

# Il multimetro numerico



## Indice

- [Materiale didattico](#)
  - 1. [Voltmetro multiportata per misurazioni in continua \(valore medio\) ed in alternata \(valore efficace\)](#)
    - Schema di principio
      - Partitore di ingresso
      - Dispositivo di protezione dai sovraccarichi
      - Selettore DC/AC
      - Convertitore analogico-digitale
      - Display
    - Consumo dello strumento e resistenza di ingresso
    - Convertitori RMS/DC e TRMS/DC
      - Valore efficace di un segnale periodico e fattori di cresta e di forma
      - Convertitore a valore di picco
      - Convertitore con amplificatori log ed antilog
      - Convertitore a termocoppia
  - 2. [Misurazioni di tensioni di elevato valore](#)
    - Sonde per alta tensione
    - Trasformatori voltmetrici
  - 3. [Ampermetro multiportata per misurazioni in continua \(valore medio\) ed in alternata \(valore efficace\)](#)
    - Schema di principio
      - Convertitore di ingresso
      - Dispositivo di protezione dai sovraccarichi
    - Consumo dello strumento e resistenza di ingresso
  - 4. [Misurazione di correnti di elevata intensità](#)
    - Resistori shunt
    - Trasformatori ampermetrici
    - Sonde ampermetriche per AC e DC
  - 5. [Ohmetro](#)
    - Schema di principio
    - Sonde di Kelvin
  - 6. [Incertezza del multimetro numerico](#)
    - Fonti della incertezza
    - Espressione della incertezza
- 
- [Quesiti di ricapitolazione](#)

- [Domande d'esame \(AA 1998/99\) sull'argomento](#)
- [Fotografie, disegni, link ed altro materiale fuori testo](#)
- [Bibliografia consigliata per approfondimenti](#)

**NOVITA':** Per ottenere informazioni sugli strumenti raffigurati potete "clicckare" sulle figure e fotografie.

**E' vietata ogni riproduzione a fini di lucro del materiale distribuito da questo Server WWW**

Il multimitetro può assumere forme ed avere prestazioni assai diverse: le figure sotto riportate mostrano uno strumento da laboratorio (a sinistra) ed uno strumento portatile per lavoro "in campo" (a destra).



[Agilent 34401A](#)

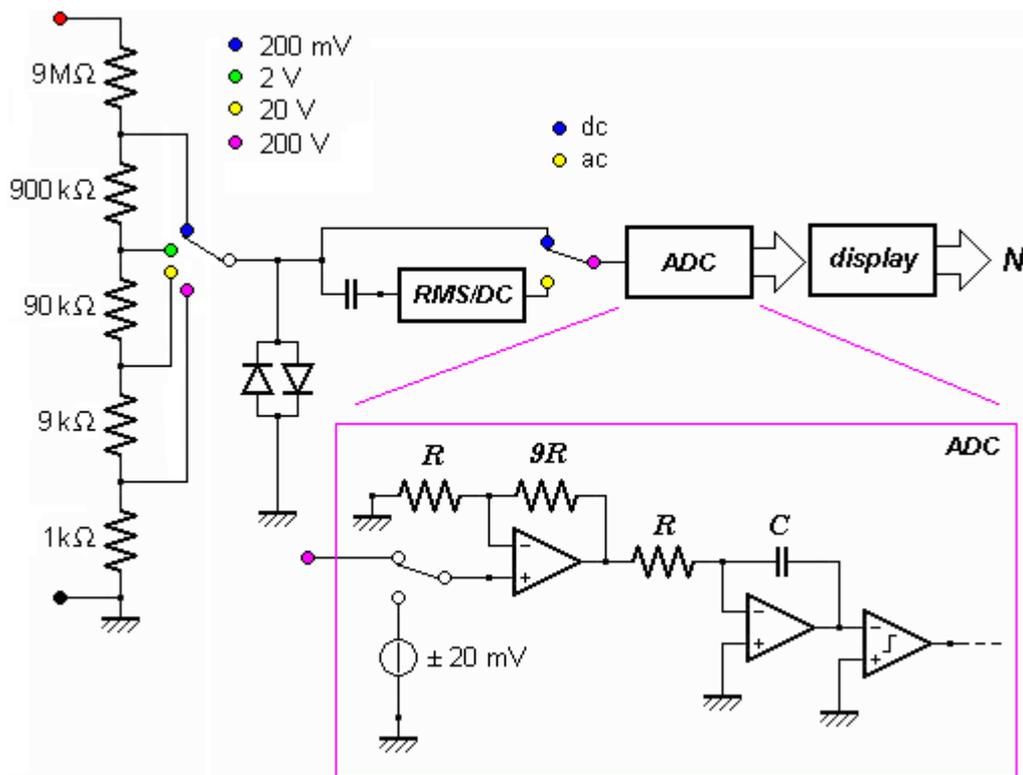


[Fluke Mod. 10](#)

A dispetto della forma molto diversa, la circuiteria ed il principio di funzionamento dei due strumenti sono molto simili e si rifanno allo stesso schema. Solamente in pochi casi riconducibili agli strumenti più sofisticati, come quello mostrato in apertura (Agilent 3458A - System multimeter) il principio di funzionamento e lo schema possono essere sviluppati secondo linee alternative. [il multimitetro Agilent 3458A - System multimeter è prodotto da Agilent, nuovo nome che ha sostituito il prestigioso marchio Hewlett-Packard ed è commercializzato sia da [HP-Agilent](#) con il nome [Agilent 3458A](#), sia da [Fluke](#) con il nome [HP3458A/HFL Multimeter](#): entrambi hanno pagine web dedicate a questo sofisticato strumento.]

## *1 - Voltmetro multiportata per misurazioni in continua (valore medio) ed in alternata (valore efficace)*

### Schema di principio dello strumento



La figura mostra lo schema di principio di un voltmetro a quattro portate (200 mV, 2 V, 20 V e 200 V) in grado di misurare sia il valore medio della tensione di ingresso (dc), sia il valore efficace della componente alternativa della tensione di ingresso (ac).

### Partitore di ingresso

Iniziando l'esame dello schema si nota per primo il partitore di ingresso che permette di adattare l'ampiezza del segnale al campo di misura consentito dal convertitore AD. Per minimizzare l'effetto della incertezza di quantizzazione si deve impostare la portata immediatamente superiore al valore dell'incognita. Ad esempio, per un segnale di ampiezza 1.5 volt si userà la portata 2 volt; le portate 20 V e 200 V sono eccessive ed il loro uso determina un elevato peso della incertezza di quantizzazione nei confronti dell'incognita mentre la portata 200 mV provoca un "over range" allo strumento.

Il partitore di ingresso è costituito da resistori di precisione e di elevata purezza al fine di garantire la costanza dei rapporti di partizione sia nel tempo che nella frequenza (per gli effetti, rispettivamente, della dispersione dei valori che si ottengono dalla produzione e dell'invecchiamento dei componenti e dei parametri reattivi parassiti che modificano il rapporto fra le impedenze dei componenti il partitore stesso). Le variazioni di temperatura, se i resistori hanno lo

stesso coefficiente di temperatura della resistività, non provocano variazioni ai coefficienti di attenuazione. Valori tipici della resistenza che viene vista fra i morsetti di ingresso sono compresi fra 1 e 10 Mohm.

### **Dispositivo di protezione da sovraccarichi**

Proseguendo nell'esame dello schema si notano due diodi in antiparallelo: essi hanno il compito di proteggere i circuiti che seguono da tensioni troppo elevate che potrebbero essere applicate per effetto di un uso errato dello strumento. Quando lo strumento viene correttamente usato la tensione applicata al dispositivo risulta non superiore a 20 mV pertanto uno dei diodi risulta essere "sotto soglia" mentre l'altro è "polarizzato in inversa": questa situazione fa sì che la corrente derivata verso massa dai diodi sia di valore trascurabile nei confronti della corrente che fluisce nel partitore di ingresso. In questa maniera si può ritenere che il partitore operi a vuoto e che la tensione applicata ai circuiti di conversione sia una frazione nota della incognita.

Nel caso di un sovraccarico la tensione applicata ai blocchi di conversione può salire fino a quando uno dei due diodi passa in "conduzione di potenza" (per i diodi al germanio questo avviene ad una tensione di circa 0.2 V, per quelli al silicio a 0.6 V). La repentina (e non lineare) variazione di resistenza del dispositivo di protezione limita la tensione in uscita dal partitore ed evita di danneggiare i delicati circuiti di conversione i quali, pur presentando saturazioni ed altri fenomeni che impediscono la corretta misurazione dell'incognita, possono ben sopportare una tensione di questo valore.

### **Selettore della funzione (dc/ac) e convertitore RMS/DC**

Il segnale viene quindi portato ad un selettore a 2 posizioni direttamente oppure attraverso un convertitore RMS/DC preceduto da un filtro "passa-alto" realizzato mediante un condensatore posto in serie al convertitore stesso (La frequenza di taglio del filtro che si realizza per la presenza di una resistenza equivalente verso massa del convertitore RMS/DC è di alcuni Hz).

Nel caso in cui il contatto del selettore sia nella posizione "dc" (nello schema sopra riportato è questo il caso presentato) il convertitore ADC, che è realizzato mediante un circuito a valore medio "tensione-tempo a doppia rampa", ha in ingresso il segnale incognito e ne converte in forma numerica il valore medio (si veda eventualmente in proposito la lezione sui convertitori analogico-digitali).

