunghezza di un corpo, ci viene subito spontaneo fare il confronto qualitativo tra la sua lunghezza e quella di altri corpi e poi cercare di quantificare tale confronto, cioe' specificare quante volte il corpo in oggetto e' piu' lungo o piu' corto di quello con cui si e' confrontato.

Precisamente si dice **misura di una grandezza fisica** il rapporto tra quella grandezza ed un'altra, ad essa omogenea, scelta come unita'.

Il confronto porta alla **determinazione di un numero**, che costituisce appunto la **valutazione quantitativa** della grandezza.

Per esempio, nel caso semplice della lunghezza, dire che un filo e' lungo 3 metri vuol dire che quel filo contiene 3 volte un filo la cui lunghezza si assume come unitaria, cioe' 1 metro

# Misura di grandezze fisiche

Perche' grandezze diverse hanno unita' di misura diverse?

L'unita' di misura e' fissata dalle modalita' operative con cui la grandezza viene misurata: p es la misura di una lunghezza e' fatta operativamente in modo diverso da quella di un tempo.

Non posso usare il filo campione per misurare quanto dura questa lezione, cosi' come non posso usare il mio orologio per misurare quanto grande e' l'aula in cui siamo.

Sebbene arbitrarie, le unita' di misura permettono il confronto coerente e oggettivo tra le misure, relative allo stesso fenomeno, effettuate da sperimentatori diversi

# Grandezze fisiche

Le grandezze fisiche NON sono enti materiali, esprimono idee e concetti che noi riteniamo utili ed economici nella descrizione di un fenomeno sulla base di esperimenti e osservazioni.

Non e' affatto ovvio quali siano le grandezze fisiche "giuste" per descrivere un fenomeno.

## che cosa: costruire i concetti

- il **concetto** relativo a una *grandezza fisica* è un “oggetto del pensiero” → **LE GRANDEZZE FISICHE SONO IMMATERIALI**
- viene “costruito” perché utile ed economico per descrivere in modo sintetico
  - ⇒ una proprietà importante di oggetti o di fenomeni
  - ⇒ una relazione *significativa* fra grandezze fisiche
- la costruzione stabile di un concetto astratto passa attraverso oggetti concreti
  - ⇒ **vedere con gli occhi per vedere con la mente**
- ci sono diversi livelli di astrazione per arrivare al concetto

## livello base:

- la grandezza fisica descrive una proprietà di oggetti o fenomeni direttamente accessibile attraverso i sensi: esempio il **volume**  
⇒ esistono oggetti “piccoli” e oggetti “grossi”, dal **confronto** fra queste caratteristiche si arriva al concetto astratto di volume  
⇒ dal confronto si passa all’**ordinamento** (dal più piccolo al più grande) e poi alla **misura** con i suoi tre passaggi:
  - . definire l’unità di misura
  - . riportare l’unità di misura sul volume da misurare
  - . esprimere la misura come
    - numero*
    - incertezza* (intervallo di validità del numero)
    - unità di misura*

## **primo livello**

- *la grandezza fisica descrive una proprietà*
  - ⇒ *indirettamente accessibile attraverso gli effetti ad essa associati: es.*
    - la velocità → moto più o meno rapido*
    - la forza → varia il moto, deforma, ...*
  - ⇒ *che individua una **relazione significativa** fra grandezze*

# *Un esempio di “primo livello”: il concetto di velocità*

**Le caratteristiche che rendono la velocità un concetto utile ed economico:**

- *il significato cinematico* → diagramma orario
- *il significato dinamico* → che cosa succede se voglio cambiare la velocità . . .

# Misurare è utile

Perché:

- con i numeri il confronto e l'ordinamento di lunghezze sono più facili e precisi
- sui numeri si possono fare **operazioni** (di somma, sottrazione, moltiplicazione, ecc.)
- con i numeri, è più facile trovare le **correlazioni con le altre grandezze fisiche** interessate nel fenomeno

**Attenzione:**

- per confrontare od operare su più misure, è essenziale esprimerle tutte con **le stesse unità di misura**
- è possibile convertire una misura da una unità all'altra conoscendo il **fattore di conversione**

# Camminare

Seguono attività proposte da **Valentina Montel** (Indire2002)

## Gigantino

- *Tanto tempo fa in mezzo al bosco c'era una casa di abitata da una famiglia di giganti, che si volevano molto bene ma spesso fra di loro scoppiavano liti furibonde perché non si capiva chi avesse ragione.*  
*Una volta a Papà Gigante venne voglia di mele; il figlio Gigantino si ricordò di averne vista una pianta poco distante da casa, così andò a raccoglierle. Quando tornò il papà esclamò: "Così poche! Dimmi dov'è l'albero che vado a prenderne altre". Gigantino rispose: "Esci dalla porta, cammina dritto davanti a te per 20 passi e troverai l'albero sulla destra". Il papà cominciò a contare "Uno, due, tre ... dieci" ... splash! Era finito nell'acqua di un laghetto! Ritornato a casa, infuriato e bagnato, urlò al figlio: "Non sai neppure contare i passi!". La mamma intervenne: "Basta! Vi dico io chi ha ragione."*
- Il racconto di Gigantino è un valido attacco iniziale per introdurre la premisura.  
Il racconto può essere proposto agli alunni, chiedendo loro di aggiungere il finale e di discuterlo: è certamente interessante conoscere le diverse risposte in relazione al contesto (livello di scuola, età ...).

# Sistemi di unita' di misura

- Sistema scientifico o CGS (cm, g, s)
- Sistema pratico o degli ingegneri (m, kg-peso, s)
- **Sistema Internazionale (SI) (m, kg, s), dal 1971 adottato (quasi) universalmente**

# Grandezze fondamentali (SI)

Le grandezze fondamentali sono 7:

♣ Lunghezza	Metro (m)	Cinematica
♣ Tempo	Secondo (s)	
♣ Massa	Kilogrammo (kg)	Meccanica
♣ Temperatura	Kelvin (K)	
♣ Corrente elettrica	Ampere (A)	
♣ Quantita' di materia	Mole (mol)	
♣ Intensita' luminosa	Candela (cd)	

# Lunghezza

La lunghezza e' la distanza fra gli estremi di un segmento rettilineo

E' ben chiaro come, immaginando di disporre di due segmenti contigui, sia possibile definire l'uguaglianza, la somma o la differenza delle lunghezze con gli stessi criteri validi in geometria.

Il campione oggi scelto e' il metro (m)

Per definire la lunghezza di un segmento, basta contare quante volte il metro campione e' contenuto fra gli estremi del segmento

# Grandezze derivate della lunghezza

Grandezze derivate della lunghezza sono:

1) superficie. E' facile constatare che le relazioni che legano le aree ai segmenti che le delimitano sono sempre del tipo: somma di termini ciascuno dei quali e', a parte un eventuale coefficiente numerico, il prodotto delle lunghezze dei segmenti che le delimitano, per cui p.es. L'area del rettangolo di lati  $a$  e  $b$  e'  $S = ab$ ; in un cerchio di raggio  $r$ ,  $S = \pi r^2$ .

