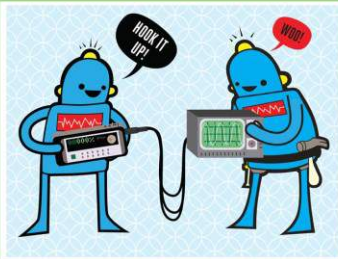


Destreggiarsi in un laboratorio  
di misure elettroniche

GENERATORE DI SEGNALE



MULTIMETRO/  
TESTER DIGITALE



OSCILLOSCOPIO



[https://www.flukebiomedical.com/sites/default/files/resources/190m\\_ITA\\_B\\_W.PDF](https://www.flukebiomedical.com/sites/default/files/resources/190m_ITA_B_W.PDF)



ALIMENTATORE  
DA BANCO



SCHEDE DI  
ACQUISIZIONE  
(DAQ)

## Lezione 3:

# Sistemi di acquisizione di segnali biomedicali: Multimetro Digitale

*Misure e Acquisizione di Dati Biomedici*

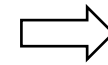
Sarah Tonello, PhD

Dipartimento di ingegneria dell'informazione

Università di Padova

# OUTLINE

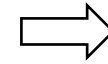
➤ Multimetro digitale: specifiche



**QUIZ 1**



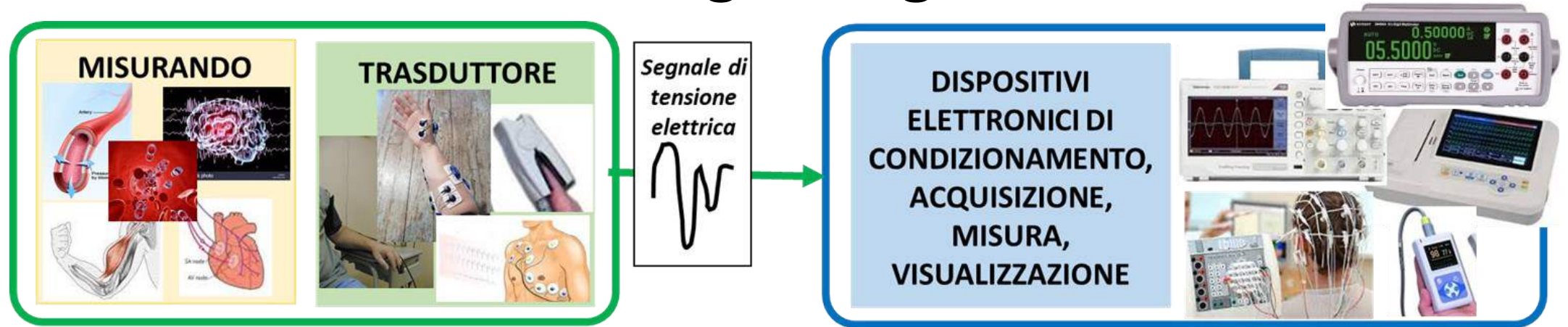
➤ Architettura e funzioni principali di un multimetro



