Laboratorio di fisica generale I, corso di laurea in CIA

Prof. ssa Laura Andreozzi

web:http://www.df.unipi.it/~andreozz/labCIA.html
e-mail:andreozz@df.unipi.it

Testi consigliati:

- John R. Taylor Introduzione all'analisi degli errori, Zanichelli Bologna
- L.Martinelli e L. Baldini Laboratorio di fisica I-II, Edizioni ETS Pisa
- C. Bini Laboratorio di strumentazione e misure, La Sapienza Roma, liberamente scaricabile da: www.roma1.infn.it/people/bini/corso0607.html
- M.Loreti e S. Ciampolillo Teoria degli errori ed analisi dei dati, Università degli studi di Padova , liberamente scaricabile da http://wwwcdf.pd.infn.it/labo/INDEX.html

Il metodo scientifico

• Il linguaggio usato dal ricercatore e' il ***linguaggio matematico*** per la formulazione delle leggi fisiche che descrivono con dati numerici i fenomeni, le loro variazioni e rapporti reciproci

• Cos'e' un ***fenomeno***? E' la variazione dello stato di cose che ci circonda e che osserviamo attraverso i nostri sensi o con strumenti.
Definizione di fenomeno: transizione da uno stato A a uno stato B

Esempi: i) caduta di un grave : un oggetto inizialmente sul tavolo (A) cade al suolo e si ferma (B)
ii) accensione lampadina: il filometallico a RT (A) diventa incandescente (B)
iii) evaporazione: acqua inizialmente in recipiente (A) evapora e si trasforma in gas diffuso in tutta la stanza (B)
iv)…

• Il procedimento usato per la formulazione delle leggi fisiche e' il ***metodo scientifico***, storicamente attribuito a Galileo Galilei.

• Consiste in:

1) *fase preliminare* in cui si determinano le grandezze rilevanti per la descrizione del fenomeno e quelle che presumibilmente ne influenzano le modalita'

2) *fase sperimentale* (lavoro dei fisici sperimentali) : in cui si controlla e misura sia le grandezze che possono influenzare il fenomeno sia le caratteristiche quantitative che lo individuano e descrivono mentre esso viene studiato in modo il piu' possibile riproducible

3) *fase di sintesi o congettura*: partendo dai dati raccolti nella fase precedente si formulano leggi fisiche ipotetiche controllando se sono in grado di spiegare il fenomeno

4) *fase deduttiva* (lavoro dei fisici teorici): dalle ipotesi formulate si traggono tutte le possibili conseguenze, in particolare si prevedono fenomeno non ancora osservati

5) *fase di verifica*: si compiono ulteriori osservazioni sulle nuove speculazioni della teoria per verificarne l'esattezza

La misura

- Per *quantificare* un esperimento in *maniera oggettiva* (cioe' indipendente dalle caratteristiche fisiologiche dell'osservatore) e' necessario mettere in atto un processo noto come ***misura*** di una grandezza fisica

- ***Processo di misura***:
  (a) associo ad ogni "sensazione" che partecipa al fenomeno una grandezza fisica p.es. chiamo temperatura la sensazione di caldo/freddo, tempo la sensazione di eventi che si succedono, lunghezza la sensazione di spaziatura tra 2 posizioni, ecc.)
  (b) stabilisco conme associare un numero a tale grandezza; questo processo costituisce la ***definizione operativa*** della grandezza,
  (c) effettuo la misura e dunque ottengo il numero

  - ***Necessaria operativita'*** dei concetti fisici.

Esempi di errori passati: in ognuno di questi casi non era possibile rivelare con misure le proprieta' inventate per giustificarne l'esistenza:

1)Il calore (forma di energia) era pensato come un "fluido" ma nessuno aveva pensato alle operazioni metriche per evidenziare sue proprieta' . A Joule il merito di aver dimostrato equivalenza meccanica del calore

2)L'etere cosmico era concepito come un imponderabile ma perfettamente rigido ed elestico necessario per il trasporto di energia luminosa. Ebbe fine quando Einstein interpreto' correttamente l'esperimento di Michelson e Morley che si proponeva invece di dimostrarne l'esistenza

3) Il principio di indeterminazione di Heisemberg su cui si fonda la meccanica delle particelle
Elementari ebbe origine da una revisione critica del concetto classico di orbita valido nella meccanica classica ma non sostenibile per il moto di un elettrone troppo leggero per essere traguardato anche da un fascio di luce.

