

# Introduzione alle misure

## 1 - Scopo e natura delle misure

---

Per la conoscenza del mondo fisico è necessario poterne quantificare le diverse grandezze. L'informazione quantitativa su una grandezza fisica è ottenuta attraverso le misurazioni, impiegando adeguati *strumenti* secondo opportuni *metodi*.

Per esprimere in modo completo il risultato di una misurazione, sono necessari almeno tre elementi: il valore della misura, l'unità di misura e l'incertezza.

### Risultato della misura

E' il valore numerico assegnato alla grandezza misurata (*misurando*).

La misura di una grandezza si può ottenere per via diretta, ad esempio quando si utilizza un voltmetro per conoscere una tensione, oppure in modo indiretto, quando si misurano separatamente più grandezze per risalire, tramite un *modello* noto, ad un'altra grandezza che potremo chiamare dipendente dalle prime.

### Unità di misura

Misurare una grandezza fisica significa attribuirle un numero che esprime il rapporto fra l'entità di tale grandezza e una grandezza dello stesso tipo assunta come riferimento, l'*unità di misura*. Si deduce pertanto che eseguire una misurazione presuppone un confronto.

Un esempio intuitivo può essere quello di una bilancia con due piatti sui quali si pongono rispettivamente il peso incognito e dei pesi noti o campioni.

### Incertezza di misura

Il numero che esprime la grandezza misurata potrà essere dichiarato solo con un certo margine di *incertezza* in quanto numerosissimi fattori, più o meno influenti, si oppongono alla conoscenza esatta del mondo fisico.

## 2 - Le misure elettriche

---

### Conversione di grandezze fisiche in grandezze elettriche

Quasi tutte le grandezze fisiche possono essere misurate con metodi elettrici.

La pratica di lavorare con segnali elettrici si è affermata e consolidata soprattutto a causa della possibilità di trattare questi segnali con le tecniche dell'elettronica, sia analogica che numerica, in modo da consentire l'elaborazione e la trasmissione remota dell'informazione in modo potente, flessibile e affidabile.

Per conseguire tali vantaggi è necessario che alla generica grandezza fisica venga associato un segnale elettrico tramite sensori e trasduttori.

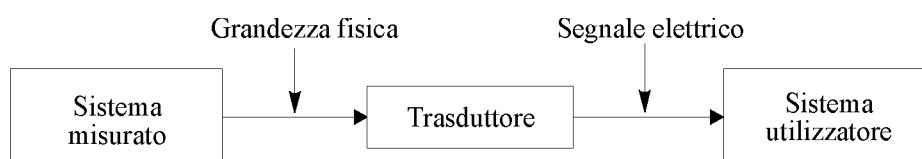
Il termine sensore viene spesso utilizzato come sinonimo di trasduttore e, per la verità, non esiste una differenza netta e universalmente accettata. In molti casi si parla di sensore come del primo dispositivo, immediatamente a contatto o in prossimità della grandezza fisica da convertire, riservando al termine trasduttore il significato di comprendere anche l'insieme di tutte le altre parti accessorie che servono per la corretta conversione del segnale: l'alimentazione, i circuiti di condizionamento, di amplificazione e linearizzazione, la codifica, la trasmissione, ecc.

Sono disponibili sul mercato un numero veramente elevato di sensori e trasduttori basati su molteplici principi di funzionamento e in grado di convertire in segnali elettrici la maggior parte delle grandezze fisiche (spostamento, forza, coppia, pressione, portata, velocità, accelerazione, temperatura, umidità, concentrazione di sostanze, irraggiamento, radiazione, quantità elettromagnetiche, ecc).

I principi di funzionamento su cui si basano i sensori e i trasduttori più diffusamente impiegati sono: l'effetto piezoresistivo e piezoelettrico, l'effetto fotoelettrico e fotovoltaico, l'effetto Seebeck, l'effetto Hall, l'effetto Doppler, variazioni resistive, induttive e capacitive, fenomeni elettromagnetici ed elettrodinamici.

Una categoria di trasduttori in crescente espansione è basata sui sensori realizzati direttamente nel silicio, che spesso integrano nel medesimo *chip* sia le funzioni del sensore vero e proprio sia quelle di condizionamento (parziale o totale) dei segnali. Si giunge in tal modo a configurazioni dette sensori intelligenti (*smart sensors*), cui si affiancano sempre più spesso i microprocessori con compiti di elaborazione dedicata.

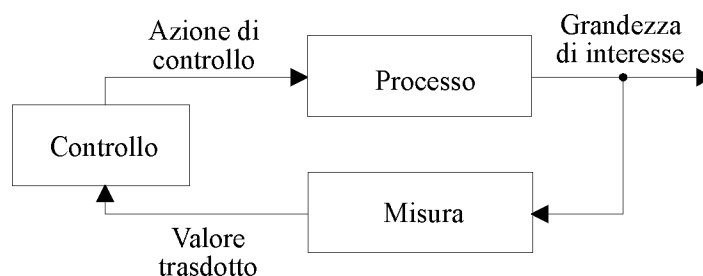
La trasduzione di una grandezza fisica può essere rappresentata come in Fig.2.1, dove compare anche il sistema utilizzatore della misura.



