LE PROVE DI LABORATORIO E LE RELAZIONI

1. LA PROVA

Durante la prova è necessario:
-verificare la correttezza dei collegamenti;
-verificare la congruenza degli strumenti rispetto alla misura;
-verificare che gli strumenti siano funzionanti e messi a zero;
-operare con estrema accortezza le variazioni del circuito previste dalla prova stessa;
-essere più precisi possibile nella lettura degli strumenti.

2. LA RELAZIONE

Ogni relazione deve presentare:

-l'oggetto della prova;
-lo schema elettrico;
-lo schema topografico;
-gli apparecchi impiegati con indicazione del tipo e delle caratteristiche(classe di precisione, portate, modo di funzionamento, costruttore, numero di identificazione);
-formule di calcolo impegnate;
-tabella dei valori letti e dei risultati ricavati con le rispettive unità di misura;
-la relazione vera e propria che, mediante una stringata ma esaustiva parte teorica, evidenzi le finalità e la conduzione della prova, le modalità con cui vengono scelti gli strumenti e fornisca delle indicazioni sulla qualità e sul significato del risultato che è stato raggiunto.

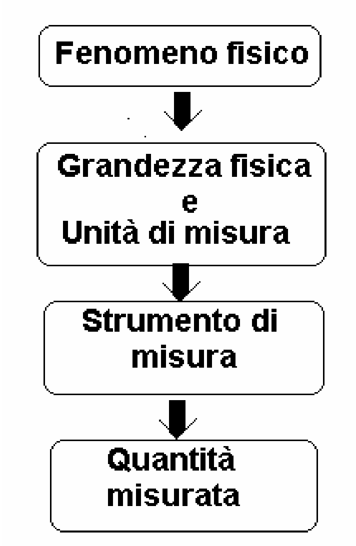
3. LA STESURA

- -I nomi delle grandezze e delle unità di misura vanno scritti completamente in minuscolo, anche la prima lettera (ad es., ampere e non Ampere);
- -I simboli delle grandezze vanno scritti in carattere corsivo;
- -I simboli delle unità vanno scritti in carattere normale;
- -Le unità di misura scritte per esteso non hanno plurale, tranne qualche eccezione (kilogrammo, secondo, etc.). E’ errato scrivere cinque volts; la scrittura corretta è cinque volt;
- -L’unità di misura va scritta per esteso solo in corrispondenza di un numero scritto in lettere. Le scritture 10 volt e dieci V sono entrambe scorrette;
- -In ogni caso, l’unità di misura o il simbolo vanno posposti al valore numerico;
- -E’ opportuno separare in gruppi di tre cifre i valori numerici composti da più cifre in modo da facilitarne la lettura;
- -Nel caso di divisioni tra grandezze, si userà “al” e non “per”; ad es. Wb/mq non deve essere letto come weber per metro quadro, ma come weber al metro quadro.

IL LABORATORIO DI ELETTROTECNICA

LE MISURE ELETTRICHE

I fenomeni elettrici sono fenomeni fisici e in quanto tali definiti da grandezze fisiche quali corrente, tensione, etc. Non è possibile parlare di un fenomeno se non si è in grado di percepirlo e poi misurarlo. Lo studio dei fenomeni elettrici è quindi legato al problema dell'unità di misura delle grandezze elettriche e dei relativi strumenti di misura.



Si definisce ***Misura*** *di una grandezza il rapporto fra il valore della grandezza stessa e il valore di un' altra grandezza omogenea alla prima, assunta come unità.*

Il "Sistema Internazionale", stabilito dalla 17° Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure(1983), è il sistema di misura universalmente adottato per la determinazione dei fenomeni elettrici.

Il Sistema Internazionale (SI)è basato su 7 unità fondamentali da cui derivano tutte le altre.

-metro (m) per le lunghezze;
-kilogrammo massa (kg) per la massa;
-secondo (s) per il tempo;
-ampere (A) per la corrente elettrica;
-gradi kelvin (K) per la temperatura;
-candela (cd) per la luminosità;
-mole (mol) per la quantità di materia coinvolta in una reazione chimica.

