

IL MULTIMETRO DIGITALE

Marco Panareo



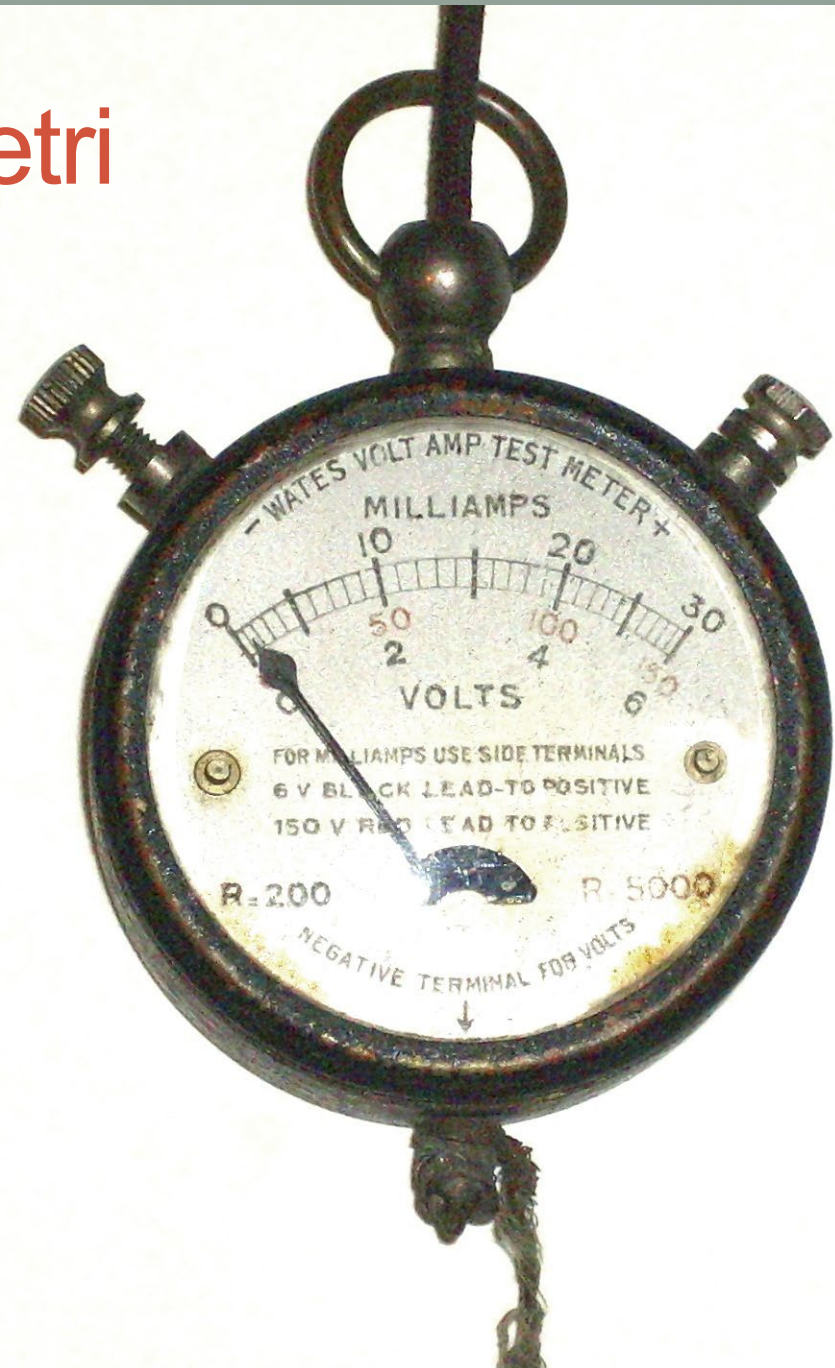
Il multimetro

- Per multimetro si intende un dispositivo che combina diversi strumenti di misura; generalmente un multimetro è in grado di misurare su differenti intervalli di misura :
 - Correnti (AC/DC)
 - Differenze di potenziale (AC/DC)
 - Resistenze
- I **multimetri analogici** adoperano un galvanometro a bobina mobile dotato di diverse scale in relazione alle differenti grandezze da misurare
- Nei **multimetri digitali** il risultato della misura è fornito in forma numerica su un opportuno display. Poiché in taluni casi una rappresentazione analogica della grandezza si rivela utile, spesso i display dei multimetri digitali integrano una barra di lunghezza proporzionale alla quantità misurata.



