

Capitolo 2

Strumenti di misura

Gli strumenti di misura sono dispositivi usati per la misurazione di grandezze fisiche. Possono essere molto semplici, come ad esempio un regolo millimetrato oppure estremamente complessi come i rivelatori di eventi subnucleari siti presso gli acceleratori di particelle.

Esaminando uno tipico strumento di misura (vedi ad esempio le figure 2.2a) e 2.3) una delle prime osservazioni che si possono fare riguarda la modalità con cui si ottiene il valore della misura; la misura è detta analogica se il suo valore è ottenuto leggendo la posizione di un indice su di una scala oppure viene detta digitale se il suo valore appare come un numero con un numero limitato di cifre.

2.1 Come funziona uno strumento di misura

Gli strumenti di misura si basano su vari principi fisici che riguardano la grandezza che si intende misurare. Tuttavia si possono dare alcuni principi generali che sono validi per tutte le operazioni di misurazione che utilizzano gli strumenti. Per l'esecuzione di una misurazione in generale si possono elencare le seguenti fasi:

1. lo strumento di misura viene fatto *interagire*¹ con il misurando
2. si attende, quando è necessario, che lo strumento *si stabilizzi* ovvero che entri in equilibrio con la grandezza da misurare
3. infine si legge² il risultato (analogico o digitale) sullo strumento.

2.2 Caratteristiche degli strumenti di misura

Le caratteristiche di uno strumento sono varie e tipicamente dipendono dal tipo dello strumento. Tuttavia alcune caratteristiche di carattere generale, sono valide per tutti gli strumenti; tra queste:

¹Le modalità con cui uno strumento di misura interagisce con il misurando sono estremamente varie: lo strumento viene semplicemente giustapposto alla grandezza da misurare come accade con un regolo, oppure lo strumento è immerso nella sostanza come accade per la misurazione della temperatura con un termometro, oppure connesso tramite conduttori per le misure elettriche di tensione e di corrente oppure avvicinato a sorgenti radioattive oppure costruito nei pressi delle zone di interazione tra fasci di particelle dove avvengono le reazioni di fisica subnucleare di alta energia nei moderni acceleratori di particelle.

²Questa modalità di acquisire il valore della misura in molti strumenti attuali (soprattutto nei sistemi complessi) è sostituito dal trasferimento diretto dei dati dallo strumento ad un calcolatore dedicato all'acquisizione dei dati

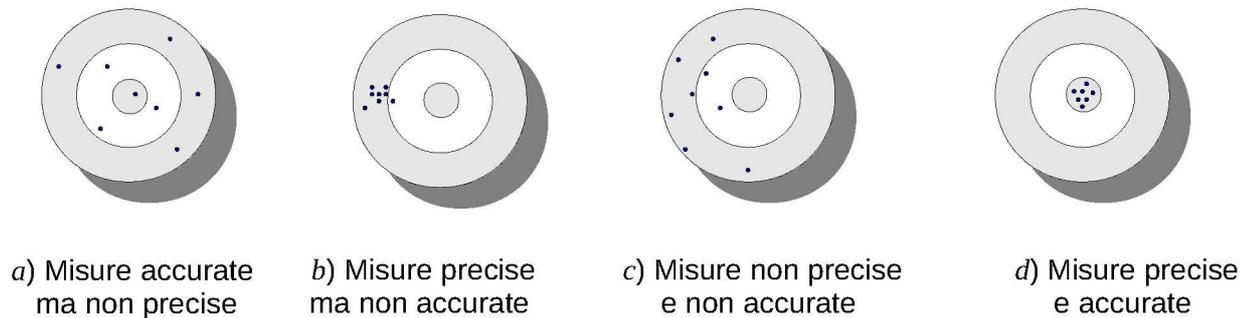


Figura 2.1: Analogia del bersaglio per illustrare qualitativamente la differenza tra i concetti di accuratezza e precisione. Il centro del bersaglio rappresenta il "valore vero" del misurando e i tiri rappresentano l'esito di una misurazione