Ogni unità di misura ha dei multipli e sottomultipli evidenziati da un prefisso che ne caratterizza il coefficiente moltiplicativo.

Ad esempio:

-Tera = 10^{12} = T -milli = 10^{-3} = m
-Giga = 10^{9} = G -micro = 10^{-6} = μ
-Mega = 10^{6} = M -nano = 10^{-9} = n
-Kilo = 10^{3} = k -pico = 10^{-12} = p

Gli strumenti di misura sono apparecchi che consentono di ottenere direttamente la quantizzazione della grandezza fisica cercata.
Ogni misura non costituisce la rappresentazione esatta del valore della grandezza da misurare, a causa della imperfezione della strumentazione, dei metodi di misura, degli organi sensori dell' operatore e dell' influenza della temperatura sulla grandezza da misurare.
Ad ogni misura va quindi associato un certo grado di incertezza, la cui valutazione costituisce uno dei problemi fondamentali della misura stessa.

NATURA DEGLI ERRORI

Nelle operazioni di misurazione non è possibile determinare il valore effettivo di una grandezza in quanto non esistono strumenti di misurazione perfetti, privi di errore, cosi come l' abilità con la quale un operatore esegue la misura, varia sensibilmente a seconda dei casi. Nell' effettuare una misurazione si commettono, pertanto, errori che dipendono da cause diverse e che influenzano il valore della grandezza misurata cioè la misura.
Le cause di errore nelle misurazioni,e in particolare in campo elettrico, sono di diverso tipo e si possono classificare nel seguente modo:

1. Errori grossolani;
2. Errori sistematici;
3. Errori accidentali;
4. Errori di insensibilità strumentale;
5. Errori di apprezzamento.

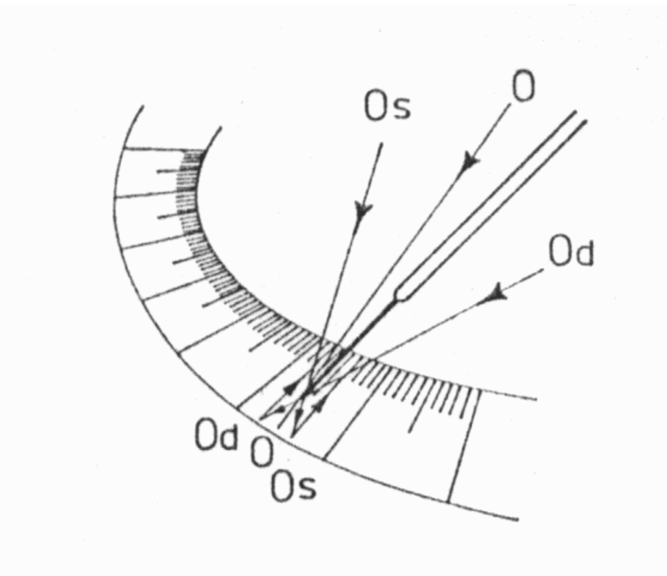
1. Gli errori grossolani sono dovuti a scarsa abilità operativa e/o a strumenti inefficienti. In generale, sono immediatamente riconoscibili data la loro grande ampiezza; talvolta, però, possono essere difficili da individuare in quanto commessi **involontariamente** dall' operatore.
2. Gli errori sistematici sono dovuti a cause ben definite, la cui esistenza può essere spesso, ma non sempre, prevista.
In molti casi, l' entità degli errori sistematici può essere stimata e il risultato della misura può in tal modo venir opportunamente corretto. In altri casi, gli errori

sistematici possono venir eliminati con un adatto sistema di misura. Alcuni errori sistematici non possono venir calcolati nè eliminati.
Si può dunque concludere che la correzione e la compensazione degli errori sistematici è possibile solo entro certi limiti di approssimazione e quindi ogni misura risulta sempre affetta da un errore sistematico residuo.
L' esistenza degli errori sistematici può essere messa in evidenza sperimentalmente ripetendo la misura con procedimenti diversi. Rientrano, come vedremo, in tali errori quelli dovuti all' imprecisione degli strumenti in relazione alla **CLASSE DI PRECISIONE** dello strumento.