**QUIZ 2**



# Multimetro digitale: generalità



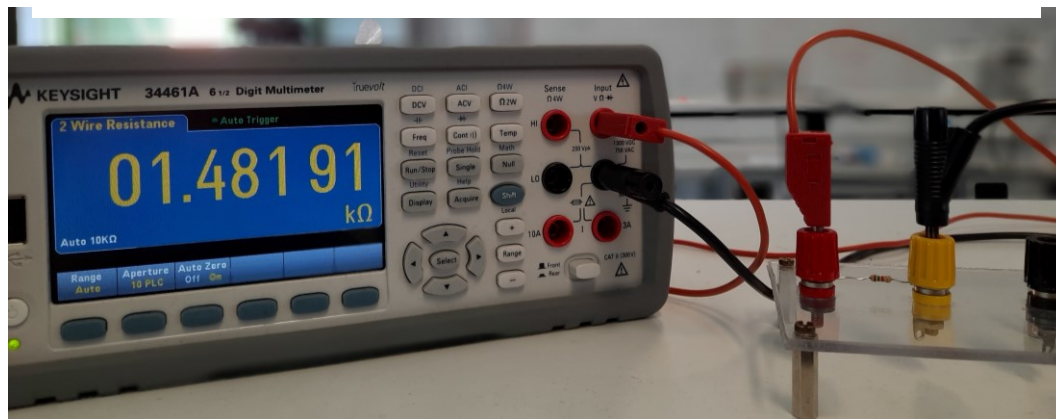
# Multimetro digitale: generalità



Segnale di  
tensione  
elettrica



DISPOSITIVI  
ELETTRONICI DI  
CONDIZIONAMENTO,  
ACQUISIZIONE,  
**MISURA**,  
VISUALIZZAZIONE



- I **multimetri digitali (DMM, digital multimeter)** sono strumenti numerici per la misurazione sia di tensioni e correnti, continue ed alternate, sia di resistenze.
- Elemento principale un **convertitore analogico-digitale (ADC, analogue-to-digital converter)** ad elevata risoluzione, mediante il quale è possibile eseguire la **misurazione della tensione continua**.
- Esso è inserito in una **struttura più articolata**, che comprende l'insieme di circuiti necessari per trattare anche le **altre grandezze elettriche**.
- **Grandissima varietà in termini di prestazioni**: strumenti più costosi consentono di misurare tensioni dell'ordine di poche decine di nV, misure di frequenze in alternata in un range fra 10 Hz e 1MHz. **Prestazione degradano agli estremi di questi range**.



# Multimetro digitale: specifiche principali



## Overview of Keysight Truevolt Digital Multimeters

rdgs=readings  
ppm=part per millon

Key specifications	34460A	34461A	34465A	34470A
Digits of resolution	6½	6½	6½	7½
Basic DCV accuracy	75 ppm	35 ppm	30 ppm	16 ppm
Max reading rate	300 rdgs/s	1,000 rdgs/s	50,000 rdgs/s	50,000 rdgs/s
Memory	1,000 rdgs	10,000 rdgs	50,000 rdgs std 2 million rdgs opt	50,000 rdgs std 2 million rdgs opt
<b>Measurements</b>				
DCV	100 mV to 1,000 V	100 mV to 1,000 V	100 mV to 1,000 V	100 mV to 1,000 V
ACV (RMS)	100 mV to 750 V	100 mV to 750 V	100 mV to 750 V	100 mV to 750 V
DCI	100 µA to 3 A	100 µA to 10 A	1 µA to 10 A	1 µA to 10 A
ACI	100 µA to 3 A	100 µA to 10 A	100 µA to 10 A	100 µA to 10 A
2- and 4-wire resistance	100 Ω to 100 MΩ	100 Ω to 100 MΩ	100 Ω to 1,000 MΩ	100 Ω to 1,000 MΩ
Continuity, diode	Y, 5 V	Y, 5 V	Y, 5 V	Y, 5 V
Frequency, period	3 Hz to 300 kHz	3 Hz to 300 kHz	3 Hz to 300 kHz	3 Hz to 300 kHz
Temperature	RTD/PT100, thermistor	RTD/PT100, thermistor	RTD/PT100, thermistor, thermocouples	RTD/PT100, thermistor, thermocouples
Capacitance	1.0 nF to 100.0 µF	1.0 nF to 100.0 µF	1.0 nF to 100.0 µF	1.0 nF to 100.0 µF
Dual line display	Yes	Yes	Yes	Yes
Display	Color, graphical	Color, graphical	Color, graphical	Color, graphical
Statistical graphics	Histogram, bar chart	Histogram, bar chart, trend chart	Histogram, bar chart, trend chart	Histogram, bar chart, trend chart
Rear input terminals	No	Yes	Yes	Yes
<b>IO interface</b>				
USB	Yes	Yes	Yes	Yes
LAN/LXI Core	Optional	Yes	Yes	Yes
GPIO	Optional	Optional	Optional	Optional

Datasheet completo

[https://www.distrelec.it/Web/Downloads/\\_t/ds/Keysight-3446xA-Series\\_eng\\_tds.pdf](https://www.distrelec.it/Web/Downloads/_t/ds/Keysight-3446xA-Series_eng_tds.pdf)