**Fig.2.1** - Trasduzione di una grandezza fisica.

L'utilizzo della misura, qualora questa sia destinata ad un operatore, può avvenire secondo un'indicazione analogica su una scala graduata o tramite indicazione numerica su un *display* (tipicamente a *led* o a cristalli liquidi) oppure su monitor, per i sistemi basati su PC.

Un ambito in cui si effettuano diffusamente delle misure è quello dei sistemi di controllo (vedi Fig.2.2).



**Fig.2.2** - La misura nei sistemi di controllo.

In questi casi, la misura di una grandezza fisica costituisce il mezzo indispensabile per

osservare il processo, al fine di prendere delle decisioni e adottare le appropriate strategie di controllo per ottenere i valori desiderati per le grandezze di interesse in uscita.

Normalmente, nel caso delle misure in sistemi di controllo, si utilizza direttamente il segnale elettrico nei blocchi di gestione del processo, mentre non è sempre necessaria la visualizzazione del risultato.

### **Condizionamento dei segnali**

Nella maggior parte dei casi pratici l'uscita del trasduttore non è direttamente utilizzabile, ma occorre un suo trattamento, al fine di ottenere un segnale che sia opportunamente correlato alla grandezza di interesse. In tali casi il segnale disponibile deve essere elaborato.

Ad esempio, per segnali di basso livello si renderà senz'altro necessaria l'amplificazione, mentre per segnali di livello troppo alto sarà necessaria la loro attenuazione, prima di essere applicati ai circuiti di ingresso degli strumenti di misura.

Altre operazioni di condizionamento vengono svolte da circuiti elettronici dedicati, come per esempio nel caso della misura del valore efficace di una tensione variabile.

Le procedure di trattamento del segnale impiegano estensivamente tecniche e metodologie proprie della strumentazione elettronica.

Fra i compiti assegnati al condizionamento dei segnali, soprattutto quelli di bassa intensità, risulta fondamentale la limitazione dei *disturbi*. I disturbi sono segnali indesiderati che si sovrappongono al segnale utile, alterandolo in modo più o meno consistente.

Gli accorgimenti adottati nella pratica per limitare l'influenza negativa dei disturbi sul segnale utile, dipendono dall'applicazione. Di particolare rilievo risultano: il filtraggio (riduzione della banda di rumore), le schermature, la cura nel realizzare i collegamenti di massa, la corretta amplificazione (la reiezione del modo comune).

### **Sistemi di misura digitali**

Nel campo delle misure si impiegano estensivamente sistemi e tecnologie proprie dell'elaborazione numerica dell'informazione.

Ciò richiede preliminarmente la conversione dei segnali elettrici, tipicamente analogici, in forma numerica (conversione analogico/digitale, A/D).

Per simmetria di rappresentazione e di impiego si dovrà considerare anche la conversione digitale/analogico, D/A.

La rappresentazione numerica dei segnali consente di implementare algoritmi efficienti che possono realizzare funzioni tipiche di blocchi analogici, come per esempio il filtraggio e la convoluzione oppure la definizione del valore efficace. In tal modo, una particolare misurazione viene caratterizzata non più da uno strumento, ma da un algoritmo.

L'elaborazione dell'informazione è affidata a microprocessori appartenenti a tutte le famiglie rese disponibili dalla microelettronica. Tuttavia particolarmente efficaci si rivelano i processori progettati specificatamente per l'elaborazione in tempo reale.

Quando l'elaborazione avviene in tempo reale, il sistema digitale si comporta come il corrispondente sistema analogico, svolge le stesse funzioni, ma consente maggiore semplicità di realizzazione e maggiore flessibilità, in quanto le varie azioni sono modificabili via software. Viene garantita inoltre una maggiore stabilità nel tempo, non essendo presenti fenomeni quali l'invecchiamento e le derive dei componenti analogici.

In molti casi le misure vengono raccolte con opportuni sistemi di acquisizione dati, gestiti direttamente dal computer. Il risultato dell'indagine diventa così il risultato di una elaborazione articolata su molte grandezze. Esempio di tali applicazioni è rappresentato dal collaudo automatico nelle produzioni in serie (*Automated Testing Equipment ATE*).

### 3 - Errori di misura

---

#### Definizioni

Nel fare una misura, cioè nell'attribuire ad una grandezza fisica un valore numerico, rimane sempre un margine di dubbio, più o meno grande, sul risultato.