3. Gli errori accidentali sono quelli che si presentano, in successive misure effettuate nelle stesse condizioni, con segno ed entità diverse di volta in volta. Gli errori accidentali sono rivelati dal fatto che, ripetendo più volte la stessa misura, con lo stesso metodo e la stessa strumentazione e mantenendo inalterate tutte le altre condizioni, si ottengono risultati diversi da prova a prova.
Le misure effettuate risultano differenti l' una dall' altra in modo disordinato e disordinatamente distribuite attorno a un valore medio.
Questi errori accidentali, presenti in ogni misura, hanno natura casuale e sono dovuti principalmente a variazioni ambientali (di pressione, temperatura, campi elettrici e magnetici, etc); essi comprendono altresì gli errori di lettura imputabili all' operatore.
Gli errori accidentali possono venire compensati solo ripetendo un conveniente numero di volte, a parità di condizioni, la misura.

4. Gli errori di insensibilità strumentale sono dovuti al limite presentato dagli strumenti nel percepire variazioni minime della grandezza da misurare.

5. Gli errori di apprezzamento sono dovuti ad una difettosa lettura della posizione del-l'indice dello strumento sulla sotto-stante graduazione in relazione alla abilità dell' operatore e del potere risolutivo dell' occhio umano. Tra gli errori di apprezzamento si può comprendere pure l'**errore di parallasse** che è dovuto al fatto che la linea di traguardo dell' operatore può non essere esattamente perpendicolare al piano della graduazione cosi che lo sguardo può leggere una indicazione scostata a destra o a sinistra di quella esatta.



Come si può osservare dalla figura la posizione corretta è la 0 cioè ponendo l'occhio sulla normale alla scala passante per l'indice.

ERRORE ASSOLUTO ED ERRORE RELATIVO

Si definisce **ERRORE ASSOLUTO** della misura di una qualsiasi grandezza A, la differenza ΔA, presa in valore e in segno, tra il valore Am fornito dalla misura ed il valore vero Av della grandezza in esame, cioè:

Errore assoluto ΔA = Valore misurato A_m - Valore vero A_v

$$\Delta A = A_m - A_v$$

Il rapporto tra l'errore assoluto ΔA ed il valore vero Av costituisce l'errore relativo e cioè:

$$e = \frac{\Delta A}{A_v} = \frac{A_m - A_v}{A_v}$$

Tale errore relativo viene usualmente espresso in percento ponendo :

$$e\% = 100\,\frac{\Delta A}{A_v} = 100\,\frac{A_m - A_v}{A_v}$$

Dove sia noto o presunto l'errore relativo **e,** il valore vero della grandezza in esame e risulta

$$A_v = \frac{1}{1+e}\,A_m = \frac{100}{100+e\%}\,A_m \quad (\,*\,)$$; ciò si ottiene in tal modo :

$$e = \frac{A_m}{A_v} - 1 \;\Rightarrow\; \frac{A_m}{A_v} = 1 + e \qquad \Rightarrow \text{ da cui } \quad \frac{A_v}{A_m} = \frac{1}{1+e}$$

Talvolta è più comodo riferire l'errore relativo **e** al valore misurato A_m anziché al valore vero A_v ponendo:

$$e = \frac{\Delta A}{A_m} = \frac{A_m - A_v}{A_m} \qquad \text{ed in percento} \qquad e\% = 100\,\frac{A_m - A_v}{A_m}$$

In tal caso il valore vero viene espresso da:

$$e = \frac{A_m - A_v}{A_m} = 1 - \frac{A_v}{A_m} \;\Rightarrow\; e - 1 = -\frac{A_v}{A_m} \;\Rightarrow\; 1 - e = \frac{A_v}{A_m}$$ in definitiva

$$A_v = (1 - e)\,A_m = \frac{100 - e\,\%}{100}\,A_m \quad (*)$$

Nelle due formule trovate (vedi *) ,l’errore relativo **e** va sostituito con il proprio segno ,positivo o negativo.

