

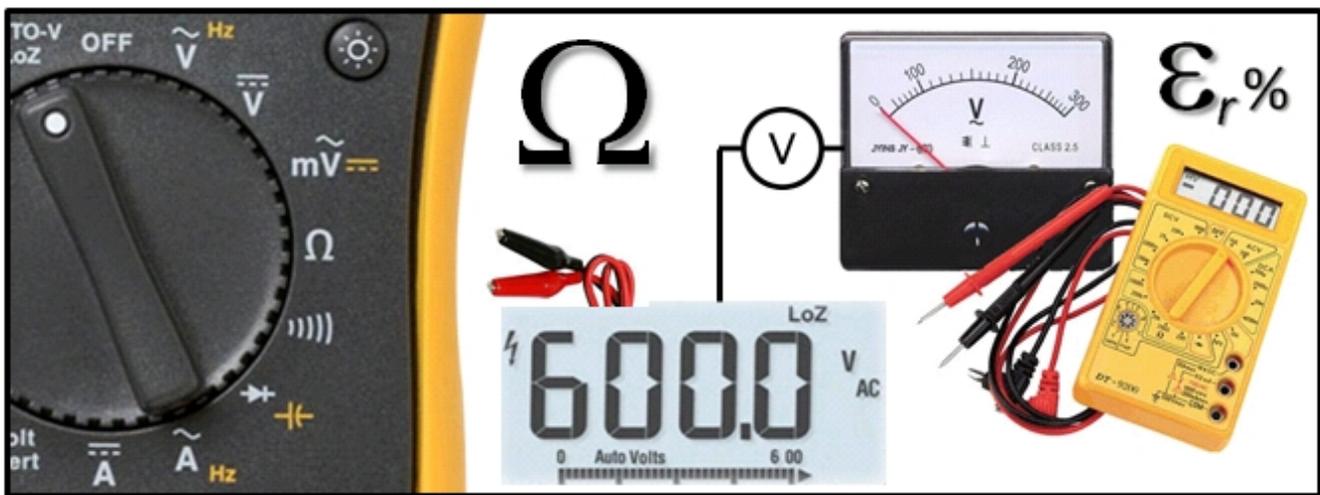
# Meccanismo Complesso

[-www.meccanismocomplesso.org](http://www.meccanismocomplesso.org)

## La Misura delle Grandezze Elettriche

2014-03-25 13:03:53 BrunoOrsini

Post Views: 24.891



## Premessa

Prima di affrontare l'argomento della misurazione delle grandezze elettriche è bene precisare che, per quanto si possano usare strumenti altamente tecnologici e di elevata precisione, nessuna misurazione può essere considerata esatta; ne consegue che la valutazione dell'errore di misura in relazione al tipo di strumento impiegato risulta di notevole importanza e deve essere attentamente valutata.

## Errori di misura

L'operazione di effettuare una misura, si definisce come **il risultato del rapporto fra una determinata grandezza ed un'altra ad essa omogenea scelta come unità di misura campione**. Durante una operazione di misura si presentano sempre degli errori che principalmente si possono distinguere in due categorie:

- errori sistematici
- errori accidentali

Gli **errori sistematici** sono errori che non sono conseguenza di manovre dell'operatore ma dipendono dalle caratteristiche degli strumenti usati e dal procedimento di misura impiegato, si distinguono in due tipi; quelli **strumentali** dovuti alla classe dello strumento usato e quelli per **autoconsumo** dovuti ad assorbimenti di corrente degli strumenti e alle cadute di tensione. Una fonte di errore sistematico, ad esempio, si ha quando lo strumento interferisce con il funzionamento dell'apparato su cui si sta misurando una grandezza, infatti questa risulta diversa con o senza strumento di misura applicato; e il caso delle misure di tensione con il voltmetro o di corrente con l'amperometro, perché con le loro resistenze interne influiscono sulle condizioni di funzionamento del circuito su cui si effettua la misura; oppure le misure effettuate con strumenti fuori

taratura. Gli errori sistematici risultano essere i più insidiosi perché si presentano sempre nella stessa quantità e con lo stesso segno, sono difficilmente individuabili, ma una volta individuata la causa che li determina, possono essere facilmente eliminati;

Gli **errori accidentali** sono errori dovuti alle manovre dell'operatore e alle condizioni ambientali della misura, la presenza di questi errori può modificare in modo casuale il risultato della misura sia in eccesso che in difetto; un esempio classico di questo tipo di errori sono gli errori di parallasse nella lettura di un indice mobile oppure gli errori di partenza e di stop nelle misurazioni di intervalli di tempo con cronometro.