Voltmetri / Amperometri

- I primi strumenti per la misura di correnti e tensioni erano dispositivi separati
- All'inizio del XX secolo per esigenze di praticità comparvero i primi strumenti in grado di misurare entrambe queste grandezze
- Questi strumenti erano basati su galvanometri a bobina mobile dotati di shunt e per misurare correnti elevate e di resistenze aggiuntive per le misure di tensione
- La misura di correnti e tensioni alternate richiese l'aggiunta di rettificatori compatti (ad ossido di rame) che si resero disponibili solo a partire del secondo decennio del XX secolo



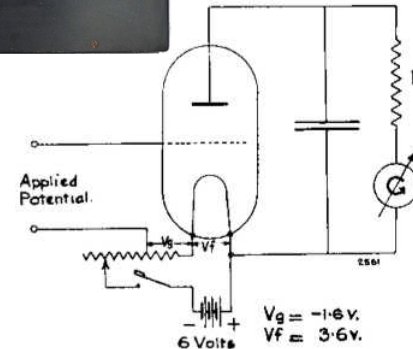
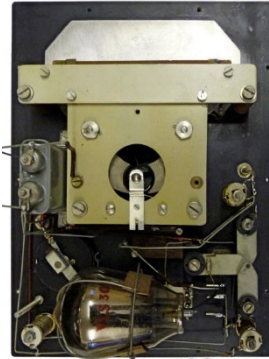
AVOmeter

- L'esigenza di un dispositivo che unificasse diversi strumenti di misura emerse negli anni '20 del XX secolo in relazione alla costruzione ed alla manutenzione dei primi ricevitori radio realizzati con tubi a vuoto.
- L'invenzione del primo multimetro è attribuita all'ingegnere Donald MacAdie che lavorava presso il servizio postale britannico; MacAdie denominò tale strumento **AVOmeter**.
- L'AVOmeter era in grado di misurare correnti, tensioni e resistenze ed evitava così di dover trasportare diversi strumenti nelle operazioni di manutenzione delle reti per telecomunicazioni.
- A partire dal 1923 l'AVOmeter fu commercializzato in varie versioni fino agli inizi degli anni '50, con caratteristiche pressoché invariate rispetto ai primi modelli.