Nel caso in cui il contatto del selettore sia nella posizione "ac" il convertitore ADC riceve in ingresso il segnale generato dal convertitore RMS/DC il quale, come si vedrà di seguito, fornisce in uscita un segnale la cui tensione media risulta legata al valore efficace del segnale in ingresso.

### **Convertitore ADC**

Il convertitore analogico-digitale utilizzato nei multimetri classici è del tipo a conversione "tensione-tempo" a doppia rampa (in alcuni casi si usano convertitori più sofisticati a 4 rampe che permettono la correzione degli offset...). Rispetto al circuito mostrato e commentato nella lezione sui convertitori analogico-digitali si antepone al commutatore di ingresso un circuito amplificatore al fine di aumentare la impedenza di ingresso del blocco integratore in modo da non caricare né il campione di f.e.m., né il partitore di ingresso per non alterare i valori delle tensioni fornite da questi due componenti.

### **Display**

Il display (o visualizzatore) è il dispositivo che rende visibile il valore della misura all'operatore. Attualmente sono in auge i display con cifre "a sette segmenti" realizzate mediante cristalli liquidi oppure dispositivi a fluorescenza.

Il nome di questo dispositivo trae origine dalla struttura della cifra usata che viene realizzata mediante sette elementi lineari che possono essere attivati individualmente per effetto di un circuito di controllo:



Per ottimizzare l'impiego della componentistica si preferisce limitare la prima cifra a solo tre segmenti in maniera da poter codificare 4 diverse situazioni: -1, -0, 0, 1 (è ovvio che lo 0 viene omesso). Questa soluzione viene chiamata "mezza cifra" e l'esempio sopra riportato è quello di un display a 4 ½ cifre (quattro cifre e mezzo).

Nell'esempio sotto riportato il display a 4 ½ cifre viene usato per indicare il numero -0,5379.



Alcuni altri esempi di display con un numero diverso di cifre possono essere studiati al sito di Tektronix nella pagina "[More about Understanding DMM Specifications](#)".

## Consumo dello strumento e resistenza di ingresso

Il voltmetro ideale non deriva corrente dal circuito sotto misura pertanto presenta una resistenza interna infinita: come si può invece vedere dallo schema riportato (e dai dati degli strumenti reali) i voltmetri multiportata presentano delle resistenze di ingresso che, tipicamente, sono comprese fra 1 e 10 Mohm con capacità parassita in parallelo di alcune decine di pF. Normalmente questi valori di resistenza sono già sufficienti a rendere trascurabili gli errori di consumo pertanto un moderno voltmetro elettronico è uno strumento di elevata qualità, assai vicino alla astrazione costituita dal voltmetro ideale. Alcuni strumenti particolarmente sofisticati possono poi, rinunciando alla possibilità di attenuare i segnali di maggiore ampiezza, realizzare una sola portata applicando direttamente il segnale incognito all'ingresso dell'amplificatore posto all'interno del convertitore ADC. Sfruttando la elevatissima impedenza che questi dispositivi presentano si possono realizzare strumenti con resistenze di ingresso che superano il Gohm ( $10^9$  ohm): la portata, in questi casi, risulta confrontabile con il valore della tensione fornita dal campione interno.

---

## Convertitori RMS/DC e TRMS/DC

### Valore efficace di un segnale periodico, fattore di cresta

Il valore efficace di un segnale periodico è definito, matematicamente, come:

$$G = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} g^2(t) dt}$$

La formula sopra riportata traduce in termini rigorosi una equivalenza energetica che venne storicamente adottata quando, nella distribuzione dell'energia elettrica, si passò dal regime continuo a quello alternato: *"In un tempo pari ad un periodo una corrente alternata con valore efficace della intensità di 1 A circolando su di un resistore dissipa la stessa energia che sarebbe dissipata, nello stesso tempo, da una corrente costante con intensità di 1 A"*.

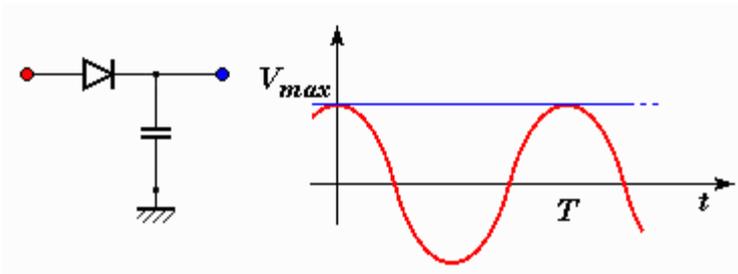
Poiché la misurazione diretta del parametro "valore efficace" di un segnale non è agevole si sono cercate metodi di misura indiretti che permettano la stima del valore efficace dal valore di altri parametri stazionari del segnale. Al rapporto fra il valore di picco di un segnale ed il suo valore efficace è stato dato il nome di "fattore di cresta": analiticamente si può facilmente dimostrare che, per un segnale sinusoidale, il fattore di cresta vale  $2^{1/2}$ . Dalla conoscenza del valore di picco si potrebbe quindi agevolmente ricavare il valore efficace semplicemente dividendo il valore numerico ottenuto per il fattore di cresta: sfortunatamente il valore del fattore di cresta varia con la forma d'onda del segnale! In presenza di distorsioni, quando cioè la forma d'onda del segnale non è rigorosamente sinusoidale, il dividere il valore di picco del segnale per  $2^{1/2}$  al fine di ricavare il valore efficace comporta errori che possono essere anche molto rilevanti. Fino all'avvento della elettronica di potenza si poteva ritenere che i segnali presenti negli impianti elettrici fossero "praticamente" sinusoidali pertanto, grazie alla semplicità dei circuiti con i quali si poteva misurare il valore di picco delle tensioni, ebbero notevole diffusione gli strumenti basati su questa tecnica; al giorno d'oggi è invece frequente dover operare con segnali apprezzabilmente distorti ed è stato necessario sviluppare circuiti più sofisticati che permettano la corretta misura del valore efficace. Per distinguere gli strumenti del primo tipo (utilizzabili correttamente solo se il segnale da misurare ha forma d'onda sinusoidale) da quelli del secondo tipo (utilizzabili correttamente anche con segnali distorti) sono rispettivamente utilizzate le sigle RMS e TRMS, acronimi di "*root mean square*" e "*true root mean square*" (tradotte in italiano con le espressioni "*strumento a quasi valore efficace*" e "*strumento a vero valore efficace*".)

---

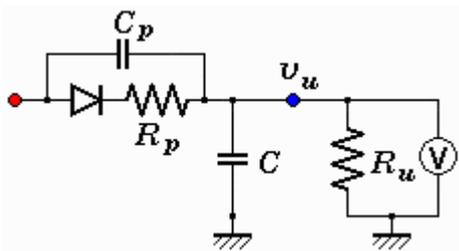
## Convertitore voltmetrico RMS/DC a valore di picco

### Principio di funzionamento

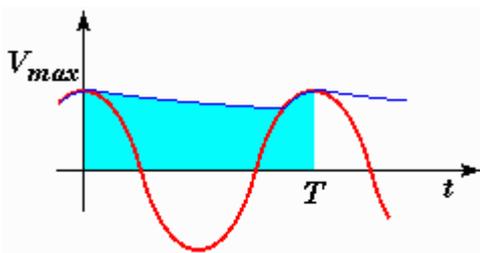
In condizioni ideali (diodo esente da soglia e senza effetti parassiti, circuito a vuoto, segnale a valor medio nullo, ...) un semplice circuito composto da un diodo e da un condensatore permette, esauriti gli eventuali transienti iniziali, di ottenere in uscita una tensione costante di valore pari al valore di picco del segnale in ingresso.



La presenza di parametri parassiti nel diodo (si trascura in questa sede l'effetto della soglia che provoca una caduta di tensione durante la conduzione del dispositivo) e la necessità di inserire uno strumento con il quale misurare la tensione in uscita dal circuito modifica il comportamento del dispositivo. Per esaminare il comportamento dello strumento ed individuare la incertezza con cui viene misurato il valore di picco del segnale di ingresso si faccia quindi riferimento allo schema seguente:



Alle basse frequenze, cioè nel campo che si estende da pochi hertz fino al centinaio di kHz, i parametri parassiti del diodo hanno effetti che possono essere trascurati nei confronti di quelli provocati dalla presenza dello strumento utilizzatore che "carica" l'uscita con una resistenza equivalente  $R_u$ . La forma d'onda del segnale che viene ad essere applicato all'ingresso del voltmetro a valore medio  $V$  è quella rappresentata nel diagramma sotto riportato:



Non appena la tensione di ingresso supera il valore massimo il diodo si interdice e la carica elettrica immagazzinata nella capacità inizia a ricombinarsi fluendo attraverso la resistenza  $R_u$ . La scarica della capacità determina una tensione di uscita che assume il tipico andamento esponenziale decrescente fino a quando la tensione di ingresso, crescendo, non polarizza nuovamente il diodo in diretta ricaricando la capacità  $C$ . Da questo istante e fino al raggiungimento al successivo massimo l'andamento della tensione di uscita assume un andamento sinusoidale.

### **Determinazione della incertezza del convertitore nel rilevare la tensione di picco**

Ciò che il voltmetro misura non è il valore di picco del segnale di ingresso, ma il valore medio del segnale di uscita (proporzionale all'area evidenziata in azzurro nella figura: si deve quindi quantificare tale scarto oppure, cosa più agevole, si deve individuare un maggiorante dello scarto che verrà assunto come "incertezza" della misura.