Questo tipo di errori possono essere ridotti ad entità piccolissime con ripetute misurazioni ma a differenza degli errori sistematici non possono essere eliminati del tutto. Conseguenza di quanto esposto è che il risultato di una qualsiasi misurazione deve essere comunque interpretato, ad esempio ripetendo più volte la stessa misura e ipotizzando che il valore della misura è certamente compreso tra il valore minimo e massimo ottenuto e che maggiore è il numero di misurazioni con lo stesso risultato maggiore è l'attendibilità della misura. Questo vuol dire che il risultato di una misura per essere correttamente utilizzabile deve essere sempre associato ad un valore di **incertezza U** (uncertainty) opportunamente definito, per cui il valore della grandezza sarà dato dalla seguente relazione:

$$X = X_{estimated} \pm U$$

L'incertezza, quindi, definisce adeguatamente la qualità della misura e presuppone una efficace valutazione di tutti gli errori sistematici. Il valore di incertezza, secondo la norma UNI CEI ENV 13005/2000 (Guida all'espressione dell'incertezza di misura) viene classificato in:

- **incertezza di tipo A** è quella risultante in base a metodi statistici (oggettivi) ovvero con una serie di misure ripetute;
- **incertezza di tipo B** è quella risultante in base a elementi di tipo soggettivo quali: specifiche dei costruttori degli strumenti con relativi dati di taratura; precedenti dati di misura; dati di riferimento presi in manuali o banche dati e bibliografia scientifica.

In pratica una qualsiasi misura è rappresentata da una informazione costituita da quattro elementi: **parametro, numero, incertezza, unità di misura**, come riportato in tabella 1.

Tabella 1 :

#### **Parametro numero incertezza unità di misura**

Tensione	230	± 2,5	volt
Corrente	32	± 0,5	ampere

Unica eccezione all'incertezza di una misura è quella del conteggio di entità discrete costituite da elementi separati come ad esempio il numero di persone presenti in una stanza o il numero di auto in un parcheggio; in questo caso il risultato può essere considerato esente da errori.

Quanto esposto introduce il concetto di precisione della misura che risulta strettamente legato alla grandezza da misurare e alle caratteristiche dello strumento utilizzato ed è definita come la più piccola unità di misura che lo strumento è in grado di apprezzare; ad esempio se si devono misurare le dimensioni di una stanza usando un metro a fettuccia può essere riscontrabile un errore dell'ordine del centimetro, mentre se la stessa misura viene effettuata con un metro elettronico a raggio laser può essere riscontrabile un errore inferiore al millimetro.

Una volta ottenuto un determinato risultato, spesso è necessario approssimarlo o come viene definito dagli addetti ai lavori "arrotondarlo", questo significa che è possibile trascurare alcune cifre tenendo in considerazione i seguenti fattori:

– **grado di approssimazione** in questo caso si applica la regola del 5 ovvero se la prima cifra che si vuole eliminare è minore di 5 le cifre rimanenti restano invariate, si effettua cioè un'approssimazione per difetto; se invece la cifra che si vuole eliminare inizia con un numero uguale o superiore a 5, si aumenta di una unità la cifra precedente, si effettua cioè un'approssimazione per eccesso. Un'altra regola da applicare è quella che il numero di cifre significative del risultato di una operazione costituita da più misure, deve essere uguale a quello della misura meno precisa; alcuni esempi: un valore di tensione di 45,35 V o 45,37 V può essere

approssimato per eccesso a 45,4 V; un valore di corrente di 32,34 A può essere approssimato per difetto a 32,3 A; in caso di somma di tre correnti 29,4 + 2,35 + 0,426 il risultato è 32,176 A in questo caso la grandezza 29,4 limita la precisione della somma alla prima cifra dopo la virgola, per cui il risultato approssimato corretto è 32,2 A.