Matematicamente, si dice che l'area e' una funzione omogenea di II grado delle lunghezze da cui dipende. Cio' si esprime simbolicamente mediante un'equazione dimensionale

$$[S] = [L^2]$$

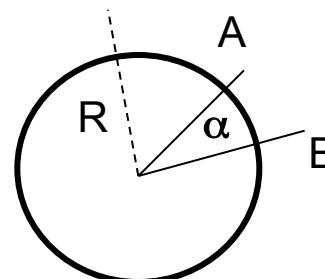
cioe' l'area di una superficie, nel sistema che usa **la lunghezza** come grandezza fondamentale, **ha le dimensioni di una lunghezza al quadrato**  $\rightarrow$  unita'  $m^2$

2) Volumi. Considerazioni analoghe portano per i volumi all'equazione dimensionale  $[V] = [L^3] \rightarrow$  unita'  $m^3$

3) angoli. L'angolo  $\alpha$  fra 2 rette uscenti da  $P$  e' definito come  $\alpha = AB/R$ ,  $AB =$  lunghezza dell'arco di cerchio fra  $A$  e  $B \rightarrow$

$$[\alpha] = [L]/[L] = [L^0] = 1$$

L'angolo e' una quantita' **adimensionata**, ha lo stesso valore qualunque sia l'unità' di misura scelta



# Tempo

Cos'e' il tempo? E' una **grandezza fisica** che permette di **distinguere un prima e un dopo** rispetto all'accadere di un fenomeno o evento.

Il tempo serve a descrivere il cambiamento

P. es. se si osserva un oggetto in moto, si stabilisce un legame soggettivo fra le posizioni assunte dal corpo da una parte e la successione delle percezioni e degli stati psicologici dell'osservatore, che prendiamo come indice del variare del tempo.

Nella meccanica di Newton, il tempo scorre alla stessa velocita' per tutti gli osservatori, ovvero **esiste un tempo universale, comune ai diversi osservatori**

NB: questa e' un'assunzione valida se il moto in oggetto avviene a velocita' molto piccole rispetto alla velocita' della luce. In caso contrario, occorre modificare le leggi fisiche e introdurre la relativita' di Einstein.

# Tempo

Per definire il tempo come grandezza fisica, osserviamo che in natura esistono moti in cui il corpo torna successivamente e ripetutamente nelle stessa posizione nelle stesse condizioni di moto (moti periodici).

Possiamo allora definire un intervallo di tempo "di riferimento", prendendo la durata fra due successivi ritorni alla stessa posizione (il periodo), p. Es. si pensi a un pendolo).

Se due osservatori usano lo stesso pendolo nelle stesse condizioni, trovano che la durata e' la stessa → il periodo e' un modo oggettivo di misurare la durata.

Se prendiamo un moto periodico di piccolo periodo, possiamo arrivare alla definizione di uguaglianza di 2 intervalli e di somma, contando per ciascun intervallo il numero di volte che il moto periodico preso come paragone si ripete.

Basta ora fissare l'unita' di misura campione, usando moti periodici, che avvengono in natura, che diano affidamento di stabilita' e osservabili con accuratezza

## ⇒ TEMPO

i) prima del 1960: Giorno Solare Idec

$$\text{sec} = \frac{1}{60} \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{1}{24} = \frac{1}{86400} \text{ "}$$

ii)  $\text{sec} = 8182631770$  vibrazioni  
del  $\text{Cs}^{133}$

# Usare i numeri: Notazione scientifica

Per esprimere numeri molto grandi o molto piccoli si usa la cosiddetta **notazione scientifica**, che utilizza le potenze di 10.

Per es.  $3.560.000.000 = 3.56 \times 10^9$  e  $0.000\ 000\ 492 = 4.92 \times 10^{-7}$

**TABELLA 1.4** Alcuni prefissi per le potenze di dieci

Potenza	Prefisso	Abbrev.
$10^{-18}$	atto	a
$10^{-15}$	femto	f
$10^{-12}$	pico	p
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^{-3}$	milli	m
$10^{-2}$	centi	c
$10^{-1}$	deci	d
$10^3$	chilo	k
$10^6$	mega	M
$10^9$	giga	G
$10^{12}$	tera	T
$10^{15}$	peta	P
$10^{18}$	exa	E

**TABELLA 1.5** Densità di varie sostanze

Sostanza	Densità $\rho$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
Platino	$21.45 \times 10^3$
Oro	$19.3 \times 10^3$
Uranio	$18.7 \times 10^3$
Piombo	$11.3 \times 10^3$
Rame	$8.93 \times 10^3$
Ferro	$7.86 \times 10^3$
Alluminio	$2.70 \times 10^3$
Magnesio	$1.75 \times 10^3$
Acqua	$1.00 \times 10^3$
Aria	$0.0012 \times 10^3$

**TABELLA 1.1    Valori approssimati di alcune lunghezze misurate**

	<b>Lunghezza (m)</b>
Distanza dalla Terra alla più lontana quasar nota	$1.4 \times 10^{26}$
Distanza dalla Terra alla più lontana galassia normale nota	$4 \times 10^{25}$
Distanza dalla Terra alla più vicina grande galassia (M 31 in Andromeda)	$2 \times 10^{22}$
Distanza dal Sole alla stella più vicina (Proxima Centauri)	$4 \times 10^{16}$
Un anno-luce	$9.46 \times 10^{15}$
Raggio orbitale medio della Terra	$1.5 \times 10^{11}$
Distanza media Terra-Luna	$3.8 \times 10^8$
Distanza dall'equatore al polo nord	$1 \times 10^7$
Raggio medio della Terra	$6.4 \times 10^6$
Tipica altezza di un satellite terrestre orbitante	$2 \times 10^5$
Lunghezza di un campo di calcio	$9.1 \times 10^4$
Lunghezza di una mosca domestica	$5 \times 10^{-3}$
Dimensione della più piccola particella di polvere	$1 \times 10^{-4}$
Dimensione delle cellule della maggior parte degli organismi viventi	$1 \times 10^{-5}$
Diametro di un atomo di idrogeno	$1 \times 10^{-10}$
Diametro di un nucleo di uranio	$1.4 \times 10^{-14}$
Diametro di un protone	$1 \times 10^{-15}$