Misure dirette ed indirette

•Per associare un valore numerico oggettivo ad una grandezza fisica dobbiamo disporre di strumenti e metodi che consentano di *mettere in relazione* la grandezza da misurare e l'unita di misura e ci dicano se esse sono uguali o, altrimenti, quale delle due e' maggiore.

•***Misura diretta***:si confronta direttamante la grandezza misurata con l'unita' di misura (campione); p. es. la misura di una lunghezza mediante un regolo graduato e' una misura diretta

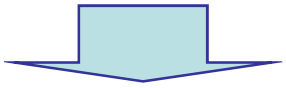
•***Misura indiretta***: non si misura la grandezza di interesse ma altre che risultano ad essa legate in una qualche relazione funzionale: cosi' la velocita' e' misurata indirettamente,, misurando spazi percorsi e tempi impiegati dai quali si risale alla velocita' con una operazione matematica

Unità di misura

Grandezze fisiche: fondamentali o derivate

-*Fondamentali* : richiedono confronto diretto con un campione scelto arbitrariamente come ***unità di misura***

- *Derivate* : misure dirette di altre grandezze ad esse legate con relazioni algebriche



Definizione di sistemi di misura coerenti come il ***Sistema Internazionale (SI)***

Nota: E' fondamentale "accordarsi" sulle unità di misura. Dall' '800 si procede alla standardizzazione delle unità. Tale lavoro è fatto da una importante branca della fisica: la ***metrologia***.
Per standardizzare è necessario disporre di campioni di riferimento ***internazionalmente riconosciuti.***
Una volta creati, l'uso di uno strumento di misura sarà possibile solo dopo una ***calibrazione*** o ***taratura*** dello strumento che implica:
- fiducia che il riferimento sia migliore della nostra misura
-che su quel riferimento si sia tutti d'accordo

SI

tempo	secondo (s)	durata di 9192631.770 periodi di una radiazione dal ^{133} Cs
lunghezza	metro (m)	spazio percorso da un raggio di luce nel vuoto in un tempo di 1/299792458s
massa	kilogrammo (kg)	massa del prototipo campione realizzato in lega 90% platino e 10% iridio e conservato al BIPM (Parigi)
intensità di corrente	ampere (A)	la corrente che attraversa 2 conduttori paralleli e rettilinei di sezione costante a 1 m di distanza per cui si attraggono con una forza di $2 * 10^{-7}$ N/m
temperatura	kelvin (K)	1/273.15 della temperatura del punto triplo dell'acqua
intensità luminosa	candela (cd)	intensità emessa da un corpo nero di superficie 1/600000 m^2 e posto a pressione di 101325 Pa e alla temperatura di solidificazione del platino
quantità di materia	mole (mol)	quantità di materia che contiene tanti elementi quanti ne contengono 0.012 kg di carbonio 12

Dimensioni fisiche

Ogni grandezza ha una ***dimensione fisica:***
- le *grandezze fondamentali* hanno come dimensione la grandezza stessa
- le *grandezze derivate*, definite da una formula, hanno come dimensione la combinazione delle grandezze fondamentali che si desume dalla formula stessa

Esempi: grandezze fondamentali

lunghezza [l] ; *massa* [m]; *tempo* [t]

grandezze derivate

energia cinetica $E=(1/2)\, mv^2$ con $v=s/t$

$[E]=[m]\,[l]^2\,[t]^{-2}$

momento angolare $L=r \times mv$

$[L]=[m]\,[l]^2\,[t]^{-1}$

Nota: le dimensioni non sono da confondere con le unità di misura.

Se in una formula compare una somma gli addendi devono avere le stesse dimensioni, così come i due membri di un'equazione.

Inoltre gli argomenti di esponenziali o logaritmi devono essere adimensionali.