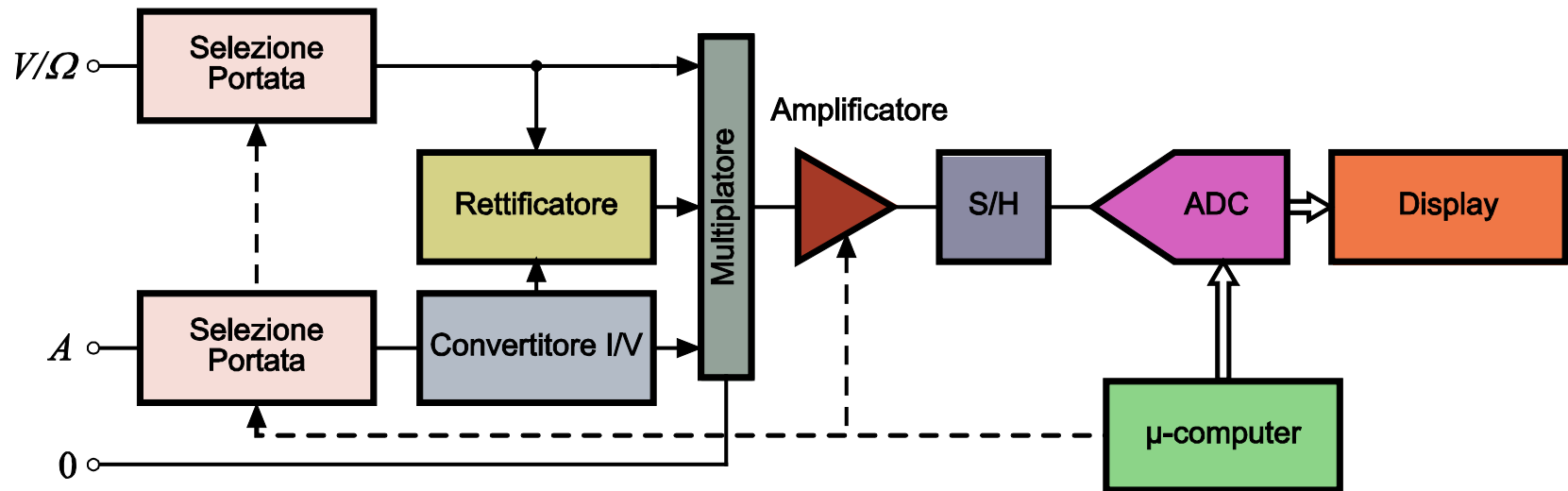


Voltmetri elettronici

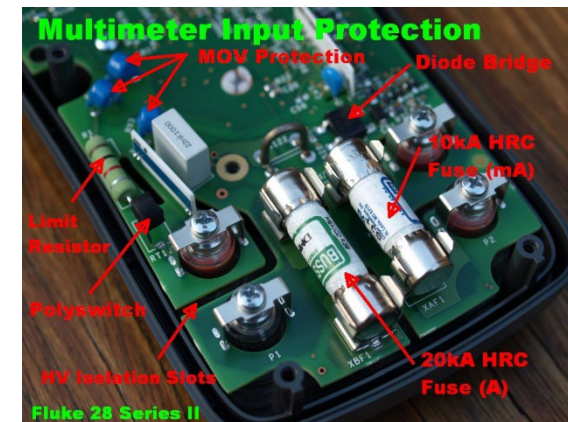
- Il primo voltmetro elettronico basato sui tubi a vuoto fu realizzato da Eric Bailleul Moullin nel 1922 presso l'Università di Cambridge e fu successivamente commercializzato dalla Cambridge Scientific Instruments; a partire da questo modello, furono sviluppate diverse versioni sia per misure in continua che in alternata.
- Con l'introduzione dei primi convertitori analogico-digitali ci si rese conto che la tecnica digitale consente di migliorare notevolmente l'immunità ai disturbi e realizzare misure più stabili.
- Il passaggio alla fase commerciale richiese tuttavia il cambio di tecnologia dai tubi a vuoto ai transistor, in quanto i primi convertitori avevano dimensioni, pesi e consumi in conflitto con le esigenze di portabilità.
- A partire dagli anni '70, quando il prezzo dei semiconduttori diminuì notevolmente, i circuiti di conversione divennero compatibili con tali esigenze e divennero comuni i multimetri digitali portatili.