- **Portata** oppure **Fondo scala** oppure più correttamente **Intervallo di misura**: indica il valore massimo (e alle volte il minimo) della grandezza che lo strumento può misurare nella configurazione scelta. Nel gergo di laboratorio spesso si usa il termine inglese *Range*
- **Risoluzione**. Con questo termine si intende la capacità dello strumento distinguere due valori prossimi tra loro. Per uno strumento digitale (vedi il paragrafo successivo) la risoluzione è data dal valore dell'ultima cifra che appare nel display; per uno strumento analogico è molto più difficile da determinare e teoricamente potrebbe essere infinita.
- **Sensibilità**. E' il rapporto tra la variazione della risposta dello strumento rispetto alla variazione della grandezza misurata. In modo formale se R indica la risposta dello strumento e g il valore della grandezza misurata, la sensibilità dello strumento è definita come:

$$S(g) = \frac{dR(g)}{dg} \quad (2.1)$$

In generale la sensibilità non è costante in tutto l'*intervallo di funzionamento* ma può dipendere da g .

- **Linearità**. Uno strumento di misura è lineare se il valore della risposta R e il valore della grandezza g misurata sono legati da una relazione lineare $R = \alpha + \beta g$. Si noti che *Linearità* e *Sensibilità* sono legate. Infatti dalla relazione precedente si ottiene una sensibilità $S(g) = dR/dg = \beta$ costante. Se la risposta R non è lineare allora la sensibilità dipende da g .
- **Prontezza** La prontezza è legata al tempo con cui lo strumento risponde ad una sollecitazione. Minore è il tempo di risposta maggiore è la prontezza dello strumento. La prontezza è una caratteristica qualitativa e per quantificarla si deve ricorrere al modello matematico che descrive la risposta in funzione del tempo dello strumento utilizzato. Ad esempio il *tempo caratteristico* di un termometro a mercurio è un modo per misurare la sua prontezza e rende possibile il confronto tra strumenti basati sullo stesso principio fisico.

- **Accuratezza.** L'accuratezza di uno strumento consiste nella sua capacità di fornire per la grandezza fisica in misura un valore quanto più possibile vicino al *valore vero*. L'accuratezza è un concetto *qualitativo*.
- **Precisione.** La precisione è la qualità di uno strumento di riprodurre lo stesso valore misurato quando venga utilizzato nelle stesse condizioni sperimentali. La precisione è un concetto *qualitativo*.

Nota su accuratezza e precisione. Nella terminologia utilizzata in teoria delle misure, *accuratezza* e *precisione* descrivono due proprietà completamente indipendenti delle misurazioni; cosicché è possibile avere uno strumento (o una misurazione) accurato ma non preciso e viceversa. Per illustrare la differenza tra precisione e accuratezza è utile ricorrere ad un'analogia con il tiro al bersaglio interpretando il centro del bersaglio come il "valore vero" di un misurando e i tiri come le misure eseguite. Nella figura 2.1 sono rappresentate quattro differenti distribuzioni di tiri sul bersaglio (*a, b, c, d*) che possono essere commentate come segue: *a*) misure accurate ma non precise, *b*) misure precise ma non accurate, *c*) misure non accurate e non precise, *d*) misure accurate e precise. In conclusione l'accuratezza è legata alla vicinanza della misura al valore vero mentre la precisione è legata alla dispersione delle misure. Possiamo dedurre che uno strumento "buono" deve essere contemporaneamente accurato e preciso.

2.3 Strumenti analogici e digitali

Gli strumenti di misura possono essere classificati come analogici o come digitali in funzione di come lo strumento presenta il risultato della misurazione.

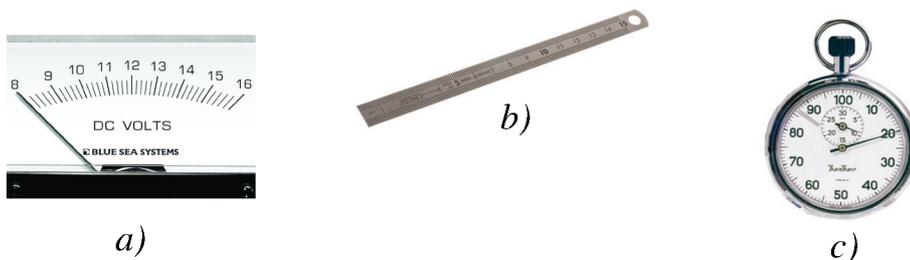


Figura 2.2: Esempi di strumenti a lettura analogica: a) Voltmetro, b) righello metrico, c) cronometro

Strumenti analogici. Gli strumenti analogici indicano il valore della misura tramite un indice oppure il livello di un liquido che si posiziona su una scala graduata. La caratteristica fondamentale degli strumenti analogici è quella di dare una valutazione *continua* del misurando.

