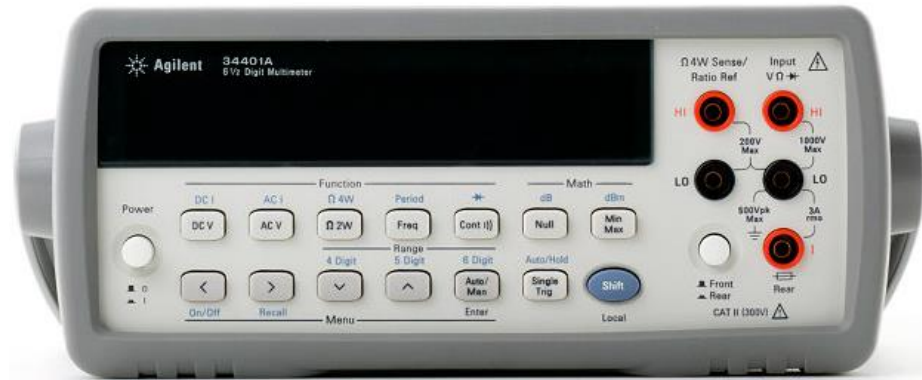
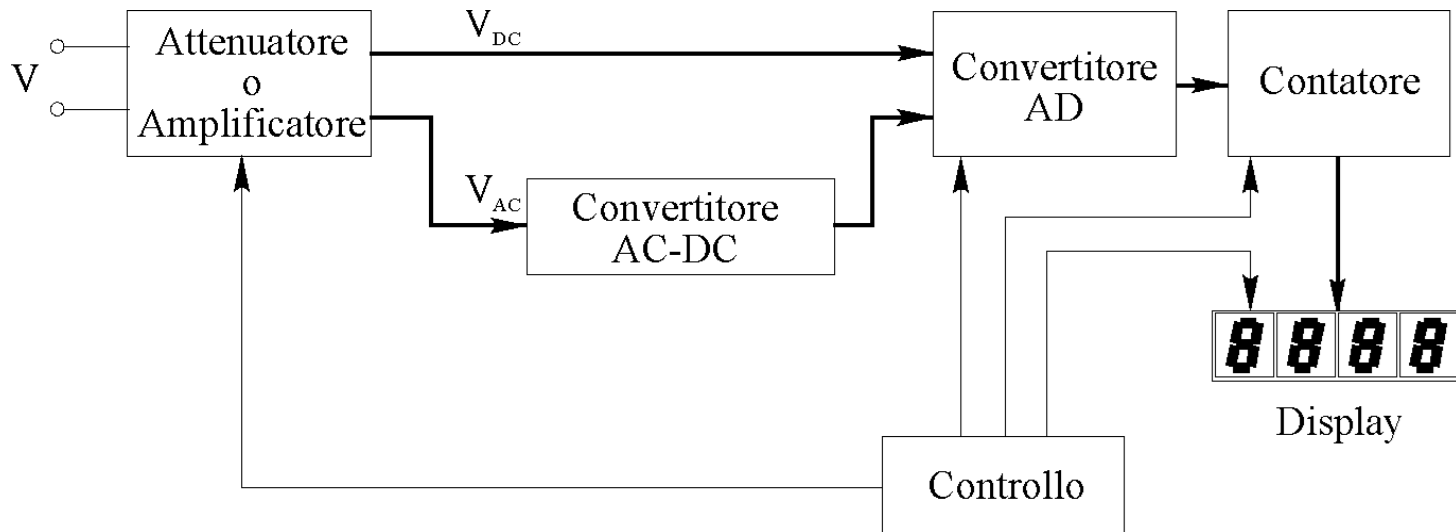