La struttura di un multimetro

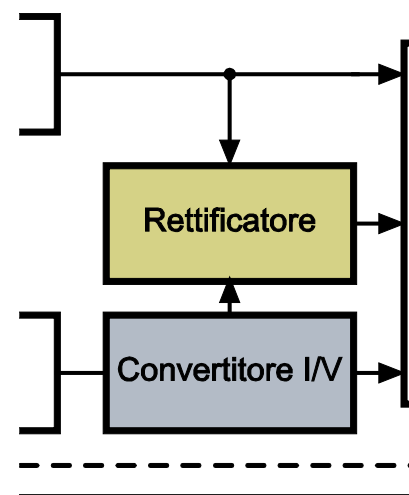
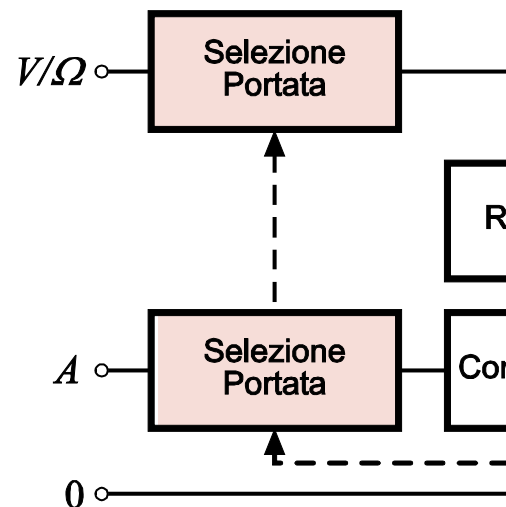
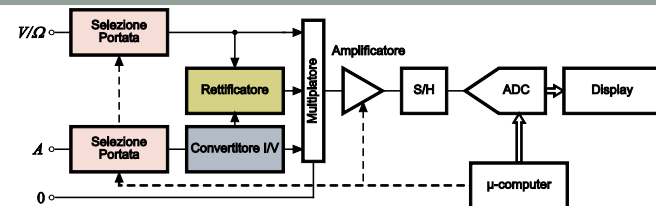


- Nella figura è mostrato lo schema a blocchi di un multimetro digitale.
- In generale sono previsti due ingressi separati per le misure di tensione e resistenza (V/Ω) e corrente (A), entrambi gli ingressi sono riferiti ad un terminale comune (0).
- L'ingresso per la misura di corrente usualmente è protetto con un opportuno fusibile.



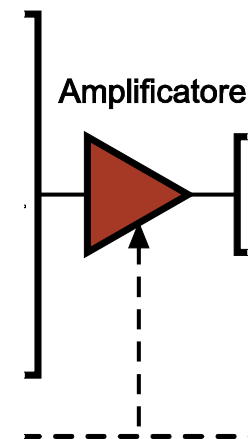
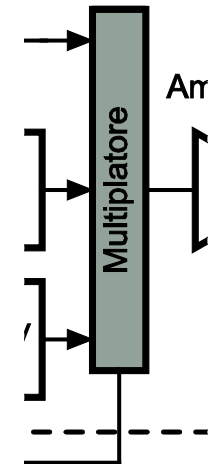
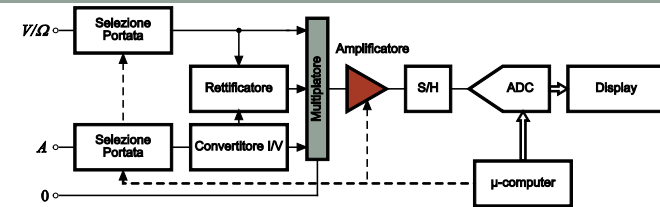
Condizionamento

- Per entrambi gli ingressi il primo stadio è costituito da un selettore (*Selezione Portata*) che regola (anche automaticamente) il fondo-scala dello strumento in relazione all'entità della grandezza da misurare
- Poiché il convertitore analogico-digitale (*ADC*) opera la conversione della tensione applicata in ingresso, per le misure di resistenza, in corrispondenza del selettore viene anche effettuata la conversione in una tensione del valore della resistenza compresa tra gli ingressi V/Ω e 0.
- Analogamente, lo stadio successivo per la misura della corrente (*Convertitore I/V*) converte tale corrente in una tensione ad essa proporzionale.
- Il multimetro è utilizzato anche per misure in corrente alternata, pertanto, nell'eventualità di una tale condizione di misura, un ulteriore stadio (*Rettificatore*), calcola il valore efficace delle grandezze.