– **grado di precisione** rappresentato dal numero delle cifre significative, in questo caso è bene rispettare la regola generale che l'ultima cifra significativa del risultato di una misura deve essere dello stesso ordine di grandezza dell'incertezza; ad esempio la misura di tensione  $2,145 \pm 0,02$  V deve essere espressa  $2,15 \pm 0,02$  V.

Nell'esecuzione di ogni misura deve quindi poter essere individuato un possibile errore (incertezza) che si può definire come **errore assoluto  $\epsilon_a$**  risultante dalla differenza tra il valore misurato  $V_m$  e il valore vero  $V_v$  della grandezza sotto misurazione. Nelle applicazioni pratiche però viene preferito il valore dell'errore relativo percentuale che è dato dalla seguente relazione:

$$\epsilon_r \% = \frac{V_m - V_v}{V_m} \cdot 100$$

ovvero

$$\epsilon_r \% = \frac{\epsilon_a}{V_m} \cdot 100$$

Il valore di  $\epsilon_r\%$  è importante in quanto permette di comprendere il fatto che, negli strumenti analogici la misura di una determinata grandezza risulta più precisa in prossimità del fondo scala; infatti se ad esempio si usa uno strumento con scala lineare e fondo scala 250 V con un errore assoluto di } 0,5 V, con il quale si effettua prima una misura di 120 V e poi una misura di 230 V, l'errore percentuale relativo  $\epsilon_r\%$  sarà in un caso

$$\epsilon_r \% = \frac{0.5}{230} \cdot 100 = 0.2\%$$

e nell'altro

$$\epsilon_r \% = \frac{0.5}{120} \cdot 100 = 0.4\%$$

Appare evidente che in prossimità del fondo scala la misura risulta più precisa, per questo motivo gli strumenti di misura vengono identificati in base alle norme CEI con le seguenti classi di precisione: 0,05 – 0,1 – 0,2 – 0,3 – 0,5 – 1 – 1,5 – 2,5 – 5, questo significa ad esempio che uno strumento analogico di classe 1, in tutti i punti della scala deve presentare un errore relativo percentuale entro il limite  $\pm 1\%$ . Il parametro della classe è molto importante al fine di individuare il campo di applicazione dello strumento, ad esempio:

- **gli strumenti di classe 0,05 e 0,1 vengono impiegati per strumenti campione di laboratorio,**
- **quelli di classe 0,2 – 0,3 – 0,5 per strumenti da laboratorio,**
- **quelli di classe 1 -1,5 per strumenti di controllo negli impianti e per tarare gli strumenti da quadro,**
- **quelli di classe 2,5 – 5 per strumenti da quadro nelle installazioni fisse per misure continuative sugli impianti.**

Generalmente per gli strumenti analogici questi dati unitamente al tipo di funzionamento, al tipo di grandezza misurabile, ecc, sono riportati nel quadrante di misura, negli strumenti digitali invece questi dati vengono indicati nelle specifiche di funzionamento.