Se indichiamo con  $M$  il valore misurato di una grandezza e con  $V$  il valore vero o ideale di tale quantità, si può parlare di errore come della differenza:

$$E = M - V \quad (3.1)$$

Poiché dell'errore non sono noti né il segno né l'entità (in caso contrario sarebbe possibile utilizzare la relazione precedente per ricavare il valore vero partendo dalla conoscenza di quello misurato), si è soliti fornire una stima del valore vero  $V$ , attribuendo alla quantità misurata  $M$  una fascia di errore  $\pm E_{max}$ , scrivendo:  $V = M \pm E_{max}$ . Il valore vero  $V$  si presume quindi che cada, con probabilità elevata, entro l'intervallo  $\pm E_{max}$  attorno al valore misurato  $M$ . Spesso, nel confronto fra metodi e strumenti diversi o nella semplice pratica, si rivela più utile l'errore relativo, definito come il rapporto fra l'errore assoluto  $E$  ed il valore vero  $V$ :

$$e = \frac{E}{V} = \frac{M - V}{V} \Rightarrow e\% = 100 \frac{E}{V} \quad (3.2)$$

L'errore relativo viene dato anche in percento (%), talvolta in permille (‰) o, quando è molto piccolo, in parti per milione (ppm).

Dal punto di vista pratico, al denominatore dell'espressione (3.2) il termine  $V$ , che è un valore ideale non noto, viene sostituito col valore misurato  $M$ , con differenze quasi sempre accettabili (se la differenza tra i due valori è piccola, come deve essere nelle misure ben fatte) sulla valutazione dell'errore relativo.

Una distinzione classica e ancora diffusa distingue gli errori in:

- *errori sistematici*: sono quelli che si presentano sempre con la stessa ampiezza e segno (per esempio lo spostamento dello zero in uno strumento a indice);
- *errori casuali*: sono quelli fortuiti, variabili in ampiezza e segno;

A queste categorie deve essere aggiunta quella degli *errori grossolani*, cioè dovuti a imperizia dell'operatore.

Osserviamo che, se si opera con cura, e quindi si evitano gli errori grossolani, e si riesce a correggere in qualche modo almeno una parte degli errori sistematici, allora l'errore  $E$  rappresenta il limite alla nostra possibilità di conoscenza. Il termine *errore* può pertanto apparire meno appropriato rispetto al termine *incertezza*, che associamo a cause imponderabili.

Osserviamo inoltre che la definizione (3.1) dell'errore non è a rigore operativamente utilizzabile, perché non è noto il valore vero della grandezza che cerchiamo di conoscere attraverso la sua misura. Ciononostante, il termine *errore* è ancora diffusamente impiegato, e ad esso si farà riferimento nel seguito di questo capitolo introduttivo per un primo approccio intuitivo al problema della propagazione degli errori nelle misure indirette.

Al concetto di *incertezza*, fondamentale nella scienza delle misure, e ai metodi impiegati per la sua valutazione quantitativa verrà dedicato un apposito capitolo.

#### Errori nelle misure indirette

In numerosi casi pratici ha interesse stabilire l'errore (o l'incertezza) di una grandezza ottenuta attraverso la misura di altre grandezze. Si consideri, pertanto, una grandezza fisica  $y$

funzione di altre quantità secondo un legame noto:

$$y = f(x_a, x_b, x_c, \dots) \quad (3.3)$$

Supponiamo che ciascuna grandezza  $x_a, x_b, x_c, \dots$  venga sottoposta a misurazione e venga determinata con un errore assoluto  $E_a, E_b, E_c, \dots$ .

Tali errori assoluti devono essere piccoli, affinché abbia un senso il risultato di una misura.

Allora l'errore complessivo  $E_y$  nella valutazione indiretta della quantità  $y$  può essere calcolato assimilando gli errori  $E_a, E_b, E_c, \dots$  ai differenziali  $dx_a, dx_b, dx_c, \dots$  e utilizzando la notazione dell'Analisi Matematica per il differenziale  $df$  della funzione  $f$ .

Si potrà quindi scrivere:

$$E_y = \frac{\partial f}{\partial x_a} E_a + \frac{\partial f}{\partial x_b} E_b + \frac{\partial f}{\partial x_c} E_c + \dots \quad (3.4)$$

Ciascuna derivata parziale è calcolata in corrispondenza dei valori misurati per le variabili  $x$ .

Poiché solitamente non è noto il segno dell'errore  $E$ , il caso peggiore porta a considerare la somma dei valori assoluti dei singoli contributi di errore.

$$E_y = \left| \frac{\partial f}{\partial x_a} E_a \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial x_b} E_b \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial x_c} E_c \right| + \dots \quad (3.5)$$

Per chiarire le idee, si considerino gli esempi seguenti, dove tutti i contributi di errore sono da intendersi in valore assoluto.