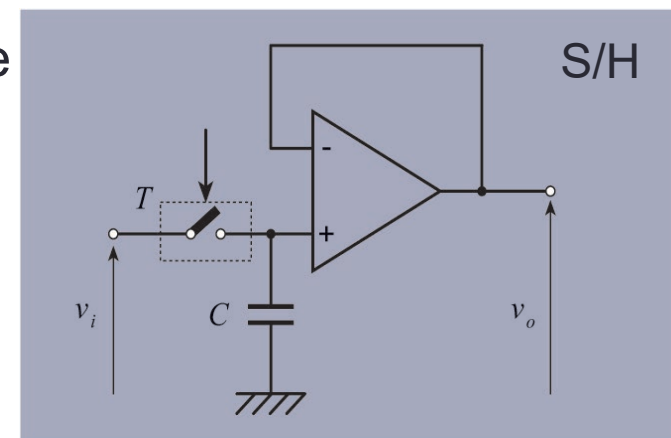
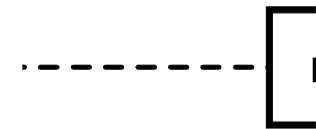
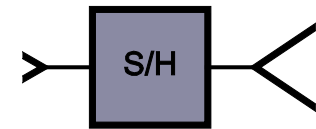
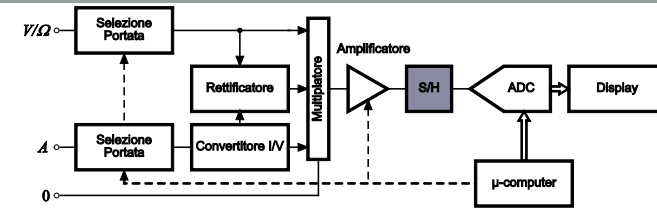
Condizionamento

- In relazione alla misura scelta, la tensione corrispondente viene trasferita attraverso un opportuno blocco (*Multiplore*) allo stadio successivo (*Amplificatore*) dove la tensione viene amplificata (anche in maniera automatica) qualora la sua ampiezza sia piccola rispetto alla dinamica del convertitore analogico-digitale.
- I blocchi fino ad ora descritti sono detti di *condizionamento* delle grandezze applicate in ingresso, in quanto adeguano il dispositivo di misura relativamente alla grandezza oggetto della misura.



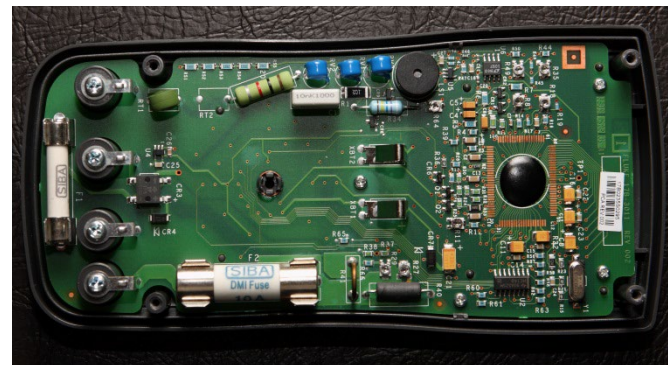
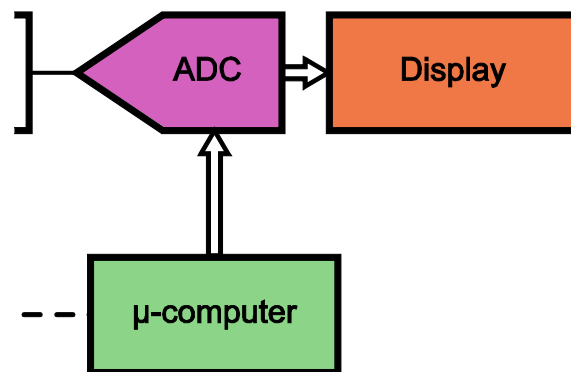
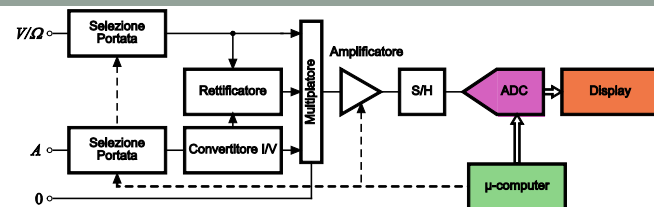
Sample and Hold