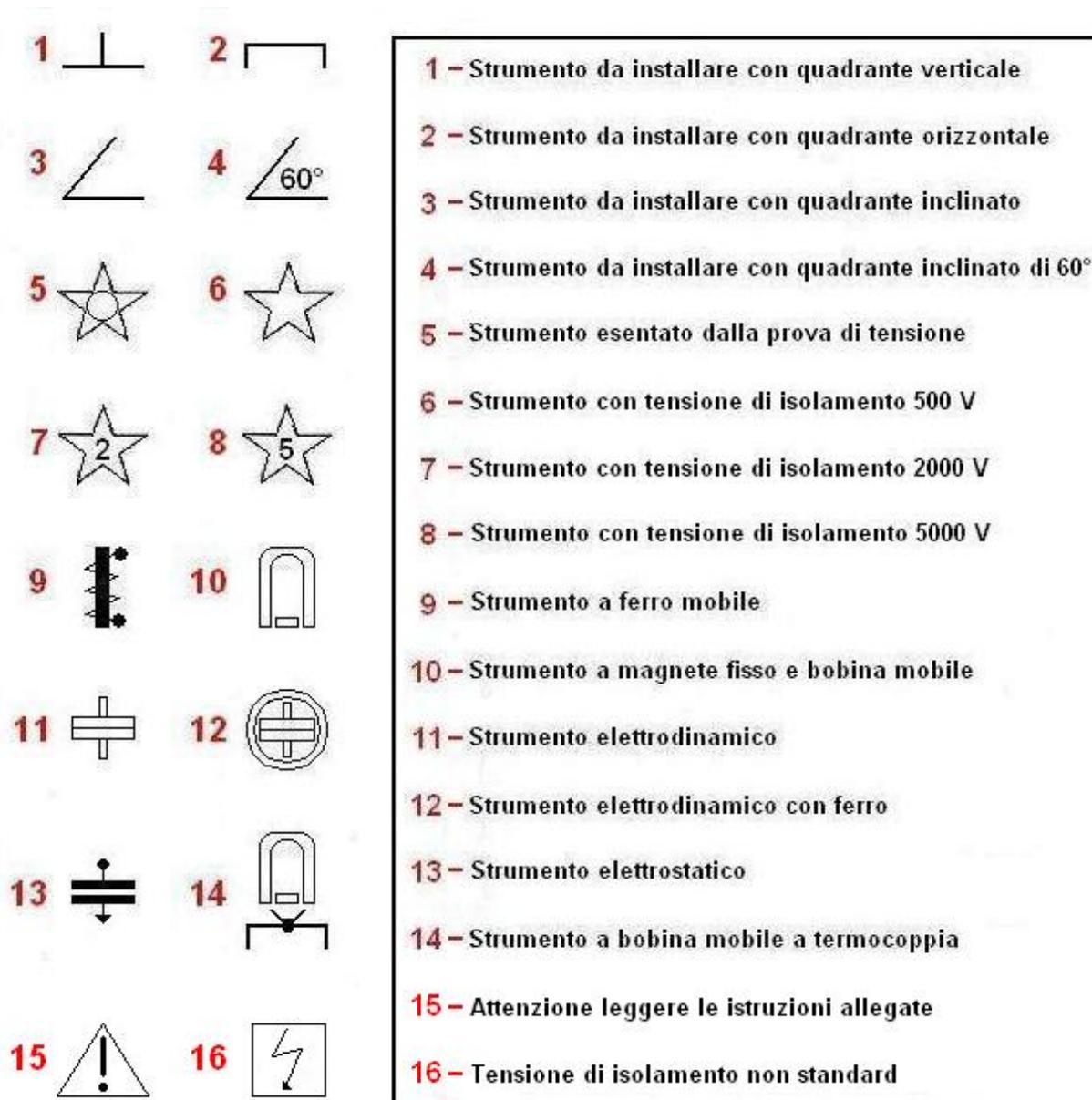
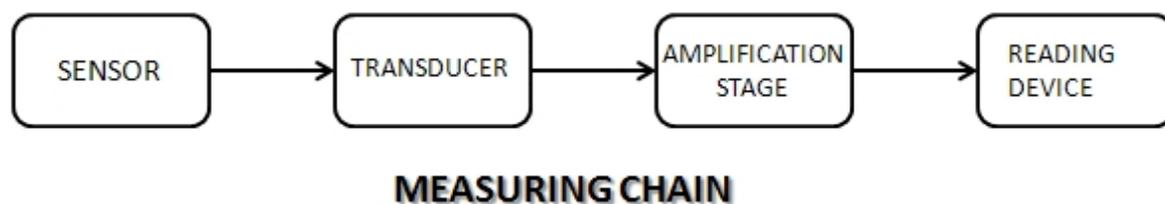


Fig.1: simboli convenzionali presenti sugli strumenti di misura.

## Gli strumenti di misura

Le apparecchiature che rendono possibile il rapporto tra una determinata grandezza con la sua corrispondente unità di misura sono denominate **strumenti di misura** e sono apparecchiature in grado di confrontare la grandezza da misurare con l'unità di misura contenuta al loro interno. In maniera schematica, uno strumento di misura può essere definito dalla successione dei seguenti elementi: un **sensore** che inserito nel circuito di misura preleva il valore del parametro in misura; un **trasduttore** che trasforma il tipo di grandezza rilevata dal sensore, ad esempio un convertitore elettromagnetico; uno **stadio di amplificazione** che elabora elettronicamente o manipola meccanicamente il segnale del trasduttore; il **dispositivo finale di lettura** che può essere di tipo analogico se la lettura è realizzata con un indice in movimento su una scala appositamente graduata, oppure di tipo digitale se la lettura è realizzata attraverso la lettura numerica di un apposito display.