# Multimetro digitale: specifiche principali

rdgs=readings  
ppm=part per millon

## Overview of Keysight Truevolt Digital Multimeters

Key specifications	34460A	34461A	34465A	34470A
Digits of resolution	6½	6½	6½	7½
Basic DCV accuracy	75 ppm	35 ppm	30 ppm	16 ppm
Max reading rate	300 rdgs/s	1,000 rdgs/s	50,000 rdgs/s	50,000 rdgs/s
Memory	1,000 rdgs	10,000 rdgs	50,000 rdgs std 2 million rdgs opt	50,000 rdgs std 2 million rdgs opt
Measurements				
DCV	100 mV to 1,000 V	100 mV to 1,000 V	100 mV to 1,000 V	100 mV to 1,000 V
ACV (RMS)	100 mV to 750 V	100 mV to 750 V	100 mV to 750 V	100 mV to 750 V
DCI	100 µA to 3 A	100 µA to 10 A	1 µA to 10 A	1 µA to 10 A
ACI	100 µA to 3 A	100 µA to 10 A	100 µA to 10 A	100 µA to 10 A
2- and 4-wire resistance	100 Ω to 100 MΩ	100 Ω to 100 MΩ	100 Ω to 1,000 MΩ	100 Ω to 1,000 MΩ
Continuity, diode	Y, 5 V	Y, 5 V	Y, 5 V	Y, 5 V
Frequency, period	3 Hz to 300 kHz	3 Hz to 300 kHz	3 Hz to 300 kHz	3 Hz to 300 kHz
Temperature	RTD/PT100, thermistor	RTD/PT100, thermistor	RTD/PT100, thermistor, thermocouples	RTD/PT100, thermistor, thermocouples
Capacitance	1.0 nF to 100.0 µF	1.0 nF to 100.0 µF	1.0 nF to 100.0 µF	1.0 nF to 100.0 µF
Dual line display	Yes	Yes	Yes	Yes
Display	Color, graphical	Color, graphical	Color, graphical	Color, graphical
Statistical graphics	Histogram, bar chart	Histogram, bar chart, trend chart	Histogram, bar chart, trend chart	Histogram, bar chart, trend chart
Rear input terminals	No	Yes	Yes	Yes
IO interface				
USB	Yes	Yes	Yes	Yes
LAN/LXI Core	Optional	Yes	Yes	Yes
GPIO	Optional	Optional	Optional	Optional

- La **RISOLUZIONE** è il primo parametro indicato, nelle specifiche, viene indicato per **quantificare le prestazioni di un multimetro digitale**.
- Per indicarlo si utilizza il **numero di cifre decimali utilizzato per presentare il risultato numerico della misura**.

Datasheet completo

[https://www.distrelec.it/Web/Downloads/\\_t/ds/Keysight-3446xA-Series\\_eng\\_tds.pdf](https://www.distrelec.it/Web/Downloads/_t/ds/Keysight-3446xA-Series_eng_tds.pdf)

# Multimetro digitale: specifica di risoluzione



Overview of Keysight Truevolt Digital Multimeters

Key specifications	34460A	34461A	34465A	34470A
Digits of resolution	6½	6½	6½	7½

- La **risoluzione di uno strumento** (nel seguito indicata con  $\Delta$ ) è definita come la **minima variazione del misurando che lo strumento è in grado di rilevare**.
- Tale variazione corrisponde **all'aumento o alla diminuzione di una unità della cifra meno significativa**
- Osservando il valore misurato, il **peso assegnato alla cifra meno significativa** può essere **stabilito conoscendo il valore di fondo scala** (limite superiore, **portata**, modificabile nei DMM, di solito multipli di 10) per la grandezza misurata.



## Esempio:

Se il DMM è impiegato come voltmetro con  $V_{FS} = 10 \text{ V}$  e misura  $1.7362 \text{ V}$ . Utilizza complessivamente 5 cifre decimali per presentare il risultato (l'indicazione di fondo scala corrisponderebbe a  $9.9999 \text{ V}$ ), quindi il peso della cifra meno significativa è  **$100 \mu\text{V}$**  e **questa è anche la risoluzione** dello strumento per la scala dei  $10 \text{ V}$ .

Si supponga allora di impiegare lo stesso strumento e di misurare la medesima tensione, scegliendo però  $V_{FS} = 100 \text{ V}$ : in questo caso il fondo scala è  $99.999 \text{ V}$ , e l'indicazione, utilizzando sempre 5 cifre, diviene:  $(0)1.736 \text{ V}$  (lo zero iniziale non viene visualizzato). Il peso della cifra meno significativa è ora  **$1 \text{ mV}$**  e **tale è anche la risoluzione**.





