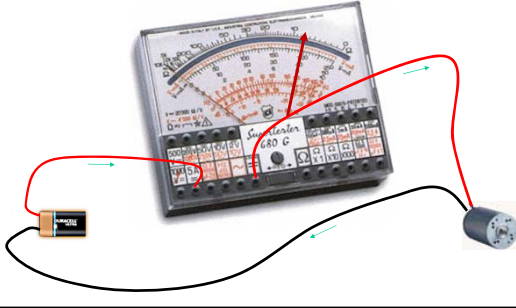


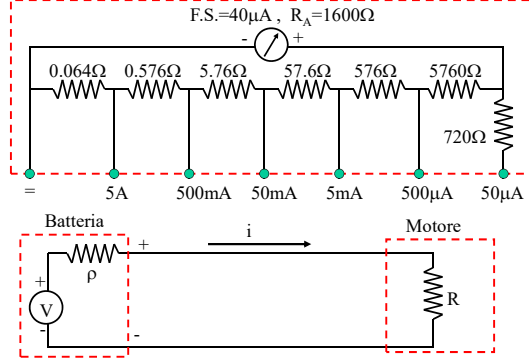
L' amperometro dello strumento universale

- Per misurare la corrente si deve interrompere il circuito ed inserirci lo strumento di misura in serie :



L' amperometro dello strumento universale

Strumento Universale



L' amperometro dello strumento universale

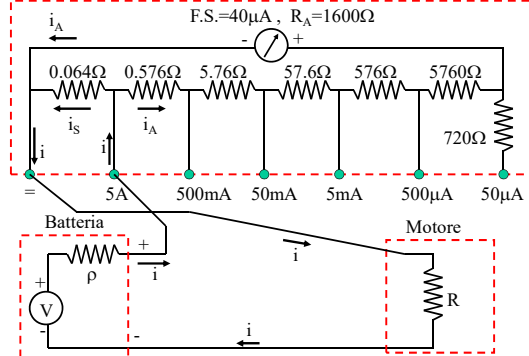
- Per ottenere che lo strumento vada a fondo scala quando misura una corrente di 5A, si deve fare in modo che la corrente si partisca in $I_A=40\mu A$ nell'amperometro, e il resto nello shunt.
- Considerando il partitore di corrente formato da una parte dallo shunt R_S relativo alla scala 5A, e dall'altra parte dall'amperometro con in serie tutte le altre resistenze di shunt, che totalizzano R_{serie} , si vede che $I_A(R_A + R_{serie}) = I_S R_S \Rightarrow$

$$\frac{R_S}{(R_A + R_{serie})} = \frac{I_A}{I_S} = \frac{40\mu A}{5A - 40\mu A} = 8.00 \times 10^{-6}$$

- In effetti, se $R_A=1600\Omega$, $R_{serie}=(5760+576+57.6+5.76+0.576)\Omega$ e $R_S=0.064\Omega$, si ottiene proprio $\frac{R_S}{(R_A + R_{serie})} = 8.00 \times 10^{-6}$

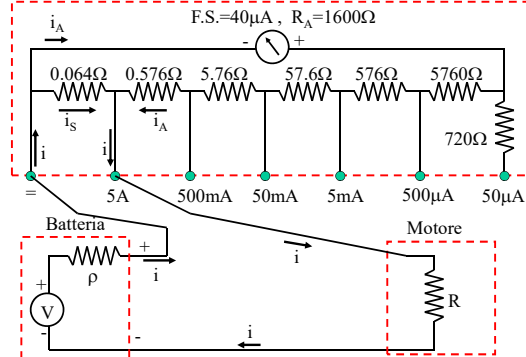
L' amperometro dello strumento universale

Strumento Universale



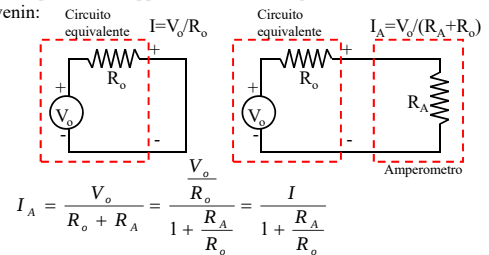
L' amperometro dello strumento universale

Strumento Universale



Perturbazione introdotta dall' amperometro.

- L' inserimento dell' amperometro aumenta la resistenza totale del circuito in cui è inserito, quindi la corrente misurata è leggermente inferiore a quella imperturbata. Possiamo calcolare quanto.
- Tra i due punti del circuito in cui operiamo l' interruzione, il circuito in misura può essere rappresentato dal suo equivalente secondo Thevenin:



Perturbazione introdotta dall' amperometro.