A) - *Somma di due grandezze:*

$$y = x_a + x_b \quad \Rightarrow \quad E_y = E_a + E_b \quad \Rightarrow \quad e_y = \frac{E_y}{y} = \frac{E_a + E_b}{x_a + x_b} \quad (3.6)$$

B) - *Differenza fra due grandezze:*

$$y = x_a - x_b \quad \Rightarrow \quad E_y = E_a + |-E_b| \quad \Rightarrow \quad e_y = \frac{E_y}{y} = \frac{E_a + E_b}{x_a - x_b} \quad (3.7)$$

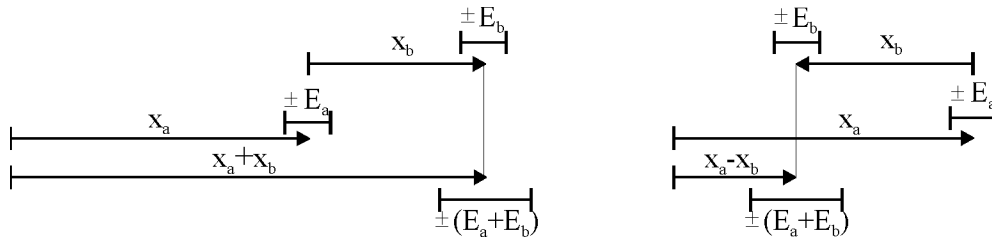
Si assumano i seguenti valori numerici:  $x_a = 10 \text{ V}$ ,  $x_b = 9 \text{ V}$ ;  $E_a = 0,1 \text{ V}$ ;  $E_b = 0,09 \text{ V}$ .

- L'errore relativo su ciascuna misura risulta:  $e_a = e_b = 1\%$ .
- L'errore relativo sulla somma delle tensioni è pari a:  $e_y = 0,19/(10+9) = 0,01 = 1\%$ .
- L'errore relativo sulla differenza delle tensioni è invece:  $e_y = 0,19/(10-9) = 0,19 = 19\%$  !

L'esempio mostra con evidenza che le determinazioni ottenute per differenza fra due quantità risultano tanto più critiche, con riferimento all'errore relativo, quanto più sono prossimi fra loro i due termini in sottrazione.

Un'interpretazione grafica dei due esempi trattati è data in Fig.3.1.

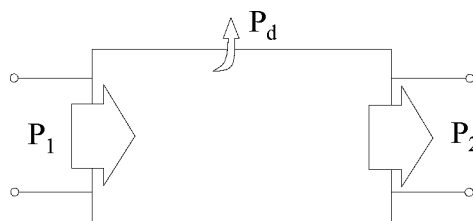
Una circostanza pratica in cui si presentano le difficoltà connesse alle misure per differenza, si riscontra nella determinazione della potenza dissipata in un dispositivo di conversione dell'energia elettrica con un rendimento elevato.



**Fig.3.1** - Valutazione degli errori per la somma e la differenza di due quantità.

In tal caso, indicando con  $P_1$  e  $P_2$  rispettivamente le potenze in ingresso e in uscita dal dispositivo, la potenza perduta nella conversione risulta  $P_d = P_1 - P_2$ .

Il rendimento della trasformazione risulta invece  $\eta = P_2/P_1$ .



**Fig.3.2** - Schema per un dispositivo di conversione della potenza.

Se il rendimento è elevato (prossimo a 1), le potenze  $P_1$  e  $P_2$  sono fra loro molto prossime. Si supponga, per semplicità della trattazione, che le misure delle due potenze, effettuate con due wattmetri, possano essere realizzate con lo stesso errore relativo  $e_p$ .

In tali condizioni l'errore relativo  $e_d$  nella valutazione della potenza perduta  $P_d$  risulta:

$$e_d = \frac{e_p P_1 + e_p P_2}{P_d} = e_p \frac{P_1 + P_2}{P_1 - P_2} = e_p \frac{1 + \eta}{1 - \eta} \quad (3.8)$$

Se supponiamo un rendimento  $\eta$  di conversione del 98% l'incertezza che risulta sulla determinazione di  $P_d$  è 99 volte maggiore di  $e_p$ .

In pratica, la determinazione di  $P_d$  fatta con tale metodo risulta scarsamente significativa e bisogna ricorrere a metodi di misura diversi, da esaminare caso per caso.

Possiamo considerare altri due esempi di valutazione dell'errore nelle misure indirette:

C) - Prodotto di due grandezze:

$$y = x_a x_b \quad \Rightarrow \quad E_y = |x_b E_a| + |x_a E_b| \quad e_y = \frac{E_y}{y} = e_a + e_b \quad (3.9)$$

L'errore relativo sul prodotto di due grandezze è pari alla somma degli errori relativi presenti in ciascuna determinazione.

D) - Quoziente fra due grandezze:

$$y = \frac{x_a}{x_b} \quad \Rightarrow \quad E_y = \left| \frac{1}{x_b} E_a \right| + \left| -\frac{x_a}{x_b^2} E_b \right| \quad e_y = \frac{E_y}{y} = e_a + e_b \quad (3.10)$$

Anche nel caso del quoziente fra due quantità, non essendo noto a priori il segno dell'errore, dovremo comunque considerare la somma dei singoli contributi di errore in valore assoluto. Pertanto, qualora si voglia considerare il caso più sfavorevole, l'errore relativo sul quoziente di due grandezze risulta dalla somma degli errori relativi delle singole determinazioni, come nel caso del prodotto.