**TABELLA 1.3** Valori approssimati di alcuni intervalli di tempo

	Intervallo (s)
Età dell'Universo	$5 \times 10^{17}$
Età della Terra	$1.3 \times 10^{17}$
Tempo dalla caduta dell'Impero Romano	$5 \times 10^{12}$
Età media di uno studente universitario	$6.3 \times 10^8$
Un anno	$3.2 \times 10^7$
Un giorno (tempo per una rivoluzione della Terra attorno al suo asse)	$8.6 \times 10^4$
Tempo fra normali battiti cardiaci consecutivi	$8 \times 10^{-1}$
Periodo <sup>a</sup> di un'onda sonora nell'udibile	$1 \times 10^{-3}$
Periodo di una tipica onda radio	$1 \times 10^{-6}$
Periodo di vibrazione di un atomo in un solido	$1 \times 10^{-13}$
Periodo di un'onda luminosa nel visibile	$2 \times 10^{-15}$
Durata di una collisione nucleare	$1 \times 10^{-22}$
Tempo richiesto dalla luce per attraversare un protone	$3.3 \times 10^{-24}$

**TABELLA 1.2** Masse di alcuni corpi (valori approssimati)

	Massa (kg)
Universo	$10^{52}$
Via Lattea (galassia)	$10^{42}$
Sole	$2 \times 10^{30}$
Terra	$6 \times 10^{24}$
Luna	$7 \times 10^{22}$
Squalo	$3 \times 10^2$
Uomo	$7 \times 10^1$
Rana	$1 \times 10^{-1}$
Zanzara	$1 \times 10^{-5}$
Batterio	$1 \times 10^{-15}$
Atomo di idrogeno	$1.67 \times 10^{-27}$
Elettrone	$9.11 \times 10^{-31}$

<sup>a</sup> Il periodo è definito come l'intervallo di tempo di una vibrazione completa.

# Ordine di grandezza di due numeri

- La fisica, essendo una scienza sperimentale, usa valori approssimati, cioe' fornisce stime del valore di una certa grandezza.
- L'ordine di grandezza di un numero e' dato dalla sua potenza di 10 quando il numero e' espresso in notazione scientifica
- Per esempio se  $A=2.3 \times 10^4$  e  $B=4.6 \times 10^4$ , l'ordine di grandezza di entrambi i numeri e'  $10^4$

# Calcolo degli ordini di grandezza

- Valutare l'ordine di grandezza della soluzione di un dato problema

Es:  $0.0076 \approx 10^{-2}$

$0.0031 \approx 10^{-3}$

$700 \approx 10^3$

# Problema di Fermi [ovvero trovare l'ordine di grandezza della risposta]

Esempio: Quanti soldi vengono spesi ogni anno in Italia per comprare benzina per le automobili?

- Numero di italiani  $\approx 60$  milioni ( $6 \times 10^7$ )
  - $N_{\text{auto}} \approx N_{\text{ita}}/3$
  - Percorrenza media per auto  $D \approx 1.5 \times 10^4$  km/anno
  - Consumo medio per auto  $C = 10$  km/l
- kilometri percorsi  $N_{\text{km}} = N_{\text{auto}} \times D = 20 \times 10^6 \times 1.5 \times 10^4$  km/anno  $= 30 \times 10^{10}$  km/anno
- litri di benzina  $L = N_{\text{km}}/C = 30 \times 10^{10}$  km / 10 km/l  $= 30 \times 10^9$  l
- costo benzina  $B = 1.4$  euro/l
- soldi spesi  $S = L \times B = 3 \times 10^9$  l  $\times 1.4$  euro/l  $= 42 \times 10^9$  euro
- soldi spesi per auto  $S/N_{\text{auto}} = 42 \times 10^9$  euro /  $20 \times 10^6 = 2.1 \times 10^3$  euro

IN QUALSIASI LEGGE FISICA COMPAIONO QUANTITA' ADIMENSIONALI (NUMERI) E QUANTITA' DIMENSIONALI.

Ex : Area di un cerchio =  $\pi R^2$

$$[A] = [L]^2$$

LA SUPERFICIE HA QUINDI LE DIMENSIONI DI UNA LUNGHEZZA AL QUADRATO.

Ex :  $v = v_0 + at$  e' corretta ?

$$[v] = [L]/[T] = L T^{-1}$$

$$[a] = [L]/[T]^2 = L T^{-2}$$

$$[at] = L T^{-2} T = L T^{-1} \text{ O.K.}$$

→ L'ANALISI DIMENSIONALE PERMETTE DI VERIFICARE SE UNA EQUAZIONE E' SBAGLIATA.

E' CONDIZIONE NECESSARIA MA NON SUFF.

I FATTORI ADIMENSIONALI POSSONO ESSERE SBAGLIATI ?

## Analisi dimensionale

## CONVERSAZIONE DELLE UNITA' DI MISURA

○ PASSAGGIO DA Km/h a m/s :

$$36 \text{ Km/h} \rightarrow x \text{ m/s}$$

$$36 \frac{1 \text{ Km} = 1000 \text{ m}}{1 \text{ h} = 3600 \text{ s}} = 36 \cdot \frac{1000}{3600} \text{ m/s}$$

$$= 36 \cdot \frac{1}{3.6} \text{ m/s} = 10 \text{ m/s}$$



FATTORE  
DI  
CONVERSAZIONE

Le unita' di misura  
devono essere  
sempre omogenee.  
In caso contrario  
occorre  
CONVERTIRE le  
unita' di misura

Es: un'auto si muove a 60 km/h, quanti metri percorre in 10 minuti?

# Cenni di teoria degli errori

**Misura:** processo che associa ad ogni grandezza fisica uno (scalare) o più (vettore) numeri che la quantifica rispetto ad una opportuna unità di misura.

Procedimento **empirico** soggetto a limitazioni di varia natura che ne determinano la precisione



Gli errori di misura sono inevitabili

Una misura non ha nessun significato se non viene accompagnata da una stima dell'errore associato

Ad es. Se uso una riga millimetrata ho una sensibilità di 1 mm: se per confronto vedo che la larghezza di un foglio è compresa tra le graduazioni 215 e 216 mm posso scrivere:

$$0.215 \text{ m} \leq l \leq 0.216 \text{ m} \quad \text{ovvero} \quad l = (0.2155 \pm 0.0005) \text{ m}$$

# Cenni di teoria degli errori



Il risultato di una misura sperimentale su una grandezza fisica è sempre affetto da un' incertezza, per quanto accurata possa essere la misura.

Non conosciamo il valore vero della grandezza da misurare

La differenza tra il valore autentico della grandezza in esame e il suo valore misurato è chiamato *errore* della misura

Indicato con  $x^*$  il valore autentico e con  $x$  quello misurato, si ottiene quindi:

$$Err = \Delta x = x - x^*$$

Il valore "vero" della grandezza pone un problema di definizione: quale e' il valore vero? A volte non e' definito chiaramente, ma **NON E' IMPORTANTE!**

La domanda giusta e': quanto bene dobbiamo "stimare" il valore vero per ottenere risposte soddisfacenti? Es: porta e luce della porta. Per avere una porta che si chiuda bene e non lasci spifferi devo stimare con una misura le dimensioni affinche' ci sia p. es. 1 mm di tolleranza, ma se la voglio stagna devo stimare le dimensioni in modo tale da lasciare 0.0001 mm tra la porta e la cornice.