Per valutare lo scarto iniziamo considerando che la espressione analitica del segnale nell'intervallo di tempo che corrisponde alla scarica della capacità è quella sotto riportata:

(Nota: a causa di un errore nelle equazioni che seguono è stato omesso il pedice "u" della resistenza!!! Appena possibile si correggerà il testo)

$$v_u(t) = V_{\max} e^{-\frac{t}{RC}}$$

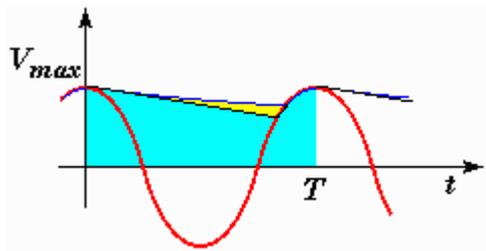
Per valutare l'area sottesa dalla tensione di uscita (area evidenziata in azzurro) si potrebbe individuare la intersezione della esponenziale decrescente con la sinusoidale crescente in maniera da individuare gli estremi di integrazione delle due funzioni, ma il processo sarebbe relativamente laborioso ...

In alternativa, sotto la condizione che il periodo  $T$  del segnale di ingresso sia molto minore della costante di tempo di scarica  $R_u C$ , si può linearizzare la espressione della scarica ottenendo:

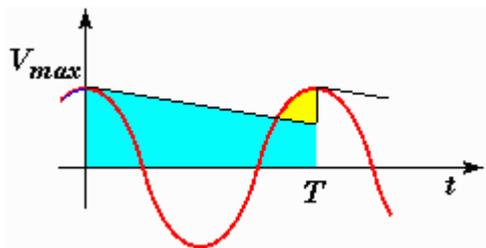
$$T \ll \tau = RC$$

$$v_u(t) \approx V_{\max} \left( 1 - \frac{t}{RC} \right)$$

Questa linearizzazione comporta una diminuzione dell'area sottesa in quanto viene trascurata la parte evidenziata in giallo nella figura sotto riportata: ciò determina quindi un modesto aumento del valore stimato dello scarto che intercorre fra il valore massimo del segnale di ingresso ed il valore medio del segnale di uscita dal convertitore.



La seconda ipotesi semplificativa che viene introdotta consiste nel considerare che la fase di scarica esponenziale abbia durata uguale al periodo del segnale in ingresso: ciò corrisponde al considerare una carica della capacità in tempo nullo e quindi al trascurare il contributo dell'area evidenziata in giallo nella figura sottostante.



Con la approssimazione introdotta si sovrastima ulteriormente lo scarto fra il valore medio del segnale in uscita ed il valore di picco del segnale in ingresso al convertitore, ma il calcolo del valore medio si riduce al calcolo della semisomma dei due valori estremi:

$$\bar{v}_u \approx \frac{V_{\max} + V_{\max} \left(1 - \frac{T}{RC}\right)}{2} = V_{\max} \left(1 - \frac{T}{2RC}\right)$$

Lo scarto assume quindi i seguenti valori (assoluto) e relativo:

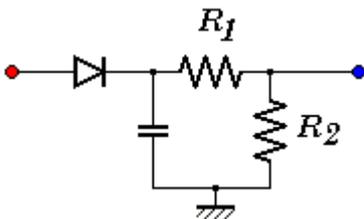
$$\Delta V_{\max} = V_{\max} \left(1 - \frac{T}{2RC}\right) - V_{\max} = V_{\max} \frac{1}{-2RCf}$$

$$\frac{\Delta V_{\max}}{V_{\max}} = \frac{1}{-2RCf}$$

Come si può notare, la espressione ottenuta mostra che lo scarto relativo diminuisce all'aumentare di  $R$ , di  $C$  e di  $f$ : nella realtà ciò è solo parzialmente vero in quanto all'aumentare della frequenza si evidenziano sempre più gli effetti dei parametri parassiti del diodo che, nel calcolo compiuto, erano stati trascurati.

### Determinazione (stima) del valore efficace

Nel caso in cui si conosca il valore del "fattore di cresta" (rapporto fra il valore massimo del segnale ed il valore efficace) è possibile, con l'uso del convertitore sopra discusso, ricavare il valore efficace. Nel caso di onda sinusoidale questo rapporto vale  $2^{1/2}$  pertanto, sotto l'ipotesi che il segnale sotto misurazione sia esclusivamente sinusoidale è possibile ricavare in uscita dal convertitore un segnale il cui valore medio è uguale al valore efficace mediante il circuito sotto riportato:



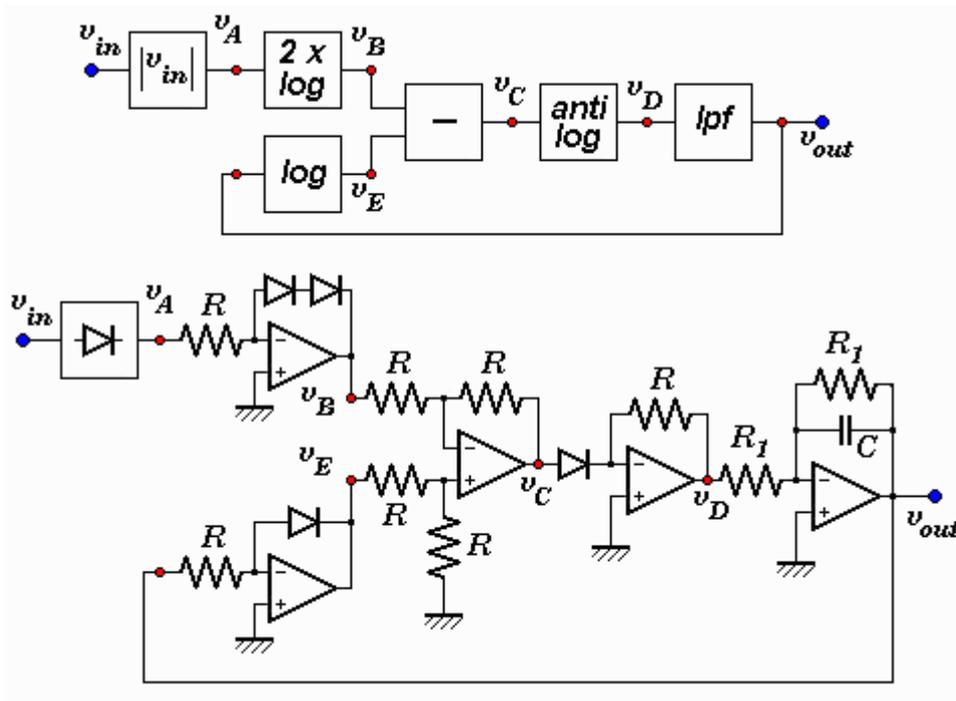
in cui  $R_1 = 0,41 R_2$

### Convertitore voltmetrico TRMS/DC con amplificatori log e antilog

Mediante l'uso di amplificatori operazionali con i quali realizzare convertitori log ed antilog, giunzioni differenziali e filtri passa-basso si può realizzare un "calcolatore analogico" in grado di valutare il valore efficace del segnale, indipendentemente dalla forma d'onda che esso presenta.

Nella figura seguente sono mostrati uno schema a blocchi del circuito, utile per la interpretazione del suo funzionamento, ed uno schema circuitale che mostra come possano essere implementate circuitualmente le soluzioni proposte. Per semplicità si è tralasciato lo schema del blocco che deve ricavare il modulo del segnale: esso può essere realizzato mediante un circuito "superdiodo" costituito da un raddrizzatore attivo a doppia semionda. La necessità di usare tale blocco viene dal fatto che i convertitori logaritmici operano solamente per segnali unipolari, cioè sempre positivi (o

nulli) oppure sempre negativi (o nulli). D'altra parte anche il dominio della funzione logaritmo è l'insieme costituito dai soli numeri non negativi...



Gli andamenti dei valori istantanei delle tensioni presenti nei vari nodi del circuito sono riportate di seguito:

$$v_A(t) = |v_{in}(t)|$$

$$v_B(t) = -2 \log[v_{in}(t)] = -\log[v_{in}(t)]^2$$

$$v_E(t) = -\log[v_{out}(t)]$$

$$v_C(t) = \log[v_{in}(t)]^2 - \log[v_{out}(t)] = \log \left\{ \frac{[v_{in}(t)]^2}{[v_{out}(t)]} \right\}$$

$$v_D(t) = -\frac{[v_{in}(t)]^2}{[v_{out}(t)]}$$

Il filtro passa-basso, se la sua frequenza di taglio risulta sufficientemente bassa nei confronti della frequenza della fondamentale del segnale di ingresso lascia passare il solo termine costante che, come risulta dallo sviluppo in serie di Fourier della  $v_D(t)$ , ha valore pari al valore medio della  $v_D(t)$  stessa.

$$v_{out}(t) = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} \frac{[v_{in}(t)]^2}{[v_{out}(t)]} dt$$

Sotto l'ipotesi che il segnale di ingresso presenti un valore efficace che resta costante per un tempo sufficiente a permettere al circuito di raggiungere una situazione di regime è possibile considerare la  $v_{out}(t)$  come una costante ed estrarla dall'integrale ottenendo:

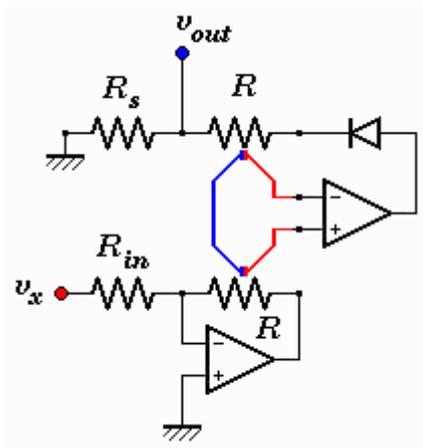
$$[v_{out}]^2 = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} [v_{in}(t)]^2 dt$$

Da questa espressione è immediato dedurre la seguente in cui la  $v_{out}$  viene ad essere uguagliata alla definizione di valore efficace.

$$v_{out} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} [v_{in}(t)]^2 dt} = V_{in}$$

Il dispositivo presenta un limite determinato dalla banda degli amplificatori impiegati e dalla presenza di numerosi parametri parassiti che, nella trattazione svolta, sono stati trascurati per semplicità espositiva.