- Siccome il convertitore analogico-digitale richiede un certo tempo per eseguire la conversione, è necessario che la tensione da convertire sia presente in maniera stabile al suo ingresso durante questo tempo.
- A tale scopo, prima di questo dispositivo è situato un blocco per il campionamento del segnale (*S/H*, *Sample and Hold*).
- L'elemento principale di tale blocco è rappresentato da un condensatore a basse perdite che viene prima caricato alla tensione da misurare e quindi scollegato dal circuito d'ingresso, in modo da mantenersi carico il tempo necessario affinché il convertitore analogico-digitale completi la conversione
- Al termine di tale fase il condensatore viene scaricato e collegato nuovamente al circuito d'ingresso per la successiva misura.



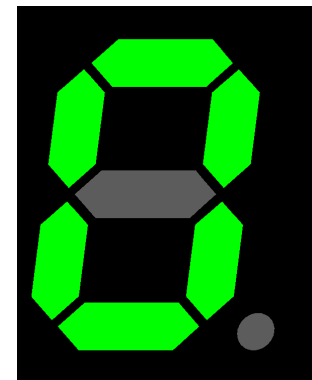
Conversione

- Il convertitore analogico-digitale (**ADC**) opera la conversione della tensione così condizionata e resa stabile dallo stadio **S/H** e trasferisce ai circuiti di comando del **display** il dato digitale corrispondente alla grandezza analogica presente in ingresso.
- Generalmente, tutti i processi automatici del multimetro sono gestiti da un microprocessore (**μ -computer**).
- I multimetri moderni sono basati su circuiti monolitici che integrano varie funzioni, quali, ad esempio il blocco di **S/H**, il convertitore analogico-digitale ed il dispositivo per la selezione automatica della portata.
- L'integrazione di più componenti all'interno di un unico circuito integrato ha notevolmente ridotto il costo dei multimetri digitali di ultima generazione, senza penalizzarne le caratteristiche.



Rappresentazione della misura

- Il display di un multimetro digitale permette la visualizzazione in forma numerica del risultato della misura ed è costituito da singole unità di visualizzazione a sette segmenti; il loro numero, corrispondente alle cifre visualizzabili, costituisce un elemento di caratterizzazione del multimetro.
- Solitamente, il numero di cifre rappresentabili assume la forma,