E' evidente che se conoscessimo l' errore esatto della misura, dalla formula precedente si ricaverebbe immediatamente il valore autentico!

Il valore vero e l' errore sono ignoti, ma possiamo fornirne una stima

La questione è:

**Come fornire questa stima  
(e fare in modo che sia attendibile)?**

Sperimentalmente si osserva che la ripetizione della misura di una grandezza fisica, nelle medesime condizioni sperimentali, conduce spesso a risultati diversi



Ad es.: misura della lunghezza di un tavolo con metro a nastro.

**Risultati:**

$L=110.5 \text{ cm}$
$L=110.6 \text{ cm}$
$L=110.4 \text{ cm}$
$L=110.4 \text{ cm}$
$L=110.5 \text{ cm}$
$L=110.3 \text{ cm}$
.....



# Cause della variabilità

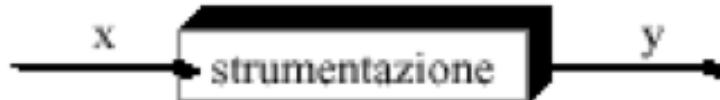
- Nella misura di parametri come la forza o la velocità, alcune cause di variabilità dipendono dal soggetto, che esegue la prova ogni volta in modo leggermente diverso.
- Altre cause possono dipendere da:
  - perturbazioni ambientali (variazioni di temperatura, pressione, umidità)
  - limitazioni tecnologiche della strumentazione (imperfezioni costruttive, instabilità della taratura, ecc.);
  - imperizia dell'operatore.



# Teoria degli errori

- La **“teoria degli errori”** aiuta a valutare e minimizzare gli errori nei procedimenti di misura.
- Problemi di questo tipo possono presentare aspetti e livelli di complicazione diversissimi, e quindi richiedere l’uso delle tecniche più svariate.

# Definizione di errore



**Errore Assoluto:** differenza tra valore misurato  $y$  e valore del misurando  $x$

$$y - x = E_x = dx$$

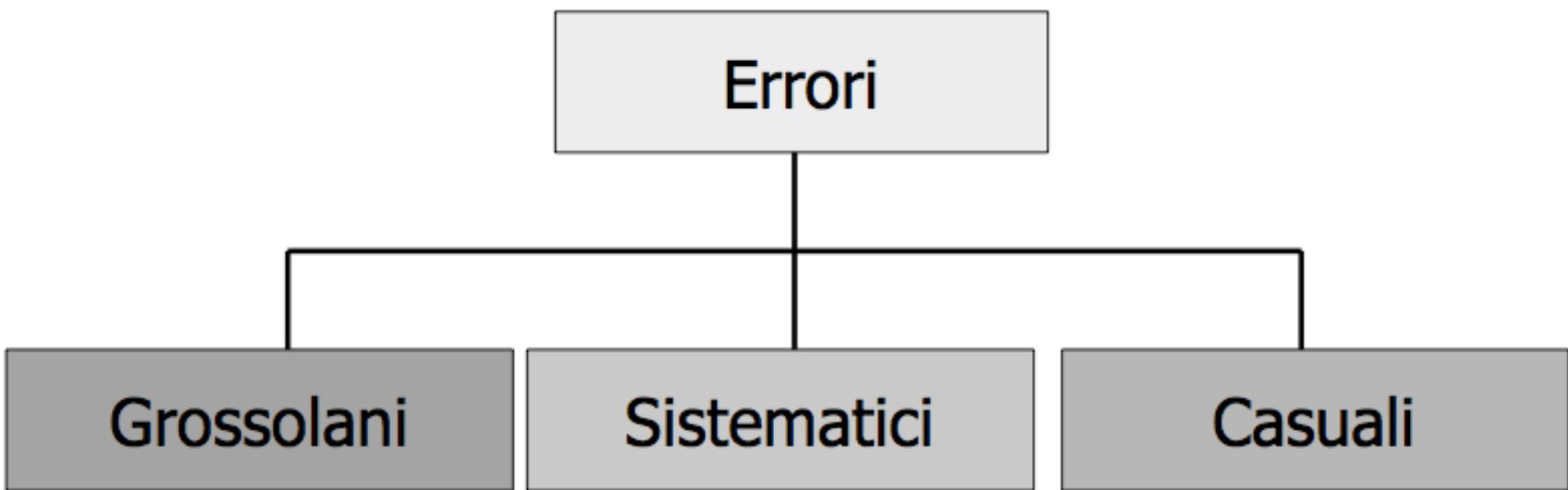
**Errore Relativo:** rapporto tra l'errore assoluto  $E_x$  ed il misurando  $x$

$$e_x = \frac{y - x}{x} = \frac{Ex}{x} = \frac{dx}{x}$$

**Errore Percentuale:** errore relativo  $e_x$  moltiplicato per 100

$$e_x * 100 = \frac{dx}{x} * 100$$

# Classificazione degli errori



# Errori grossolani

- Possono essere causati da letture errate del visualizzatore, dall'uso improprio degli strumenti, da trascrizioni sbagliate del risultato o da imprecisioni nell'elaborazione numerica o nella rappresentazione
- Sono spesso addebitabili alla distrazione o all'inesperienza
- Possono essere eliminati conducendo le misure con cura ed attenzione

# Errori sistematici

- Si presentano sempre con lo stesso segno e con la stessa ampiezza, ripetendo la misura con gli stessi strumenti
- Le cause possono essere imputate sia agli strumenti che ad interferenze dovute all'ambiente.
- Si possono limitare se si conosce una stima attendibile della quantità da misurare e la relazione che lega il valore del misurando al valore della misura.

# Errori casuali

- Sono dovuti a variazioni casuali ed imprevedibili delle condizioni in cui si effettua la misura
- Non possono mai essere completamente eliminati, ma il loro effetto si può ridurre usando le tecniche della statistica (ad esempio ripetendo più volte la misura ed effettuando la media dei valori ottenuti)

- Per eseguire correttamente una misura è necessario:
  - conoscere l'unità di misura;
  - conoscere le proprietà della variabile da misurare;
  - che l'operatore abbia l'esperienza necessaria per effettuare la misura, per scegliere la strumentazione più idonea e per leggere ed interpretare la lettura della misura;
  - determinare correttamente l'incertezza di misura e le cifresignificative con cui esprimere il risultato.

Torniamo alla misura del tavolo:

E' evidente che se conoscessimo l' errore esatto della misura, dalla formula precedente si ricaverebbe immediatamente il valore autentico!

**Il valore vero e l' errore sono ignoti, ma possiamo fornirne una stima**

La questione è:

**Come fornire questa stima  
(e fare in modo che sia attendibile)?**

Sperimentalmente si osserva che la ripetizione della misura di una grandezza fisica, nelle medesime condizioni sperimentali, conduce spesso a risultati diversi



Ad es.: misura della lunghezza di un tavolo con metro a nastro.