## Convertitore voltmetrico TRMS/DC a termocoppia



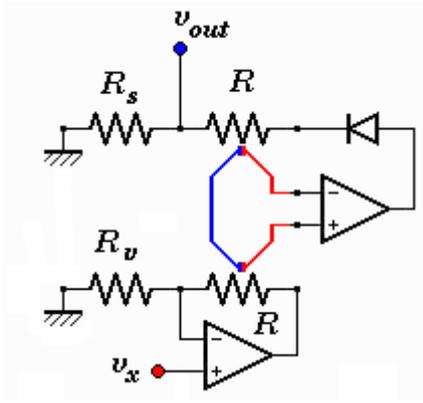
Il convertitore TRMS/DC a termocoppia presenta un campo di frequenza utile maggiore di quello tipico del convertitore log-antilog ed è basato sulla equivalenza energetica fra valore efficace di un segnale periodico e valore (medio) di un segnale costante.

La tensione in ingresso viene convertita, mediante un resistore  $R_{in}$  di adeguata purezza e stabilità, in una corrente che l'OpAmp forza a circolare nel suo ramo di retroazione. Il riscaldamento per effetto Joule che ha luogo nel resistore di retroazione provoca un riscaldamento della corrispondente giunzione della termocoppia e la nascita di una f.e.m. termoelettrica che, amplificata dal secondo OpAmp, determina la circolazione di una corrente nella serie costituita dai due resistori  $R_s$  ed  $R$ . Il sistema, grazie al guadagno elevatissimo che gli OpAmp presentano, assume un regime in cui le temperature delle due giunzioni si equivalgono: in questa situazione, se i due resistori  $R$  sono identici, il calore sviluppato per effetto Joule dalla corrente che circola sul resistore  $R_{in}$  è uguale a

quello sviluppato dalla corrente (continua) che circola su  $R_s$ . Ciò significa che il valore efficace della corrente che circola su  $R_{in}$  è uguale al valore della corrente continua che circola su  $R_s$ . Il valore efficace di  $v_x(t)$  risulta pertanto:

$$V_x = \frac{R_{in}}{R_s} v_{out}$$

Uno schema alternativo e migliorato per quanto riguarda la resistenza di ingresso che risulta aumentata di alcuni ordini di grandezza viene riportato nello schema seguente.



In questo caso il primo OpAmp lavora in maniera tale da creare una caduta uguale a  $v_x(t)$  sul resistore  $R_v$  che deve essere dotato di una purezza tale da poter trascurare i parametri parassiti reattivi. L'OpAmp realizza tale caduta imponendo la circolazione di una corrente il cui valore istantaneo  $i(t)$  è proporzionale alla  $v_x(t)$  sulle due resistenze  $R_v$  ed  $R$ . Il riscaldamento per effetto Joule del resistore  $R$  determina un funzionamento della termocoppia e del secondo OpAmp identico a quello già descritto poco sopra.

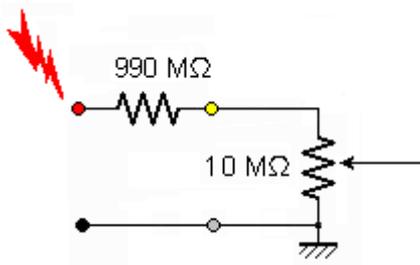
Le cause di incertezza di questi due circuiti sono rappresentate dalla banda del primo amplificatore che limita il campo di frequenza analizzabile, dalle inevitabili differenze che i due riscaldatori  $R$  presentano a causa del processo di costruzione, dalla lieve differenza che comunque resta fra le temperature delle giunzioni (differenza che risulta tanto più piccola quanto maggiore è il guadagno del secondo OpAmp). Le prestazioni, che sono tuttavia superiori a quelle del convertitore log-antilog, si pagano con la impossibilità di integrare questi convertitori in dispositivi allo stato solido.

## *2 - Misurazione di tensioni di elevato valore*

### **Sonde per alta tensione**

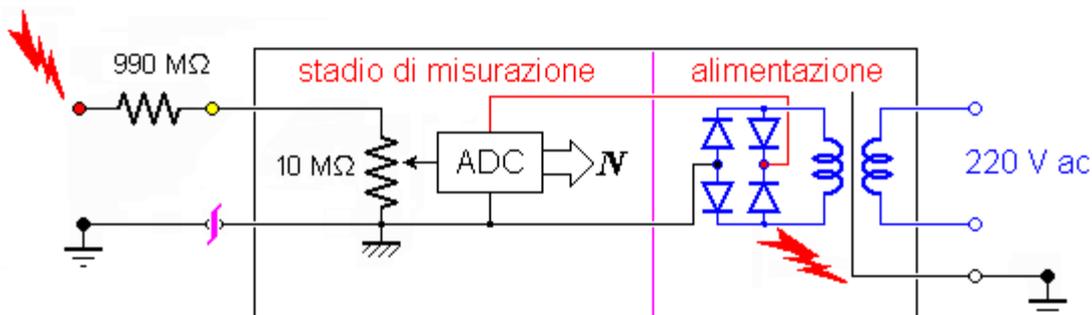
La possibilità di variare la portata, in particolare elevando il valore massimo della tensione misurabile, è limitata da problemi di sicurezza e di isolamento fra i componenti. Qualora si debbano misurare tensioni maggiori di 1000 volt si preferisce utilizzare un dispositivo esterno al multimetro a cui viene affidato il compito di attenuare il segnale per un fattore noto: questi dispositivi prendono il nome di "sonde per alta tensione". Si trovano in commercio sonde in grado di operare con tensioni fino a 40 kV con incertezza sul fattore di attenuazione di compresa fra 1% e 3%.

Si potrebbe pensare di realizzare una sonda per A.T. aggiungendo un resistore di elevato valore in serie a quelli che costituiscono l'attenuatore di ingresso del voltmetro:



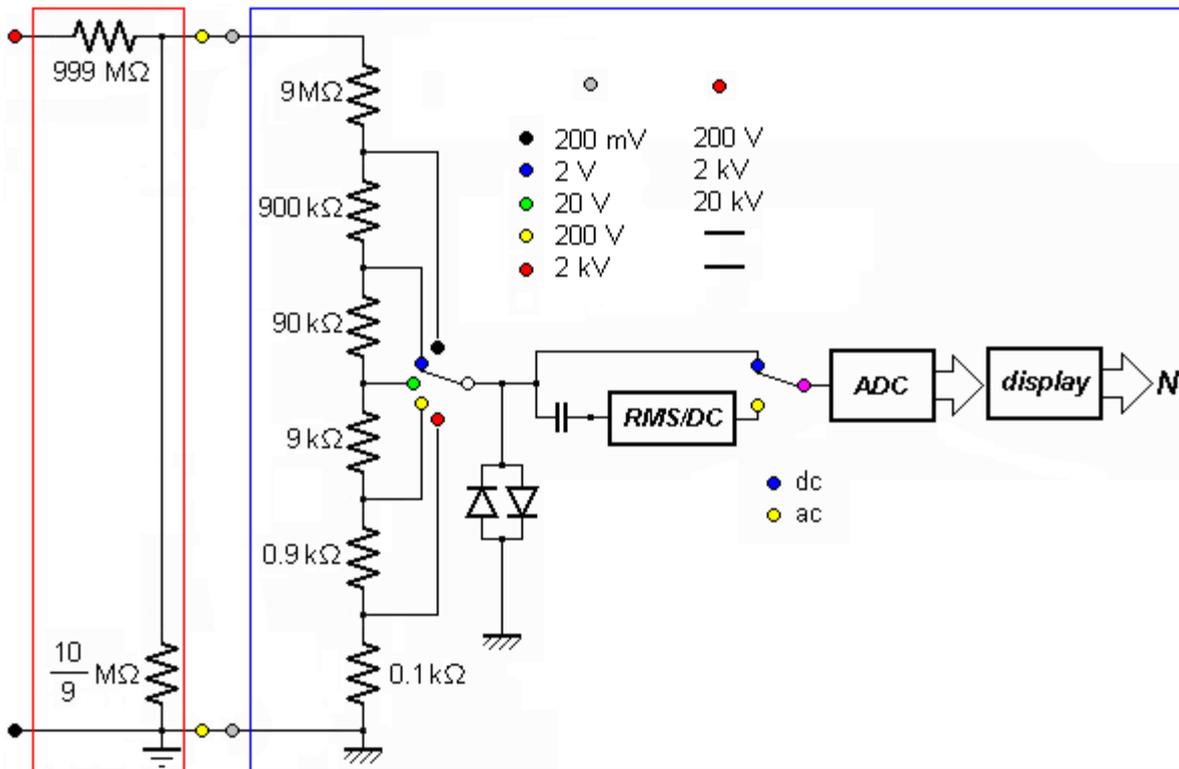
Nell'esempio viene usato un resistore da 990 Mohm in serie al partitore di ingresso del voltmetro (che si suppone abbia una resistenza di ingresso di 10 Mohm). È evidente che in tale configurazione la tensione di ingresso alla sonda subisce una attenuazione per un fattore 100 e la misura dell'incognita si otterrà moltiplicando per 100 il valore misurato della tensione presente ai morsetti di ingresso del voltmetro.