## 4 - La riferibilità delle misure

---

### La Metrologia

Le misure costituiscono un aspetto importante della società industriale. Quando un qualsiasi prodotto passa di mano deve essere misurato. Ma l'importanza delle misure si estende, oltre che al commercio e all'industria, anche a numerosi altri campi della vita quotidiana abbastanza diversi e non meno importanti: si pensi, per esempio, ai settori della diagnostica medica o al monitoraggio dei parametri ambientali.

In tutti i casi, comunque, le misure devono essere comparabili e per questo è necessario un grado di accordo sui risultati ottenuti.

La strumentazione e le procedure utilizzate per le misure devono quindi essere verificate ed accreditate come rispondenti alle loro specifiche e riferibili a standard riconosciuti, nazionali o internazionali, di precisione più elevata.

La metrologia è la scienza delle misure e comprende tutti gli aspetti sia teorici che pratici connessi alle misure. Essa può essere suddivisa in tre categorie, con differenti livelli di complessità e accuratezza:

- *Metrologia scientifica*: si occupa dell'organizzazione e dello sviluppo dei campioni di misura e della loro conservazione (è il livello di accuratezza più elevato);
- *Metrologia industriale*: assicura l'adeguato funzionamento degli strumenti di misura usati nell'industria tanto nella produzione quanto nelle procedure di collaudo;
- *Metrologia legale*: riguarda l'accuratezza delle misure che hanno influenza sulla trasparenza delle transazioni economiche, sulla salute e sulla sicurezza.

In alcuni casi quindi norme di legge impongono precisi requisiti di riferibilità alle misure (per esempio nei settori attinenti alla sicurezza o alla salute pubblica); in altri casi, l'accettazione volontaria di impiegare strumentazione riferibile è condizione necessaria per ottenere la certificazione di qualità sul prodotto o sull'azienda produttrice.

### Riferibilità (*traceability*)

Secondo il Vocabolario Internazionale dei termini usati nella Metrologia (VIM), la riferibilità è la proprietà del risultato di una misura o del valore di un campione per la quale esso può essere messo in relazione a un riferimento stabilito, generalmente un campione nazionale o internazionale, attraverso una catena ininterrotta di confronti (*catena di riferibilità*) aventi tutti un'incertezza determinata.

### Taratura (*calibration*)

Per la determinazione delle caratteristiche metrologiche di uno strumento si procede a operazioni di confronto delle indicazioni fornite dallo strumento con i valori di grandezze di riferimento ad esso applicate, ritenute note, e ottenute dai campioni.

La taratura è dunque l'insieme delle operazioni che stabiliscono, sotto specificate condizioni, la relazione tra i valori di una quantità indicati da uno strumento o da un sistema di misura e i corrispondenti valori realizzati dai campioni.

Il significato e il valore di una operazione di taratura dipendono dalla credibilità dello

standard di riferimento e dalle modalità con cui viene realizzato il confronto.

Una procedura di taratura garantisce la riferibilità delle misure quando viene effettuata da un organismo riconosciuto o accreditato a livello nazionale o internazionale.

Nelle operazioni di taratura, spesso, i campioni sono vantaggiosamente sostituiti dai più pratici calibratori multifunzione: questi sono apparecchiature compatte e di facile impiego che, nel caso di calibratori per grandezze elettriche, sono in grado di generare dei valori di riferimento di tensione, corrente e resistenza con accuratezza sufficientemente spinta per la maggior parte delle tarature ordinarie.

### **Metrologia nazionale e internazionale**

Fra gli scopi principali della metrologia moderna vi è quello di definire il Sistema Internazionale (SI) di Unità di Misura, di modificarlo e adeguarlo, se necessario, in relazione ai progressi della Scienza e della Tecnologia, e di curarne la diffusione.

A livello internazionale, la responsabilità di queste attività è assegnata al CGPM, (*Conférence Générale des Poids et Mesures*) e all'organismo tecnico CIPM (*Comité International des Poids et Mesures*). In ambito nazionale, viceversa, operano gli Istituti Primari che provvedono alla realizzazione, al mantenimento e alla disseminazione delle Unità SI nei singoli Stati.

In Italia, gli Istituti Primari sono:

- IENGF Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris
- IMGCI Istituto di Metrologia Gustavo Colonnetti
- ENEA Ente per Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente

Dal 2006 i primi due hanno dato vita all'INRIM (Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica).

In Europa ricordiamo, fra gli altri, l'Istituto Primario della Germania PTB (*Physikalisch-Technische Bundesanstalt*) e quello inglese NPL (*National Physical Laboratory*).

L'Istituto Primario degli Stati Uniti è il NIST (*National Institute of Standards and Technology*, già *NBS National Bureau of Standards*).

Gli Istituti Primari dei singoli Stati realizzano e conservano i campioni primari delle diverse grandezze fisiche, per consentire il confronto e la verifica dei campioni secondari da diffondere nel territorio nazionale.

Il coordinamento dell'attività degli Istituti Primari nazionali è operativamente realizzato dall'organismo sovranazionale BIPM (*Bureau International des Poids et Mesures*).