Strumenti digitali. Con lo sviluppo dell'elettronica, nella seconda metà del novecento si sono sviluppati gli strumenti *digitali* che al giorno d'oggi hanno quasi completamente soppiantato quelli analogici. Negli strumenti digitali, diversamente da quelli analogici, la misura è data da un numero di un certo numero di cifre eventualmente seguito da un'unità di misura. Un esempio è mostrato in figura 2.3. Gli strumenti digitali compiono la seguente



Figura 2.3: Voltmetro digitale con 8 “digit”. Nel “Display” è mostrata l’unità di misura (mV).

funzione: un trasduttore³ trasforma la grandezza fisica che si vuole misurare in un segnale elettrico di ampiezza proporzionale alla grandezza fisica e in uno stadio successivo il segnale elettrico analogico viene trasformato in un segnale digitale (un numero). Nella figura 2.4 mostriamo un esempio di come il segnale analogico si trasforma in un segnale digitale.

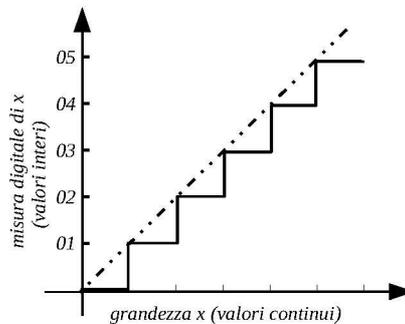


Figura 2.4: Grafico che schematizza il funzionamento di uno strumento digitale. E’ mostrato il comportamento dello strumento ideale.

2.4 Contatori

Una categoria di strumenti utilizzata in molti esperimenti di fisica è costituita dai cosiddetti *contatori*, dispositivi che generano un segnale digitale quando rivelano gli eventi per i quali sono stati progettati. Collegando questi strumenti a opportune memorie digitali è possibile ottenere il numero di eventi avvenuti in un determinato intervallo temporale. Un tipico esempio è il contatore *Geiger* che emette un segnale elettrico di ampiezza standard e di breve durata quando è attraversato da una particella che provoca una ionizzazione. Nella figura 2.5 è mostrato lo schema di un contatore Geiger con i circuiti elettronici necessari per la formazione e il conteggio degli impulsi.

2.4.1 Efficienza dei contatori

Un’importante caratteristica di un *contatore* è la sua efficienza, spesso indicata con ϵ , parametro che tiene conto della probabilità che una radiazione una volta entrata nel volume

³Un trasduttore alle volte detto sensore è un dispositivo in grado di trasformare una determinata grandezza fisica in un segnale misurabile, tipicamente elettrico.

sensibile del contatore venga rivelata. Se N sono le radiazioni che entrano nel contatore e n sono i segnali generati dal contatore, per N e n sufficientemente grandi, una valutazione di ϵ , è data da:

$$\epsilon \simeq \frac{n}{N}$$

Nella figura 2.5 è mostrato lo schema della generazione degli impulsi da un contatore e un esempio di inefficienza. Sulle modalità con cui vanno interpretate e analizzate le mi-

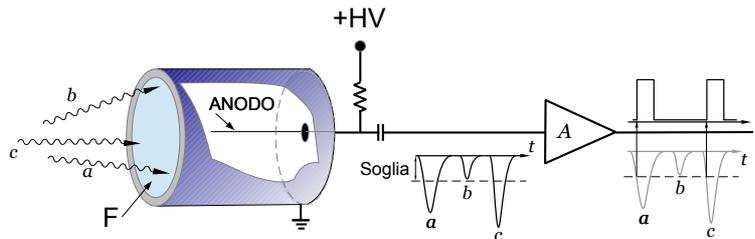


Figura 2.5: Schema di un contatore Geiger.

sure ottenute tramite contatori torneremo dopo aver introdotto i concetti di probabilità e statistica.