**Risultati:**

$L=110.5 \text{ cm}$
$L=110.6 \text{ cm}$
$L=110.4 \text{ cm}$
$L=110.4 \text{ cm}$
$L=110.5 \text{ cm}$
$L=110.3 \text{ cm}$
.....



I risultati differenti suggeriscono che le condizioni di misura non sono esattamente le stesse, entro la precisione del nostro strumento (il metro a nastro). Ad es. potremmo non avere steso bene il metro, oppure non averlo allineato accuratamente al lato del tavolo fra una misura e l' altra.

$$\left. \begin{array}{l} L=110.5 \text{ cm} \\ \text{L=110.6 cm} \\ L=110.4 \text{ cm} \\ \cdots \cdots \cdots \\ L=110.4 \text{ cm} \\ L=110.5 \text{ cm} \\ \text{L=110.3 cm} \\ \cdots \cdots \cdots \end{array} \right\} N=100$$

Se ripetessimo molte volte questa misurazione, potremmo verificare, ad esempio, che il valore minimo misurato è 110.3 cm, ed il valore massimo misurato è 110.6 cm. Potremmo quindi aspettarci ragionevolmente che il valore autentico cada nell' intervallo [110.3, 110.6]. La misura migliore sarebbe probabilmente nel mezzo: 110.45 con errore massimo 0.15 (in eccesso o difetto)

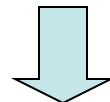
In forma compatta, possiamo scrivere la nostra misura nella forma

$$110.45 \pm 0.15 \text{ cm}$$

L'incertezza che deriva da fluttuazioni non prevedibili delle condizioni di misura è chiamata *errore casuale*.

L'errore casuale cambia da misura a misura quando la misura viene ripetuta.

Supponiamo ora che il nostro metro a nastro si sia “ristretto” (un cattivo lavaggio?): esso risulterà scalibrato, e per una lunghezza reale di un metro indicherà (supponiamo) 110 cm. Tutte le misure ripetute che faremo saranno comunque in eccesso di ca. 10 cm rispetto alla lunghezza del tavolo. Questo errore si ripeterà sempre uguale ad ogni misura, e non vi è quindi modo di scovarlo da misure ripetute. Questo insidioso errore è detto *errore sistematico*



Importanza di metodi di misura molto diversi di una stessa grandezza!!



## Cosa abbiamo imparato: l' operazione di misura



*“Io affermo che quando voi potete misurare ed esprimere in numeri ciò di cui state parlando, solo allora potete dire di conoscere effettivamente qualcosa. Ma quando non vi è possibile esprimere numericamente l'oggetto della vostra indagine, la vostra conoscenza è insoddisfacente, e scarso è il vostro progresso dal punto di vista scientifico. ”*

*Lord Kelvin*

### **L' operazione di misura si articola in :**

- 1) individuare nell' oggetto **la caratteristica** che si vuol misurare
- 2) scegliere un altro oggetto con la stessa caratteristica da usare come **campione**
- 3) **confrontare** l' unità campione con l' oggetto e **contare** quante volte vi è contenuta.

## Le grandezze fisiche

!!! Def Chiamiamo **GRANDEZZE FISICHE** le proprietà caratteristiche di un oggetto o di un fenomeno per le quali è possibile elaborare un procedimento di misura. !!!

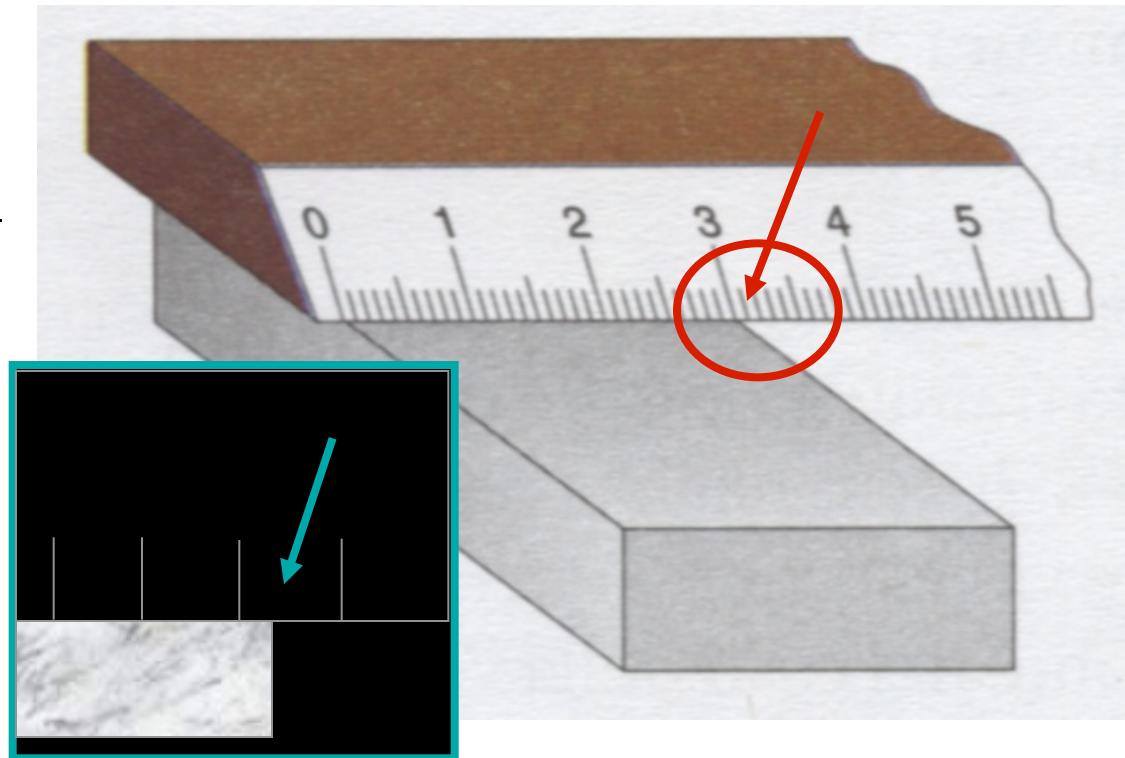
Procedendo secondo le tre fasi indicate prima, si trova il valore di una grandezza fisica presa in esame, in modo operativo.

Una misura è caratterizzata da:  
un **numero**, un' **unità di misura**, e un **indice d'incertezza** .



## Incognita nella misura: Scelta dello strumento idoneo alla misura

Per misurare una grandezza in pratica scegliamo lo strumento con l' unità di misura più adatta e poi leggiamo direttamente sullo strumento quante volte è contenuta.

