



Facoltà di Ingegneria  
Università degli Studi di Firenze  
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni

# Multimetri Numerici

**Ing. Andrea Zanobini**

Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni

# MULTIMETRI NUMERICI PER MISURE DI V, I, R

- Strumenti numerici che consentono la misurazione di resistenze, tensioni, correnti continue e alternate.
- Basati essenzialmente su un ADC, mediante il quale viene eseguita la misurazione di una *tensione continua*, realizzando un *voltmetro digitale*.
- Accuratezza elevata, tempo di misurazione ridotto, possibilità di utilizzazione diretta del risultato da parte di un PC (SAM).

## Risoluzione in uno strumento numerico

$N_{MAX}$  = Valore numerico massimo con cui il risultato  
può essere rappresentato (non prevedibile)  
(Numero massimo rappresentabile con  $c$  cifre)

$C$  = Cifre adottate per rappresentare  $N_{MAX}$



- Sono misuratori di tensione continua
- Per misurare grandezze alternate si premettono circuiti che trasformano la tensione, variabile nel tempo, in una componente continua (es. valore efficace)

# RISOLUZIONE ADIMENSIONALE

Poichè un DMM (Digital MultiMeter) presenta più portate, è utile caratterizzare la sua risoluzione indipendentemente dalla portata utilizzata (fondo scala).

Si definisce *risoluzione adimensionale*:  $\delta = \log_B N_{MAX} \Rightarrow \in \mathfrak{R}$

B: Base di numerazione utilizzata  $\delta \equiv C \in \mathfrak{I}$  *solo se*:  $N_{MAX} \equiv B^C$

La risoluzione ( $\delta \in \mathfrak{R}$ ) viene normalmente approssimata alla mezza unità ma in questo modo, al solito, si indica che il conteggio massimo non può assumere tutti i valori rappresentabili con C cifre in base B.

## *Esempio 1:*

DMM con B=10, C=6 e non sono previsti tutti i valori.

Allora, convenzionalmente,  $\delta = 5 \frac{1}{2}$  cifre.

Questo indica solo che non sono rappresentabili tutti i valori compresi tra 0 e 999999, senza specificare il valore massimo.

Ad esempio  $N_{MAX} = 303099$  ricavabile solo dal manuale dello strumento.

## RISOLUZIONE DIMENSIONALE

Una volta fissato il fondo scala (FS) dello strumento è possibile valutare la *risoluzione dimensionale*  $\Delta$  espressa come *la minima variazione del misurando che provoca una modifica del risultato della misurazione* e, per un passo di quantizzazione costante, è pari a:

(peso della cifra meno significativa del risultato)