Questo schema di principio degli strumenti elettrici viene chiamato **catena di misura** e i suoi elementi possono anche non essere alloggiati nello stesso luogo o nello stesso tempo, è il caso delle telemisure o degli strumenti che memorizzano ed elaborano enormi quantità di dati nel tempo. Determinati tipi di strumenti sono in grado di misurare diversi tipi di grandezze anche non omogenee come ad esempio i tester o i multimetri che possono misurare tensioni, correnti, resistenze, frequenze. In base al tipo di dispositivo finale di lettura si possono avere:

- strumenti analogici
- strumenti digitali

## Strumenti analogici

Gli **strumenti analogici**, possono essere di tipo **elettromeccanico** o di tipo **elettronico**: gli strumenti analogici di tipo elettromeccanico sono costituiti da un equipaggio mobile avente una posizione iniziale di riposo a cui è fissato un indice comandato da una coppia motrice creata proporzionalmente dalla grandezza da misurare, in contrapposizione a questa agisce una coppia antagonista costituita da una molla che tende a riportare l'equipaggio mobile nella posizione di riposo e quindi l'indice a zero, dalla variazione dell'equilibrio di queste due coppie motrici si ottiene uno spostamento angolare, in più o in meno, dell'indice su una scala graduata. In funzione del principio di funzionamento del convertitore elettromeccanico si possono avere: strumenti a magnete fisso e bobina mobile, strumenti a ferro mobile, strumenti elettrodinamici, strumenti ad induzione, strumenti a filo caldo, strumenti ferro dinamici, strumenti a termocoppia, strumenti a raddrizzatori, strumenti ad effetto Hall; gli strumenti analogici di tipo elettronico contengono al loro interno circuiti elettronici tipo oscillatori, filtri, raddrizzatori, amplificatori, che trasformano la grandezza da misurare in corrente continua proporzionale alla grandezza da misurare applicandola ad uno strumento magnetoelettrico. In questi strumenti la presenza degli amplificatori permette di ottenere un'alta sensibilità unitamente ad un'altissima impedenza d'ingresso.

Le caratteristiche tecniche più importanti degli strumenti di misura analogici sono:

la **sensibilità** è la più piccola grandezza in grado di generare uno spostamento apprezzabile rispetto all'inizio della scala dello strumento, in pratica la sensibilità determina il limite inferiore del campo di misura dello strumento mentre il limite superiore è dato dal fondo scala;

la **risoluzione** è la minima variazione della grandezza misurata, rilevabile con sicurezza attraverso uno spostamento dell'indice, in pratica rappresenta il valore dell'ultima cifra significativa apprezzabile;

la **portata** indica il valore massimo di una grandezza che lo strumento può misurare, in pratica rappresenta il fondo scala e insieme alla sensibilità delimita l'intervallo di funzionamento;

l'**impedenza d'ingresso** è l'impedenza che presenta lo strumento nei confronti della grandezza da misurare;

la **classe di precisione** è l'ampiezza della fascia di incertezza espressa in percentuale rispetto al fondo scala;

la **prontezza o tempo di risposta** corrisponde all'intervallo di tempo che impiega la catena di misura dall'istante in cui varia l'ingresso al momento in cui il sistema di lettura assume stabilmente il suo valore finale entro i suoi limiti di accuratezza;

i **limiti di impiego** sono tutte quelle grandezze che influenzano il corretto funzionamento dello strumento quali la temperatura sia ambientale che dovuta al riscaldamento, la forma d'onda del segnale in ingresso, valori massimi di tensione e corrente, posizione di impiego dello strumento, campi elettrici e magnetici dovuti a fattori esterni;



Strumenti analogici guida DIN Schneider Electric

Fig.2: strumenti da quadro analogici

## Strumenti digitali

Gli **strumenti digitali** sono costituiti da un convertitore analogico digitale che trasforma le informazioni elettriche in un segnale digitale binario che poi viene decodificato ed applicato ad un apposito display numerico sul quale è possibile leggere direttamente il valore della misura; con le moderne tecnologie si possono avere strumenti digitali sofisticatissimi in grado di effettuare la memorizzazione, il richiamo e l'elaborazione delle misure; possono inoltre essere interfacciati con sistemi computerizzati con la possibilità di ottenere strutture automatiche di controllo a distanza.