Multipli e sottomultipli

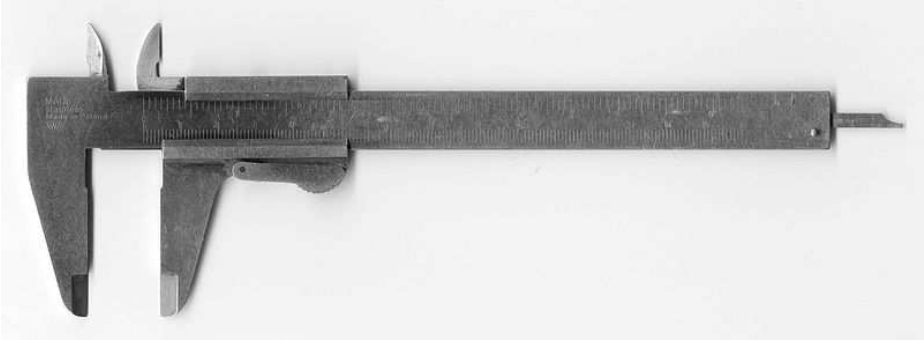
E' importante conoscerne l'uso per evitare di trattare con numeri troppo piccoli o troppo grandi

10^{12}	Tera	T
10^{9}	Giga	G
10^{6}	Mega	M
10^{3}	Chilo	k
10^{2}	Etto	h
10^{1}	Deca	da
10^{-1}	Deci	d
10^{-2}	Centi	c
10^{-3}	Milli	m
10^{-6}	Micro	μ
10^{-9}	Nano	n
10^{-12}	Pico	p
10^{-15}	Femto	f
10^{-18}	Atto	a

Strumenti di misura

•Uno strumento di misura è un apparato che permette il confronto tra l'unità di misura e la grandezza misurata.
E' costituito da un oggetto (*rivelatore*) sensibile alla grandezza da misurare, eventualmente da un *trasduttore* che traduce le variazioni del rivelatore a un'altra grandezza più accessibile allo sperimentatore, e da un *dispositivo* che presenta il risultato della misura ai sensi (generalmente la vista) dello sperimentatore, direttamente o con una registrazione

Esempi: ***calibro***: *rivelatore* ->ganascia mobile con cursore ad esssa solidale; *trasduttore* ->assente; *indicatore* -> scala graduata in mm incisa sul cursore e dal segno di fede inciso sul cursore



Caratteristiche di uno strumento

- Le caratteristiche più importanti di uno strumento sono le seguenti:

  a) ***prontezza***, determinata dal tempo necessario perchè lo strumento risponda ad una variazione della sollecitazione
  b) ***intervallo*** d'uso , insieme dei valori tra il minimo (soglia) e massimo (portata) valore della grandezza che lo strumento può misurare
  c) ***sensibilità***, reciproco della incertezza di lettura dello strumento
  d) ***precisione***, è legata alla riproducibilità del risultato di una misura della stessa grandezza. Può variare per difetti di costruzione o invecchiamento (logoramento) dello strumento oppure per la presenza di cause di disturbo ineliminabili. La precisione è il reciproco della incertezza determinata da questi fattori sul valore della grandezza

Incertezza intrinseca delle misure
ovvero
Una introduzione alla teoria degli errori

• Nella scienza la parola ***errore*** non implica il solito significato di *sbaglio* o *svista.* Errore in una misura scientifica indica ***l'inevitabile incertezza*** che è presente in tutte le misure

Esempio: ***misura della lunghezza del tavolo***:

a) con un *regolo* (metro nel linguaggio comune) posso dire che il risultato è p.es. tra 12.3 e 12.4 cm; basta stabilire tra quali divisioni (o *tacche*) dello strumento si situa la misura

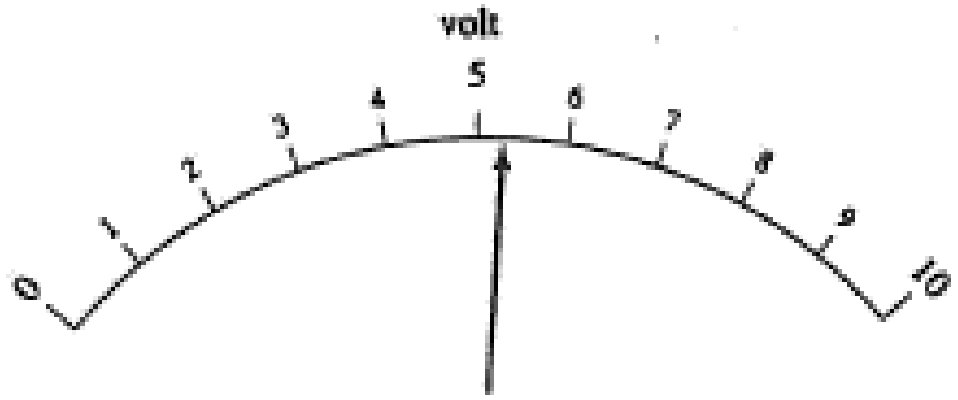
b) con un *calibro* le cui divisioni sono di 10 μm ottengo che la misura sta fra 12.324 e 12.328 cm, c'è ancora un intervallo anche se più ristretto. ***Qualsiasi strumento fornirà un intervallo di valori per la misura.***