$N \text{ p/q}$

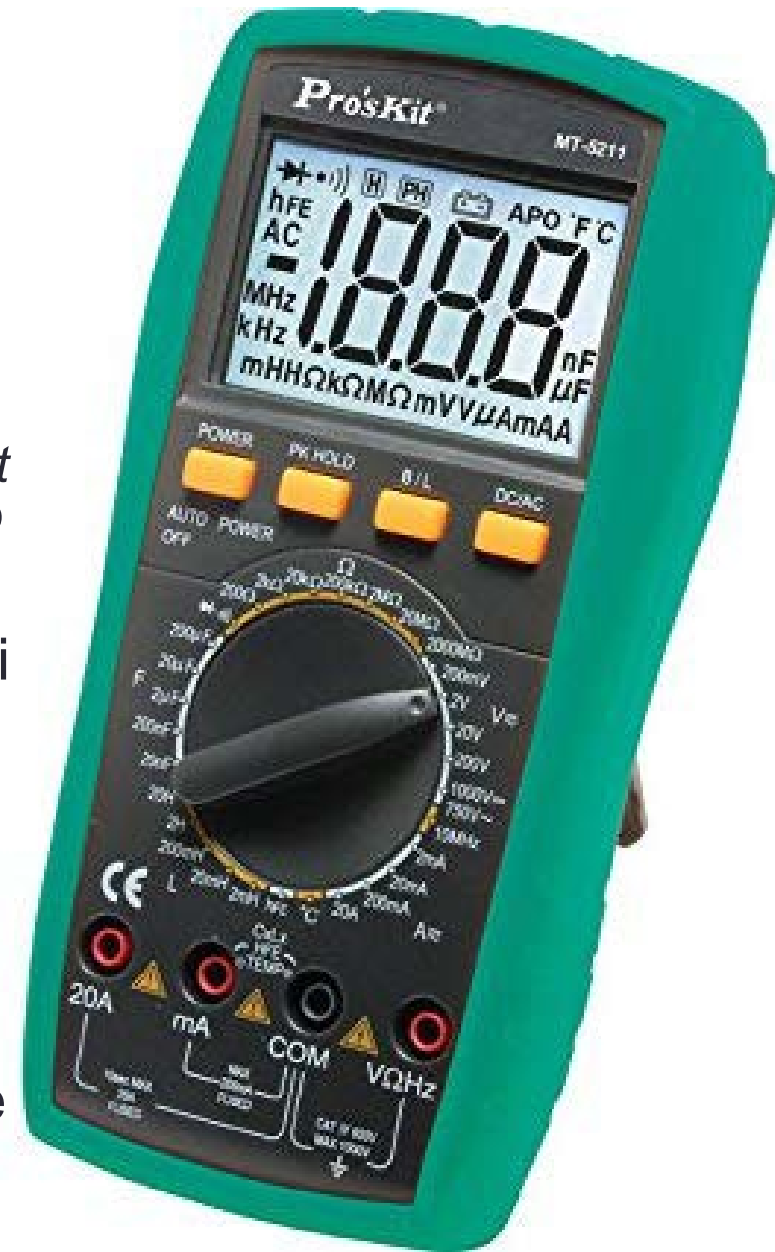
capacità del display di visualizzare N cifre con valori compresi tra 0 a 9

frazione del numero di bit necessari a rappresentare una cifra nell'intervallo tra 0 a 9, che viene adoperata per indicare il segno del numero e la cifra più significativa

- Per codificare i numeri tra 0 a 9 sono sufficienti 4 bit, poiché il numero 9 in binario è 1001.

Esempio

- Consideriamo un multimetro digitale in grado di visualizzare 3 cifre e $\frac{1}{2}$;
 - questo significa che lo strumento può visualizzare 3 cifre ed ha un'ulteriore cifra attraverso la quale visualizzare 2 *bit* di informazione, uno per il segno e l'altro per i numeri 0 o 1.
- In questa maniera $\frac{1}{4}$ dei *bit* necessari a codificare una cifra tra 0 e 9 sono disponibili per codificare il segno ed $\frac{1}{4}$ di tali *bit* sono disponibili per codificare i numeri 0 o 1, complessivamente $\frac{1}{2}$.
- In questo caso la massima indicazione mostrata dal multimetro è ± 1999 .



Vantaggi della rappresentazione

- Confrontiamo un multimetro con 3 sole cifre visualizzabili con uno con 3 cifre e $\frac{1}{2}$.
Supponiamo si voglia misurare una tensione intorno a 1 V.
- Per una variazione di 2 mV si ha:



$$999 \text{ mV} \xrightarrow{+ 2 \text{ mV}} 1.001 \text{ mV}$$

display a 3 cifre

999

1.00

display a 3 cifre e $\frac{1}{2}$

0.999

1.000

- Si mantiene così intatta l'informazione sull'ultima cifra.