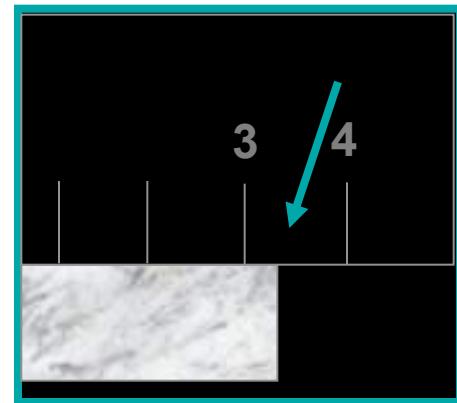


Se la grandezza da misurare non è un numero intero di volte l' unità (o un suo sottomultiplo) il valore della misura è dato come **approssimazione**, alla tacca più vicina.

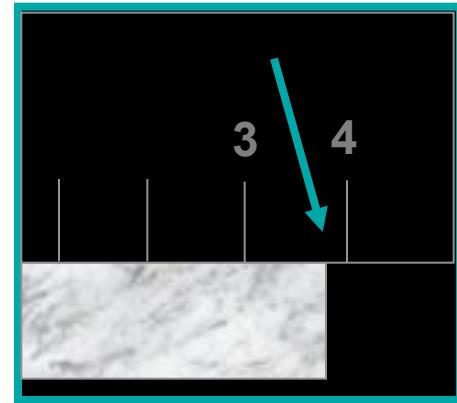
## Incertezza nella misura: approssimazione 1

Ma come facciamo ad approssimare?

Scegliamo come valore quello della tacca più vicina, IN ECCESSO O IN DIFETTO, se si tratta di una misura nella quale leggiamo direttamente il valore.



In eccesso: segno 3mm



In difetto: segno 4mm

## Incertezza nella misura: approssimazione 2

Se la misura ci viene fornita da un display luminoso oppure è stata ottenuta da un calcolo, per approssimare dobbiamo:

- decidere quante cifre possiamo tenere (cifre significative)

**Esempio1:** 15,423 mm e supponiamo di decidere di troncare le cifre dopo il 4

- se la prima cifra da togliere è minore di 5 (0,1,2,3,4) si scrive lo stesso numero troncando le cifre successive

**Esempio1:** 15,423 mm diventa 15,4 mm perché 2 è minore di 5

- se la prima cifra da togliere è uguale o maggiore di 5 (5,6,7,8,9) si scrive l'ultima cifra aumentata di uno

**Esempio2:** 15,473 mm diventa 15,5 mm perché 7 è maggiore di 5

## Incertezza nella misura: approssimazione 3

**Esempio1:** 3,777777 kg e si deve troncare alla 2<sup>a</sup> cifra dopo la virgola

Diventa 3,78 kg

**Esempio2:** 4,545 m, alla 2<sup>a</sup> cifra dopo la virgola

Diventa 4,55 m

**Esempio3:** 4,3412 km, alla 3<sup>a</sup> cifra dopo la virgola

Diventa 4,341 km

**Esempio4:** 0,998 s, alla 1<sup>a</sup> cifra dopo la virgola

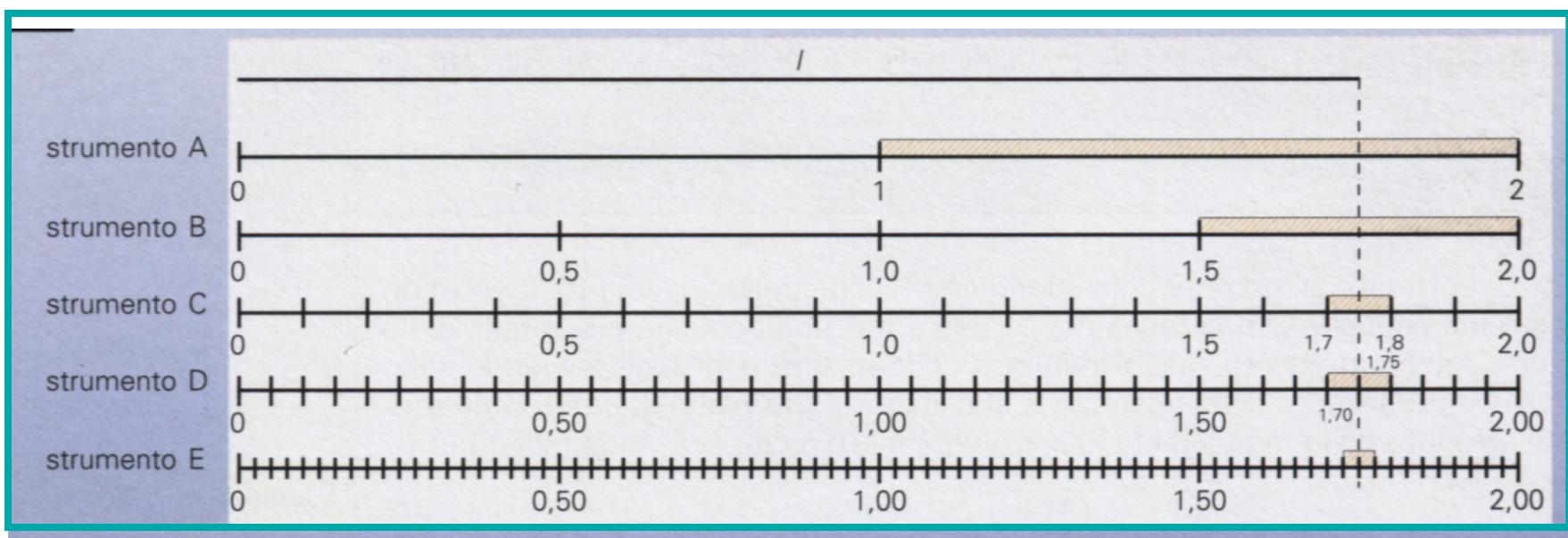
Diventa 1,0 s

Ma come faccio a sapere quante cifre devo tenere? Per saperlo devo tornare allo strumento.

## Incertezza nella misura: Sensibilità

Se la distanza fra una tacca e quella più vicina rappresenta un valore grande, quando approssimiamo introduciamo una correzione grande. Più è piccola la distanza fra le tacche minore sarà la correzione al valore effettivamente letto.