c) misurando a partire da un altro punto ottengo un risultato diverso. In che punto voglio misurare? *Carenza di definizione misura*

d) ripeto la misura nello stesso punto ma la sera e trovo l'intervallo 12.237 – 12.238 cm. *Effetto della dilatazione termica*

e) prendo un altro strumento "uguale" e misuro sullo stesso punto alla stessa ora: ottengo 12.319-12.320 cm. *Gli strumenti sono scalibrati*

La misura di una lunghezza con un righello.



Una lettura su un voltmetro.

•Il ***valore vero*** di una grandezza è dunque elusivo.

•La sua *definizione metrologica* è:
Valore vero = un valore compatibile con la definizione della grandezza

Definizioni:
• ***incertezza*** è la stima data dallo sperimentatore nella quale lui crede debba essere il valore vero

• ***stima del valore vero*** *(miglior valore, valore centrale)* in genere è il valore centrale dell'intervallo

• ***errore di misura*** è invece la differenza tra il valore vero e valore misurato e non è accessibile sperimentalmente (altrimenti conoscerei il valore vero)

Nota: nell'uso comune i termini incertezza ed errore sono usati indifferentemente. Usando correttamente i termini bisogna dire che: esistendo gli errori di misura, lo sperimentatore deve valutare l'incertezza e dare il risultato della misura come intervallo tra due valori della grandezza

Importanza di conoscere le incertezze

Esempio 1: *misura della accelerazione di gravità* ***g***

si sia ottenuto il valore g = 9.93 m/s^2. Tale valore è in accordo con il valore previsto g = 9.81 m/s^2?

R: bisogna conoscere l'incertezza della misura.

Vediamo 3 casi: 1) errore = 0.02 m/s^2, 2) errore = 0.2 m/s^2 3) errore = 2 m/s^2

R1) misura sembra molto precisa (0.2%) ma non in accordo col valore previsto

R2) misura meno precisa (2%) ma in accordo col valore previsto

R3) misura in accordo col valore atteso, ma anche con molti altri possibili per la grossa incertezza (20%)

Esempio 2: *valutare se una corona è d'oro a 18 carati o di bassa lega* (problema risolto da Archimede)

si sa che densità oro(18car) e lega: ρ_{Au}=15.5 g/cm^3, ρ_{lega}=13.8 g/cm^3.

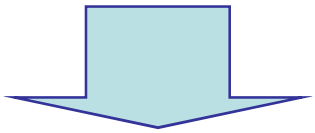
R: Va misurata la densità.

Due casi: 1)I misura di ρ: stima migliore 15 , intervallo valori 13.5 – 16-5 g/cm^3 2) II misura di ρ: stima migliore 13.9, intervallo 13.7 – 14.1 g/cm^3.

%: Entrambi i valori corretti ma

R1: l'incertezza troppo grande rende il risultato inutilizzabile. L'intervallo comprende le due densità.

R2: le misure indicano che la corona non è genuina, la densità della lega (13.8) sospetta giace nell'intervallo di stima (13.7-14.1) ma non quella dell'oro a 18 carati (15.5)



• Perché le misure sperimentali permettano di trarre una conclusione *le incertezze* sperimentali *non devono essere troppo grandi*

•Lo sperimentatore deve giustificare l'ntervallo di valori da lui stabilito. Senza una breve *spiegazione* di come l'incertezza è stata stimata nelle misure , il riportarne solo il valore risulta spesso inutile

Incertezze (errori) di misura

•***Errore casuale***: fluttuazione casuale del risultato di una misura in un certo intervallo di valori. L'errore casuale non influenza la misura sempre nello stesso verso

Esempio: Misura dell'intervallo di tempo di alcuni minuti con un orologio che ha il quadrante con 60 divisioni ma non la lancetta dei secondi

Sarà possibile solo una stima dei minuti trascorsi con una incertezza che vale ½ divisione (30 secondi) a volte in eccesso a volte in difetto

Nota: molti preferiscono che il proprio orologio vada 2 o3 minuti avanti: se un'altra persona dovesse leggere l'ora da questi orologi senza saperlo commetterebbe un errore di 2 o 3 minuti ma sempre nello stesso verso (in questo caso in eccesso). Errori di questo tipo si dicono sistematici.