Multimetri digitali

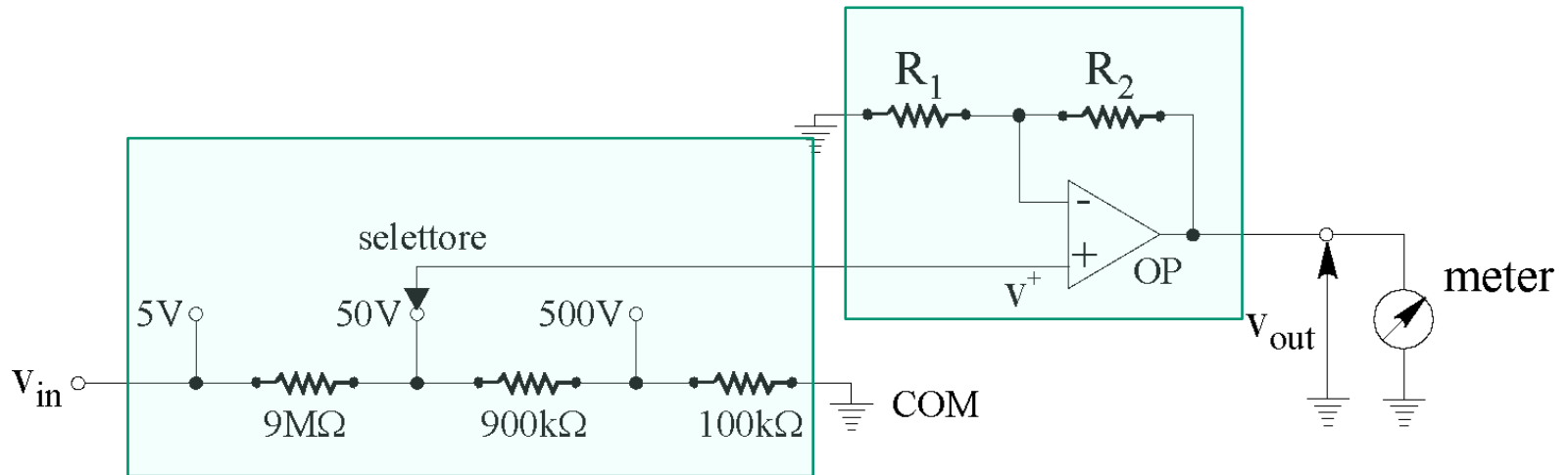


Voltmetri digitali

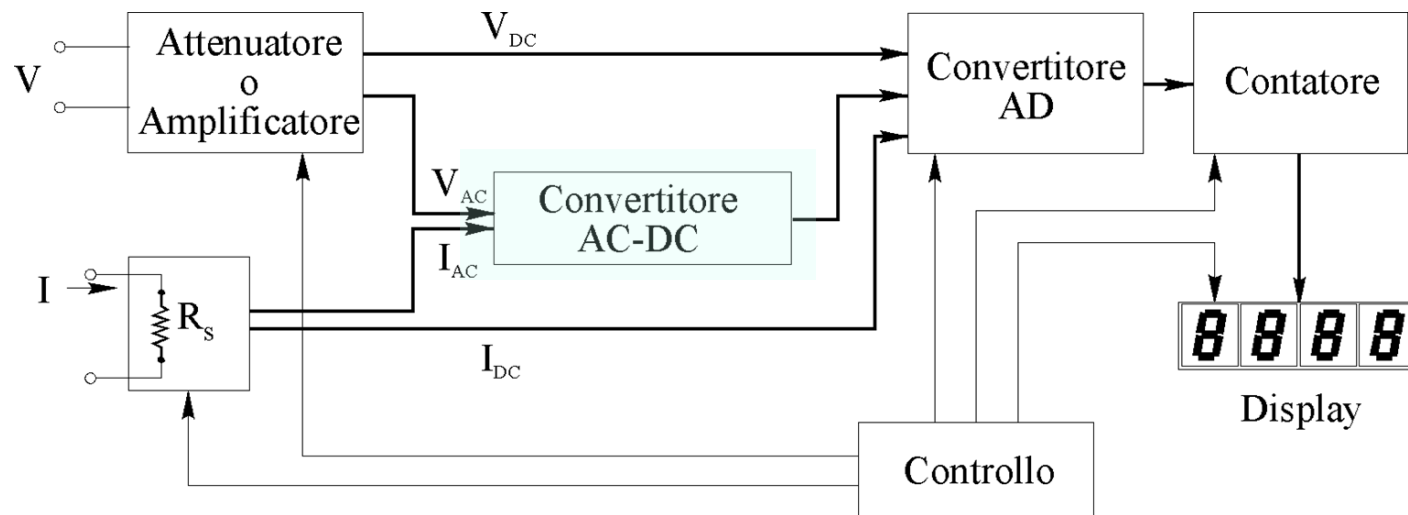


Voltmetri digitali

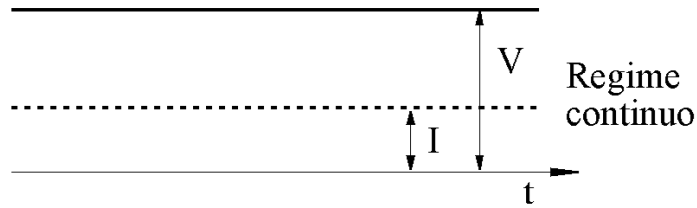
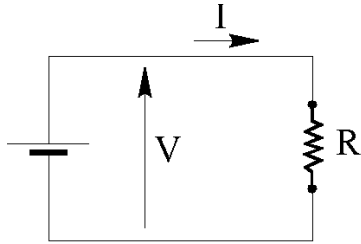
Circuiti d'ingresso



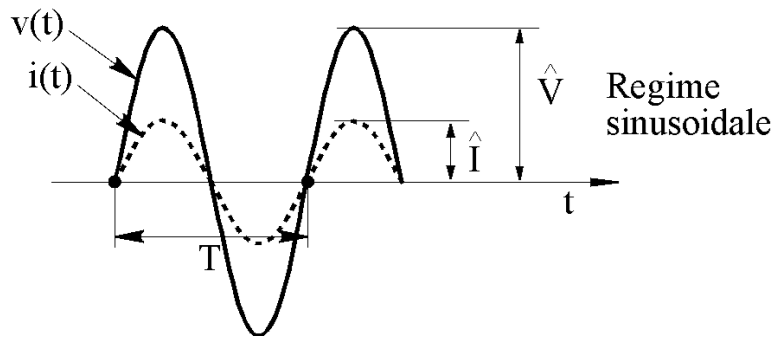
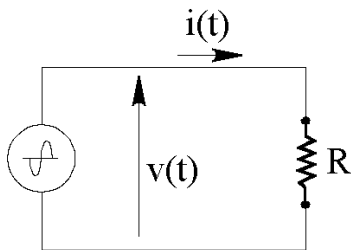
Misura di grandezze alternate



Regimi nel tempo



DC



AC

Potenza in regime continuo

$$p(t) = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = RI^2 = P$$

Potenza media in regime alternato

$$P = \frac{1}{T} \int_T u(t) \cdot i(t) dt = \begin{cases} = \frac{1}{T} \int_T \frac{u^2(t)}{R} dt = \frac{U^2}{R} \\ = \frac{1}{T} \int_T R i^2(t) dt = RI^2 \end{cases}$$