Questo semplice metodo, però, può risultare pericoloso per lo strumento alimentato dalla rete pubblica di bassa tensione nel caso in cui dovesse venire meno la continuità elettrica del circuito. Esaminiamo infatti lo schema seguente in cui vengono evidenziato lo stadio di misurazione (partitore, convertitore ADC, display) e quello di alimentazione (trasformatore riduttore e ponte raddrizzatore: per semplicità si considera una alimentazione unipolare e si omettono i circuiti regolatori di tensione). Si nota come lo schermo del trasformatore si trovi connesso a terra tramite il cordone di alimentazione e la terra di sicurezza dell'impianto elettrico che alimenta la presa da cui si deriva la alimentazione.



Si ipotizza ora la interruzione del circuito in corrispondenza del morsetto di massa del voltmetro. Nel momento in cui viene a cessare la circolazione di corrente per effetto della interruzione del circuito si annulla anche la caduta sul resistore addizionale della sonda pertanto i punti del circuito del voltmetro risultano esposti alla alta tensione che si vuole misurare. Chi corre maggiore pericolo (a parte l'operatore) è l'avvolgimento secondario del trasformatore di alimentazione il quale si trova sottoposto ad una tensione verso lo schermo pari alla A.T. che si intende misurare. Normalmente questa tensione è sufficiente per "perforare" l'isolamento dell'avvolgimento provocando un danno irrimediabile al trasformatore.

La struttura della sonda per A.T. viene pertanto modificata per evitare tale problema aggiungendo un ulteriore resistore in maniera tale da creare, con la sola sonda, un partitore resistivo di tensione. Il valore di tale ulteriore resistore viene opportunamente scelto affinché, in parallelo con la resistenza equivalente di ingresso del voltmetro, il rapporto di partizione assuma un valore pratico, ad esempio 1000:1. Si esamini infatti lo schema seguente in cui il multimetro risulta evidenziato dal rettangolo di colore blu e la sonda per A.T. è evidenziata dal rettangolo rosso.



La resistenza equivalente del parallelo rappresentato dal resistore inferiore della sonda e dallo stadio di ingresso del voltmetro vale:

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_v}}$$

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{9}{10 \cdot 10^6} + \frac{1}{10 \cdot 10^6}} = \frac{10 \cdot 10^6}{10} = 1 \cdot 10^6 \Omega = 1 \text{ M}\Omega$$

pertanto il coefficiente di attenuazione di questo dispositivo è di 1000. Nel caso in cui dovesse interrompersi il collegamento del voltmetro la tensione in uscita dalla sonda subisce un modesto innalzamento, ma il fattore di attenuazione non scende comunque al di sotto di 909.

La fotografia sotto riportata mostra l'aspetto di una sonda per alta tensione: è rappresentata la sonda Tektronix P6015A che consente misurazioni per tensioni fino a 20 kV in continua ed a 40 kV per impulsi di durata inferiore a 100 ms. (in realtà la sonda mostrata è prevista per l'uso con l'oscilloscopio, ma il suo aspetto esterno è simile a quello delle sonde per i multimetri).



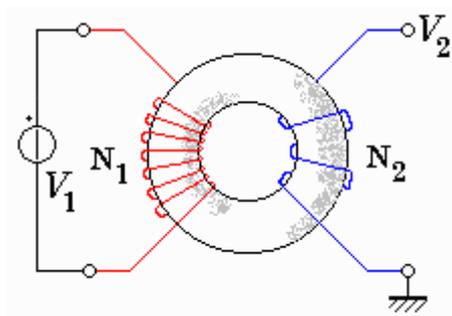
[Tektronix P6015A High Voltage Probe](#)

## Trasformatori voltmetrici

Il trasformatore voltmetrico ( **TV** ) e' un dispositivo che ha un duplice scopo:

- permette di riferire il segnale (tensione) da applicare allo strumento di misura ad una massa indipendente da quella del circuito su cui si sta eseguendo la misurazione;
- ove necessario (principalmente per ragioni di sicurezza) riduce l'ampiezza del segnale di un fattore prestabilito.

Il principio di funzionamento è quello del trasformatore convenzionale pertanto, in linea di principio, si può affermare che, a vuoto, il rapporto fra le ampiezze della tensione in ingresso  $V_1$  ed in uscita  $V_2$  e' dato dal rapporto spire  $N_1 / N_2$ .

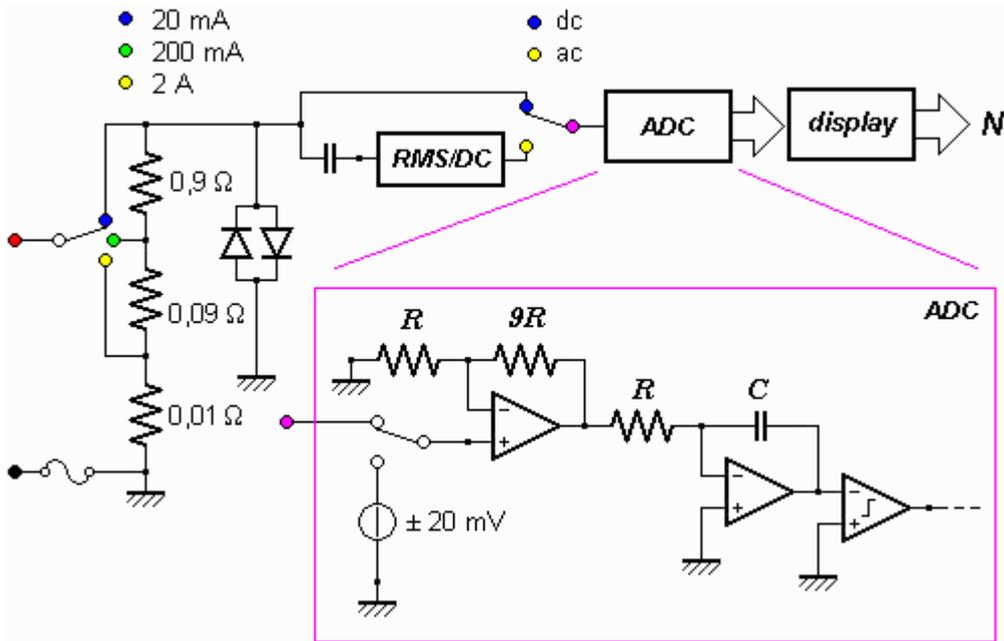


Nella realtà si deve notare che il rapporto fra le ampiezze sopra citato differisce dal rapporto spire pertanto il costruttore progetta gli avvolgimenti in maniera che il rapporto fra le ampiezze si avvicini il più possibile a quello nominale della macchina. Resta tuttavia una lieve aleatorietà nel valore del rapporto che può essere ulteriormente influenzato dalle condizioni operative: si introduce a questo scopo il parametro "incertezza di modulo".

Anche la fase dei due segnali differisce da quella teorica che vede l'onda della tensione in uscita in fase con quella della tensione in ingresso. In questo caso l'angolo massimo di sfasamento fra ingresso ed uscita che può verificarsi nelle diverse condizioni operative viene indicato come "incertezza d'angolo".

### ***3 - Ampermetro multiportata per misurazioni in continua (valore medio) ed in alternata (valore efficace)***

Sfruttando la equazione di coordinamento fornita dalla legge di Ohm è possibile realizzare un amperometro facendo percorrere dalla corrente incognita un resistore di resistenza nota e misurando con un voltmetro la caduta di potenziale che ha luogo su tale resistore. Per realizzare più portate amperometriche si usano resistori diversi, di valore ohmico elevato per le portate minori, di valore ohmico basso per le portate maggiori in maniera tale da mantenere costante la caduta di tensione a "fondo scala". Lo schema seguente presenta infatti cadute di 20 mV sul resistore quando esso viene attraversato dalle correnti rispettivamente indicate.



E' da notare la presenza di un fusibile, indicato con l'usuale simbolo grafico, in serie ai resistori: esso ha la funzione di proteggere lo strumento sia dai sovraccarichi conseguenti alla applicazione di una corrente di valore superiore alla portata massima, sia dal violento sovraccarico che avrebbe luogo se l'amperometro venisse inavvertitamente collegato ad una sorgente di tensione. In questo caso la resistenza interna, che risulta sempre molto bassa (in questo esempio essa è inferiore ad 1 ohm), richiamerebbe una forte corrente dalla sorgente: se si fosse collegato lo strumento ad una presa dell'impianto elettrico domestico si potrebbe avere una corrente di oltre 200 A che, se fosse lasciata libera di circolare, provocherebbe gravi danni allo strumento surriscaldando le resistenze di cui esso è dotato!!! Il fusibile, fondendo, interrompe rapidamente la sovracorrente e si sacrifica per proteggere il multimetro; esso viene poi sostituito in quanto è solitamente posto in posizione facilmente accessibile all'operatore.