Le caratteristiche tecniche più importanti degli strumenti di misura digitali sono:

la **precisione** definisce l'errore relativo percentuale rispetto alla portata, in pratica è simile alla classe di precisione di uno strumento analogico;

il **numero di digit** è la minima variazione apprezzabile dallo strumento;

il **tempo di misura** è il numero di cicli di misura che lo strumento può effettuare in un secondo;

la **risoluzione** è il valore della cifra minima visualizzabile dal display nella portata più bassa, ad esempio un voltmetro a 4 cifre e portata più bassa 0,1 V avrà una risoluzione di 0,01 mV, in pratica questa caratteristica equivale alla sensibilità di uno strumento analogico;

l'**impedenza d'ingresso** è l'impedenza che presenta lo strumento nei confronti della grandezza da misurare;

il **fuori portata** è il valore oltre il fondo scala ricoperto dallo strumento, questo parametro è visualizzato dallo strumento con una indicazione, ad esempio una barra orizzontale oppure il segno – per segnalare l'inversione di polarità nelle misure in corrente continua, definita "mezza cifra" per questo motivo lo strumento viene definito a 3. cifre;

i **punti di misura** è il numero di indicazioni distinte che possono essere fornite dal display compresa l'indicazione di fuori portata, ad esempio uno strumento a 3. cifre può dare 1000 punti di misura;

il **rumore** è rappresentato da una fluttuazione casuale che si manifesta con rapide variazioni della cifra meno significativa;

la **reiezione di modo normale (NMR)** è espressa in dB e rappresenta la capacità dello strumento di distinguere in ingresso, il segnale da misurare dai rumori estranei;

la **reiezione di modo comune (CMR)** è espressa in dB e rappresenta la capacità dello strumento di distinguere il segnale da misurare dai rumori tra ingresso e massa.



Strumenti digitali guida DIN Lovato

Fig.3: strumenti digitali da quadro

Nella generalità dei casi gli strumenti per la misurazione ed il controllo delle grandezze elettriche, sia di tipo analogico che digitale, vengono classificati nelle seguenti categorie:

- **grandezza da misurare** questa categoria è composta da strumenti a **un ingresso**: voltmetri, analizzatori di reti, analizzatori di spettro di frequenza; amperometri, galvanometri, frequenzimetri, misuratori di carica; **strumenti a due ingressi**: wattmetri, varmetri, misuratori di energia (contatori), impedenzimetri, ohmetri, logometri;
- **modalità di misura della grandezza** questa categoria è composta da: **strumenti indicatori** che presentano il valore della grandezza misurata istantaneamente senza registrarla; **strumenti registratori** che presentano l'andamento della misura nel tempo registrandola mediante un indice scrivente su carta; **strumenti integratori** più comunemente detti contatori, che rappresentano nel tempo l'integrale della grandezza.



Fig.4: un multimetro digitale portatile

## Alcuni esempi di misure elettriche

**Esempio di corretta valutazione del valore della resistenza di terra impiegando uno strumento digitale multifunzione.**

Sul display, con portata selezionata 200  $\Omega$ , si legge il valore di 20  $\Omega$ ; le specifiche tecniche rilevate sul libretto

delle istruzioni a corredo dello strumento riportano i seguenti dati:

- range (portata) = 200  $\Omega$
- Resolution (risoluzione) = 0,1  $\Omega$
- Accuracy (incertezza)  $\pm 3\%$  of rdg (della lettura) +  $\pm 4$  digits (cifre).