Valore efficace

La potenza media P assorbita dalla resistenza R , in regime periodico qualsiasi, coincide con quella che la stessa resistenza R assorbirebbe se fosse

alimentata dalla tensione continua

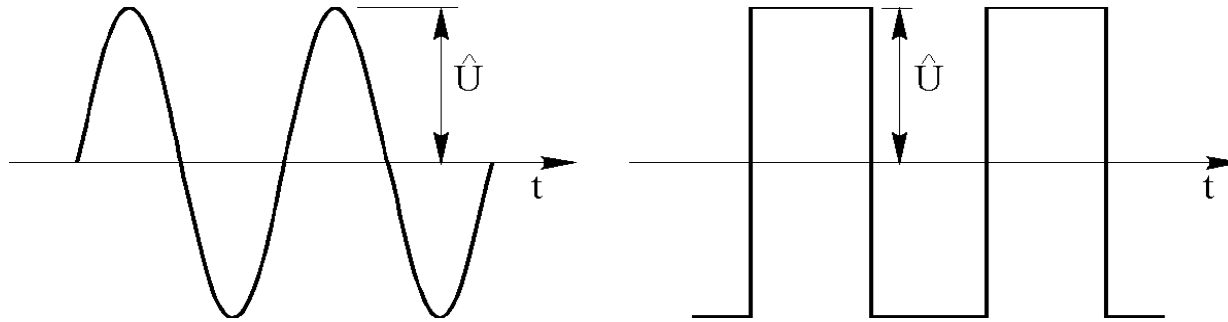
$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_T u^2(t) dt}$$

attraversata dalla corrente continua

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_T i^2(t) dt}$$

U ed I sono i **valori efficaci (RMS, Root Mean Square)** della tensione $u(t)$ e della corrente $i(t)$.

Esempio di forme d'onda periodiche



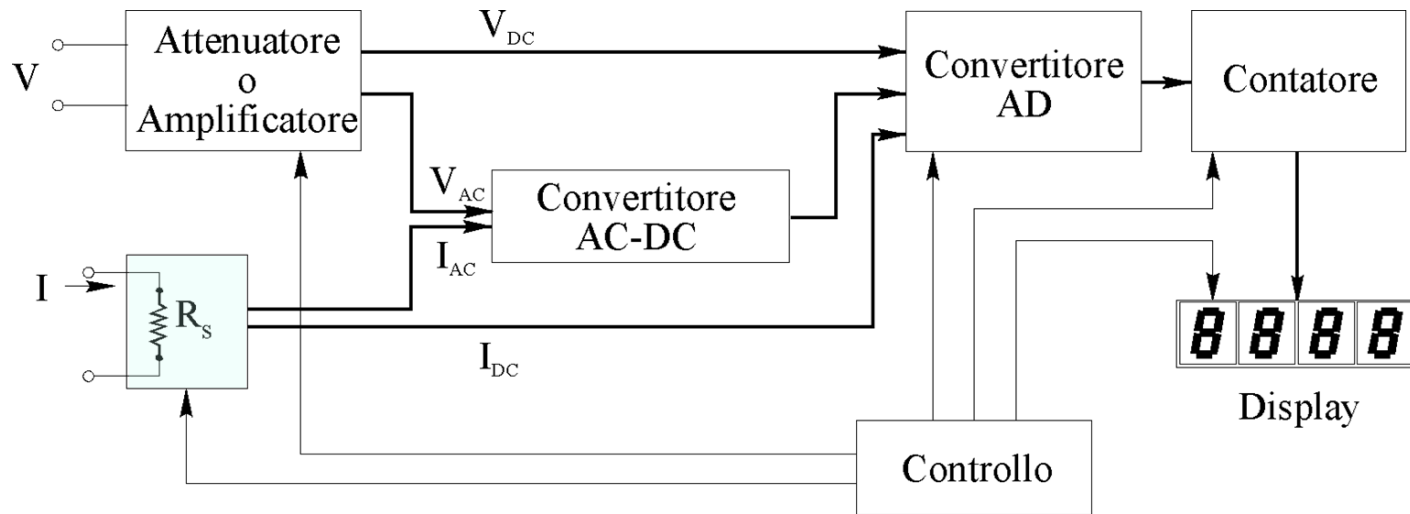
$$U^2 = \frac{1}{T} \int_T (\hat{U} \sin \omega t)^2 dt = \frac{1}{2} \hat{U}^2$$

$$U = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}}$$

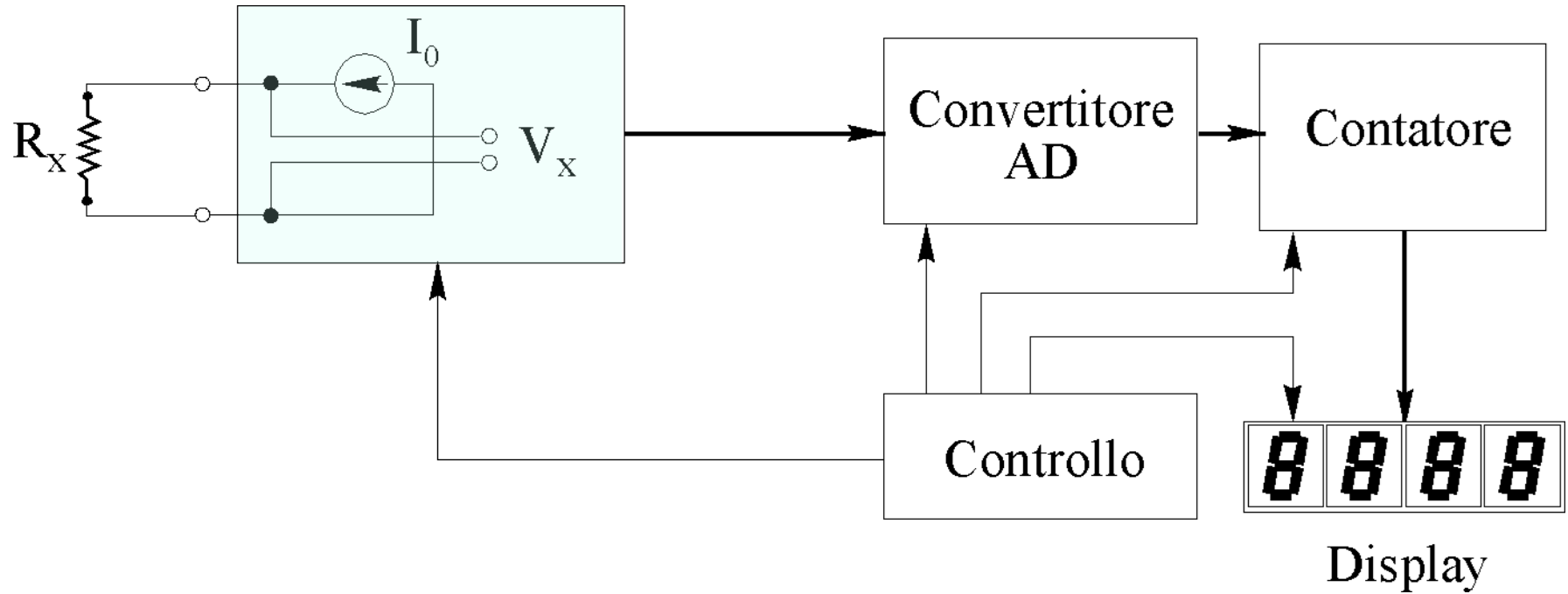
$$U^2 = \frac{1}{T} \int_T \hat{U}^2 dt = \hat{U}^2$$