### **La riferibilità in Europa e in Italia**

In Italia, fino agli anni '70 gli Istituti Primari hanno effettuato direttamente nei propri laboratori la taratura della strumentazione industriale.

In breve risultò evidente che lo sviluppo del commercio internazionale e l'apertura dei mercati avrebbero richiesto un'attività sempre maggiore e decentrata, insostenibile con l'attività diretta degli Istituti Primari. Vennero pertanto presi accordi a livello europeo per la creazione di organismi che potessero far fronte alla crescente mole di lavoro di taratura.

In tal modo, al fine di assicurare omogeneità nell'attività di taratura, vennero riconosciute da parte degli Istituti Primari nazionali competenze metrologiche ad altri laboratori accreditati.

Una delle prime iniziative fu la costituzione nel 1975 della WECC (*Western European Calibration Cooperation*), che riuniva i Servizi di Taratura dei Paesi dell'Europa Occidentale.

Per l'Italia, in particolare, IENGF, IMGCI ed ENEA crearono il Servizio Nazionale di Taratura e prese corpo il SIT (Sistema Italiano Taratura). Il Sistema Nazionale di Taratura è stato costituito con legge 11/08/1991 n. 273.

Negli anni '90 quasi tutti i Paesi europei hanno organizzato i propri Servizi Nazionali di Taratura. Questi sono oggi coordinati dall'EA (*European cooperation for the Accreditation*),



nato nel 1997.

L'EA favorisce lo scambio di conoscenza metrologica, armonizza le procedure di accreditamento e favorisce la fiducia reciproca al fine di produrre accordi di mutuo riconoscimento (MLA, *MultiLateral Agreement*).

In tal modo ciascun Servizio Nazionale riconosce le procedure operative dei Servizi di Taratura operanti negli altri Paesi firmatari, accetta come equivalenti i certificati emessi dagli altri Sistemi di Taratura e ne promuove il riconoscimento nel proprio Paese.

### **L'accREDITAMENTO DEI LABORATORI**

Quanto fatto per il riconoscimento della tarature della strumentazione è stato applicato anche ai laboratori, di qualunque tipo e per qualunque tipo di prova o attività.

L'accREDITAMENTO dei laboratori è curato e gestito in Italia dal SINAL (Sistema Italiano Nazionale per l'AccREDITAMENTO dei Laboratori).

L'accREDITAMENTO garantisce la competenza e l'imparzialità dell'operato di una determinata struttura: centro di taratura o laboratorio di prova.

In alcuni casi, i processi di taratura, anziché essere sviluppati per attività di confronto, richiedono l'utilizzo di *materiali di riferimento*.

I materiali di riferimento trovano impiego in settori come le analisi chimiche in campo industriale, le analisi ambientali, le misure biologiche e per la salute.

Il Centro Nazionale per i Materiali di Riferimento (CNMR) è l'ente che fornisce tutte le informazioni sulla reperibilità dei materiali di riferimento.

### **Gli standard**

Poiché i processi di globalizzazione comportano lo spostamento tecnologie, impianti, beni e servizi, in ogni parte del mondo, è nata l'esigenza di misurare in modo coerente e universalmente accettato ciò che viene scambiato.

A tale scopo sono nati gli *standard*, ovvero accordi scritti, riguardanti specifiche tecniche oppure regole per l'applicazione uniforme delle definizioni e delle norme.

Il loro obiettivo è quello di assicurare che i materiali, i prodotti, le procedure o i servizi ad essi conformi, risultino adatti allo scopo per il quale sono previsti, realizzati e venduti.

I maggiori organismi di standardizzazione mondiale sono:

IEC (International Electrotechnical Commission)

ISO (International Standard Organization)

Il primo si occupa della standardizzazione nel campo dell'ingegneria elettrica ed elettronica, il secondo di tutti gli altri campi.

La conformità ad una normativa internazionale, universalmente riconosciuta, agevola gli scambi, in quanto non sono più necessari i controlli tecnici ad ogni passaggio e su ogni aspetto del bene scambiato, ma sono sufficienti quelli fatti una sola volta.

I loro omologhi a livello europeo sono:

CENELEC (Comité Européen de Normalization Electrotechnique)

CEN (Comité Européen de Normalization)

Nota è l'ente americano ANSI (American National Standards Institute).

Infine, in Italia operano in stretto coordinamento con i precedenti organismi europei e con le stesse finalità istituzionali:

CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano)

UNI (Unificazione Italiana)

## Norme ISO 9000

Le Norme ISO 9000 costituiscono un modello internazionale per realizzare e documentare un sistema di qualità aziendale.

Un sistema di qualità è una forma di organizzazione che definisce le procedure, le risorse e le responsabilità per conseguire un prefissato obiettivo di qualità.