Si calcolano i vari tipi di incertezza:

- incertezza dovuta alla lettura (dgt) =  $\pm 3\%$  di 20  $\Omega$  =  $\pm 0,6 \Omega$
- incertezza dovuta allo scorrimento dell'ultima cifra (dgt) = 0,1  $\Omega$  ·  $\pm 4$  cifre =  $\pm 0,4 \Omega$
- incertezza assoluta =  $\pm 0,6 + \pm 0,4 = \pm 1 \Omega$
- incertezza relativa percentuale =  $1/20 \cdot 100 = 5\%$

La rappresentazione corretta della misura effettuata è la seguente: **RT = 20  $\pm$  1  $\Omega$**

### **Esempio di corretta valutazione del valore della resistenza di terra impiegando uno strumento misuratore di terra analogico.**

Sulla scala graduata, con portata selezionata 200  $\Omega$ , si legge il valore di 20  $\Omega$ ; le specifiche tecniche rilevate sul libretto delle istruzioni a corredo dello strumento riportano il seguente dato:

- errore percentuale =  $\pm 3\%$  f.s. (fondo scala).

Si calcolano i vari tipi di incertezza:

- incertezza assoluta =  $\pm 3\%$  di 200  $\Omega$  (valore di fondo scala) =  $\pm 6 \Omega$
- incertezza relativa percentuale =  $6/20 \cdot 100 = 30\%$

La rappresentazione corretta della misura effettuata è la seguente: **RT = 20  $\pm$  6  $\Omega$**

Questi due esempi sono utili anche al fine di comprendere il significato di **accettabilità dell'errore di misura** e di conseguenza la validità di una determinata misura; se ad esempio la misura della resistenza di terra negli esempi riportati sopra, fosse relativa ad un limite ben preciso come nel caso di un interruttore differenziale con corrente I<sub>dn</sub> 1 A in ambiente particolare con tensione limite di contatto di 25 V dove la resistenza di terra non deve essere superiore a 25  $\Omega$ , si capisce come la misura eseguita con lo strumento analogico non può essere ritenuta accettabile in quanto il valore di 25  $\Omega$  è compreso nella fascia di errore dello strumento

$$20\Omega \pm 6 = 14\div 26 \Omega;$$

mentre quella eseguita con lo strumento digitale può essere ritenuta accettabile in quanto il valore di 25  $\Omega$  risulta fuori dalla fascia di errore dello strumento

$$20 \Omega \pm 1 = 19\div 21 \Omega.$$

## **Misure dirette e indirette**

La misura di una determinata grandezza elettrica viene definita **diretta** quando il suo valore è ottenuto inserendo direttamente lo strumento nel punto di misura senza la necessità di dover conoscere il valore di altri parametri quali ad esempio quelli di eventuali adattatori, in pratica quando è direttamente associata alla reale portata dello strumento senza la necessità di inserire al loro interno resistenze addizionali nel caso di misuratori di tensione o resistenze di derivazione nel caso di misuratori di corrente.

Ne consegue che a causa del fatto che gli strumenti hanno portate molto basse ad esempio nelle misure di tensione o di corrente effettuate con tester o multimetri digitali oppure con strumenti da pannello sia analogici che digitali, è possibile effettuare misure dirette solo per qualche mA o mV, per cui la maggior parte delle misure deve essere considerata **indiretta**; oppure quando si ricorre all'uso di adattatori quali resistenze in serie o parallelo (shunt), trasformatori che riducono la grandezza fino a renderla compatibile con la portata dello strumento, convertitori che convertono un segnale in corrente continua o alternata in un segnale di corrente o tensione continua direttamente proporzionale e indipendente dal carico. Un esempio può essere quello di dover misurare una corrente fino a 800 A con uno strumento di portata 5 A, in questo caso occorre utilizzare un trasformatore amperometrico (TA) con rapporto 800/5, basta quindi scegliere il costruttore e consultare le caratteristiche dei prodotti offerti con particolare riguardo alla protezione per l'eventuale

interruzione dell'avvolgimento secondario che può essere fonte di sovratensioni pericolose e surriscaldamenti; per quanto riguarda i trasformatori amperometrici si possono avere quelli di tipo **passante** costituiti da un avvolgimento ad anello nel quale far passare il conduttore nudo o isolato che devono essere inseriti direttamente sullo strumento e quelli di tipo a **primario avvolto** che devono essere collegati in serie al conduttore sul quale si deve misurare la corrente, in figura 5 sono rappresentati i metodi di inserzione dei trasformatori amperometrici (TA) e voltmetrici (TV).