$$U = \hat{U}$$

Misura di corrente

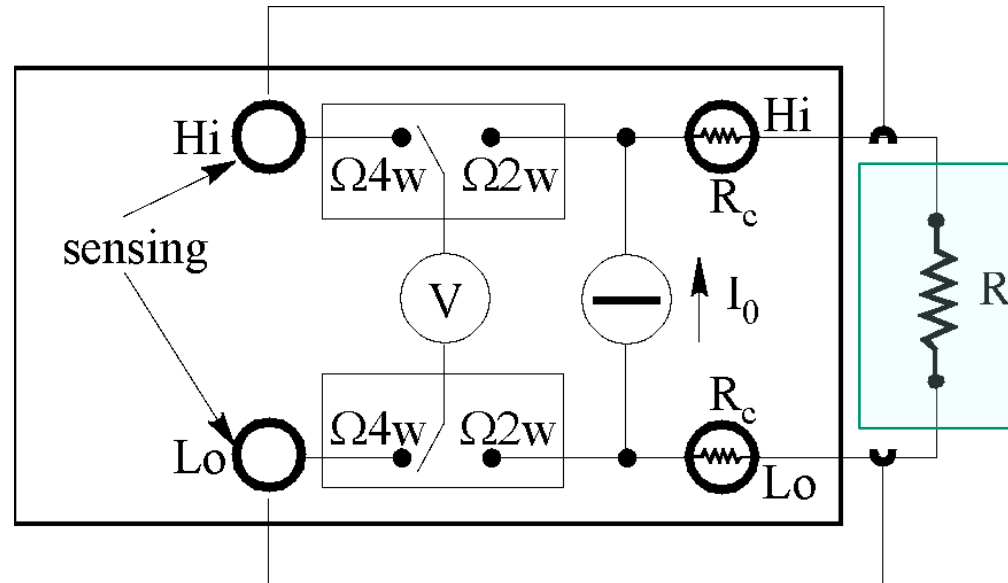


Misura di resistenza



Misura di resistenza a quattro morsetti

Metodo a quattro morsetti



Specifiche dei multimetri digitali

Portata, risoluzione e accuratezza

Portata (*Nominal Range*) è l'insieme delle indicazioni ottenibili.

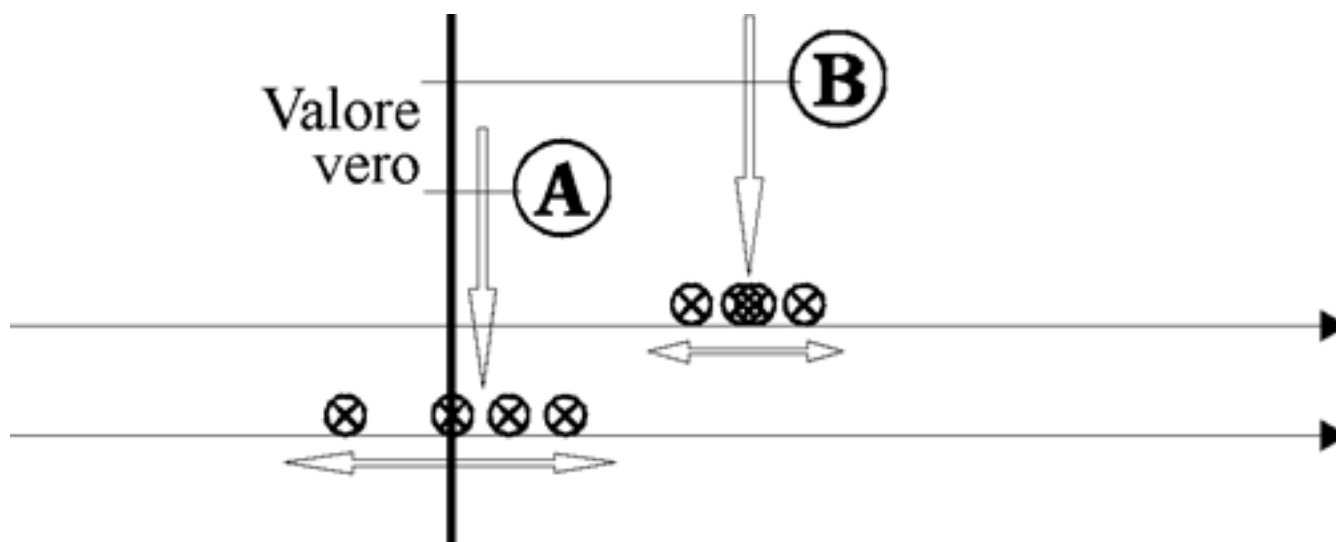
Risoluzione (*Resolution*) è la più piccola variazione, nel valore della grandezza da misurare, che causa una variazione percettibile dell'indicazione in uscita. Coincide con la variazione di una unità per la cifra meno significativa (ossia la cifra più a destra nel display).