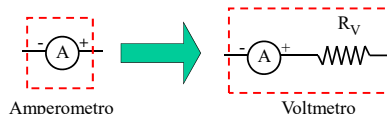
- L' entità della correzione da apportare alla misura I_A per ottenere I dipende dal rapporto R_A/R_o . R_A è scritto nelle specifiche dell' amperometro, R_o si può valutare o misurare.
- Vale la pena di apportare la correzione se l' errore

$$\frac{I - I_A}{I_A} = \frac{R_A}{R_o}$$

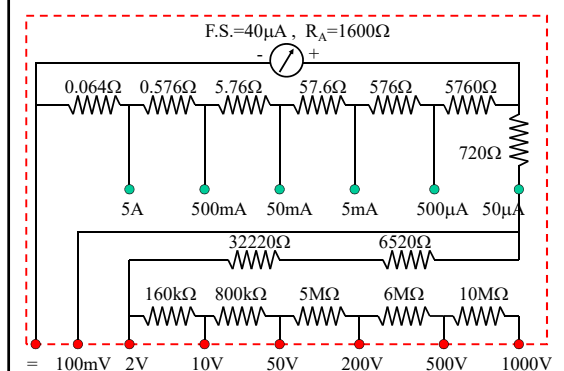
- è maggiore dell' errore percentuale commesso nella lettura di I_A , sommato all' errore di calibrazione.
- Il valore di R_A dipende ovviamente dal particolare shunt utilizzato, e quindi dal fondo scala scelto.
- Questo fatto può essere utilizzato a nostro vantaggio per eliminare R_o dalla valutazione di I , eseguendo la misura con due fondo-scala diversi (con diverse R_A , ambedue note) ed ottenendo quindi un sistema con due equazioni e due incognite.

Il Voltmetro analogico

- Il voltmetro è uno strumento che misura la differenza di potenziale mediante la misura dell' intensità di corrente che scorre in un resistore di resistenza nota.
- Il voltmetro è quindi uno strumento a bobina mobile (come l' amperometro), ma stavolta con una ELEVATA resistenza interna R_V , in modo che perturbi poco la misura:



Il voltmetro dello strumento universale

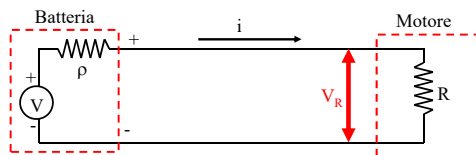


Il voltmetro dello strumento universale

- Esempio: misurare la tensione ai capi della batteria che alimenta un motorino elettrico (durante il funzionamento):

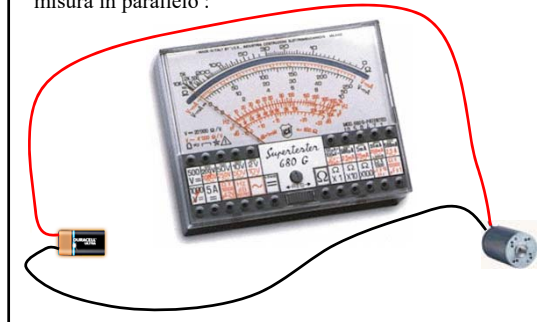


- Schema equivalente:



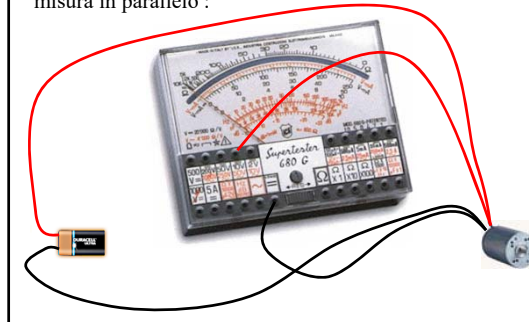
Il voltmetro dello strumento universale

- Per misurare la tensione si deve inserire lo strumento di misura in parallelo :



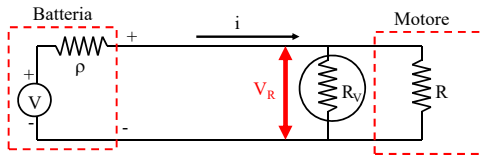
Il voltmetro dello strumento universale

- Per misurare la tensione si deve inserire lo strumento di misura in parallelo :



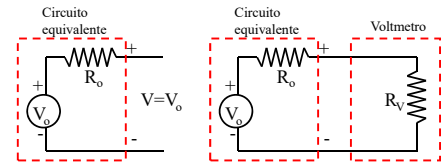
Perturbazione introdotta dal Voltmetro

- L' inserimento del Voltmetro riduce leggermente la tensione ai capi del motore, perché una piccola parte della corrente originale passa nel voltmetro.



Perturbazione introdotta dal Voltmetro

- Come al solito: si schematizza il circuito in misura con il suo equivalente secondo Thevenin.



$$I_V = \frac{V_o}{R_o + R_V}$$

$$V_V = I_V R_V = V_o \frac{R_V}{R_o + R_V} = V_o \frac{1}{\frac{R_o}{R_V} + 1} \Rightarrow V_o = V_V \left(1 + \frac{R_o}{R_V} \right)$$