# Multimetro digitale: risoluzione relativa



## Overview of Keysight Truevolt Digital Multimeters

Key specifications	34460A	34461A	34465A	34470A
Digits of resolution	6½	6½	6½	7½

### Esempio

Se  $V_M = 1.7362 \text{ V}$  e  $\Delta_V = 100 \mu\text{V}$  si ha:

$$\frac{\Delta_V}{V_M} = \frac{100 \mu\text{V}}{1.7362 \text{ V}} = \frac{1}{17362} \simeq 6 \times 10^{-5}$$

Se  $V_M = 01.736 \text{ V}$  e  $\Delta_V = 1 \text{ mV}$  si ha:

$$\frac{\Delta_V}{V_M} = \frac{1 \text{ mV}}{1.736 \text{ V}} = \frac{1}{1736} \simeq 6 \times 10^{-4}$$

Se  $V_M = 01.74 \text{ V}$  e  $\Delta_V = 10 \text{ mV}$  si ha:

$$\frac{\Delta_V}{V_M} = \frac{10 \text{ mV}}{1.74 \text{ V}} = \frac{1}{174} \simeq 6 \times 10^{-3}$$

Se  $R_M = 8.274 \text{ k}\Omega$  e  $\Delta_R = 1 \Omega$  si ha:

$$\frac{\Delta_R}{R_M} = \frac{1 \Omega}{8.274 \text{ k}\Omega} = \frac{1}{8274} \simeq 1.2 \times 10^{-4}$$

- La **risoluzione in termini assoluti** è una grandezza con la **stessa dimensione** di quella misurata.
- Il suo valore dipende dalla **funzione di misura** e dalla **portata** con cui viene utilizzato lo strumento.
- Spesso indicata come **risoluzione relativa**, cioè il rapporto **adimensionale**:

$$\frac{\Delta_X}{X_M}$$

dove  $X_M$  è, genericamente, la grandezza misurata.

la **risoluzione relativa** è calcolabile molto facilmente considerando il **rapporto tra 1 (la minima variazione della cifra meno significativa) e l'indicazione numerica visualizzata, privata del separatore decimale**.



# Multimetro digitale: risoluzione relativa



Overview of Keysight Truevolt Digital Multimeters

Key specifications	34460A	34461A	34465A	34470A
Digits of resolution	6½	6½	6½	7½

## RISOLUZIONE RELATIVA al valore misurato

$$\frac{\Delta X}{X_M}$$

*In alternativa...*

dove  $X_M$  è,  
genericamente, la  
grandezza misurata.

### **Esempio**

Se  $V_M = 1.7362 \text{ V}$  e  $\Delta_V = 100 \mu\text{V}$  si ha:

$$\frac{\Delta_V}{V_M} = \frac{100 \mu\text{V}}{1.7362 \text{ V}} = \frac{1}{17362} \simeq 6 \times 10^{-5}$$

## RISOLUZIONE RELATIVA al valore di fondo scala

- Si può in alternativa esprimere la risoluzione relativa rispetto al fondo scala come:  $\frac{1}{X_{FS}} = \frac{1}{10^D}$
- Il massimo valore utilizzabile o fondo scala si ottiene conoscendo il numero di cifre **D** utilizzato dallo strumento, come  **$10^D - 1$**

### **Esempio**

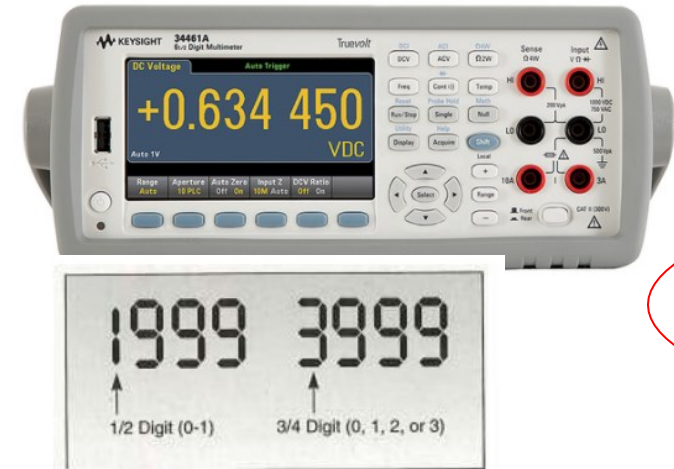
un multimetro a 4 cifre  $\rightarrow$  massimo valore rappresentabile 9999 ( $10^D - 1$ )  $\rightarrow$  risoluzione relativa al fondo scala massimo sarà per qualunque scala e per qualunque grandezza  $10^{-4}$