Display

Accuratezza (*Accuracy*) stabilisce il grado di accordo del valore misurato con il vero valore del misurando.

Precisione e accuratezza



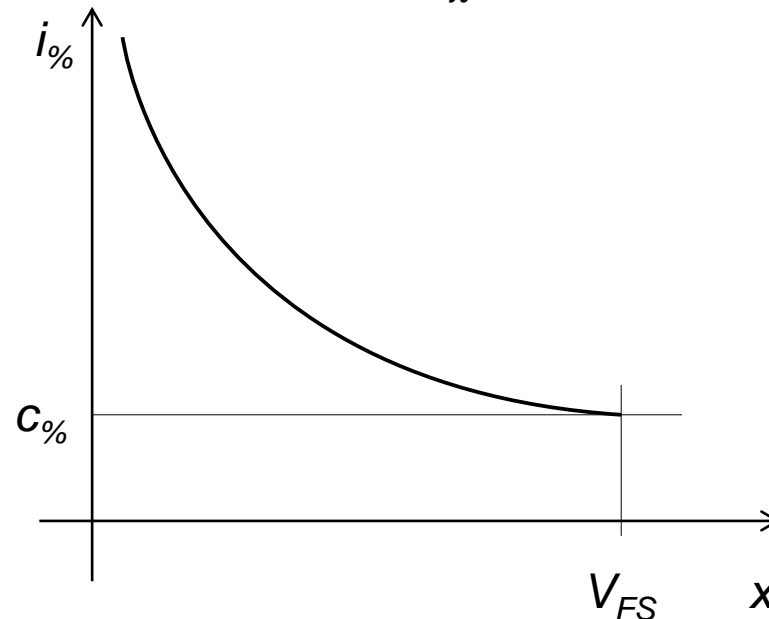
Specifiche dei multimetri digitali

Classe di accuratezza

In percento ($c\%$) del valore di fondoscala (V_{FS})

$$I_{\max} = \frac{c\%}{100} V_{FS}$$

$$i_{\%} = 100 \frac{I_{\max}}{x}$$



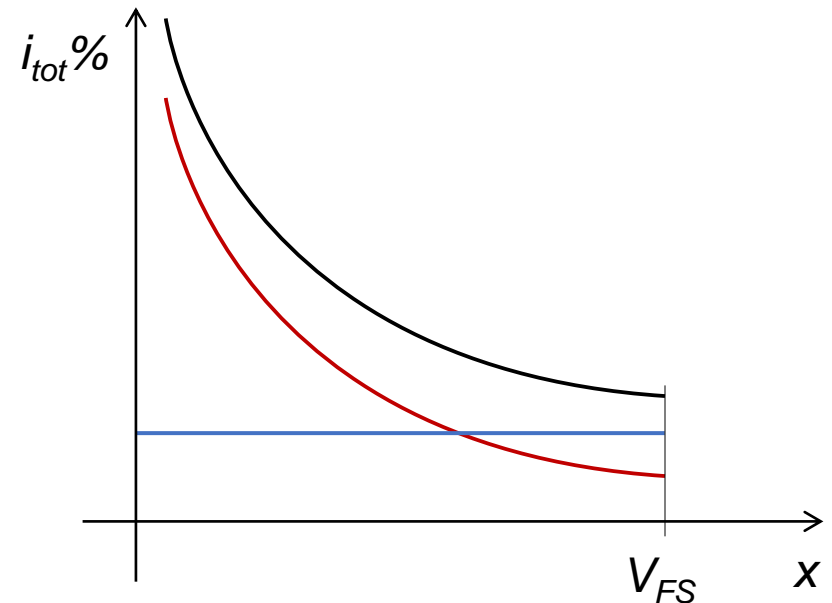
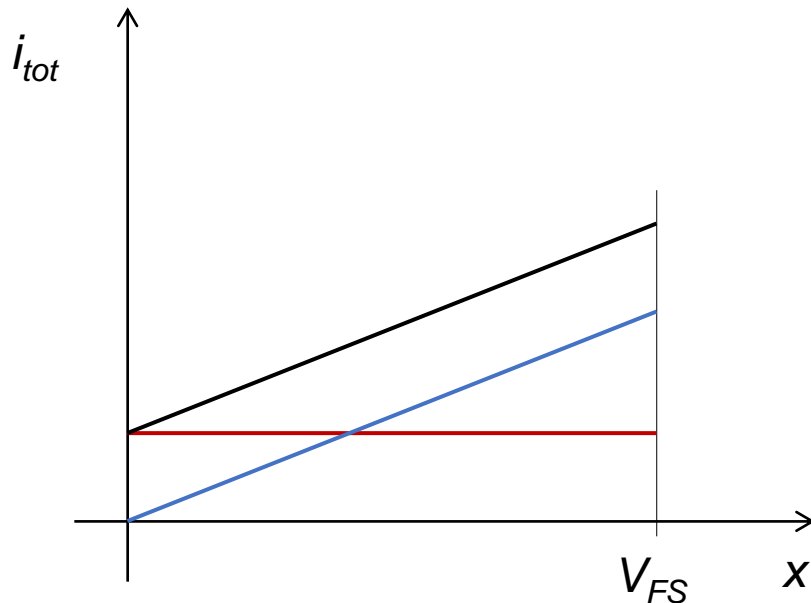
Specifiche dei multimetri digitali