Perturbazione introdotta dal Voltmetro

$$V_o = V_V \left(1 + \frac{R_o}{R_V} \right)$$

- L' entità della correzione dipende dal rapporto R_o/R_V . La correzione è trascurabile se $(V_o - V_V)/V_V$ è minore degli errori di lettura e di calibrazione.
- Il valore di R_V si valuta a partire dalla corrente di fondo scala dell' amperometro che c'è all' interno del voltmetro.
- Per lo strumento universale a nostra disposizione, la corrente di fondo scala è di $50\mu A$. Per la legge di Ohm:

$$\frac{1}{I_{FS}} = \frac{R_V}{V_{FS}}$$

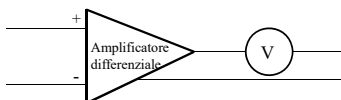
- Quindi abbiamo una resistenza interna del Voltmetro di $20000\Omega/V_{FS}$. Ad esempio
 - per il fondo scala di 50V, la resistenza R_V vale $20000\Omega/V_{FS} \times 50 V_{FS} = 1M\Omega$.
 - per il fondo scala di 100mV, la resistenza R_V vale $20000\Omega/V_{FS} \times 0.1 V_{FS} = 2k\Omega$.

Voltmetri e Amperometri Digitali Elettronici

- Si può migliorare lo strumento di misura di correnti e tensioni in due modi:
 - Diminuendo le perturbazioni che esso introduce nel circuito
 - Costruendo circuiti che convertono il risultato della misura in forma digitale, in modo da
 - Usare una visualizzazione numerica, eliminando l' errore di lettura sulla scala graduata
 - poterlo acquisire su un computer per una successiva elaborazione.

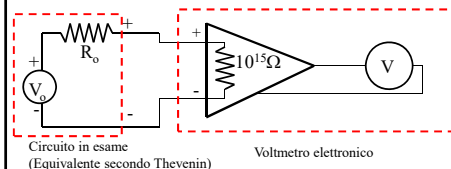
Voltmetri e Amperometri Digitali Elettronici

- Le perturbazioni introdotte dallo strumento analogico sono dovute alla resistenza relativamente bassa della bobina mobile (è un avvolgimento di filo) ed alla corrente relativamente alta necessaria a produrre la coppia necessaria per muovere l' equipaggio mobile.
- Si possono utilizzare dei circuiti amplificatori, inserendoli tra il circuito sotto misura e l' amperometro, in modo da produrre una corrente nell' amperometro amplificata di un fattore $G > 1$ rispetto alla corrente estratta dal circuito in esame.
- All' interno di questi amplificatori si utilizzano Transistor a Effetto di Campo (FET, field effect transistor), che permettono di generare correnti rilevanti estraendo una corrente trascurabile ($i_A = 10^{-15} A$) dal circuito in esame.



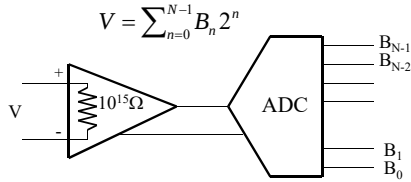
Voltmetri e Amperometri Digitali Elettronici

- Le perturbazioni introdotte dallo strumento analogico sono dovute alla resistenza relativamente bassa della bobina mobile (è un avvolgimento di filo) ed alla corrente relativamente alta necessaria a produrre la coppia necessaria per muovere l' equipaggio mobile.
- Si possono utilizzare dei circuiti amplificatori, inserendoli tra il circuito sotto misura e l' amperometro, in modo da produrre una corrente nell' amperometro amplificata di un fattore $G > 1$ rispetto alla corrente estratta dal circuito in esame.
- All' interno di questi amplificatori si utilizzano Transistor a Effetto di Campo (FET, field effect transistor), che permettono di generare correnti rilevanti estraendo una corrente trascurabile ($i_A = 10^{-15} A$) dal circuito in esame.



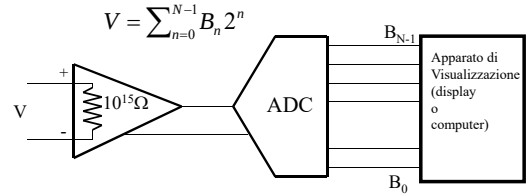
Voltmetri e Amperometri Digitali Elettronici

- La tensione in uscita dal voltmetro può essere convertita in un numero digitale utilizzando un apposito Convertitore Analogico Digitale (ADC = analog to digital converter).
- Si tratta di un circuito che converte una tensione in ingresso in un insieme di N livelli di tensione in uscita, ciascuno dei quali rappresenta un bit della rappresentazione binaria $\{B_n, n=0, N-1\}$ del valore della tensione ($B_n=0$ o 1 a seconda che il livello di tensione sull' n-ma linea sia 0 o 5V).



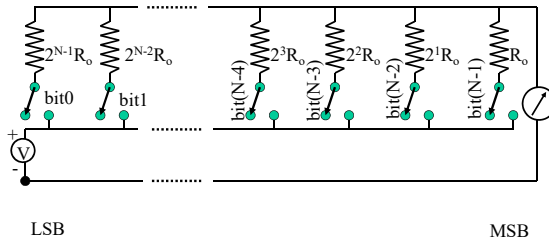
Voltmetri e Amperometri Digitali Elettronici

- La tensione in uscita dal voltmetro può essere convertita in un numero digitale utilizzando un apposito Convertitore Analogico Digitale (ADC = analog to digital converter).
- Si tratta di un circuito che converte una tensione in ingresso in un insieme di N livelli di tensione in uscita, ciascuno dei quali rappresenta un bit della rappresentazione binaria $\{B_n, n=0, N-1\}$ del valore della tensione ($B_n=0$ o 1 a seconda che il livello di tensione sull' n-ma linea sia 0 o 5V).