Poichè sarà sempre vero che  $|X_M| \leq X_{FS}$

**La risoluzione relativa al fondo scala è la risoluzione relativa migliore che si possa ottenere dallo strumento**

$$\frac{\Delta X}{X_M} \geq \frac{1}{10^D}$$

# Multimetro digitale: risoluzione relativa



## Overview of Keysight Truevolt Digital Multimeters

Key specifications	34460A	34461A	34465A	34470A
Digits of resolution	6½	6½	6½	7½

Key specifications  
34460A  
Digits of resolution  
6½



*Cosa indica un numero non intero di cifre per la risoluzione?*

- Dichiarare il **numero di cifre decimali D** che lo strumento impiega per quantificare la sua risoluzione è un modo diverso di esprimere la sua risoluzione, analogamente a quando si indica il **numero di bit per un convertitore analogico-digitale**.
- E' comune trovare strumenti nei quali, per motivi di praticità, i **valori di fondo scala alle diverse portate**, pur mantenendo il rapporto per un fattore 10, **non sono potenze del 10**.  
(es. tensione alternata, ai valori più diffusi nelle reti di distribuzione dell'energia elettrica, che sono 230 V e 110 V e costringerebbero all'impiego della portata 1000 V ragionando per potenze di 10, mentre più spesso si usano strumenti con portate 300 o 200 V )
- La risoluzione di un multimetro a **N cifre e 1/2** indica che lo strumento ha uno schermo che **dispone di N+1 cifre decimali per la presentazione del risultato, ma che utilizza valori di fondo scala che non sono potenze del 10**. Più intuitivamente questo corrisponde al fatto che la cifra dal massimo peso non potrà raggiungere il massimo valore di 9 ma solo di 1.

# Multimetro digitale: Valutazione dell'incertezza di misura



## Overview of Keysight Truevolt Digital Multimeters

Key specifications	34460A	34461A	34465A	34470A
Digits of resolution	6½	6½	6½	7½
Basic DCV accuracy	75 ppm	35 ppm	30 ppm	16 ppm

## Specifications 34460A

34460A accuracy specifications:  $\pm$  (% of reading + % of range)<sup>1</sup>. These specifications are compliant to ISO/IEC 17025 for K = 2.



- Di solito l'**accuratezza** viene dichiarata con riferimento a specificate condizioni di impiego e all'espressione:

$$\pm U_X = \pm(k_1 \cdot |X_M| + k_2)$$

con  $k_1$  e  $k_2$  valori tabulati nel manuale d'uso

$k_1$  è un fattore **adimensionale**, di norma espresso in “% del valore misurato”

$k_2$ , invece, ha la stessa dimensione di  $X_M$  e può essere espresso in due forme, del tutto equivalenti:

- come **multiplo intero del peso della cifra meno significativa**, ossia della risoluzione:  $k_2 = k \cdot \Delta X$ ;
- come **frazione del valore di fondo scala utilizzato**:  $k_2 = \gamma \cdot X_{FS}$

**N.B. Specifici valori di  $k_1$  e  $k_2$  per diversi intervalli di frequenza**

- Le indicazioni per il calcolo dell'incertezza  $U_X$  vengono fornite separatamente per ciascuna delle grandezze che il multimetro può misurare. In genere, **l'accuratezza migliore si ottiene nelle misure di tensione continua**.

- Un multimetro digitale di buone prestazioni deve essere **periodicamente tarato** se si vuole garantire la permanenza nel tempo dell'incertezza dichiarata dal costruttore.