Il **GRADO DI APPROSSIMAZIONE** di una misura, si può esprimere in percento mediante la differenza tra 100 ed il valore assoluto dell’errore relativo espresso in percento; così ad esempio se in una misura si commette un errore di +/- 1,5 % si dirà che quella misura presenta un grado di approssimazione pari al 98,5 %.

Esempio:

Si è effettuata una misurazione di lunghezza nella quale è stato commesso un errore di 3[mm].Per giudicare,però,se l’errore è grande o piccolo bisogna confrontarlo con la lunghezza da misurare. A tale riguardo si considerino tre casi:

1°caso: la lunghezza da misurare è L = 10 [mm]. Ci si rende subito conto che l’errore compiuto è notevole e quindi inaccettabile;

2°caso: la lunghezza da misurare è L = 3000 [mm] .L’ errore compiuto è modesto e quindi accettabile;

3°caso: la lunghezza da misurare L = 1000 [m] .L’ errore compiuto è irrilevante a fronte di una misurazione di grande precisione.

<u>Errore risultante nella misura indiretta di una grandezza che è funzione di altre grandezze:</u>

Spesso capita di dover calcolare il valore di una grandezza sviluppando certe operazioni di calcolo sui valori misurati di altre grandezze.

Esamineremo ora i casi più semplici :

SOMMA DI DUE O PIU’ GRANDEZZE

Consideriamo una grandezza S= A + B. Misurando separatamente le due grandezze A e B noi troveremo due valori A_m e B_m che saranno sicuramente diversi dai valori veri A_v e B_v .Nella determinazione delle somme troveremo quindi il valore $S_m = A_m + B_m$ in luogo del valore vero $S_v = A_v + B_v$.

L’errore relativo che si commette sulla somma è di conseguenza:

$$\mathbf{e_s} = \frac{S_m - S_v}{S_m} = \frac{(A_m+B_m)-(A_v+B_v)}{A_m + B_m}$$

Se indichiamo che con $\mathbf{e_A}$ ed $\mathbf{e_B}$ gli errori relativi che competono alle misure delle due grandezze componenti ,potremmo porre :

$$A_v = (1 - e_A)\,A_m \quad e \quad B_v = (1 - e_B)\,B_m$$

Ora sostituendo queste due espressioni nella precedente e semplificando risulta:

$$\mathbf{e_s} = \frac{A_m + B_m - [(1 - e_A)A_m + (1 - e_B)B_m]}{A_m + B_m} = \frac{A_m + B_m - [A_m - e_A A_m + B_m - e_B B_m]}{A_m + B_m} =$$

$$= \frac{A_m + B_m - A_m + e_A A_m - B_m + e_B B_m}{A_m + B_m} = \boxed{\frac{\mathbf{e_A\, A_m + e_B\, B_m}}{\mathbf{A_m + B_m}}}$$

Tale relazione si interpreta dicendo che l'errore relativo risultante che si commette nella misura indiretta della somma di due grandezze , è rappresentato dalla **MEDIA PONDERALE** degli errori relativi che si commettono nella misura delle due grandezze componenti .
Facciamo ora un esempio : supponiamo che si debba fare la somma di due correnti.
Con due amperometri misuriamo i valori 20 A e 65 A . In totale avrò una corrente di
85 A. Però se noi sappiamo che il primo amperometro presenta un errore $e_1 = + 1,5\ \%$ ed il secondo un errore $e_2 = - 2,5\ \%$ posso calcolare l'errore relativo che si commette nella determinazione della corrente totale e cioè :

$$\mathbf{e_s} = \frac{e_1 I_I + e_2 I_2}{I_I + I_2} = \frac{+0,015 \times 20 + (-0,025 \times 65)}{20 + 65} = -\frac{1,325}{85} = -0,015 = -1,5\%$$