$$\Delta = \frac{\text{FS}}{N_{\text{MAX}}}$$

### *Esempio 2:*

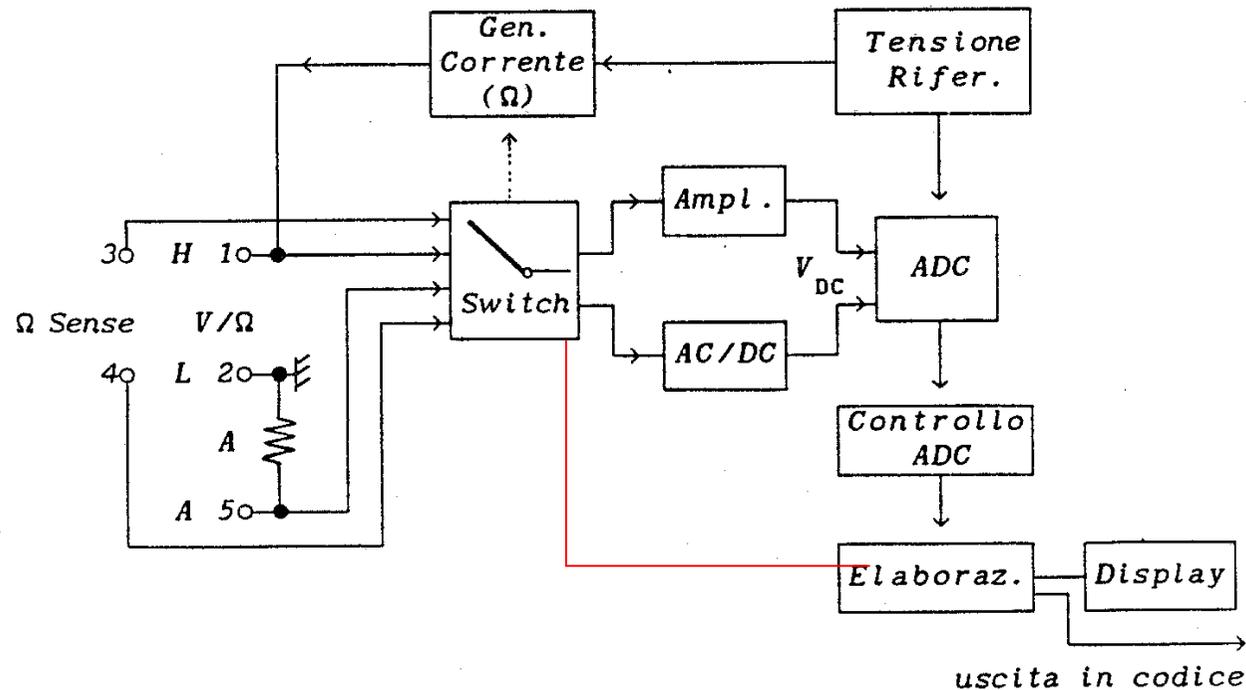
DMM con B=10, C=6

$$\delta = 5 \frac{1}{2} \text{ cifre} \quad N_{\text{MAX}} = 303099$$

Si abbia il seguente valore di FS: 3.03099 V

$\Delta$  è pari a 10 $\mu$ V, peso assunto dalla cifra meno significativa.

# STRUTTURA GENERALE DI UN DMM



Sono disponibili 5 morsetti di ingresso.

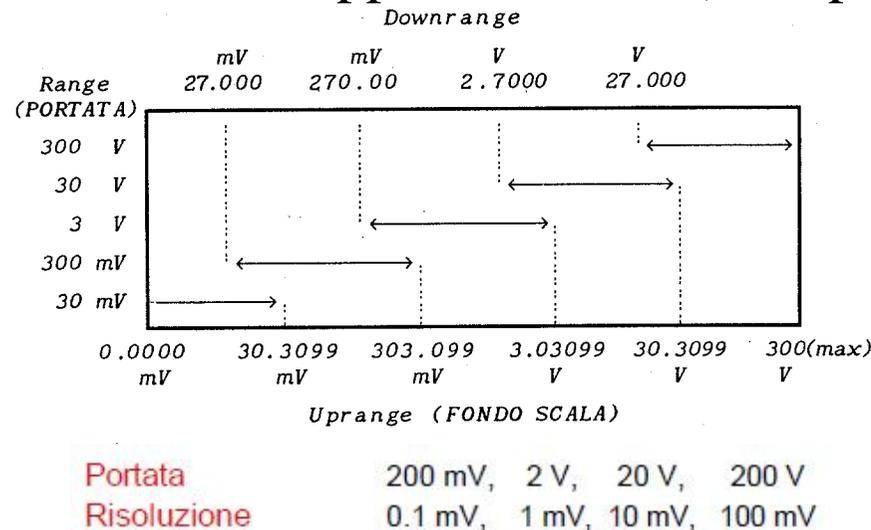
Il morsetto 2 funziona da riferimento ed è indicato con L (Low)

Il blocco di ingresso minimizza l'effetto di carico che lo strumento provoca nel circuito sotto misurazione e condiziona, al solito, il segnale di ingresso per eseguire la misurazione nelle condizioni migliori.

In caso di **autoscale** il  $T_{mis}$  aumenta notevolmente

# MISURA DI TENSIONI CONTINUE - ALTERNATE

- Morsetti H e L (1 e 2) dalle centinaia di V ad alcuni mV (o  $\mu\text{V}$ ).
- Portate sovrapposte tra loro (esempi 1 e 2):



**FS**= valore massimo relativo ad ogni sottoinsieme

**Portata** = Valore *convenzionale* corrispondente

**Esempio:** Portata **P**=3V,

Fondo Scala **FS**=3.03099V

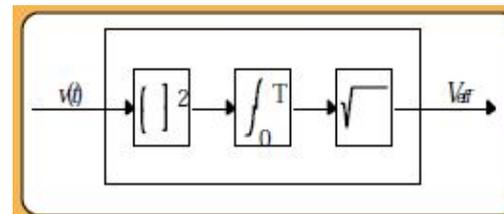
Nel caso di AC un DMM fornisce in generale il *vero valore efficace* (*True RMS Value*) ottenibile tramite elaborazione *analogica* oppure *digitale*.