Range <sup>2</sup> /frequency	24 hours <sup>3</sup> $T_{CAL} \pm 1^\circ C$	90 days $T_{CAL} \pm 5^\circ C$	1 year $T_{CAL} \pm 5^\circ C$	2 years $T_{CAL} \pm 5^\circ C$	Temperature coefficient/ $^\circ C$ <sup>4</sup>
<b>DC voltage</b>					
100 mV	0.0040 + 0.0060	0.0070 + 0.0065	0.0090 + 0.0065	0.0115 + 0.0065	0.0005 + 0.0005
1 V	0.0030 + 0.0009	0.0060 + 0.0010	0.0080 + 0.0010	0.0105 + 0.0010	0.0005 + 0.0001
10 V	0.0025 + 0.0004	0.0050 + 0.0005	0.0075 + 0.0005	0.0100 + 0.0005	0.0005 + 0.0001
100 V	0.0030 + 0.0006	0.0065 + 0.0006	0.0085 + 0.0006	0.0110 + 0.0006	0.0005 + 0.0001
1000 V	0.0030 + 0.0006	0.0065 + 0.0010	0.0085 + 0.0010	0.0110 + 0.0010	0.0005 + 0.0001
<b>True RMS AC voltage<sup>2,5,6</sup></b>					
100 mV, 1 V, 10 V, 100 V, and 750 V ranges					
3 Hz to 5 Hz	1.00 + 0.02	1.00 + 0.03	1.00 + 0.03	1.00 + 0.03	0.100 + 0.003
5 Hz to 10 Hz	0.38 + 0.02	0.38 + 0.03	0.38 + 0.03	0.38 + 0.03	0.035 + 0.003
10 Hz to 20 kHz	0.07 + 0.02	0.08 + 0.03	0.09 + 0.03	0.10 + 0.03	0.005 + 0.003
20 kHz to 50 kHz	0.13 + 0.04	0.14 + 0.05	0.15 + 0.05	0.16 + 0.05	0.011 + 0.005
50 kHz to 100 kHz	0.58 + 0.08	0.63 + 0.08	0.63 + 0.08	0.63 + 0.08	0.060 + 0.008
100 kHz to 300 kHz	4.00 + 0.50	4.00 + 0.50	4.00 + 0.50	4.00 + 0.50	0.200 + 0.020
<b>Resistance<sup>7</sup> Test current</b>					
100 $\Omega$ 1 mA	0.0040 + 0.0060	0.011 + 0.007	0.014 + 0.007	0.017 + 0.007	0.0006 + 0.0005
1 k $\Omega$ 1 mA	0.0030 + 0.0008	0.011 + 0.001	0.014 + 0.001	0.017 + 0.001	0.0006 + 0.0001
10 k $\Omega$ 100 $\mu$ A	0.0030 + 0.0005	0.011 + 0.001	0.014 + 0.001	0.017 + 0.001	0.0006 + 0.0001
100 k $\Omega$ 10 $\mu$ A	0.0030 + 0.0005	0.011 + 0.001	0.014 + 0.001	0.017 + 0.001	0.0006 + 0.0001
1 M $\Omega$ 5 $\mu$ A	0.0030 + 0.0010	0.011 + 0.001	0.014 + 0.001	0.017 + 0.001	0.0010 + 0.0002
10 M $\Omega$ 500 nA	0.015 + 0.001	0.020 + 0.001	0.040 + 0.001	0.060 + 0.001	0.0030 + 0.0004
100 M $\Omega$ 500 nA    10 M $\Omega$	0.300 + 0.010	0.800 + 0.010	0.800 + 0.010	0.800 + 0.010	0.1500 + 0.0002
<b>DC current Burden voltage</b>					
100 $\mu$ A < 0.011 V	0.010 + 0.020	0.040 + 0.025	0.050 + 0.025	0.060 + 0.025	0.0020 + 0.0030
1 mA < 0.11 V	0.007 + 0.006	0.030 + 0.006	0.050 + 0.006	0.060 + 0.006	0.0020 + 0.0005
10 mA < 0.05 V	0.007 + 0.020	0.030 + 0.020	0.050 + 0.020	0.060 + 0.020	0.0020 + 0.0020
100 mA < 0.5 V	0.010 + 0.004	0.030 + 0.005	0.050 + 0.005	0.060 + 0.005	0.0020 + 0.0005
1 A < 0.7 V	0.050 + 0.006	0.080 + 0.010	0.100 + 0.010	0.120 + 0.010	0.0050 + 0.0010
3 A < 2.0 V	0.180 + 0.020	0.200 + 0.020	0.200 + 0.020	0.230 + 0.020	0.0050 + 0.0020
<b>Capacitance<sup>15</sup></b>					
1.0000 nF	0.50 + 0.50	0.50 + 0.50	0.50 + 0.50	0.50 + 0.50	0.05 + 0.05
10.000 nF	0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.05 + 0.01
100.00 nF	0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.05 + 0.01
1.0000 $\mu$ F	0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.05 + 0.01
10.000 $\mu$ F	0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.05 + 0.01
100.00 $\mu$ F	0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.05 + 0.01