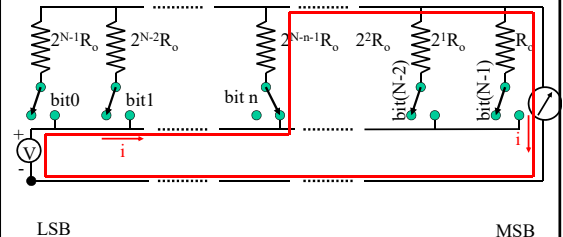
Convertitore Digitale Analogico - 1

- Consideriamo una rete fatta di N resistenze con valori che vanno da R_0 a $2^{N-1}R_0$.
- Usando i deviatori, ciascuna delle resistenze può essere connessa a V oppure no, a seconda che il relativo bit sia 1 o 0.

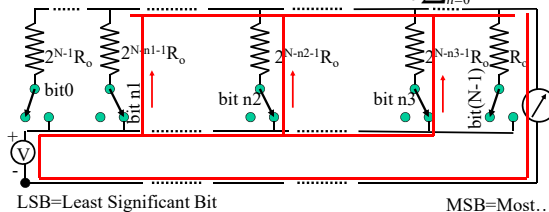


Convertitore Digitale Analogico - 1

- Quando si accende il bit n, nell' amperometro scorre una corrente $i = V / 2^{N-n-1}R_0$

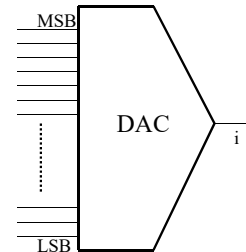


- Se si accendono i bit n1, n2, n3, nell' amperometro scorre una corrente $i = V(1/2^{N-n1-1}R_0 + 1/2^{N-n2-1}R_0 + 1/2^{N-n3-1}R_0)$
- Ma la corrente di ciascun bit è un multiplo della corrente del bit più piccolo $i_0 = V/2^{N-1}R_0$
- Quindi l' LSB produce una corrente i_0 , il successivo $2i_0$, il successivo $4i_0$ e così via fino a $2^{N-1}i_0$ per il MSB.
- Si può approssimare una qualsiasi con la combinazione binaria dei bit opportuni (quantizzando la i con passo i_0).
$$i = i_0 \sum_{n=0}^{N-1} B_n 2^n$$

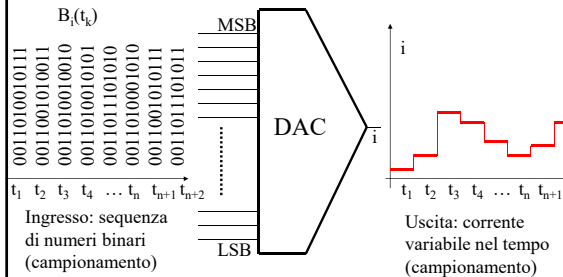


Convertitore Digitale- Analogico

- Un convertitore Digitale-Analogico (DAC, digital to analog converter) a N bit è un circuito con N ingressi ed una uscita
- In ingresso ci sono le N tensioni che rappresentano il numero binario d' ingresso B_n : $V_i=0$ o V a seconda che $B_i=0$ o 1
- In uscita c'è la corrente proporzionale al numero d' ingresso:
$$i = i_0 \sum_{n=0}^{N-1} B_n 2^n$$

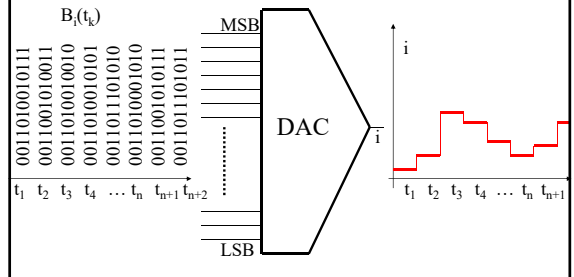


Convertitore Digitale- Analogico



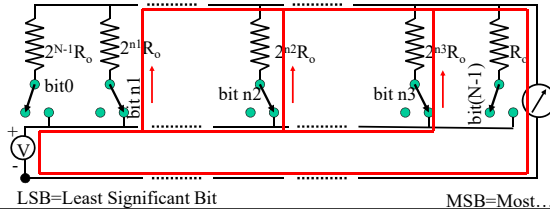
Convertitore Digitale- Analogico

- L' applicazione tipica è il riproduttore di musica digitale (CD):



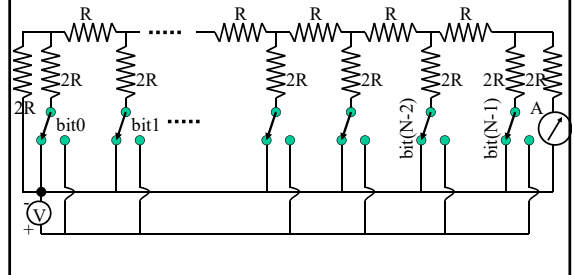
Convertitore Digitale Analogico - 1

- Il difetto di questo circuito è che R_0 deve essere molto maggiore della resistenza interna dell' amperometro (v. Ipotesi fatta su I_0 e I_n), che già da sola può essere $1k\Omega$).
- Allora per 16 bit ($2^{16}=65536$ livelli di corrente) la resistenza più grande deve essere $\gg 2^{15}k\Omega$, e contemporaneamente precisa entro $1k\Omega$. Non si fa !