Accuratezza

- I costruttori di multimetri digitali specificano generalmente l'accuratezza dei loro strumenti dividendo l'errore in due parti
 - Un errore espresso attraverso l'analogo della classe dello strumento, oppure come l'errore relativo percentuale sul valore misurato (*reading*);
 - Un errore espresso come numero di unità della cifra meno significativa del display (*digit*).
- L'accuratezza è la somma di questi due errori

Table 2: Measurement characteristics

Characteristics	Description
DC volts	
Ranges	400 mV, 4 V, 40 V, 400 V, 1000 V
Accuracy	
400 mV range	$\pm(0.3\% \text{ reading} + 2 \text{ digits})$
4 V to 1000 V ranges	$\pm(0.1\% \text{ reading} + 2 \text{ digits})$
Input impedance	10 M Ω (paralleled by less than 100 pF)
Resolution (by range)	
400 mV	100 μV
4 V	1 mV
40 V	10 mV
400 V	100 mV
1000 V	1V

Esempio 1

- Supponiamo di aver effettuato la misura di una corrente continua I di 90 mA con un multimetro digitale da 3 cifre e $\frac{1}{2}$, di fondo scala pari a 100 mA e di accuratezza pari a $\pm (0.1\% \text{ reading} + 1 \text{ digit})$.
- Pertanto la prima parte dell'errore è:

$$\Delta I_{\text{sist}} = \frac{0.1 \times 90\text{ mA}}{100} \approx 0.09\text{ mA}.$$

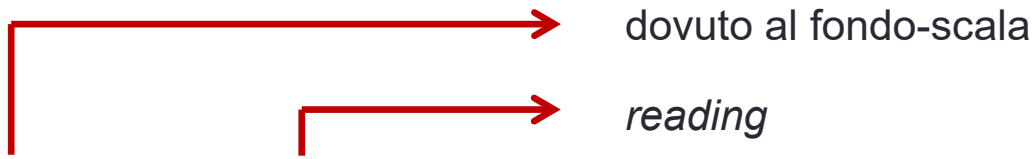
- Poiché lo strumento è da 3 cifre e $\frac{1}{2}$, l'indicazione fornita dallo strumento sarà 90.0 , siccome la $\frac{1}{2}$ cifra codifica il segno e i numeri 0 o 1; così la seconda parte dell'errore è pari ad una unità della cifra meno significativa, cioè 0.1 mA .
- La misura si esprimerà quindi come:



$$I = 90.00\text{ mA} \pm (0.09 + 0.10)\text{ mA} = 90.00\text{ mA} \pm 0.19\text{ mA},$$

Esempio 2

- Supponiamo di aver effettuato la misura di una tensione continua V_S di 50 V con un multimetro digitale con un fondo scala di 100 V, con accuratezza pari a $\pm (0.02\% \text{ full scale} + 0.1\% \text{ reading})$.
- Pertanto l'errore è:


$$\Delta V_{sist} = \frac{0.02 \times 100V + 0.1 \times 50V}{100} \approx 0.07V .$$

- La misura sarà quindi:

$$V_S = 50.00V \pm 0.07V .$$

Esempio 3

- Supponiamo di aver effettuato la misura di una tensione continua V_S di 123.4 mV con un multimetro digitale da 3 cifre e $\frac{3}{4}$, con fondo scala di 400 mV e di accuratezza pari a $\pm 0.3\% \text{ reading} \pm 2 \text{ digit}$.
- Pertanto la prima parte dell'errore è:

$$\Delta V_{\text{sist}} = \frac{0.3 \times 123.4 \text{ mV}}{100} \approx 0.4 \text{ mV} .$$

- Poiché lo strumento è da 3 cifre e $\frac{3}{4}$ e la seconda parte dell'errore è pari due unità della cifra meno significativa allora tale errore varrà 0.2 mV . La misura sarà pertanto:

$$V_S = 123.4 \text{ mV} \pm (0.4 + 0.2) \text{ mV} = 123.4 \text{ mV} \pm 0.8 \text{ mV}$$