# Multimetro digitale: Valutazione dell'incertezza di misura



## Overview of Keysight Truevolt Digital Multimeters

Key specifications	34460A	34461A	34465A	34470A
Digits of resolution	6½	6½	6½	7½
Basic DCV accuracy	75 ppm	35 ppm	30 ppm	16 ppm

- Di solito l'**accuratezza** viene dichiarata con riferimento a specificate condizioni di impiego e all'espressione:

$$\pm U_X = \pm(k_1 \cdot |X_M| + k_2)$$

con  $k_1$  e  $k_2$  valori tabulati nel manuale d'uso

$k_1$  è un fattore **adimensionale**, di norma espresso in “% del valore misurato”

$k_2$ , invece, ha la stessa dimensione di  $X_M$  e può essere espresso in due forme, del tutto equivalenti:

- come **multiplo intero del peso della cifra meno significativa**, ossia della risoluzione:  $k_2 = k \cdot \Delta X$ ;
- come **frazione del valore di fondo scala utilizzato**:  $k_2 = \gamma \cdot X_{FS}$

**N.B. Specifici valori di  $k_1$  e  $k_2$  per diversi intervalli di frequenza**

## Specifications 34460A

34460A accuracy specifications:  $\pm$  (% of reading + % of range) <sup>1</sup>. These specification are compliant to ISO/IEC 17025 for K = 2.



Range <sup>2</sup> /frequency	24 hours <sup>3</sup> T <sub>CAL</sub> ± 1 °C	90 days T <sub>CAL</sub> ± 5 °C	1 year T <sub>CAL</sub> ± 5 °C	2 years T <sub>CAL</sub> ± 5 °C	Temperature coefficient/°C <sup>4</sup>	
DC voltage						
100 mV	0.0040 + 0.0060	0.0070 + 0.0065	0.0090 + 0.0065	0.0115 + 0.0065	0.0005 + 0.0005	
1 V	0.0030 + 0.0009	0.0060 + 0.0010	0.0080 + 0.0010	0.0105 + 0.0010	0.0005 + 0.0001	
10 V	0.0025 + 0.0004	0.0050 + 0.0005	0.0075 + 0.0005	0.0100 + 0.0005	0.0005 + 0.0001	
100 V	0.0030 + 0.0006	0.0065 + 0.0006	0.0085 + 0.0006	0.0110 + 0.0006	0.0005 + 0.0001	
1000 V	0.0030 + 0.0006	0.0065 + 0.0010	0.0085 + 0.0010	0.0110 + 0.0010	0.0005 + 0.0001	
True RMS AC voltage <sup>2, 5, 6</sup>						
100 mV, 1 V, 10 V, 100 V, and 750 V ranges						
3 Hz to 5 Hz	1.00 + 0.02	1.00 + 0.03	1.00 + 0.03	1.00 + 0.03	0.100 + 0.003	
5 Hz to 10 Hz	0.38 + 0.02	0.38 + 0.03	0.38 + 0.03	0.38 + 0.03	0.035 + 0.003	
10 Hz to 20 kHz	0.07 + 0.02	0.08 + 0.03	0.09 + 0.03	0.10 + 0.03	0.005 + 0.003	
20 kHz to 50 kHz	0.13 + 0.04	0.14 + 0.05	0.15 + 0.05	0.16 + 0.05	0.011 + 0.005	
50 kHz to 100 kHz	0.58 + 0.08	0.63 + 0.08	0.63 + 0.08	0.63 + 0.08	0.060 + 0.008	
100 kHz to 300 kHz	4.00 + 0.50	4.00 + 0.50	4.00 + 0.50	4.00 + 0.50	0.200 + 0.020	
Resistance <sup>7</sup> Test current						
100 Ω	1 mA	0.0040 + 0.0060	0.011 + 0.007	0.014 + 0.007	0.017 + 0.007	0.0006 + 0.0005
1 kΩ	1 mA	0.0030 + 0.0008	0.011 + 0.001	0.014 + 0.001	0.017 + 0.001	0.0006 + 0.0001
10 kΩ	100 μA	0.0030 + 0.0005	0.011 + 0.001	0.014 + 0.001	0.017 + 0.001	0.0006 + 0.0001
100 kΩ	10 μA	0.0030 + 0.0005	0.011 + 0.001	0.014 + 0.001	0.017 + 0.001	0.0006 + 0.0001
1 MΩ	5 μA	0.0030 + 0.0010	0.011 + 0.001	0.014 + 0.001	0.017 + 0.001	0.0010 + 0.0002
10 MΩ	500 nA	0.015 + 0.001	0.020 + 0.001	0.040 + 0.001	0.060 + 0.001	0.0030 + 0.0004
100 MΩ	500 nA    10 MΩ	0.300 + 0.010	0.800 + 0.010	0.800 + 0.010	0.800 + 0.010	0.1500 + 0.0002
DC current      Burden voltage						
100 μA	< 0.011 V	0.010 + 0.020	0.040 + 0.025	0.050 + 0.025	0.060 + 0.025	0.0020 + 0.0030
1 mA	< 0.11 V	0.007 + 0.006	0.030 + 0.006	0.050 + 0.006	0.060 + 0.006	0.0020 + 0.0005
10 mA	< 0.05 V	0.007 + 0.020	0.030 + 0.020	0.050 + 0.020	0.060 + 0.020	0.0020 + 0.0020
100 mA	< 0.5 V	0.010 + 0.004	0.030 + 0.005	0.050 + 0.005	0.060 + 0.005	0.0020 + 0.0005
1 A	< 0.7 V	0.050 + 0.006	0.080 + 0.010	0.100 + 0.010	0.120 + 0.010	0.0050 + 0.0010
3 A	< 2.0 V	0.180 + 0.020	0.200 + 0.020	0.200 + 0.020	0.230 + 0.020	0.0050 + 0.0020
Capacitance <sup>15</sup>						
1.0000 nF		0.50 + 0.50	0.50 + 0.50	0.50 + 0.50	0.50 + 0.50	0.05 + 0.05
10.000 nF		0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.05 + 0.01
100.00 nF		0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.05 + 0.01
1.0000 μF		0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.05 + 0.01
10.000 μF		0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.05 + 0.01
100.00 μF		0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.40 + 0.10	0.05 + 0.01