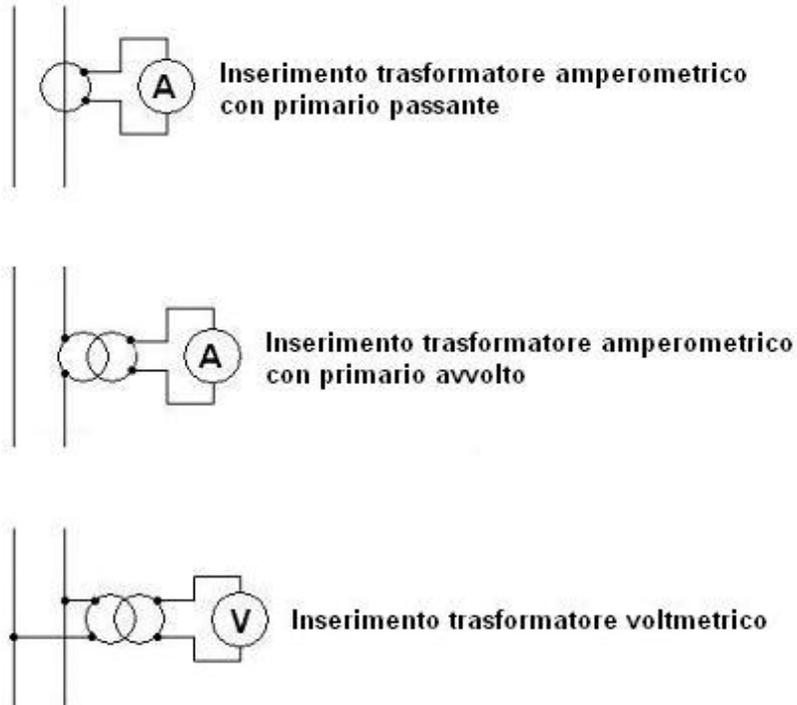


Fig.5: metodi di inserzione dei trasformatori amperometrici (TA) e voltmetrici (TV)

## Misure elettriche e sicurezza

Prima di procedere alla misurazione di una qualsiasi grandezza su un impianto elettrico in tensione o fuori tensione, è di estrema importanza la verifica della idoneità dello strumento impiegato in relazione alle caratteristiche della grandezza da misurare e dell'ambiente nel quale viene effettuata la misura; gli elementi che occorre considerare sono:

- **valutazione della grandezza da misurare** occorre valutare le caratteristiche dell'impianto in cui si effettua la misura con quelle dello strumento e le eventuali sonde e cavi, soprattutto in funzione della tensione di tenuta alle sovratensioni U tenuta in base alle categorie I – 1500 V, II – 2500 V, III – 4000 V, IV – 6000 V;
- **temperatura ambiente e umidità;**
- **presenza di disturbi elettromagnetici** sia di tipo irradiato che indotto;
- **valutazione dell'ambiente ordinario o particolare** (presenza di polvere, liquidi, gas infiammabili, ecc.)

Le misure devono essere eseguite in assoluto rispetto delle indicazioni riportate sul manuale d'uso dello strumento impiegato, in particolare devono essere ben note all'operatore:

- **le caratteristiche generali e tecniche con i limiti di utilizzo;**
- **l'errore di misura nelle varie portate e condizioni di misura;**
- **la descrizione dettagliata dei comandi ed eventuali operazioni preliminari di calibrazione;**
- **le procedure di misura con gli schemi di inserzione;**
- **gli accorgimenti di sicurezza che devono essere attuati;**
- **il potere di interruzione dei fusibili di protezione.**

Le operazioni di misura devono essere eseguite utilizzando esclusivamente dispositivi ed accessori in dotazione allo strumento e ne deve essere verificato il buono stato di conservazione; particolare attenzione va posta alla sostituzione di eventuali fusibili per i quali occorre rispettare tassativamente il potere di interruzione dichiarato dal costruttore nel manuale d'uso, generalmente in questi casi si tende a sostituire un fusibile con

uno in vetro comune (tanto funziona lo stesso) senza pensare che questa operazione potrebbe comportare l'alterazione della tensione di tenuta dello strumento con conseguenti gravi danni all'operatore quali ad esempio folgorazione, ustioni, accecamento.