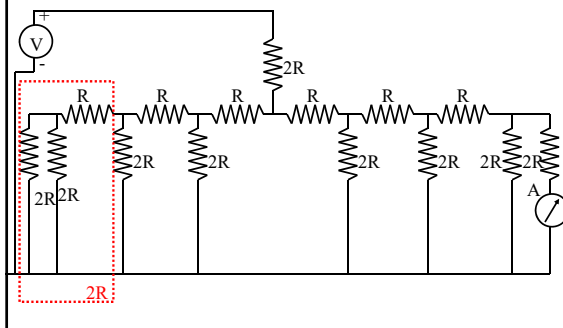


Convertitore Digitale Analogico - 2

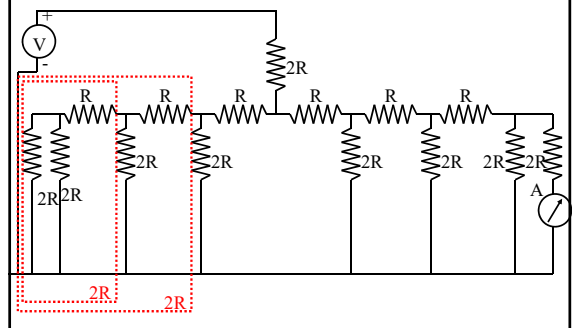
- Consideriamo invece una rete fatta di resistenze R e $2R$ come sotto.
- Usando i deviatori, ciascuna delle resistenze $2R$ può essere connessa a 0 oppure a V a seconda che il relativo bit sia 0 o 1.



- Quando si connette a $+V$ uno qualsiasi dei bit, la corrente attraverso di esso si divide in parti uguali nei due rami del circuito.
- Infatti:



- Quando si connette a $+V$ uno qualsiasi dei bit, la corrente attraverso di esso si divide in parti uguali nei due rami del circuito.
- Infatti:



- Quando si connette a +V uno qualsiasi dei bit, la corrente attraverso di esso si divide in parti uguali nei due rami del circuito.
- Infatti:

- Quando si connette a +V uno qualsiasi dei bit, la corrente attraverso di esso si divide in parti uguali nei due rami del circuito.
- Infatti:

- Quando si connette a +V uno qualsiasi dei bit, la corrente attraverso di esso si divide in parti uguali nei due rami del circuito.
- Infatti:

- Inoltre $i = V/3R$

- Inoltre la corrente in ciascuna resistenza R è metà di quella nella resistenza R precedente. Quindi se si accende il bit n, nell' amperometro scorre una corrente $i/2^{N-n}$. Quindi le correnti sono tutte multiple della corrente minima (bit0) che vale $i/2^N$

LSB=Least Significant Bit MSB=Most...

Perchè abbiamo studiato il DAC se ci serve un ADC ?

- L' ADC si costruisce dal DAC.
- Un contatore alterna all' ingresso del DAC tutti i numeri binari possibili (da 0 a 2^{N-1}). Dal DAC esce quindi una rampa di corrente crescente al crescere del numero.
- Un comparatore confronta la corrente in uscita dal DAC con la corrente da misurare: quando sono uguali il contatore viene fermato: il numero binario a cui è arrivato è la rappresentazione binaria della corrente in ingresso.
- Questo numero può essere trasferito al visualizzatore o al computer per immagazzinarlo.
- Nella scheda audio di un normale computer ci sono 2 ADC (è stereo) che fanno questo lavoro di campionatura dei segnali musicali 44100 volte al secondo, con risoluzione di 16 bit.

ADC dal DAC

Contatore: parte da 0 e arriva a 2^{N-1}

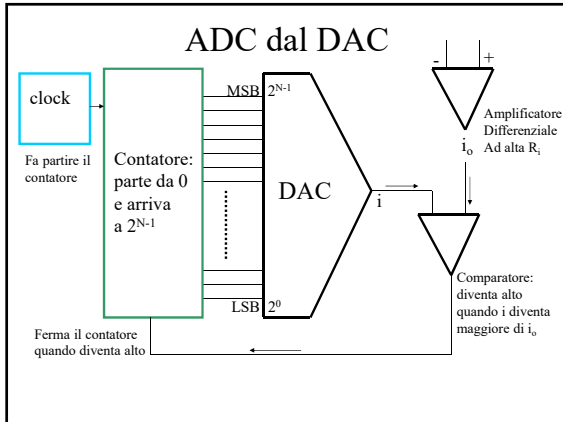
MSB

LSB

DAC

Comparatore: diventa alto quando i diventa maggiore di i_0

Ferma il contatore quando diventa alto



Il multimetro digitale

- Contiene al suo interno tutta l'elettronica di cui sopra.
- Comunque non è uno strumento perfetto !
- Leggere il manuale per capire sensibilità e precisione.