Espressione binomia

$i_1\%$ legato al valore di fondoscala V_{FS}

$i_2\%$ legato al valore letto V_L

$$I_{totale} = I_1 + I_2 = \frac{1}{100} (i_1\% V_{FS} + i_2\% V_L)$$

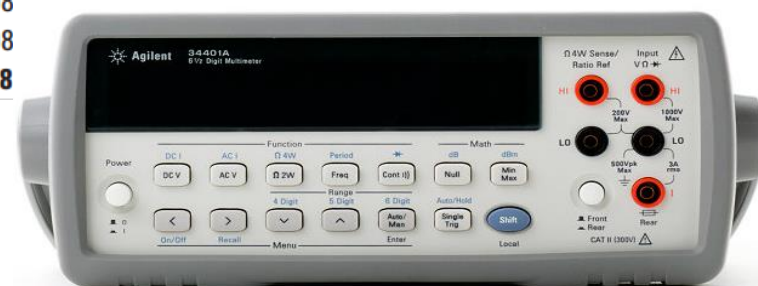


Specifiche dei multimetri digitali

Esempio

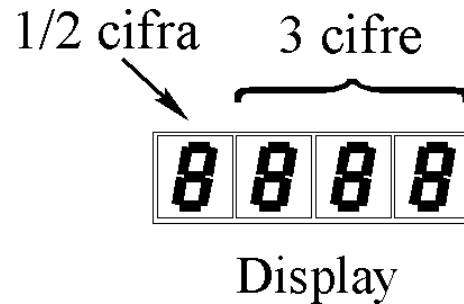
Specifiche di accuratezza \pm (% della lettura + % della gamma)¹

| Funzione | Gamma ³ | Frequenza ecc. | A 24 ore ² 23°C \pm 1°C | A 90 giorni 23°C \pm 5°C | A 1 anno 23°C \pm 5°C | Coefficiente di temperatura da 0°C a -18°C da 28°C a -55°C | |
|---|--------------------------------------|--------------------------------|---|-------------------------------|----------------------------|--|-------------|
| Tensione DC | 100,0000 mV | | 0,0030 + 0,0030 | 0,0040 + 0,0035 | 0,0050 + 0,0035 | 0,0005 + 0,0005 | |
| | 1,000000 V | | 0,0020 + 0,0006 | 0,0030 + 0,0007 | 0,0040 + 0,0007 | 0,0005 + 0,0001 | |
| | 10,00000 V | | 0,0015 + 0,0004 | 0,0020 + 0,0005 | 0,0035 + 0,0005 | 0,0005 + 0,0001 | |
| | 100,0000 V | | 0,0020 + 0,0006 | 0,0035 + 0,0006 | 0,0045 + 0,0006 | 0,0005 + 0,0001 | |
| | 1.000,000 V | | 0,0020 + 0,0006 | 0,0035 + 0,0010 | 0,0045 + 0,0010 | 0,0005 + 0,0001 | |
| Vero RMS Tensione AC⁴ | 100,0000 mV | 3 Hz – 5 Hz | 1,00 + 0,03 | 1,00 + 0,04 | 1,00 + 0,04 | 0,100 + 0,004 | |
| | | 5 Hz – 10 Hz | 0,35 + 0,03 | 0,35 + 0,04 | 0,35 + 0,04 | 0,035 + 0,004 | |
| | | 10 Hz – 20 kHz | 0,04 + 0,03 | 0,05 + 0,04 | 0,06 + 0,04 | 0,005 + 0,004 | |
| | | 20 kHz – 50 kHz | 0,10 + 0,05 | 0,11 + 0,05 | 0,12 + 0,04 | 0,011 + 0,005 | |
| | | 50 kHz – 100 kHz | 0,55 + 0,08 | 0,60 + 0,08 | 0,60 + 0,08 | 0,060 + 0,008 | |
| | Da 1,000000 V a 750,000 V | 100 kHz – 300 kHz ⁶ | 4,00 + 0,50 | 4,00 + 0,50 | 4,00 + 0,50 | 4,00 + 0,50 | 0,20 + 0,02 |
| | | 3 Hz – 5 Hz | 1,00 + 0,02 | 1,00 + 0,03 | 1,00 + 0,03 | 0,100 + 0,003 | |
| | | 5 Hz – 10 Hz | 0,35 + 0,02 | 0,35 + 0,03 | 0,35 + 0,03 | 0,035 + 0,003 | |
| | | 10 Hz – 20 kHz | 0,04 + 0,02 | 0,05 + 0,03 | 0,06 + 0,03 | 0,005 + 0,003 | |
| | | 20 kHz – 50 kHz | 0,10 + 0,04 | 0,11 + 0,05 | 0,12 + 0,04 | 0,011 + 0,005 | |
| | | 50 kHz – 100 kHz ⁵ | 0,55 + 0,08 | 0,60 + 0,08 | 0,60 + 0,08 | 0,060 + 0,008 | |
| 100 kHz – 300 kHz ⁶ | 4,00 + 0,50 | 4,00 + 0,50 | 4,00 + 0,50 | 4,00 + 0,50 | 0,20 + 0,02 | | |
| Resistenza⁷ | 100,0000 Ω | 1 mA (sorgente di corrente) | 0,0030 + 0,0030 | 0,008 | | | |
| | 1,000000 k Ω | 1 mA | 0,0020 + 0,0005 | 0,008 | | | |
| | 10,00000 kΩ | 100 μ A | 0,0020 + 0,0005 | 0,008 | | | |



Specifiche dei multimetri digitali

Dispositivo di visualizzazione



L'incertezza legata al fondoscala può anche essere fornita con un numero “x” di cifre (*digit* o *count*).