Il vero valore della corrente totale sarà :

$$I_v = (1 - e_s)\,I_m = [\,1 - (-0,015)\,] \times 85 \cong 86,3\ A$$

E' ovvia l'estensione del risultato sopra visto alla somma di un numero qualunque di grandezze.
Dalla matematica è noto che la media ponderale di n grandezze A , B , C, ...N di pesi P_1 , P_2 , P_3....P_n è :

$$M = \frac{A P_1 + BP_2 + C P_3 + ...}{P_1 + P_2 + P_3 + ...P_n}$$

ed è sempre compresa tra la maggiore e la minore delle grandezze ABC ecc..Da ciò deriva che pur nel caso più sfavorevole in cui gli errori singoli abbiano tutti lo stesso segno , l'errore relativo risultante sulla somma di più grandezze è sempre minore del maggiore tra gli errori che si commettono nelle misure; appunto perché è una media ponderale.

Altro esempio:
Si faccia la somma di due resistenze $R_1 + R_2$. I valori misurati sono $R_1 = 100\ \Omega$ con un errore percentuale del 0,5 % e $R_2 = 10\ \Omega$ con un errore percentuale del 10 %.
Quanto vale l' errore assoluto e percentuale compiuto su $R = R_1 + R_2$?
$R = R_1 + R_2 = 100 + 10 = 110\ \Omega$
Dato che conosciamo l'errore percentuale posso scrivere che :

$$e\,\% = 100 \frac{\Delta A_1}{A_m} \qquad \text{da cui} \qquad \Delta A_1 = \frac{e\%}{100} A_m = \frac{0,5}{100}\ 100 = 0,5\ \Omega$$

e cioè 0,5 Ω è l'errore assoluto di R_1 . Idem per R_2 e cioè :

$$\Delta A_2 = \frac{10}{100} R_2 = \frac{10}{100}\ 10 = 1\ \Omega$$

l'errore assoluto di R sarà : $\Delta A = \Delta A_1 + \Delta A_2 = 0,5 + 1 = 1,5\ \Omega$

L'errore relativo di R sarà : $e = \frac{\Delta A}{A_m} = \frac{1,5}{110} = 0,0136$

e quello percentuale

$e\% = e \times 100 = 0,0136 \times 100 = 1,36\ \%$

L'errore relativo percentuale si poteva anche calcolare direttamente :

$$e_S\,\% = \frac{e_A\,\%\,A_m + e_B\,\%\,B_m}{A_m + B_m} = \frac{0,5 \times 100 + 10 \times 10}{100 + 10} = \frac{150}{110} = 1,36\ \%$$

In conclusione R = (110 ± 1,5) con un errore percentuale inferiore a 1,4 %.

DIFFERENZA TRA DUE GRANDEZZE

Consideriamo D = A - B . Se e_A ed e_B sono gli errori relativi che si commettono, l'errore relativo risultante sulla grandezza D è espresso da :

$$\boxed{e_D = \frac{e_A\, A_m - e_B\, B_m}{A_m - B_m}}$$

A tale risultato si perviene con ragionamenti analoghi ai precedenti .

Esempio : A_m = 110 con un errore relativo e_A = - 2% e B_m = 80 con un errore relativo e_B = + 1,5 % si ha :

$$e_D = \frac{-0{,}02 \times 110 - 0{,}015 \times 80}{110-80} = \frac{-3{,}40}{30} = -0{,}113 = -11{,}3\ \%$$

Si osserva immediatamente che l'errore relativo sulla differenza tra 2 grandezze è di gran lunga maggiore degli errori relativi da cui sono affette le due singole misure.

Infatti il valore vero delle due grandezze A e B sarebbe :

$A_v = (1 - e_A)\, A_m = [1 - (- 0{,}02)] \times 110 = 112{,}20$
$B_v = (1 - e_B)\, B_m = [1 - (0{,}0115)] \times 80 = 78{,}80$

Corrispondentemente il valore vero di D vale :

$D_v = A_v - B_v = 112{,}20 - 78{,}80 = 33{,}40$

mentre in base ai valori misurati si otterrebbe:

$D_m = A_m - B_m = 110 - 80 = 30$.