Dal Manuale del multimetro digitale Fluke 77 (v. pag. web)

Specifications

Accuracy is specified for 1 year after calibration, at operating temperatures of 18 °C to 28 °C, with relative humidity at 0 % to 90 %. Accuracy specifications take the form of the following calculations:

$$\pm (\% \text{ of Reading}) + (\text{Counts})$$

Maximum voltage between any terminal and earth ground:	1000
Surge Protection:	8 kV peak per IEC 61010
Δ Fuse for mA inputs:	440 mA, 1000 V FAST Fuse
Δ Fuse for A input:	11 A, 1000 V FAST Fuse
Display:	Digital 6000 counts, update 4/sec Bar Graph: 33 segments, updates 32/sec Frequency: 10,000 counts Capacitance: 1,000 counts Operating: 2000 m; Storage: 12,000 m
Altitude:	Operating: -10 °C to +50 °C Storage: -40 °C to +60 °C
Temperature:	Operating: -10 °C to +50 °C Storage: -40 °C to +60 °C
Temperature coefficient:	0.1 % (specified accuracy) / °C (+18 °C or +28 °C)
Electromagnetic Compatibility (EN 61326-1:1997):	In an RF field of 3 V/M, accuracy = specified accuracy.
Relative Humidity:	Maximum, noncondensing 90 % to 95 % 75 % to 80 % 45 % to 50 %
Battery Life:	Alkaline: 400 hrs typical
Size (H x W x L):	4.3 cm x 9 cm x 18.5 cm
Weight:	420 g
Safety Complies:	ANSI/ISA S82.02-01, CSA C22.2-010.1, IEC 61010 to 1000 V Measurement Category III, 600 V Measurement Category IV
Certifications:	CSA, TÜV (EN61010), UL, CE (EN 61010), VDE

manuale multimetro digitale Fluke 77 ...

Model 77 Series IV Users Manual

Function	Range	Resolution	Accuracy ± (% of Reading) + (Counts)
AC Volts (Average responding)	6,000 V 600.0 V 60.00 V 6.000 V	0.001 V 0.001 V 0.1 V 0.01 V	2.0 % + 2 (40 Hz to 1 kHz)
DC mV	600.0 mV	0.1 mV	0.5 % + 1
DC Volts	6,000 V 600.0 V 60.00 V 6.000 V	0.001 V 0.001 V 0.1 V 0.01 V	0.5 % + 1
Continuity	600 Ω	1 Ω	Master beeps at <20 Ω; beeper turns off at >250 Ω; detects open-circuit shorts of 250 Ω or larger.
Diodes	600.0 Ω 60.00 kΩ 6.000 MΩ 60.00 MΩ	0.1 Ω 0.001 MΩ 0.01 MΩ 0.1 MΩ 0.001 MΩ 0.001 MΩ	0.5 % + 2 0.5 % + 1 0.5 % + 1 0.5 % + 1 0.5 % + 1 2.0 % + 1
Diode test	2,400 V	0.001 V	1 % + 2
Capacitance	1,000 nF 100.0 nF 10.00 nF 1.000 nF	1 nF 0.01 nF 0.1 nF 1 nF	1.2 % + 2 1.2 % + 2 1.2 % + 2 10 % typical
AC Amps (Average responding)	600.0 mA 60.00 mA 6.000 A 600.0 A	0.01 mA 0.1 mA 0.001 A 0.001 A	2.5 % + 2 (40 Hz to 1 kHz)

[1] In the 9999 pF range for measurements to 500 pF, the measurement accuracy is 1.2 % + 2.
 [2] Above input burden voltage (typical) 400 mV input 2 mV/A, 10 A input 37 mV/A.
 [3] 400.0 mA accuracy specified up to 800 mA overload.
 [4] >10 A unspecified.

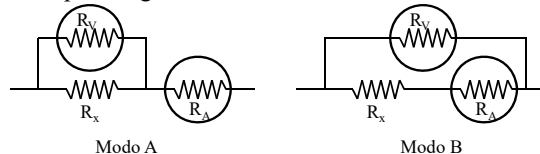
Manuale Fluke 77

Function	Range	Resolution	Accuracy ± (% of Reading) + (Counts)
DC Amps ^[1]	60.00 mA 600.0 mA ^[2] 6.000 A 10.00 A ^[3]	0.01 mA 0.1 mA 0.001 A 0.01 A	1.5 % + 2
Hz ^[4] (ac voltage input)	99.99 Hz 999.9 Hz 9.999 kHz 99.99 kHz	0.01 Hz 0.1 Hz 0.001 kHz 0.01 kHz	0.1 % + 1
MIN MAX AVG	For dc functions, accuracy is the specified accuracy of the measurement function ±12 counts for changes longer than 275 ms in duration. For ac functions, accuracy is the specified accuracy of the measurement function ±40 counts for changes longer than 1.2 s in duration.		