## Consumo dello strumento e resistenza di ingresso

L'amperometro ideale ha resistenza interna nulla, a cui corrisponde una caduta di potenziale nulla fra i morsetti. Questa situazione non è ovviamente realizzabile negli strumenti reali che presentano resistenze di ingresso dell'ordine dell'ohm e variabili in funzione della portata selezionata.

Non sempre però il costruttore fornisce il valore della resistenza di ingresso corrispondente alle diverse portate amperometriche dello strumento; a volte, infatti, viene fornito il valore della caduta di potenziale che si ha fra i morsetti dello strumento quando esso è attraversato da una corrente uguale alla portata inserita. Da tale valore è però banale ricavare il valore della resistenza interna. Per esempio, osservando il manuale del multimetro Fluke 8060A, si ricavano i seguenti dati:

portata	caduta (burden voltage)	resistenza interna (ricavata)
0.2 mA	$\leq 0,3 \text{ V}$	$\leq 1500 \text{ ohm}$
2 mA	$\leq 0,3 \text{ V}$	$\leq 150 \text{ ohm}$

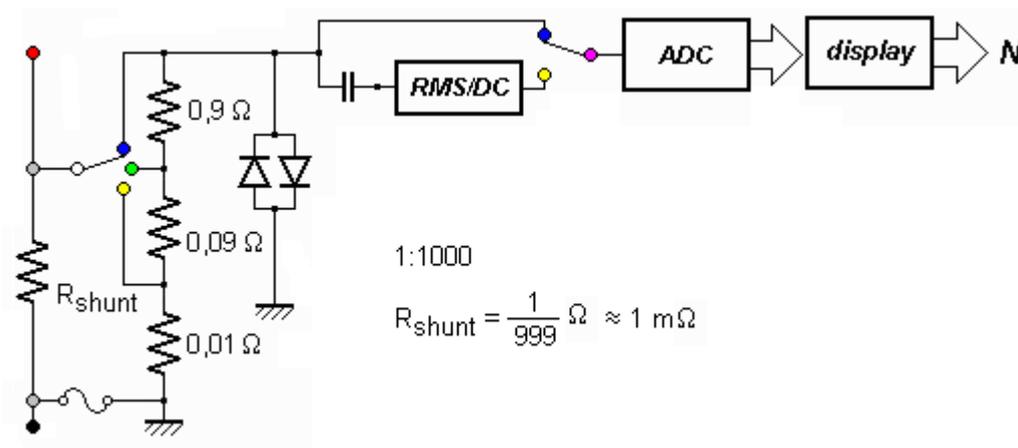
20 mA	$\leq 0,3 \text{ V}$	$\leq 15 \text{ ohm}$
200 mA	$\leq 0,3 \text{ V}$	$\leq 1,5 \text{ ohm}$
2 A	$\leq 0,9 \text{ V}$	$\leq 0,45 \text{ ohm}$

## *4 - Misurazione di correnti con elevato valore della intensità*

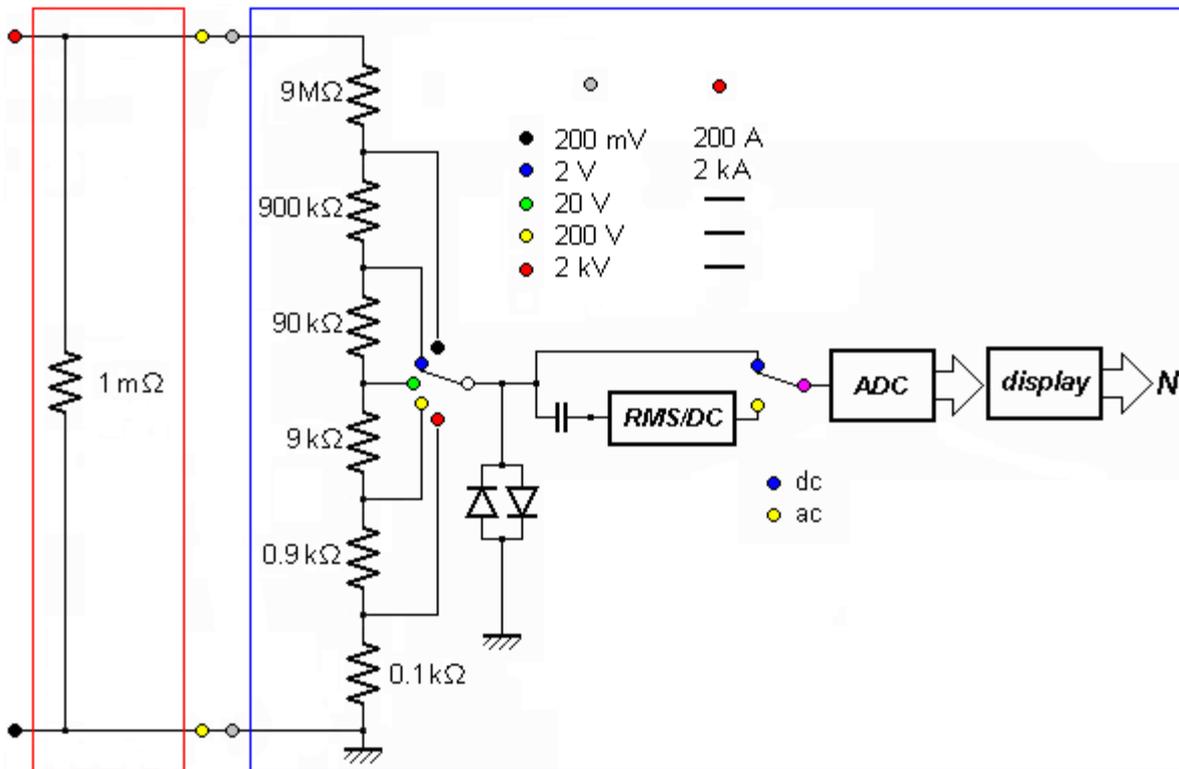
### Resistori "Shunt"

Il resistore shunt -o più brevemente "lo shunt"- è un dispositivo atto ad aumentare il valore della corrente misurabile con il multimetro. Quando si deve misurare una corrente di intensità tanto elevata da non poter essere applicata allo strumento, per esempio per le dimensioni del conduttore che non risulta compatibile con quelle dei morsetti dello strumento, si potrebbe pensare di fare ricorso ad un elemento esterno con il quale suddividere la corrente incognita in due frazioni legate da un rapporto noto con precisione, in modo analogo a quanto è stato fatto per il voltmetro con le sonde per A.T.

Si potrebbe quindi utilizzare un resistore di adeguata resistenza, dotato di morsetti sufficientemente grandi da alloggiare i conduttori e con la possibilità di sopportare la dissipazione di potenza per effetto Joule senza patire eccessivi sovra-riscaldamenti e lo schema verrebbe ad essere il seguente:



La presenza del fusibile di protezione contro le sovracorrenti altererebbe però in maniera non accettabile il rapporto di ripartizione delle correnti pertanto questo schema viene abbandonato a favore di un metodo indiretto.



Nello schema sopra riportato lo shunt è evidenziato dal rettangolo rosso. Lo shunt è quindi costituito da un resistore a quattro morsetti che viene utilizzato in abbinamento con un voltmetro numerico per effettuare la misurazione della intensità della corrente. La presenza dei parametri parassiti reattivi, che comporta alterazione del valore della caduta rispetto a quella che si avrebbe in regime costante, ne limita superiormente la frequenza d'uso a valori che, per quelli di minori dimensioni e portate, può raggiungere i 10 kHz.



[Agilent 34330A](#)

Alcuni dati (reali) possono chiarire tali limiti:

**Agilent (Hewlett-Packard) Mod. 34330A Current shunt:**

resistenza: 0,001 ohm, induttanza parassita non dichiarata  
 sensibilità: 1 mV per 1 A  
 incertezza:  $\pm 0,3\%$  dalla continua a 1 kHz  
 incertezza:  $\pm 5\%$  da 1 kHz a 5 kHz  
 portata: 15 A (per un tempo illimitato), 30 A per 15 minuti.

**Fluke Mod. 80J-10 Current shunt:**

resistenza: 0,01 ohm, induttanza parassita: 8 nH  
 sensibilità: 10 mV per 1 A  
 incertezza:  $\pm 0,25\%$  dalla continua a 10 kHz  
 portata: 10 A (per un tempo illimitato), 20 A per un minuto.

**Philips Mod. PM 9244 Current shunt:**

resistenza: 0,001 ohm, induttanza parassita: non dichiarata  
 sensibilità: 1 mV per 1 A  
 incertezza:  $\pm 2\%$  dalla continua a 1 kHz  
 portata: 30 A (per un tempo illimitato).