- Nel primo caso, tramite circuiti integrati, si *realizza* l'espressione analitica che rappresenta l'espressione stessa di valore efficace (quadrato+media+sqrt).
- Nel secondo caso *si converte* ogni campione del segnale di ingresso in forma numerica e lo si elabora tramite microprocessore.

# MISURA DI CORRENTI CONTINUE - ALTERNATE

Morsetti **A** e **L** (5 e 2) dai nA a qualche A. La corrente incognita viene fatta passare per una resistenza nota, interna allo strumento e dell'ordine di  $0.1 \Omega$ , ai capi della quale si manifesta una d.d.p. misurata dal ADC.

- Analogamente valori efficaci di correnti alternate vengono valutate, con elaborazione analogica o digitale, misurando il valore efficace delle cadute di tensione ai capi del resistore interno noto.



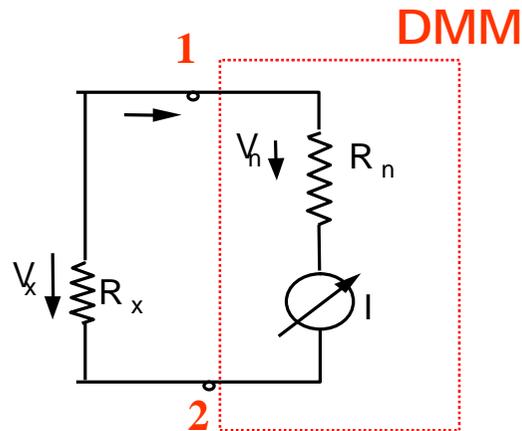
# MISURA DI RESISTENZE QUALSIASI

Morsetti **H** e **L** (1 e 2) dai  $\mu\Omega$  ai  $G\Omega$ .

- Particolari cautele agli estremi del campo di misura. Nella resistenza incognita viene fatta circolare una corrente nota e viene quindi misurata la caduta di tensione (c.d.t.) prodotta.
- La conoscenza della corrente è dedotta valutando la caduta di tensione ai capi di una resistenza nota. Dunque questa misura si traduce nella misura di due tensioni e nell'elaborazione dei risultati successivi

# MISURA DI RESISTENZA – Schema di principio

- Nella resistenza  $R_x$  viene fatta circolare una corrente nota
- Si misura la caduta di tensione prodotta su  $R_x$
- La conoscenza della corrente è ottenuta dalla valutazione della caduta di tensione su  $R_n$



$$R_x = \frac{V_x}{I} = R_n \frac{V_x}{V_n}$$

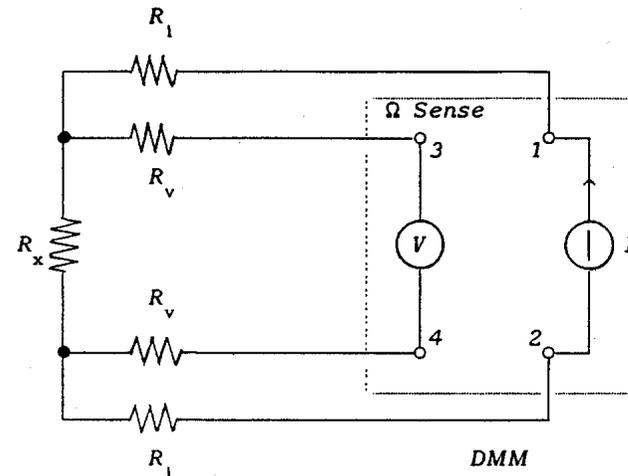
- In pratica si misurano due tensioni
- Si elaborano poi i risultati (microprocessore)

$$R_x = R_n \frac{V_x}{V_n}$$

## PROBLEMI – Resistenze di contatto

Per ridurre l'influenza delle resistenze di contatto e dei conduttori di collegamento sono disponibili 4 morsetti: con 1 e 2 si fornisce la corrente di misurazione, mentre da 3 e 4 ( $\Omega$  sense) preleviamo la tensione ai capi di  $R_X$