[1] Frequency is specified from 2 Hz to 99.99 kHz.
 [2] Below 2 Hz, the display shows zero Hz.
 [3] Amps input burden voltage (typical) 400 mV input 2 mV/A, 10 A input 37 mV/A.
 [4] 400.0 mA accuracy specified up to 800 mA overload.
 [5] >10 A unspecified.

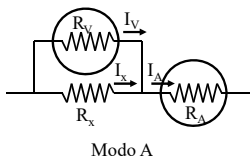
Misure di resistenza: Metodo Voltamperometrico

- Il modo più banale di misurare una resistenza è quello di misurare la differenza di potenziale V ai suoi capi e la corrente I che ci scorre. Poi si usa la legge di Ohm: $R_x = V/I$.
- Avendo a disposizione due strumenti di misura, si può eseguire la misura in due modi:

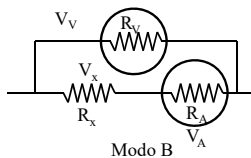


Misure di resistenza: Metodo Voltamperometrico

- Nel modo A la ddp misurata è proprio quella ai capi di R_x , ma la corrente misurata è la somma di quella in R_x e di quella nel voltmetro.
- Nel modo B la corrente misurata è proprio quella attraverso R_x , ma la ddp è la somma di quella ai capi di R_x e della caduta sull' amperometro.



Modo A



Modo B

Misure di resistenza: Metodo Voltamperometrico

$$I_A = I_V + I_x$$

$$R_V I_V = R_x I_x$$

$$\Rightarrow I_x = I_A \frac{1}{1 + \frac{R_x}{R_V}}$$

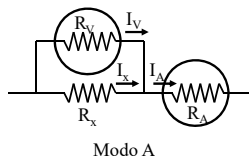
$$\Rightarrow R_x = \frac{V_V}{I_A} \left[1 + \frac{R_x}{R_V} \right]$$

$$I_A = I_x$$

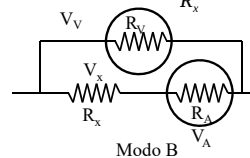
$$V_V = I_x (R_x + R_A) \quad ; \quad V_x = I_x R_x$$

$$\Rightarrow V_x = V_V \frac{1}{1 + \frac{R_A}{R_x}}$$

$$\Rightarrow R_x = \frac{V_x}{I_x} = \frac{V_V}{I_A} \frac{1}{1 + \frac{R_A}{R_x}}$$



Modo A



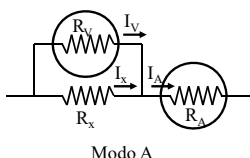
Modo B

Misure di resistenza: Metodo Voltamperometrico

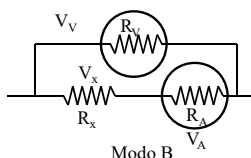
$$R_x = \frac{V_V}{I_A} \left[1 + \frac{R_x}{R_V} \right]$$

$$R_x = \frac{V_V}{I_A} \frac{1}{1 + \frac{R_A}{R_x}}$$

- Quindi in ambedue i casi il rapporto di tensione e corrente misurate è una prima approssimazione del valore della resistenza.
- Nel modo A la misura è tanto più precisa quanto $R_V \gg R_x$.
- Nel modo B la misura è tanto più precisa quanto più $R_A \ll R_x$.



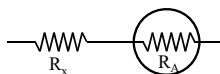
Modo A



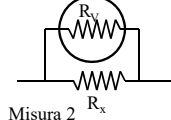
Modo B

Misure di resistenza: Metodo Voltamperometrico

- Se si ha a disposizione un solo multimetro, si eseguono sequenzialmente la misura di corrente e quella di tensione.

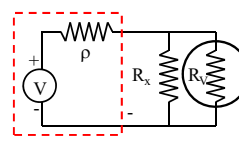
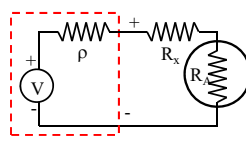


Misura 1

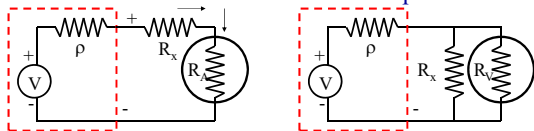


Misura 2

- La resistenza sarà inserita in un circuito che ci fa scorrere corrente:

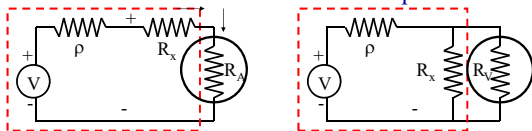


Misure di resistenza: Metodo Voltamperometrico

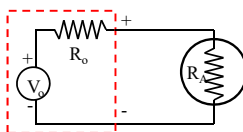


- Nella prima configurazione la corrente che scorre nell' amperometro è uguale a quella che scorre nella resistenza; nel secondo caso la ddp misurata dal voltmetro è uguale a quella ai capi della resistenza (ma la corrente nella R_x è diversa da prima..)