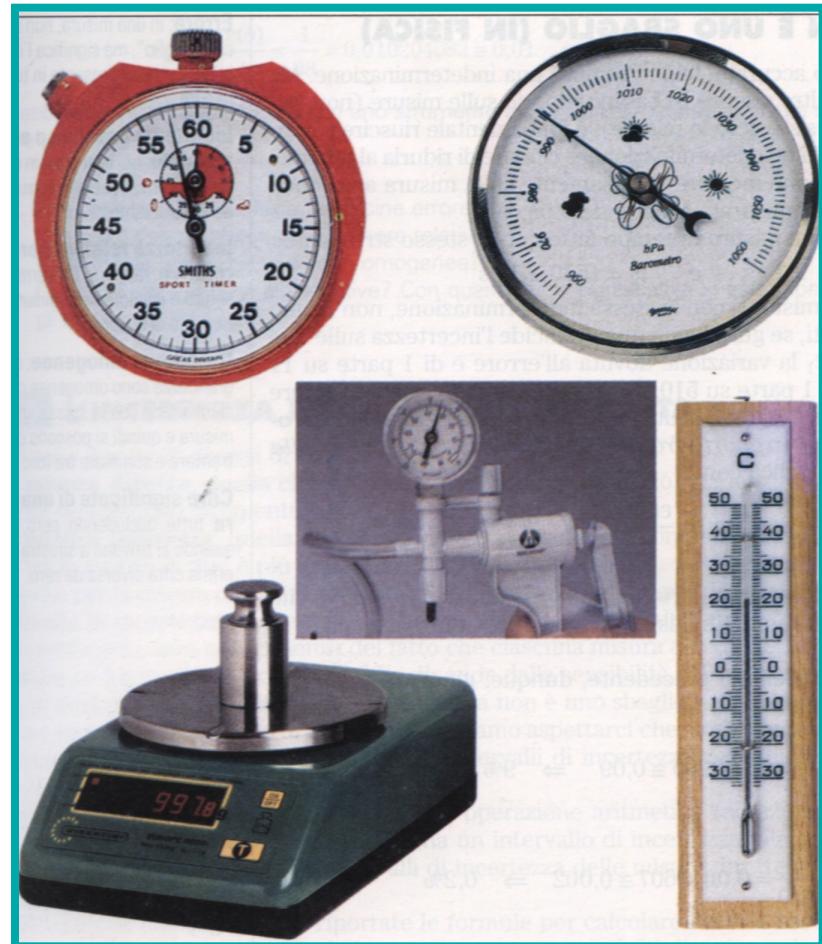
Diventa allora fondamentale la distanza fra le tacche che è una caratteristica dello strumento.



Def La sensibilità e' il più piccolo valore che può essere letto sulla scala di uno strumento di misura.

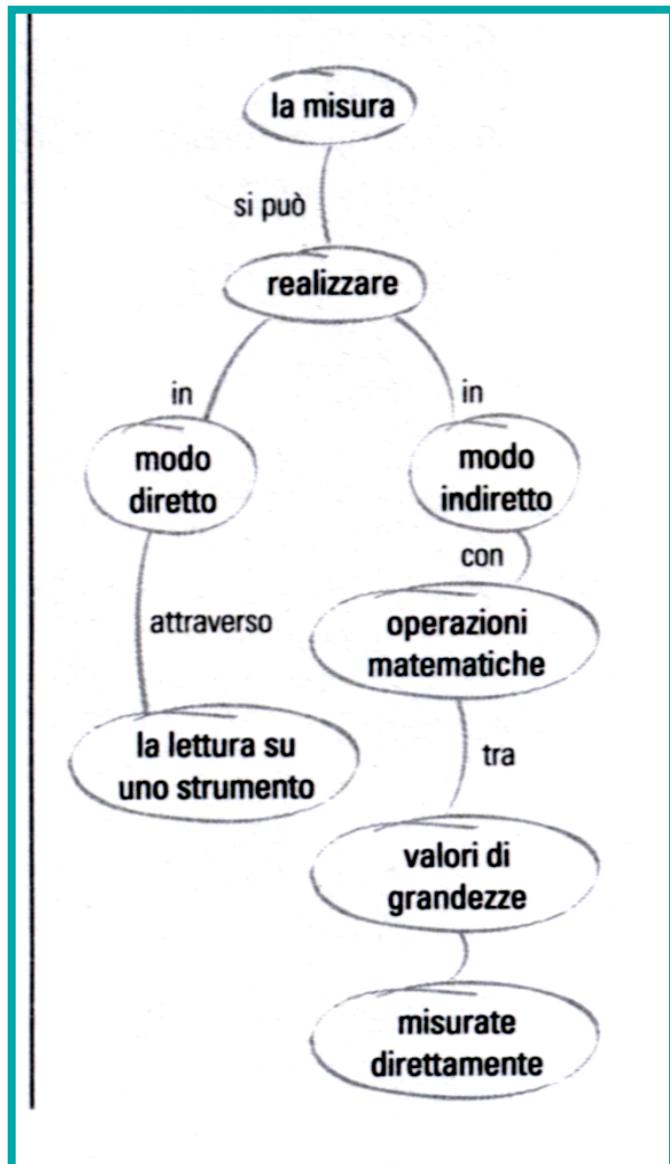
## Incognita nella misura: Portata

Un'altra importante caratteristica dello strumento di misura è la quantità massima che quello strumento può leggere, che troviamo solitamente a *fondo scala*, cioè all'ultima tacca presente sulla scala.



Def **La portata** è il massimo valore che può essere letto sulla scala di uno strumento di misura.

## Misure dirette e indirette



Facciamo misure in due modi:

**misura diretta**, quella che si esegue direttamente, facendo una lettura sullo strumento

**misura indiretta**, quella che si ottiene attraverso operazioni matematiche tra le misure di due o più grandezze misurate direttamente.

## Misure dirette e indirette

Se per esempio misuro il lato (a) di un CD e scrivo il suo valore (per esempio 12,5 cm) ho ottenuto una misura diretta.



Se poi misuro l' altro lato (b) del CD ( per esempio 14,0 cm) e trovo l' area calcolando  $A = \text{lato (a)} \times \text{lato (b)}$  il valore ottenuto  $A = 175,0 \text{ cm}^2$  è una misura indiretta perché ottenuta attraverso un calcolo.



## Le cifre significative 1

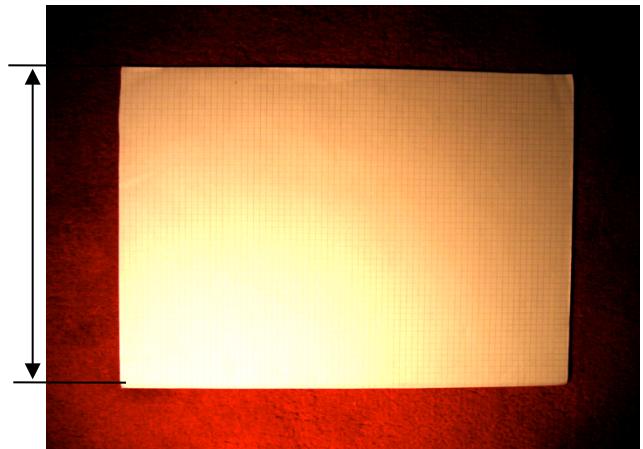
Ora che sappiamo cos' è una misura indiretta, eseguiamone una.