Si vede quindi che assumendo per D il valore misurato D_m in luogo del valore vero D_v si commette un errore che è di ben 3,40 unità in meno su 33,40 ; ciò che corrisponde precisamente a - 11,3 %.
Questo dimostra che l'errore relativo che si commette nella misura indiretta di una differenza , può risultare assai grande e talvolta grandissimo , anche impiegando per la misura delle due grandezze singole strumenti molto precisi .
Da ciò si conclude che bisogna evitare finchè è possibile eseguire misure di differenza. Dove un tale metodo di misura si rende indispensabile è necessario poter valutare gli errori singoli delle due misure per calcolare l'errore risultante sulla differenza e apportare a questa la corrispondente correzione.

PRODOTTO DI DUE O PIU' GRANDEZZE

Consideriamo P = A x B. Eseguendo le due misure avremo $P_m = A_m \times B_m$.
Se e_A e e_B sono gli errori relativi delle due misure ,i valori veri saranno :

$A_v = (1 - e_A)\, A_m$ e $B_v = (1 - e_B)\, B_m$.

Il corrispondente valore vero del prodotto sarebbe :

$P_v = A_v \times B_v = (1 - e_A)(1 - e_B)\, A_m B_m$.

Se assumo per P il valore P_m al posto di P_v commetto un errore relativo che vale :

$$e_P = \frac{P_m - P_v}{P_m} = \frac{A_m B_m - (1 - e_A)(1 - e_B)\, A_m B_m}{A_m B_m}$$

semplificando: $e_P = e_A + e_B - e_A\, e_B$

Ma il prodotto fra due errori relativi, che sono ciascuno di pochi centesimi, è sempre trascurabile perché assume l'ordine di grandezza dei decimillesimi e quindi posso assumere:

$$\boxed{\mathbf{e_P = e_A + e_B}}$$

Esempio:

Abbiamo un prisma rettangolare di lati: $a_m = 12$ cm ; $b_m = 8$ cm ; $c_m = 20$ cm ;

Vogliamo calcolare il prodotto (volume)

$V_m = a_m\, b_m\, c_m = 12 \times 8 \times 20 = 1920\ cm^3$

$e_A = 1{,}8\ \%$ $e_B = 2{,}5\ \%$ $e_C = 1{,}2\ \%$ per cui $e_V\ \% = 1{,}8 + 2{,}5 + 1{,}2 = 5{,}5\ \%$

Per cui il valore vero del volume :

$V_v = (1 - e_v)V_m = (1-0.055)1920 = 0.945 \times 1920 = 1814\ cm^3$

Conclusioni:
1. L'errore sul prodotto è tanto più elevato quanto è maggiore il numero dei fattori.
2. Se i singoli errori hanno segni discordi , eseguendone la somma algebrica si ha un certo compenso.

Da quanto visto è sconsigliabile , se possibile , la determinazione indiretta del prodotto più grandezze mediante la misura tra i singoli fattori , specie se sono più di due .

QUOZIENTE FRA DUE GRANDEZZE

Si abbia Q = A / B. Avrò A_m e B_m per cui $Q_m = A_m/B_m$

Se e_A ed e_B sono gli errori relativi che si commettono nelle due misure , i valori veri di A e B sono :

$A_v = (1 - e_A)A_m$; $B_v = (1 - e_B)B_m$ per cui :

$$Q_v = \frac{A_v}{B_v} = \frac{(1 - e_A)A_m}{(1 - e_B)B_m}$$

Ne segue che assumendo per Q il valore misurato Q_m in luogo di Q_v commetto l'errore :

$$e_Q = \frac{Q_m - Q_v}{Q_m} = \frac{\dfrac{A_m}{B_m} - \dfrac{(1 - e_A)A_m}{(1 - e_B)B_m}}{\dfrac{A_m}{B_m}} =$$

$$= \frac{\dfrac{(1-e_B)A_m - (1-e_A)A_m}{(1-e_B)B_m}}{\dfrac{A_m}{B_m}} = \frac{\dfrac{A_m - e_BA_m - A_m + e_AA_m}{(1-e_B)B_m}}{\dfrac{A_m}{B_m}}$$

e cioè semplificando si ottiene : $$\frac{(e_A - e_B)\cancel{A_m}}{(1- e_B)\cancel{B_m}} \times \frac{\cancel{B_m}}{\cancel{A_m}} = \frac{(e_A - e_B)}{(1- e_B)}$$

e trascurando al denominatore e_B rispetto all'unità si ha : $\boxed{\mathbf{e_Q = e_A - e_B}}$

cioè l'errore relativo che si commette nella misura indiretta di un quoziente è la differenza algebrica fra i due errori relativi che si commettono nelle due misure.