Se N_{FS} è il numero totale di conteggi al fondoscala, si ha:

$$I_1 = \frac{i_1 \%}{100} V_{FS} = x \cdot \Delta v_{\min} = x \frac{V_{FS}}{N_{FS}}$$

$$x = \frac{I_1}{\Delta v_{\min}} = \frac{i_1 \%}{100} N_{FS}$$



Specifiche dei multimetri digitali

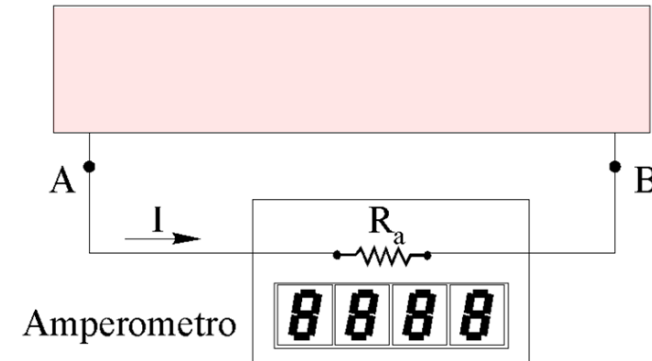
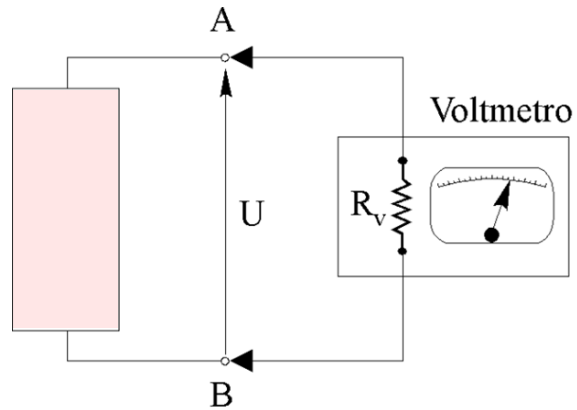
Esempio

True RMS Multimeters Specifications

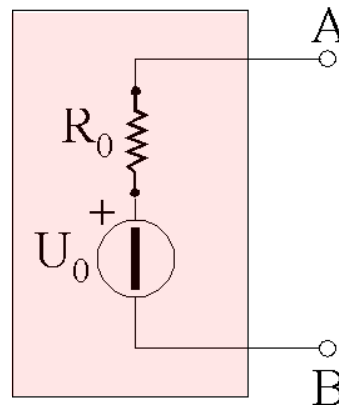
| Function | Range ¹ | Resolution | Accuracy \pm ([% of Reading] + [Counts]) | | |
|-------------------------|--------------------|------------|--|--------------------------------|--------------------------------|
| | | | Model 175 | Model 177 | Model 179 |
| AC Volts ^{2,3} | 600.0 mV | 0.1 mV | 1.0 % + 3 (45 Hz to 500 Hz) | 1.0 % + 3 (45 Hz to 500 Hz) | 1.0 % + 3 (45 Hz to 500 Hz) |
| | 6.000 V | 0.001 V | | | |
| | 60.00 V | 0.01 V | | | |
| | 600.0 V | 0.1 V | 2.0 % + 3 (500 Hz to 1 kHz) | 2.0 % + 3 (500 Hz to 1 kHz) | 2.0 % + 3 (500 Hz to 1 kHz) |
| | 1000 V | 1 V | | | |
| DC mV | 600.0 mV | 0.1 mV | 0.15 % + 2 | 0.09 % + 2 | 0.09 % + 2 |
| DC Volts | 6.000 V | 0.001 V | 0.15 % + 2 | 0.09 % + 2 | 0.09 % + 2 |
| | 60.00 V | 0.01 V | | | |
| | 600.0 V | 0.1 V | | | |
| | 1000 V | 1 V | 0.15 % + 2 | 0.15 % + 2 | 0.15 % + 2 |

Effetti di carico strumentale

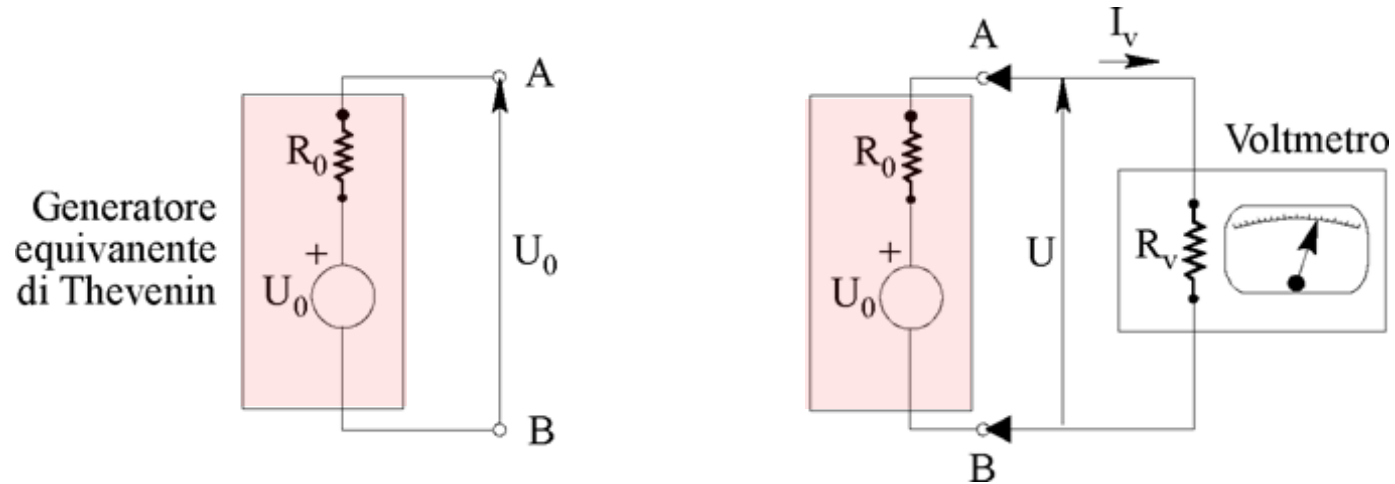
L'inserzione degli strumenti di misura comporta degli effetti sul circuito.