Le norme ISO 9000 sono state introdotte nel 1987 negli Stati Uniti dall'ISO (International Standard Organization). Successivamente (1994) sono state recepite dall'Unione Europea come Norma EN 29000. Le Norme ISO 9000 sono state revisionate nel 2000 con lo scopo di migliorarle e renderne più agevole l'applicazione. La nuova edizione è nota con il nome di UNI EN ISO 9000:2000. La conformità di un'industria o di un produttore alle Norme ISO 9000 non è obbligatoria. Tuttavia tale conformità diventa essenziale quando un cliente la pretende: in tal modo essa costituisce un fattore strategico di competitività sul mercato.

Nell'Unione Europea, per la vendita di molti beni e prodotti occorre una marcatura di conformità (il contrassegno CE) alle Direttive Europee. Valga, come esempio, il riferimento alla Direttiva Europea 73/23/CEE, nota come Direttiva Bassa Tensione (riguardante i prodotti elettrici in bassa tensione), recepita in Italia come Legge dello Stato. Le industrie extraeuropee che vogliono esportare in Europa prodotti soggetti a Direttiva Europea CE, se hanno la certificazione ISO 9000, non sono praticamente soggette a ulteriori verifiche.

Le Norme ISO 9000 prevedono l'impiego di strumentazione di misura riferibile.

## 5 - Sistema Internazionale di unità di misura

### Grandezze fondamentali

Il Sistema Internazionale (sistema SI) definisce le unità fondamentali di misura che vengono universalmente adottate. Le unità fondamentali assunte nel sistema SI sono:

Grandezza	Nome unità	Simbolo unità	Dimensioni
1) lunghezza	metro	m	L
2) massa	kilogrammo	kg	M
3) tempo	secondo	s	T
4) temperatura	kelvin	K	$\Theta$
5) corrente elettrica	ampere	A	I
6) intensità luminosa	candela	cd	
7) quantità di sostanza	mole	mol	

- 1) - Il **metro** è la distanza percorsa dalla luce nel vuoto durante un intervallo di tempo pari a  $1/299\,792\,458$  di secondo.
- 2) - Il **kilogrammo** è la massa del prototipo internazionale conservato a Sevres.
- 3) - Il **secondo** è la durata di  $9\,192\,631\,770$  periodi della radiazione corrispondente alla transizione fra due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo di Cesio 133.
- 4) - L'**ampere** è quella corrente costante che mantenuta in due conduttori rettilinei e paralleli, di lunghezza infinita e sezione circolare trascurabile, posti a un metro di distanza nel vuoto, produce fra tali conduttori una forza di  $2 \times 10^{-7}$  N per metro di lunghezza.
- 5) - Il **kelvin** è la frazione di  $1/273,16$  della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua.

- 6) - La **mole** è la quantità di sostanza di un sistema il quale contiene un numero di entità elementari pari a quelle contenute in 0,012 kilogrammi di Carbonio 12.  
(Quando si usa la mole, le entità elementari devono essere specificate e possono essere atomi, molecole, ioni, elettroni, o altre particelle specificate o gruppi di esse).
- 7) - La **candela** è l'intensità luminosa, in una data direzione, di una sorgente che emette una radiazione monocromatica alla frequenza di  $540 \times 10^{12}$  hertz e che ha una potenza luminosa, in quella direzione, di 1/683 watt per steradiano.

Vengono inoltre definite le unità di misura angolari:

- angolo piano (radiante, rad): è l'angolo al centro sotteso da un arco di circonferenza di lunghezza pari al raggio (1 angolo giro =  $2\pi$  radianti).
- angolo solido (steradiano, sr): in una sfera di raggio unitario, è l'angolo al centro sotteso da una calotta di superficie pari a 1 metro quadrato (1 angolo sferico =  $4\pi$  steradiani).

### Multipli e sottomultipli

Qualora le unità di misura appaiano troppo grandi o troppo piccole in relazione alla grandezza da misurare si adottano multipli o sottomultipli:

<i>multiplo</i>	10	100	1000	$10^6$	$10^9$	$10^{12}$	$10^{15}$	$10^{18}$
<i>prefisso</i>	deca	etto	kilo	mega	giga	tera	peta	exa
<i>simbolo</i>	da	h	k	M	G	T	P	E
<i>sottomultiplo</i>	1/10	1/100	1/1000	$10^{-6}$	$10^{-9}$	$10^{-12}$	$10^{-15}$	$10^{-18}$
<i>prefisso</i>	deci	centi	milli	micro	nano	pico	femto	atto
<i>simbolo</i>	d	c	m	$\mu$	n	p	f	a

### Unità derivate

Nel seguito si riportano alcune classiche e ben note unità derivate:

Grandezza	Definizione	Nome	Simbolo	Dimensioni
velocità	$v = dl/dt$	---	m/s	$L T^{-1}$
accelerazione	$a = dv/dt$	---	$m/s^2$	$L T^{-2}$
forza	$F = ma$	newton	N (kg m/s <sup>2</sup> )	$M L T^{-2}$
lavoro	$L = Fl$	joule	J (N m)	$M L^2 T^{-2}$
potenza	$P = L/t$	watt	W (J/s)	$M L^2 T^{-3}$
energia	$E = Pt$	joule	J (W s)	$M L^2 T^{-2}$
frequenza	$f = 1/t$	hertz	Hz (1/s)	$T^{-1}$
tensione	$U = P/I$	volt	V (W/A)	$M L^2 T^{-3} I^{-1}$
resistenza	$R = U/I$	ohm	$\Omega$ (V/A)	$M L^2 T^{-3} I^{-2}$

### Le unità pratiche

Benché sconsigliate, le unità di misura pratiche, soprattutto anglosassoni, continuano ad essere diffusamente impiegate in numerosi ambiti, soprattutto tecnologici.