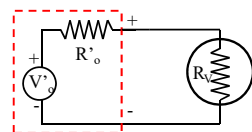
Misure di resistenza: Metodo Voltamperometrico



- Possiamo schematizzare il circuito esterno al multimetro secondo Thevenin: $V_o = V$, $R_o = \rho + R_x$; $R'_o = \rho // R_x$, $V'_o = VR_x / (\rho + R_x)$



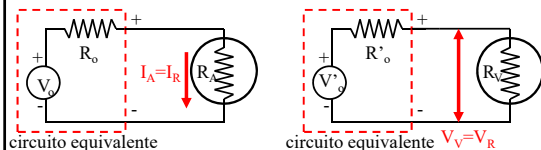
circuito equivalente



circuito equivalente

Misure di resistenza: Metodo Voltamperometrico

- Possiamo schematizzare il circuito esterno al multimetro secondo Thevenin: $V_o = V$, $R_o = \rho + R_x$; $R'_o = \rho / R_x$, $V'_o = VR_x / (\rho + R_x)$



- La tensione e la corrente misurate nei due casi sono quindi:

$$I_x = \frac{V_o}{R_o + R_A} = \frac{V}{\rho + R_x + R_A} = \frac{V}{R_x \left(1 + \frac{\rho + R_A}{R_x} \right)}$$

$$V_x = V_o \cdot \frac{R_V}{R_V + R_o} = \left(\frac{VR_x}{\rho + R_x} \right) \left(\frac{R_V}{R_V + \rho // R_x} \right) = \dots\dots$$

Misure di resistenza: Metodo Voltamperometrico

$$I_x = \frac{V_o}{R_o + R_A} = \frac{V}{\rho + R_x + R_A} = \frac{V}{R_x \left(1 + \frac{\rho + R_A}{R_x} \right)}$$

$$V_x = \left(\frac{VR_x}{\rho + R_x} \right) \left(\frac{R_V}{R_V + \rho // R_x} \right) = \dots\dots$$



$$\frac{V_x}{I_x} = R_x \left(1 + \frac{\rho + R_A}{R_x} \right) \left(\frac{R_x}{\rho + R_x} \right) \left(\frac{R_V}{R_V + \rho // R_x} \right) = R_x \left(\frac{1 + \frac{\rho + R_A}{R_x}}{1 + \frac{\rho}{R_x} \frac{1}{1 + \rho / R_x}} \right)$$

$$\text{Quindi all'ordine 0: } R_x^{(0)} = \frac{V_x}{I_x}$$

Misure di resistenza: Metodo Voltamperometrico

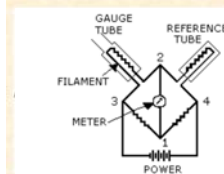
$$\frac{V_x}{I_x} = R_x \left(1 + \frac{\rho + R_A}{R_x} \right) \left(\frac{R_x}{\rho + R_x} \right) \left(\frac{R_V}{R_V + \rho // R_x} \right) = R_x \frac{\left(1 + \frac{\rho + R_A}{R_x} \right)}{\left(1 + \frac{\rho}{R_x} \right) \left(1 + \frac{\rho}{R_V} \frac{1}{1 + \rho / R_x} \right)}$$

$$\text{Quindi all'ordine 0: } R_x^{(0)} = \frac{V_x}{I_x}$$

$$\text{E all'ordine 1: } R_x^{(1)} = R_x^{(0)} \frac{\left(1 + \frac{\rho}{R_x^{(0)}} \right) \left(1 + \frac{\rho}{R_V} \frac{1}{1 + \rho / R_x^{(0)}} \right)}{\left(1 + \frac{\rho + R_A}{R_x^{(0)}} \right)}$$

Misure di resistenza, altro utilizzo in lab. del ponte di Wheatstone

Pirani gauge



Schematic Circuit for a Pirani (hot wire) gauge

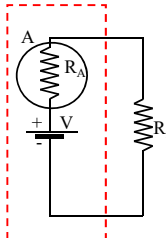
- The Pirani is a dedicated low vacuum gauge device
- The resistance of the hot wire changes with the rate of heat loss (conduction) to the gas
- The Wheatstone bridge then measures the change in resistance of the hot wire
- Pirani's are rugged and generally reliable and rarely need attention

Compact Pirani Gauge Sensor, Range 10-4 Torr, KF16 NW16, PN PTR26950A



Misure di Resistenza: Ohmmetro

Ohmetro



$$I = \frac{V}{R_A + R_x} \Rightarrow R_x = \frac{V}{I} - R_A$$

- è uno strumento tarato con cui si eseguono misure di resistenza in modo semplice e rapido, anche se con sensibilità e precisione modeste.
- è costituito da una batteria con in serie un milliamperometro. Si misura la corrente che circola quando il circuito è chiuso sulla resistenza incognita.
- La scala è graduata in modo che ci si legga direttamente la resistenza R_x
- è una scala fortemente non lineare.