Per studiare questi effetti useremo il Circuito Equivalente di Thevenin.



Effetto di carico nelle misure di tensione



$$U = I_v R_v = U_0 \frac{R_v}{R_0 + R_v} < U_0$$

$$\Delta U = U - U_0$$

$$\varepsilon_U = \frac{\Delta U}{U_0} = \frac{U - U_0}{U_0} = \frac{R_v}{R_0 + R_v} - 1$$

Effetto di carico nelle misure di tensione

Esempio 1

$$U_0 = 150 \text{ V} \quad ; \quad R_0 = 80 \text{ } \Omega \quad ; \quad R_v = 3 \text{ k}\Omega.$$

$$U = U_0 \frac{R_v}{R_0 + R_v} = 150 \frac{3000}{3080} = 146,104 \text{ V}$$

$$\Delta U = U - U_0 = 146,104 - 150 = -3,896 \text{ V}$$

$$\varepsilon_U = \frac{\Delta U}{U_0} = \frac{-3,896}{150} = -2,60 \%$$

Effetto di carico nelle misure di tensione

Esempio 2

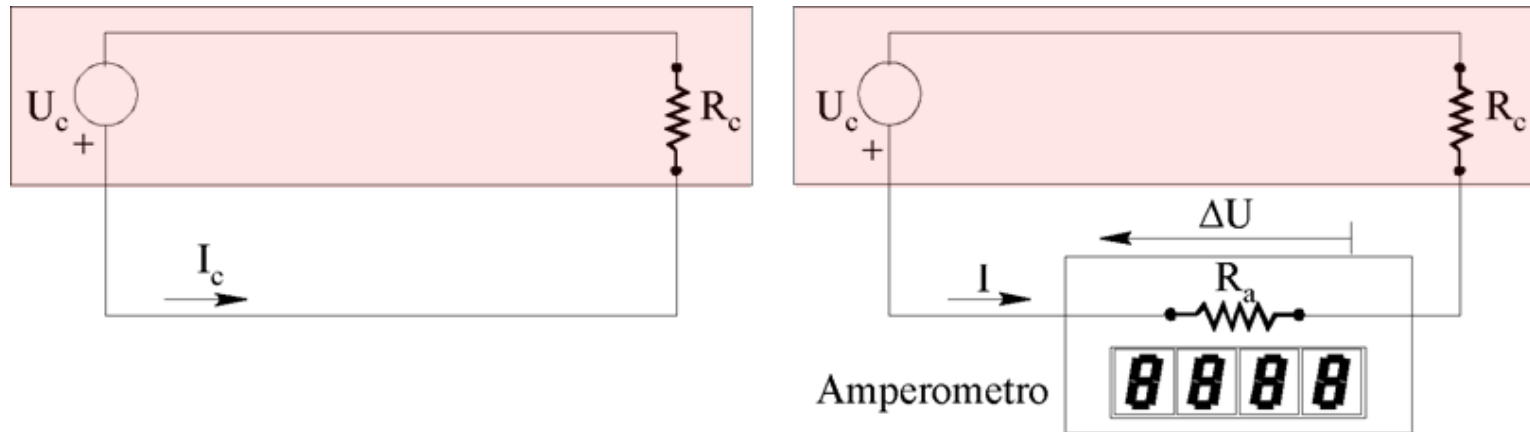
$$U_0 = 150 \text{ V} \quad ; \quad R_0 = 10 \text{ } \Omega \quad ; \quad R_v = 100 \text{ M}\Omega$$

$$U = U_0 \frac{R_v}{R_0 + R_v} = 150 \frac{100.000.000}{100.000.010} = 149,999.985 \text{ V}$$

$$\Delta U = U - U_0 = 149,999 \text{ 985} - 150 = -1,5 \cdot 10^{-5} \text{ V} = -15 \text{ } \mu\text{V}$$

$$\varepsilon_U = \frac{\Delta U}{U_0} = \frac{-1,5 \cdot 10^{-5}}{150} = -1 \cdot 10^{-7} = -1 \cdot 10^{-5} \% = -0,1 \text{ ppm}$$

Effetto di inserzione nelle misure di corrente



$$I_c = U_c / R_c$$

$$I = \frac{U_c}{R_c + R_a} = I_c \frac{R_c}{R_c + R_a} < I_c$$

$$\Delta I = I - I_c$$

$$\varepsilon_I = \frac{\Delta I}{I_c} = \frac{I - I_c}{I_c} = \frac{R_c}{R_c + R_a} - 1$$

Effetto di carico nelle misure di corrente

Esempio 1

$$I_c = 10 \text{ A} \quad ; \quad U_c = 20 \text{ V} \quad ; \quad R_c = 2 \text{ } \Omega \\ R_a = 0,1 \text{ } \Omega$$

$$I = \frac{U_c}{R_c + R_a} = \frac{20}{2 + 0,1} = 9,524 \text{ A}$$

$$\Delta I = I - I_c = 9,524 - 10 = -0,476 \text{ A}$$

$$\varepsilon_I = \frac{\Delta I}{I_c} = \frac{-0,476}{10} = -4,76 \%$$

Effetto di carico nelle misure di corrente

Esempio 2

$$I_c = 10 \text{ A} \quad ; \quad U_c = 220 \text{ V} \quad ; \quad R_c = 22 \text{ } \Omega \\ R_a = 0,1 \text{ } \Omega$$

$$I = \frac{U_c}{R_c + R_a} = \frac{220}{22 + 0,1} = 9,955 \text{ A}$$

$$\Delta I = I - I_c = 9,955 - 10 = -0,045 \text{ A}$$

$$\varepsilon_I = \frac{\Delta I}{I_c} = \frac{-0,045}{10} = -4,5 \cdot 10^{-3} = -0,45 \% = -4500 \text{ ppm}$$