CIFRE SIGNIFICATIVE DI UN RISULTATO NUMERICO

Il valore di una misura deve tenere conto del **grado di approssimazione** che caratterizza la misura stessa e quindi deve essere espresso scrivendo un ben determinato numero di cifre chiamate **significative**.
A tale proposito sono significative le cifre che risultano sicure,salvo l'ultima che è appunto quella che,per la sua incertezza,deve tenere conto dell'approssimazione del risultato.Infatti quest'ultima cifra è quella che ha il minor peso nel numero.
In generale l'approssimazione a priori(prima)di un valore viene individuata dalle cifre significative del numero che lo rappresenta. Ad esempio,se il valore di una certa grandezza è dato dal numero 4708, l'incertezza è relativa all'ultima cifra significativa
(cioè il valore della grandezza è compreso fra 4707 e 4709) per cui, essendo
1/4708 ≅ 0,0002,l'approssimazione in questo caso vale circa 0,02%; per il valore 107,
essendo 1/107 ≅ 0,01,l'approssimazione è del 1%, mentre per il numero 0,000400, es-
sendo 1/400 ≅ 0,0025 l'approssimazione è dello 0,25%. Appare chiaro che la preci-sione (approssimazione) di un valore dipende sia dal numero di cifre significative
(e non dai decimali!),sia dal valore del numero stesso.Infatti,ad esempio,per un numero avente 2 cifre significative,l'approssimazione varia dal 10%,per il valore 10,al 1% per il valore 99.

GLI STRUMENTI DI MISURA

Caratteristiche

Gli strumenti di misura sono caratterizzati da alcune " ***specifiche*** " che ne determinano la bontà e l'opportunità di impiego.
Le specifiche più importanti sono :

a) **Sensibilità;**
b) **Portata;**
c) **Classe di precisione.**

La sensibilità rappresenta il rapporto fra la minima deviazione apprezzabile dell'indice e la variazione della grandezza che l'ha provocata.La sensibilità di uno strumento non deve essere confusa con la ***precisione*** (la precisione di uno strumento è definita dalla sua ***classe di precisione***,come vedremo) ; uno strumento può essere molto sensibile ma può fornire misure errate,così come può essere molto preciso ma poco sensibile. Uno strumento è più sensibile di un altro quando,a parità di variazione della grandezza misurata,ha maggior variazione di indicazione.

La **portata** è il valore della grandezza elettrica applicata allo strumento, che corrisponde al limite superiore del campo di misura. In altre parole,mi rappresenta il valore massimo misurabile. E' opportuno non superare il valore della portata per non danneggiare lo strumento.In generale la portata può essere variata per adattare lo strumento alle esigenze di misura. La variazione di portata viene realizzata in più modi(a seconda della strumento). In tal caso il fondoscala cambia e per la lettura bisogna introdurre la ***costante dello strumento***. Essa rappresenta quel coefficiente per cui bisogna moltiplicare la lettura (cioè il numero di divisioni lette) per ottenere il valore della grandezza misurata.

