

Appunti della Lezione 1

La misura di una grandezza fisica

“Misura diretta”: confronto diretto della grandezza da misurare con una grandezza omogenea usata come campione. Es: la massa di un corpo mediante confronto diretto con delle masse campione (bilancia); la lunghezza di un muretto con cordella metrica; la sezione di un capello con calibro Palmer.

“Misura indiretta”: misura di una grandezza mediante relazione algebrica tra diverse misure dirette e/o indirette. Es: la velocità di un'automobile, mediante misura diretta della lunghezza percorsa e del tempo impiegato; l'accelerazione di gravità attraverso una misura dei tempi di oscillazione di un pendolo di Cater; la massa di una particella elementare in base alla misura della sua quantità di moto e dell'energia rilasciata in un rivelatore (entrambe peraltro misure indirette...).

Lo scopo della misura è di ottenere una rappresentazione della grandezza misurata quanto più vicina alla realtà, ovvero cercando di non influenzare il comportamento intrinseco della grandezza con gli strumenti dell'osservazione sperimentale. Questo non è di fatto possibile, e per quanta attenzione si possa porre nell'effettuare la misura, gli strumenti utilizzati comunque influenzano la misura stessa. Si pensi alla misura dello spessore di un capello con il calibro Palmer: comunque si comprime il capello.

Ogni misura effettuata è accompagnata da una *incertezza* (o *errore* in molti testi). La prima osservazione da fare è che il termine *incertezza* viene utilizzato per distinguerlo chiaramente dal concetto di *errore* inteso come *sbaglio*. L'incertezza è una caratteristica intrinseca di ogni grandezza e di ogni misura associata alla grandezza stessa. Si tratta perciò di distinguere tra l'incertezza associata agli strumenti di misura, e quella intrinseca della grandezza stessa.

Vediamo alcuni casi di misura di grandezze:

- Lanciare il dado 20 volte (si ottengono indifferentemente i valori 1,2,3,4,5,6)
- Contare quanti studenti prendono l'autobus delle 8:35 nel mese di novembre (sabato e domenica esclusi)
- contare il numero di raggi cosmici che attraversano un rivelatore ogni secondo, per un'ora.
- misurare la lunghezza di un tavolo con una cordella metrica
- misurare il peso di un mattone con una bilancia

Nelle prime tre misure si otterranno spesso valori differenti tra loro ad ogni operazione di misura, mentre nelle due ultime misure molto probabilmente si otterra' lo stesso valore pur misurando la grandezza diverse volte. Questo risultato che cosa sta ad indicare? Che nelle prime tre misure abbiamo fatto

degli *errori* e/o che nelle ultime due misure abbiamo trovato il *valore vero* della grandezza misurata?

In un caso otteniamo sempre valori diversi perche' le grandezze che misuriamo sono caratterizzate da una "distribuzione" casuale (dovuta a diversi fattori), e lo strumento che utilizziamo (l'occhio o un rivelatore di particelle) e' in grado di percepire i diversi valori che la grandezza puo' assumere. Nell'altro caso lo strumento che utilizziamo (cordella metrica o bilancia) potrebbe non avere la *sensibilita'* sufficiente per misurare eventuali dettagli della grandezza. Se utilizzassimo strumenti con maggiore sensibilita', arriveremmo a determinare che il tavolo ha diverse lunghezze, a causa della rugosita' del legno, e che il mattone ha un peso diverso funzione di quanti atomi di polvere di cemento si sono attaccati/staccati dal mattone stesso tra una misura e quella successiva... Quindi anche per queste ultime due misure finiremmo per parlare di "distribuzione".

Possiamo pertanto fare le seguenti considerazioni:

1. non esiste un *valore esatto* (*valore vero* in alcuni testi) della grandezza, anche se vi sono comunque delle grandezze che vengono definite in modo esatto (la velocita' della luce c);
2. La misura di una grandezza e' il suo valore (fino a che qualcun altro non fa una misura "migliore")
3. Ogni grandezza e' caratterizzata da una propria distribuzione, e lo scopo della misura e' quello di misurare al meglio le caratteristiche di tale distribuzione;
4. L'errore, inteso come *sbaglio* non fa parte degli argomenti di queste lezioni
5. L'errore, o meglio l'incertezza, e' una caratteristica intrinseca della grandezza e/o della sua misura.