Le c.d.t. sulle resistenze di contatto e collegamento ( $R_I$ ) non influenzano la misura della tensione ai capi di 3 e 4. Inoltre poiché la resistenza di ingresso ai capi di 3 e 4 è molto elevata, le resistenze parassite del circuito voltmetrico ( $R_V$ ) hanno effetto trascurabile (*vedi slide successiva*)



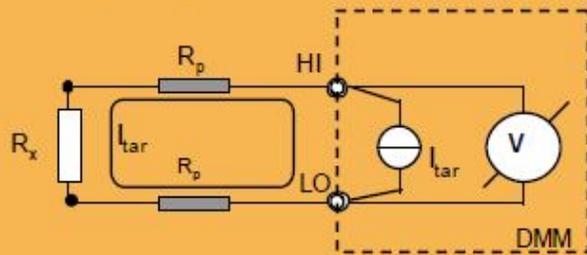
Negli strumenti con capacità di **Autorange**:

**Prima misurazione:** valore più opportuno della corrente da erogare

**Seconda misurazione:** effettiva valutazione di  $R_X$  (aumento di  $T_{mis}$ , dipende dall'utilizzatore)

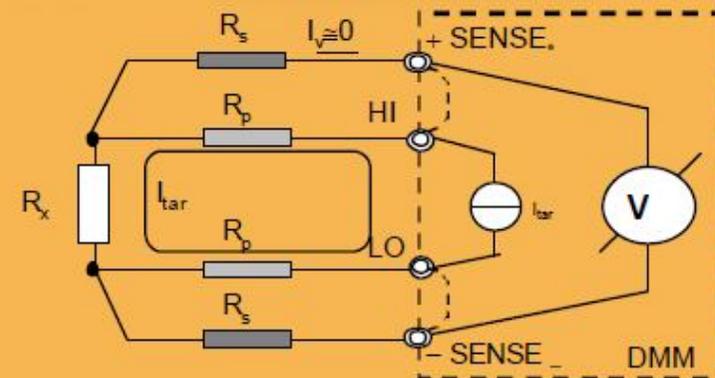
## Misura di piccole resistenze

- Tecnica volt-amperometrica
- Se  $R_x$  piccole, problema delle resistenze di collegamento
- Si misura  $R_x + 2R_p$



## Misura a 4 fili (4-wire)

- Si utilizzano 4 morsetti



113

# MISURA DI PICCOLE RESISTENZE con DMM palmare

Per misurare resistenze *molto piccole* o con *elevate risoluzioni* si fanno due misurazioni:

*Prima misurazione:* Si valuta la c.d.t su R causata dalla corrente fornita dallo strumento. Tiene conto di eventuali sorgenti di disturbo dovute ad esempio a differenze di temperature nei contatti tra metalli diversi

*Seconda misurazione:* Si valuta la stessa c.d.t. in assenza di corrente per tenere conto delle eventuali sorgenti di tensione di disturbo. Si sottrae tale valore da quello ottenuto nella prima fase.

*Esempio:*  $R_X \approx 5\Omega$   $\delta = 5 \frac{1}{2}$  cifre

In tal caso è necessario valutare resistenze con una risoluzione dimensionale dell'ordine dei  $10\mu\Omega$ . Con una corrente di 10mA ciò richiede la misura di tensioni con risoluzione 100nV, inferiore o paragonabile ai fenomeni di disturbo.

## MISURA DI GRANDI RESISTENZE

Per estendere superiormente il campo dei valori massimi misurabili lo strumento pone in **parallelo** a  $R_X$  una resistenza nota  $R_N$ :

$$R_X = \frac{R_N R_M}{R_N - R_M} \quad R_M \text{ è il risultato della misura}$$

La c.d.t. assume valori accettabili anche utilizzando correnti non troppo piccole, e quindi valutabili in modo accurato.