•***Errore sistematico***: hanno invariabilmente lo stesso segno e grandezza sotto le stesse condizioni, o variano con una legge definita al variare delle condizioni, e possono essere completamente eliminati da una misura una volta individuati (def. metrologica)

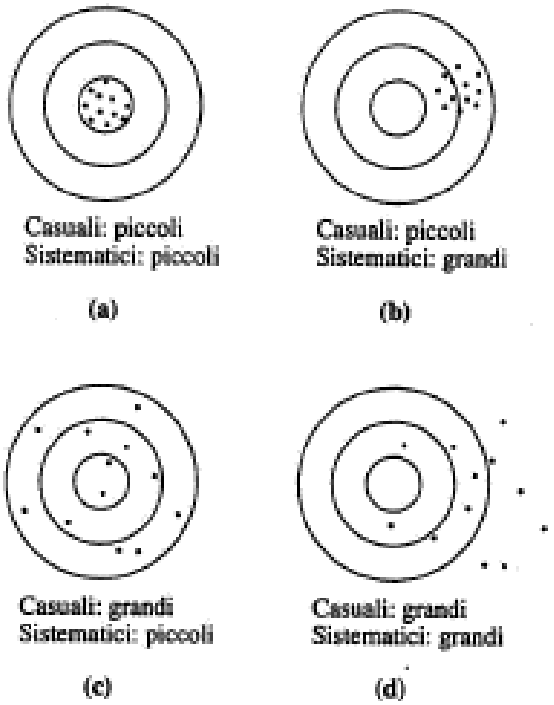
Cause di errori sistematici

- Una lista non necessariamente completa:

a) ***difetti dello strumento***, risalenti alla costruzione o conseguenti ad un suo deterioramento (p. es. errore di taratura di una scala graduata)
b) ***uso dello strumento in condizioni errate***, insieme dei valori tra il minimo (p. es. uso regoli, calibri , a temperature diverse da quelle di taratura)
c) ***errore di stima da parte dello sperimentatore***, un esempio è l'errore di parallasse
d) ***perturbazioni esterne***, esempio : misura del fondo fluviale o marino con uno scandaglio (filo a piombo) in presenza di corrente-> sovrastima della misura
e) ***perturbazione del fenomeno osservato da parte della misura*** esempio misura di uno spessore con un calibro produce una pur leggera pressione che deforme e riduce lo spessore
f) ***uso di formule errate o approssimate nelle misure indirette***

Precisione ed accuratezza

- Discutendo le caratteristiche degli strumenti (trasparenza 12) si è visto che la ***precisione*** è:
  è legata alla riproducibilità del risultato di una misura della stessa grandezza.
  Indica quanto si discostano l'uno dall'altro i risultati sperimentali
- L'***accuratezza*** dipende dall'errore sistematico : una misura è tanto più accurata quanto più il rieultato è vicino a quello che otterrebbe in assenza di errori sistematici.



Espressione del risultato delle misure

• Il risultato delle misure dovrà essere espresso im una forma del tipo:

$$l = 12.34 \pm 0.01\ m$$

in cui compaiono le tre parti: ***valore***, ***errore***, ***unità*** di ***misura***

Errore massimo ed errore relativo

•Nell'esempio precedente 0.01 è ***l'errore massimo assoluto*** sulla misura della lunghezza l

•Misurando una grandezza x con errore massimo assoluto Δx, è fisicamente più significativo il rapporto

$$\Delta x/x$$

chiamato ***errore relativo***, piuttosto che l'incertezza Δx.

Esempio: si consideri l'errore di 1 mm su a) 1 m, b) 10 mm. E' più grave il secondo infatti
a) $\Delta x/x = 10^{-3} = 1\ \%$; b) $\Delta x/x = 10^{-1} = 10\ \%$