Misuriamo un lato di un foglio a quadretti: la lunghezza vale 21,7 cm. Nel lato si contano 25 quadretti.

$$L_{\text{quadretto}} = \frac{21,7 \text{ cm}}{25} = 0,868 \text{ cm}$$

Se guardiamo questo risultato ci accorgiamo subito che non ha senso: **infatti non è possibile conoscere il lato del quadretto con una precisione superiore rispetto alla misura del lato del foglio!!!** Infatti conosciamo il lato del foglio fino al mm, mentre la lunghezza del quadretto fino al centesimo di millimetro.

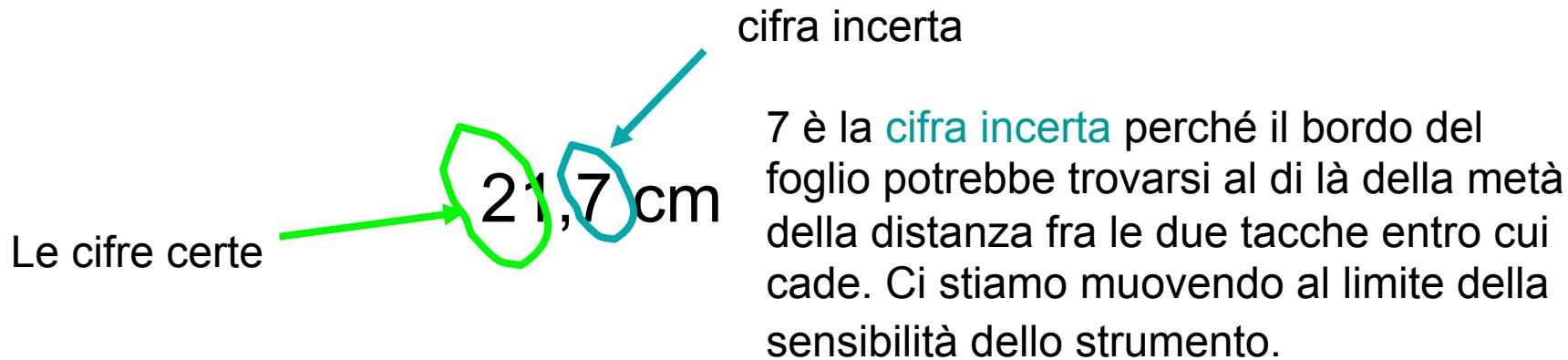
Come può un calcolo successivo migliorare la misura eseguita all'inizio?



## Le cifre significative 2

E' chiaro che si rende necessario approssimare. In che modo?  
Considerando le cifre significative.

Def Chiamiamo cifre significative le cifre certe (ossia assegnate dallo strumento) di una misura e la prima incerta.



## Le cifre significative 3

In pratica per contare le cifre significative si parte da destra e si procede verso sinistra fino a quando non inizia una fila ininterrotta di zero (0). Le cifre zero in coda vanno contate.

**Esempi** 21,7 cm ha 3 cifre significative

0,10234s ha 5 cifre significative

12,4300 m ha 6 cifre significative

18,09 kg ha 4 cifre significative

Le cifre dopo la virgola non sono le cifre significative!  
Ma sono importanti per le scelte di approssimazione.

## Le cifre significative 4

Ora rispondiamo alla domanda: come facciamo quando compiamo delle operazioni con le misure.

1) **Divisione o moltiplicazione per un numero:** il risultato deve avere le stesse cifre significative (dopo la virgola) della misura

$$\text{Lquadretto} = \frac{21,7 \text{ cm}}{25} = 0,868 \text{ cm} \cong 0,9 \text{ cm}$$

2) **Divisione o moltiplicazione fra due misure:** il risultato deve avere le stesse cifre significative della misura meno precisa

$$15,6 \text{ m} \times 18,232 \text{ m} = 284,4192 \text{ m}^2 \cong 284,4 \text{ m}^2$$

2) **Somma e sottrazione fra due misure:** bisogna approssimare la più precisa alla meno precisa

$$15,6 \text{ m} + 18,232 \text{ m} = 15,6 \text{ m} + 18,2 \text{ m} \cong 33,8 \text{ m}$$

## Come facciamo a rappresentare una misura?

Il **risultato di una singola misura** viene indicato con il valore numerico che rappresenta la grandezza misurata specificando la sensibilità dello strumento utilizzato. La misura può essere scritta :

$$\text{Risultato} = X \pm \varepsilon (X)$$



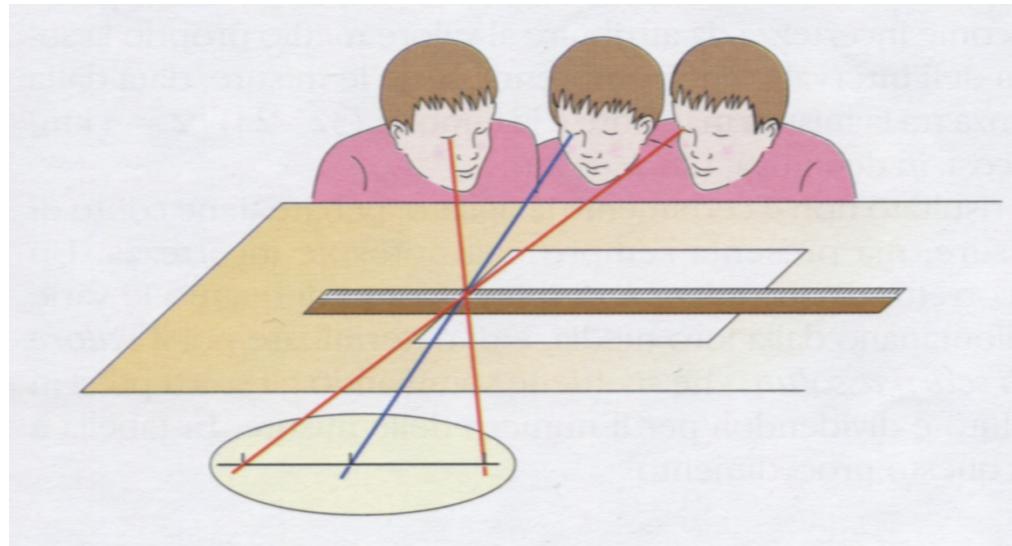
Dove  $\varepsilon (x)$  = sensibilità dello strumento

rappresenta l' incertezza della misura e prende il nome di **errore assoluto**. Il termine assoluto indica il fatto che l' errore dipende solo dalla sensibilità dello strumento.

## Errori nella misura

Effettuando una misura si possono commettere:

- **errori sistematici** dovuti al metodo di misura utilizzato (strumenti, operatore...) tra questi c' e' quello di **parallasse** legato alla non corretta posizione dell' operatore rispetto alla scala di misura.



- **errori accidentali** dovute a cause non prevedibili (presenza di apparati che possono disturbare la misura, disturbi dovuti all' ambiente ecc.)