La **classe dello strumento** rappresenta il valore massimo percentuale dell'errore riferito alla portata dello strumento.In pratica la classe mi definisce la precisione dello strumento.

$$Cl = \frac{\Delta}{P_n} 100$$

dove Δ mi rappresenta l'errore assoluto massimo tollerato in un qualunque punto del campo di misura e P_n la portata, cioè il limite superiore del campo di misura.
La classe è un parametro molto importante per uno strumento e ne determina il costo.
Le norme C.E.I. prevedono la suddivisione degli strumenti elettrici di misura in 9 classi,contraddistinte dai seguenti numeri,detti " ***indici di classe***":

0,05 - 0,1 - 0,2 - 0,3 - 0,5 - 1 - 1,5 - 2,5 - 5

A tali classi di strumenti si possono far corrispondere,in linea di massima,le seguenti applicazioni:

classe degli strumenti	limiti di errore in % della portata	Applicazioni caratteristiche
5,0 2,5	± 5,0% ± 2,5%	strumenti per misure di prima approssimazione
1,5 1,0	±1,5% ±1,0%	da quadro o portatili per verifiche sugli impianti
0,5 0,3	±0,5% ±0,3%	portatili per misure di controllo in laboratorio
0,2	±0,2%	di precisione di laboratorio
0,1 0,05	±0,1% ±0,05%	strumenti campione di laboratorio

esercizio:

Con un amperometro di classe 1 e portata 1,5 A si sono effettuate le seguenti misure: $I_1 = 0,35$ A e $I_2 = 1,42$ A.
Calcolare l'errore percentuale delle due misure considerando solo gli errori di tipo strumentale.

Risoluzione:

L'errore assoluto vale : classe x portata diviso 100 :

$$\Delta A = \frac{1 \times 1,5}{100} = 0,015 \text{ A}$$

Gli errori relativi percentuali sono rispettivamente:

$$\mathbf{e}_{1\%} = \frac{0,015}{0,35} 100 \cong 4,29\%$$

$$\mathbf{e}_{2\%} = \frac{0,015}{1,42} 100 \cong 1,06\%$$

e,come si vede,l'errore percentuale è molto minore nella seconda misura.

esercizio:

Si supponga di usare un amperometro con campo di misura da 0 a 4 A e classe di precisione 0,5. In relazione alla classe di precisione si può dire che lo strumento in esame ammette un errore massimo percentuale ± 0,5% della portata in ogni punto della sca-
la; ciò vuol dire che il valore dell'errore assoluto è

$$\Delta = \frac{Cl}{100} P_n = \frac{0,5}{100} \times 4 = 0,02 \text{ A}$$

Si esaminano di seguito tre casi:

1° caso : Se si misura una corrente di 4 A il valore effettivo della misura è contenuto nell'intervallo di valori compresi tra :

$$4 + 0,02 = 4,02 \text{ A}$$
$$4 - 0,02 = 3,98 \text{ A.}$$

2° caso: Se si misura una corrente di 2,5 A il valore effettivo della misura è contenuto nell'intervallo di valori compresi tra :

$$2{,}5 + 0{,}02 = 2{,}52 \text{ A}$$
$$2{,}5 - 0{,}02 = 2{,}48 \text{ A}$$

3° caso : Se si misura una corrente di 0,75 A il valore effettivo della misura è contenuto nell'intervallo di valori compresi tra :

$$0{,}75 + 0{,}02 = 0{,}77 \text{ A}$$
$$0{,}75 - 0{,}02 = 0{,}73 \text{ A}$$

L'errore relativo risulta notevolmente diverso a seconda dei tre casi delle misurazioni precedenti,infatti :

1° caso : L'errore relativo risulta : $e = \pm \dfrac{\Delta}{P_n} = \pm \dfrac{0{,}02}{4} \times 100 = \pm 0{,}5\%$

2° caso : L'errore relativo risulta : $e = \pm \dfrac{\Delta}{P_n} = \pm \dfrac{0{,}02}{2{,}5} \times 100 = \pm 0{,}8\%$

3° caso : L'errore relativo risulta : $e = \pm \dfrac{\Delta}{P_n} = \pm \dfrac{0{,}02}{0{,}75} \times 100 = \pm 2{,}6\%$.

Come si può notare,il valore dell'errore relativo diminuisce andando verso misure più vicine al fondo scala.

Dall'esempio riportato appare chiaro il concetto che si deve tenere presente nelle misurazioni:*bisogna effettuare misurazioni che superino generalmente la metà della scala*.

---O---