Strumenti di qualità superiore possono arrivare fino a 100 kHz:



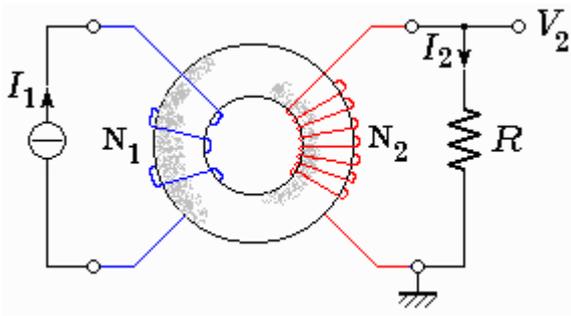
Nella foto: FLUKE Current Shunt Mod. A40. Per maggiori dettagli si consiglia di visitare la pagina del web FLUKE: [ <http://www.fluke.com/products/home.asp?SID=4&AGID=7&PID=7845> ]

## Trasformatori amperometrici

Il trasformatore amperometrico ( **TA** ) e' un dispositivo che ha molteplici scopi:

- permette di isolare galvanicamente lo strumento di misura dal circuito su cui si sta eseguendo la misurazione;
- ove necessario riduce l'ampiezza del segnale di un fattore prestabilito;
- permette di convertire la intensità di corrente in una tensione quando lo strumento di misura ha un ingresso ad alta impedenza (strumento voltmetrico).

Il principio di funzionamento e' quello del trasformatore convenzionale pertanto, in linea di principio, si può affermare che, con il secondario in corto circuito, il rapporto fra le ampiezze della corrente in ingresso  $I_1$  ed in uscita  $I_2$  e' dato da  $N_2 / N_1$  .



Anche in questo caso, come per il TV, il comportamento reale differisce da quello teorico e si introducono la incertezza di modulo e quella d'angolo.

Nota bene: il TA deve sempre essere fatto lavorare con il secondario chiuso su di un carico la cui impedenza deve essere inferiore o uguale ad un valore massimo stabilito dal costruttore del TA. In difetto di ciò si possono determinare danni all'isolamento dell'avvolgimento secondario. Il secondario può operare senza danni anche in corto circuito!.

Alcuni siti che potrebbe essere interessante visitare sono quelli della [Ditta COTRA S.r.l.](#) che produce TA, della [Ditta TESAR S.r.l.](#) (TA per media tensione e TV), della [Ditta Asita S.r.l.](#) che produce e commercializza vari strumenti di misura, fra i quali TA e shunt..

Negli ultimi tempi i TA hanno assunto forme particolari per ottimizzare le loro prestazioni e vengono sempre più spesso forniti già completi del carico su cui la corrente secondaria circolando determina la nascita del segnale  $V_2$ . Questo carico non è in realtà costituito da un semplice resistore, ma si realizzano particolari reti "resistivo/reattive" tali da garantire un comportamento non distorcente del dispositivo in un ampio campo di frequenza, come quello del dispositivo sotto rappresentato..



Agilent 11967B Current Probe, 20 Hz to 2 MHz

La inserzione del TA rende necessaria la interruzione del circuito pertanto sono stati sviluppati particolari TA, detti "a pinza" che possono essere messi in servizio senza dover interferire con il funzionamento del circuito sotto misurazione.



[Fluke i200 Current Clamp](#)

In questi dispositivi il conduttore di cui si vuole misurare la corrente viene fatto entrare nel foro del nucleo ferromagnetico aprendo quest'ultimo: il primario è quindi costituito da una sola spira mentre il secondario è ancora dotato di un elevato numero di spire. Volendo è possibile modificare il rapporto di trasformazione realizzando una sorta di solenoide con il conduttore sotto misura ed inserendo il nucleo del TA a pinza entro tale solenoide: questa operazione aumenta la sensibilità del trasformatore di un fattore pari al numero di volte che il conduttore sotto misura passa nel foro del TA.

## Multimetri a pinza

Sono poi in commercio degli strumenti, detti "multimetri a pinza", costituiti dalla unione di un multimetro portatile e di un TA a pinza che risultano particolarmente versatili



[Fluke 32](#)

Sotto l'aspetto circuitale essi non presentano particolari caratteristiche se non nel caso, sempre più frequente, dell'uso del trasduttore a pinza per la misura di corrente non solo alternata, ma anche continua!.

---

## Sonde ampermetriche per AC e DC

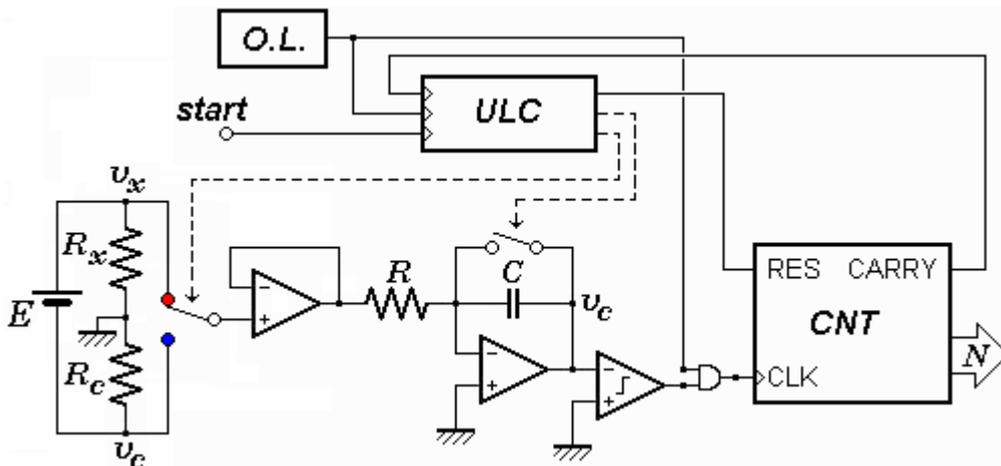
in preparazione



## 5 - Ohmetro multiportata

### Schema di principio

Con una lieve modifica il convertitore "tensione-tempo a doppia rampa" può essere usato come misuratore di resistenza per realizzare un ohmetro digitale.



Come si vede dalla figura sopra riportata, è stato eliminato il campione di f.e.m. e sono stati inseriti un resistore campione  $R_c$  ed un generatore ausiliario  $E$  a cui è richiesta esclusivamente stabilità a breve termine.

Per comprendere il funzionamento del circuito si considerino le espressioni già utilizzate per lo studio del funzionamento del convertitore in cui si esprimono le tensioni  $v_x$  e  $v_c$  in funzione della tensione  $E$  e delle resistenze  $R_x$  (incognita) e  $R_c$  (nota).

### Sonde di Kelvin

Le sonde di Kelvin (Kelvin Clip) servono per realizzare una misurazione a quattro morsetti della resistenza di un bipolo (si vedano in proposito le note sulla misurazione di resistenza con la inserzione volt-amperometrica "a valle" e sui resistori a quattro morsetti).



[\[Agilent 11059A Kelvin Clip Assembly\]](#)

I due "becchi" di ciascuna pinza sono isolati l'uno rispetto all'altro e fanno capo a due distinti spinotti "a banana" che, nell'esemplare riprodotto in fotografia, è possibile individuare mediante i

manicotti colorati. Il sistema è poi completato da uno schermo elettrostatico che racchiude i conduttori e che è collegato ad una estremità al quinto spinotto "a banana" ed all'altra estremità ad un "coccodrillo" protetto da una guaina isolata (visibile in altro nella fotografia").

---

## 6 - Incertezza del multimetro numerico

### Fonti della incertezza del multimetro numerico

La cause della incertezza del multimetro numerico sono molteplici: fra le principali possiamo ricordare la quantizzazione operata dal convertitore A/D utilizzato, la incertezza propria dei campioni (di fem  $E_c$  e di resistenza  $R_c$ ) utilizzati, la incertezza del rapporto di partizione (o di conversione I/V) dello stadio adattatore di ingresso.

#### Quantizzazione:

Sappiamo che un convertitore A/D quantizza il segnale analogico durante la conversione: per farlo il convertitore inizialmente divide il campo di misura in un numero finito di intervalli (normalmente di uguale ampiezza) quindi associa a ciascun valore del segnale campionato il valore medio dell'intervallo in cui esso si trova. La alterazione così introdotta ha un valore massimo che può essere determinato conoscendo l'ampiezza del campo di misura ed il numero di intervalli in cui esso è stato suddiviso. Se il campo di misura è bipolare con estremi  $-E_c$  e  $+E_c$  e viene suddiviso in  $N$  intervalli il valore massimo della alterazione, che viene indicata con il nome di "incertezza di quantizzazione", vale  $\pm E_c / N$ . Come si vede la incertezza di quantizzazione è determinata sia dall'ampiezza del campo di misura, sia dal numero  $N$  di intervalli in cui questo è suddiviso.

Dato che il **valore massimo** di  $N$  è fissato dal numero di bit utilizzati per la codifica del valore numerico si può affermare che il numero massimo di intervalli in cui un certo convertitore suddivide il campo di misura è prefissato.

La ampiezza del campo di misura del convertitore A/D è prefissata, ma l'uso nel multimetro di uno stadio di ingresso a rapporto di partizione (o conversione I/V) variabile rende di fatto variabile il **campo equivalente** di misura: se il convertitore opera, ad esempio, sul campo  $[-200 \text{ mV}, +200 \text{ mV}]$  ed il partitore di ingresso introduce una attenuazione 10:1 si può ritenere che il campo di misura equivalente sia quello  $[-2 \text{ V}, +2 \text{ V}]$ ; se invece, sempre per esempio, il partitore attenua 100:1 il campo equivalente è quello  $[-20 \text{ V}, +20 \text{ V}]$ . Supponendo poi che il convertitore, avendo a disposizione 10 bit per la codifica, possa sopportare una suddivisione in  $2^{10}$  (cioè in 1024) intervalli si ricava che i valori della incertezza di quantizzazione sono rispettivamente di  $\pm 0,2 \text{ mV}$ ,  $\pm 2 \text{ mV}$  e  $\pm 20 \text{ mV}$ .