Va ribadito che la misura di una grandezza e' comunque influenzata dallo strumento di misura, che ne altera le caratteristiche. La prima "grandezza" da analizzare e' pertanto lo strumento utilizzato per la misura!

Terminologia

"Variabile Aleatoria" (Cap.1.1 del testo consigliato): Una variabile statistica, aleatoria o casuale e' il risultato dell'interazione di molti fattori, ognuno dei quali non e' preponderante sugli altri. Questi fattori, in tutto o in parte, non possono essere completamente fissati, determinati o comunque tenuti sotto controllo, nemmeno in linea di principio.

L'affermazione suddetta si applica a tutti i fenomeni naturali, dal lancio di un dado, alla dimensione di un atomo, alla massa di una particella. Piu' importante e' definire in modo corretto il concetto di *errore* e di *incertezza*. Ad esempio, la misura dello spessore di un capello, fatta con un calibro Palmer, comporta la pressione delle superfici del calibro sul capello stesso;

la misura e' in questo caso affetta da un *errore sistematico*. Misuriamo la lunghezza di un foglio con una cordella metrica; la misura e' in questo caso affetta da un *errore di sensibilita'* che per quanto avremo modo di vedere successivamente viene anche indicata come *incertezza massima*. Infine possiamo misurare una grandezza con uno strumento che e' caratterizzato da un comportamento aleatorio o statistico. Si parla in questo caso di *incertezza statistica* o *errore statistico*. Vi sono in pratica, due classi di incertezze:

- incertezza statistica, errore casuale, errore statistico;
- incertezza massima, errore di sensibilita'

Nel primo dei casi, l'incertezza e' da attribuire a fenomeni aleatori, ma la parola *errore* e' fuorviante, per cui noi utilizzeremo il termine *incertezza statistica*. Nel secondo caso utilizziamo il termine *incertezza massima* (o *errore di sensibilita'*).

Non abbiamo preso in considerazione il termine *errore sistematico*, che per noi sara' sempre inteso come uno sbaglio commesso in "assoluta buona fede". In pratica, l'errore sistematico non esiste fino a quando non lo troviamo ed a quel punto l'errore sistematico deve essere corretto. Molti testi utilizzano il termine *errore sistematico* per intendere un'incertezza che non dipende dalla misura effettuata dallo sperimentale, ma dovuta a fattori esterni, comunque misurati, che possono essere corretti indipendentemente dalla misura effettuata, e quindi portare ad un miglioramento della determinazione delle caratteristiche della grandezza senza dover per questo rifare la misura. Un esempio: misura della velocita' media $v = \Delta s / \Delta t$ attraverso la misura del tempo. La velocita' viene poi calcolata utilizzando una misura di distanza effettuata da altri. L'incertezza della misura della distanza e' associata alla misura della velocita' come errore sistematico. In questo modo, un eventuale correzione nella misura della distanza, porta automaticamente a migliorare la determinazione della velocita', senza dover rifare la misura del tempo.

Per quanto riguarda infine il termine *incertezza strumentale* questo puo' benissimo adattarsi ad entrambi i casi, ovvero puo' contribuire con un errore di sensibilita', ma anche con un'incertezza statistica, dovuta a fenomeni aleatori (per quanto visto prima).

Accuratezza e Precisione

"Accuratezza": Una misura si intende accurata quando sono tenute sotto controllo le incertezze strumentali, ovvero tutti quei fenomeni che tendono a coprire la distribuzione statistica della grandezza da misurare.

"Precisione": Una misura e' tanto piu' precisa quanto meglio sono stati determinati i parametri della distribuzione statistica che caratterizza la grandezza.

Abbiamo visto che le incertezze strumentali possono essere dovute a fenomeni aleatori, e che, tipicamente, la precisione e' legata al numero di misure effettuate, ovvero alla statistica. Dobbiamo perciò studiare le distribuzio-

ni statistiche prima di parlare di misura e questo ci porta a studiare alcuni elementi di teoria delle probabilita'.