Così appare opportuno richiamare alcune fra le equivalenze più diffuse:

1 pollice	equivale a	2,54	cm
1 piede	equivale a	30,48	cm
1 yarda	equivale a	91,44	cm
1 miglio nautico	equivale a	1,852	km
1 gallone (UK)	equivale a	4,5	litri
1 gallone (US)	equivale a	3,78	litri

1 kilogrammo forza	equivale a	9,81	N
1 kcaloria	equivale a	4.183	J
1 British Thermal Unit	equivale a	1,055	kJ
1 kcal/h	equivale a	$860^{-1}$	kW
1 grado	equivale a	0,0174	rad

Per le temperature sono molto diffuse le scale Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) e, nei paesi anglosassoni, Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ).

Le relazioni che esprimono la corrispondenza tra queste due scale e le unità del sistema SI sono:  $T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273,16$  e  $T(^{\circ}\text{C}) = 5[T(^{\circ}\text{F}) - 32]/9$  (per es.  $70^{\circ}\text{F}$  corrisponde a  $21,1^{\circ}\text{C}$ ).

### Deduzione dell'unità elettrica

Come unità fondamentale di natura elettrica è stata assunta l'intensità di corrente.

Nella Fig.5.1 è riportato uno schema che richiama il principio fisico su cui si basa la definizione di unità di corrente. Data una corrente  $I$  che fluisce nel conduttore rettilineo 1, nello spazio circostante si manifesta un'induzione magnetica  $B$ . Se anche nel conduttore rettilineo 2 passa una corrente  $I$ , l'interazione fra l'induzione  $B$  e la corrente  $I$  produce una forza  $F$ .

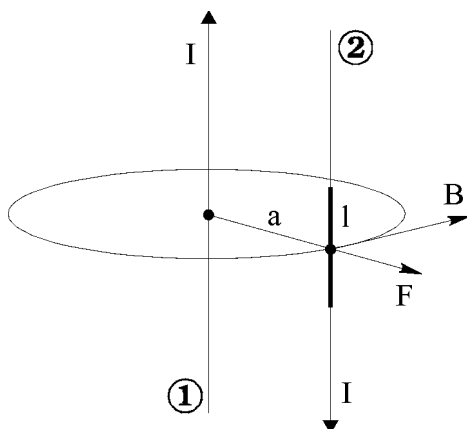


Fig.5.1 - Azioni meccaniche fra correnti.

Se le correnti che attraversano i due conduttori 1 e 2 sono di valore uguale e di verso opposto, la forza  $F$  è tale che i due conduttori si respingono.

L'espressione della forza agente fra i due conduttori risulta:

$$F = BIl = \mu_0 HIl = \mu_0 \frac{I^2}{2\pi a} l \quad (5.1)$$

Si definisce corrente di 1 ampere ( $I = 1 \text{ A}$ ) quella corrente che passando in due conduttori paralleli, rettilinei e indefiniti, distanti  $a = 1 \text{ m}$ , determina una forza  $F = 2 \times 10^{-7} \text{ N}$ , per una lunghezza  $l = 1 \text{ m}$  del conduttore.

Dalla definizione dell'ampere consegue anche il valore della permeabilità  $\mu_0$  del vuoto:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \left[ \frac{\text{N}}{\text{A}^2} \right] \quad (5.2)$$

In pratica, l'unità di corrente risulta di difficile realizzazione e mantenimento; inoltre la sua definizione implica il ricorso a misure meccaniche di forza che possono essere determinate

con incertezze dell'ordine di  $10^{-5}$ .

D'altra parte nel confronto fra grandezze elettriche si arriva a incertezze molto più basse.

Pertanto si preferisce realizzare campioni primari materiali di grandezze elettriche che siano legate alla corrente tramite la legge di Ohm.

Così si realizzano campioni primari di tensione e di resistenza. I campioni primari di tensione si basano sull'effetto Josephson. I campioni primari di resistenza si basano sull'effetto Hall quantico. Tali realizzazioni sono molto complesse e particolarmente costose per cui sono adottate solo dagli Istituti Primari.

Nell'attività quotidiana dei Centri di Taratura, invece, si impiegano diffusamente i calibratori multifunzione. Questi sono apparecchi compatti e facili da usare, in grado di produrre tensioni, correnti e resistenze di riferimento con incertezza ben definita e particolarmente bassa, sufficiente per gran parte delle esigenze di taratura della strumentazione industriale.