Vi sono tuttavia casi in cui, soprattutto per rendere più veloci le misurazioni, il multimetro non utilizza tutti i bit della codifica di cui dispone pertanto si attua una suddivisione del campo in un numero di intervalli minore del massimo consentito. Supponendo che si utilizzino solamente 8 bit i valori sopra riportati si modificano rispettivamente in  $\pm 0,8 \text{ mV}$ ,  $\pm 8 \text{ mV}$  e  $\pm 80 \text{ mV}$ .

La incertezza di quantizzazione operata dal multimetro è quindi indipendente dal valore del segnale misurato dipendendo invece dal campo equivalente di misura e dal numero di intervalli in cui questo è stato suddiviso.

## **Incertezza dei campioni**

Se ricordiamo che il convertitore A/D fornisce una parola in uscita da cui si può valutare la tensione incognita di ingresso attraverso l'espressione:  $E_x = E_c \cdot N / N_{max}$  si può comprendere che la incertezza percentuale (o relativa) del campione di fem utilizzato, riflettendosi nella incertezza percentuale (o relativa) della misura, fornisce un contributo alla incertezza assoluta proporzionale al valore della tensione misurata.

Nel caso del voltmetro abbiamo visto una espressione simile:  $R_x = R_c \cdot N / N_{max}$  pertanto anche in questo caso la incertezza del resistore utilizzato fornisce un contributo alla incertezza assoluta proporzionale al valore della resistenza misurata.

## **Incertezza del rapporto di partizione o conversione I/V dello stadio adattatore di ingresso.**

La tensione  $E_x$  poco sopra citata è quella in ingresso al convertitore A/D ma ciò che si vuole effettivamente misurare è quella  $E_{in}$  in ingresso al multimetro. Sapendo quale è il rapporto di partizione introdotto dallo stadio adattatore di ingresso, che indichiamo come  $1/P$ , non vi sarebbe problema a ricavare questa effettiva incognita dal valore misurato di  $E_x$  attraverso la  $E_{in} = E_x \cdot P$  : purtoppo però anche il valore del rapporto di partizione è affetto da incertezza! Per la regola di propagazione dell'incertezza anche in questo caso si vede che la incertezza del partitore utilizzato fornisce un contributo alla incertezza assoluta proporzionale al valore della tensione misurata.

Facili analogie portano a concludere che anche la incertezza sul valore della resistenza su cui viene fatta circolare la corrente incognita per attuare la necessaria conversione I/V fornisce un contributo alla incertezza assoluta proporzionale al valore della corrente misurata.

## **Espressione della incertezza**

Per quanto abbiamo visto nel paragrafo precedente la incertezza dello strumento numerico è scomponibile in due contributi: uno che risulta proporzionale al valore della grandezza misurata e l'altro che invece risulta legato al campo equivalente di misura: questa duplicità viene conservata nella espressione con cui normalmente il costruttore fornisce la indicazione della incertezza del multimetro.

La espressione usata per esprimere la incertezza assoluta (in inglese: Accuracy) nella u.d.m. della stessa misura, infatti, è la seguente:

$$\text{incertezza} = \pm ( a \% \text{ della indicazione} + b \text{ digit} )$$

La percentuale "a" della indicazione è appunto determinata dall'effetto combinato del campione dello stadio adattatore di ingresso.

Cosa si intende però con la espressione "digit" e quanto valgono b digit?

### **b digit**

La traduzione dall'inglese di "digit" è: "cifra". In questo caso dovremmo però tradurre digit come: "cifra meno significativa della indicazione dello strumento". Se la indicazione dello strumento fosse, per esempio, 1,234 (volt) allora 1 digit significherebbe 0,001 volt. Se invece l'indicazione fosse 14,36 mA allora 1 digit sarebbe uguale a 0,01 mA. E' ovvio che "b digit" significa "b volte 1 digit".

Da quanto abbiamo premesso ci dobbiamo aspettare che  $b$  digit rappresenti quella parte di incertezza che risulta provocata dalla quantizzazione e da altre minori cause. E' infatti così e si può vedere facilmente che il valore di un digit risulta effettivamente legato alla ampiezza del campo equivalente di misura.

Per studiare il caso riprendiamo l'esempio già fatto di un multimetro con un convertitore a 10 bit e 3 portate corrispondenti ai campi equivalenti [-200 mV, +200 mV], [-2 V, +2 V] e [-20 V, +20 V] .

Con un display a 3 ½ cifre le diverse portate di cui il multimetro è fornito possono portare rispettivamente alle indicazioni minime e massime:

portata	indicazione minima	indicazione massima	significato di 1 digit	udm
-200 mV / +200 mV	-199.0	+199.0	0.1	mV
-2 V / +2 V	-1.999	+1.999	0.001	V
-20 V / +20 V	-19.99	+19.99	0.01	V

Le diverse portate vengono quindi rappresentate mediante lo spostamento del punto decimale sul display. pertanto la "cifra meno significativa della indicazione dello strumento" assume significato diverso a seconda della portata selezionata.

Se ora ricordiamo i valori già determinati nell'esempio per la incertezza di quantizzazione conseguente all'uso di codifica a 10 bit vediamo che questi sono, rispettivamente di  $\pm 0,2$  mV,  $\pm 2$  mV e  $\pm 20$  mV, cioè sono sempre di  $\pm 2$  digit!

Con codifica a soli 8 bit avremmo invece un'incertezza di quantizzazione di  $\pm 8$  digit.

## Il calcolo della incertezza

A questo punto il calcolo della incertezza assoluta è banale: supponiamo, per esempio, di usare un multimetro dotato di incertezza pari a:

$$\text{incertezza} = \pm ( 0.5 \% \text{ della indicazione} + 2 \text{ digit} )$$

e che l'indicazione sia:

$$\text{indicazione} = 1.204 \text{ V}$$

La incertezza assoluta  $\Delta V$  assume il valore:

$$\Delta V = \pm ( 0.5 \cdot 1.204 / 100 + 2 \cdot 0.001 ) \text{ V}$$

$$\Delta V = \pm ( 0.00602 + 0.002 ) \text{ V} = \pm 0.00802 \text{ V}$$

che, secondo le regole consuete, approssimiamo in eccesso a:

$$\Delta V = \pm 0.009 \text{ V}$$

La misura, se trascuriamo la correzione di eventuali errori di consumo, è pertanto:

$$V_x = ( 1.204 \pm 0.009 ) \text{ V}.$$

---

## *Quesiti di ricapitolazione*



---

## *Domande d'esame*

- sui convertitori RMS/DC e TRMS/DC:
  - Strumenti a valore efficace e a "vero valore efficace"
  - Convertitore a tensione di picco.
  - Convertitore con amplificatori log e antilog.
- sugli strumenti numerici per le misure di tensione, corrente e resistenza
  - Il voltmetro per dc e ac: schema, cause di incertezza
  - L'ampermetro per dc e ac: schema, cause di incertezza.
  - Ohmetro numerico con convertitore a doppia rampa.
  - Espressione della incertezza per un multimetro numerico
  - Misurazioni di tensioni maggiori della portata del voltmetro per dc: partitori resistivi (sonde)
  - Misurazioni di correnti maggiori della portata dell'ampermetro per dc: shunt.
  - Ampliamento del campo di misura degli strumenti in ac: TV e TA.

---

## *Materiale fuori testo*

I siti [www](#) delle principali case costruttrici di strumentazione possono essere fonte di molte informazioni relative agli strumenti trattati in questa parte del corso di Misure elettriche. Alcuni siti da visitare sono i seguenti:

[Agilent Technologies](http://www.tm.agilent.com/classes/MasterServlet?view=HomePage&language=eng&locale=US) [ <http://www.tm.agilent.com/classes/MasterServlet?view=HomePage&language=eng&locale=US> ]  
[Fluke](http://www.fluke.com/products/sections.asp?AGID=5&SID=9) [ <http://www.fluke.com/products/sections.asp?AGID=5&SID=9> ]  
[Tektronix](http://www.tek.com/Measurement/) [ <http://www.tek.com/Measurement/> ]

---

## *Bibliografia per approfondimenti*

- **Libri**
  - R.A. Witte "Electronic test instruments: theory and applications"  
Editore: Prentice-Hall

- **Internet**

- Voltmetri / Multimetri per continua ed alternata
  - [Agilent Technologies: Digital Multimeters/Digital Voltmeters](#)
  - [Fluke: Digital Multimeters](#)
  - [Tektronix: Handheld Oscilloscopes & Digital Multimeters](#)
- Sonde per alte tensioni:
  - [http://www.tek.com/Measurement/accessories/index/prodindex\\_highv.html](http://www.tek.com/Measurement/accessories/index/prodindex_highv.html)
- Sonde di corrente
  - [Agilent Technologies: Current Probes](#)
- Application notes
  - [Agilent Technologies: Application notes](#)
  - [Fluke: Application notes \(richiede registrazione\)](#)
  - [Tektronix: Application notes for multimeters](#)
  - [Tektronix: More about understanding DMM \(Digital MultiMeters\) Specifications](#)
- Pubblicazioni on-line
  - [Agilent Technologies: Pubblicazioni on-line](#)

---

ultimo aggiornamento

Ogni sfruttamento commerciale del materiale distribuito da questo server è vietato  
GMEE - Università Politecnica delle Marche - Ancona © 1977-2003