### E in più...

- Sono possibili elaborazioni sui risultati della misurazione (ad esempio la differenza tra due valori misurati,  $\mu$  e  $\sigma$  di  $n$  misure) per aumentare l'accuratezza del risultato
- E' possibile fissare il campo dei valori entro cui deve essere contenuto il risultato (SAM)
- E' possibile esprimere il valore misurato in dB rispetto a un valore di riferimento

# VALUTAZIONE DELL'ACCURATEZZA

Non esiste una normativa precisa per specificare l'accuratezza di un DMM  $\Rightarrow$  confronti difficili Di solito viene fornita mediante la relazione seguente:

$$\Delta_X = k_1|X| + k_2\Delta$$

$k_1$ =componente dell'incertezza dipendente dal valore misurato X (tabelle di  $k_1$ )

$k_2$ =componente dell'incertezza dipendente solo dalla portata scelta (tabelle di  $k_2$ )

## *Esempio 2:*

DMM con P=30 V  $\delta = 5 \frac{1}{2}$  cifre FS = 30.3099 V  $\Delta=100 \mu\text{V}$

Dalle tabelle fornite dal costruttore si deduce:

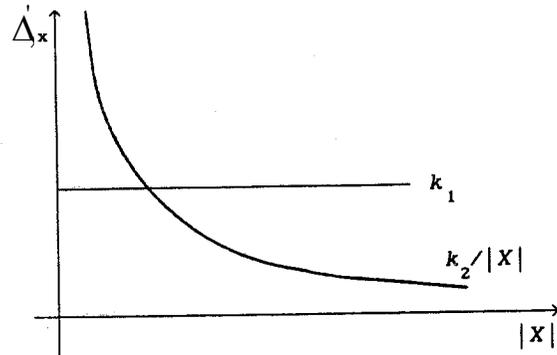
$k_1 = 0.005 \%$  ,  $k_2 = 4$  da cui:

$$\Delta_X = 5 \cdot 10^{-5} |V_X| + 4 \cdot 10^{-4} \text{ V}$$

L'accuratezza relativa vale:  $\Delta'_X = \frac{\Delta_X}{|X|} = k_1 + k_2 \frac{\Delta}{|X|}$

Costituita da un termine non dipendente dal valore misurato e da uno che può diventare prevalente quando X è prossimo al *downrange*

## COMPONENTI DELL'ACCURATEZZA RELATIVA



Come già visto, anche per il DMM, sarà conveniente usare lo strumento in FS (minima portata compatibile con il valore assunto dal misurando)

- Un DMM deve essere calibrato **periodicamente**, seguendo una procedura specificata dettagliatamente dal costruttore e svolta in un certo campo di valori della temperatura ambiente ( $T_{amb}$ )
- Anche per  $k_1$  e  $k_2$  vengono forniti dei *range* validi di  $T_{amb}$  e la durata della loro validità. Se  $T_{amb}$  è differente da quella prevista possono essere adottati coefficienti correttivi opportuni.
- A causa delle inevitabili *tensioni di offset* lo strumento può fornire un'indicazione non nulla anche a circuito aperto: questo valore può essere valutato e la misura corretta.
- Esiste un comando denominato **Autozero** (on/off) che permette di eseguire questa procedura di valutazione dell'offset

# ACCURATEZZA IN MISURA DI GRANDEZZE ALTERNATE

## *Esempio 3:*

DMM: P=30V       $\delta = 5 \frac{1}{2}$  cifre      FS = 30.3099 V

Dalle tabelle fornite dal costruttore:       $100 \text{ Hz} \leq f_{\text{in}} \leq 20 \text{ kHz}$        $k_1 = 0.20\%$        $k_2 = 70$

Dalle tabelle fornite dal costruttore:       $20 \text{ kHz} \leq f_{\text{in}} \leq 50 \text{ kHz}$        $k_1 = 0.26\%$        $k_2 = 140$

Ovviamente tali parametri devono essere aumentati in caso di:

- $T_{\text{amb}}$  che esce dal campo di valori ammessi
- L'*Autozero* posto su *off*

Fattore di cresta della tensione incognita oltre un certo valore

E' possibile, per diminuire  $T_{\text{mis}}$ , adoperare il DMM ad una risoluzione inferiore ( $k_1$  invariato,  $k_2=1$ ). Oppure può interessare un particolare  $T_{\text{mis}}$  per ridurre l'influenza del *ripple* sovrapposto a  $V_x$

## *Esempio 3: DMM:P=30 V*

$\delta = 3 \frac{1}{2}$  cifre       $\Delta=100\mu\text{V}$ ,  $T_{\text{mis}}=200\text{ms}$ .

$\delta = 5 \frac{1}{2}$  cifre       $\Delta=1 \text{ mV}$ ,  $T_{\text{mis}}=20 \text{ ms}$ .

$\delta = 4 \frac{1}{2}$  cifre       $\Delta=10 \text{ mV}$ ,  $T_{\text{mis}}=2 \text{ ms}$ .