**Come calcolo  
l'incertezza in pratica??**



# Calcolo dell'incertezza con strumenti diversi

(richiamo esercitazione 20 ottobre)

$$\pm U_X = \pm(k_1 \cdot |X_M| + k_2)$$

$k_1$  è un fattore **adimensionale**, di norma espresso in “% del valore misurato”

$k_2$ , invece, **ha la stessa dimensione di  $X_M$**  e può essere espresso in due forme, del tutto equivalenti:

- come **multiplo intero del peso della cifra meno significativa**, ossia della risoluzione:  $k_2 = k \cdot \Delta X$ ;

- come **frazione del valore di fondo scala utilizzato**:  $k_2 = \gamma \cdot X_{FS}$

*N.B. Specifici valori di  $k_1$  e  $k_2$  per diversi intervalli di frequenza*

## DMM 1) 3478 datasheet

$$\pm (\% \text{ of reading}^{k_1} + \text{number of counts}^{k_2})$$

## DMM2) 34461A datasheet

$$34461A \text{ accuracy specifications: } \pm (\% \text{ of reading}^{k_1} + \% \text{ of range}^{k_2})$$

## DMM3) Agilent 34401A datasheet

$$\text{Accuracy Specifications } \pm (\% \text{ of reading}^{k_1} + \% \text{ of range}^{k_2})$$

Es. Misuro 12.3567 Ohm, utilizzo una portata di **30 Ohm o 100 Ohm (a seconda dello strumento)**, poichè è il **minimo valore tra quelli che mi permettono di esprimere la misura** (quindi sempre maggiori del valore che devo misurare)

DMM1)

Range	24 Hours	90 Day	1 Year
30Ω	0.023 + 35	0.027 + 41	0.034 + 41

$$\pm U_X = \pm(0.00034 \cdot |12.3567| + 41 \cdot 0.000100) = 8.3 \text{ mOhm}$$

**Urel=0.07%**

DMM2)

Resistance <sup>7</sup>	Test current	24 hours <sup>3</sup>	90 days	1 year
100 Ω	1 mA	0.0030 + 0.0030	0.008 + 0.004	0.010 + 0.004

$$\pm U_X = \pm(0.00010 \cdot |12.3567| + 0.00004 \cdot 100) = 5.2 \text{ mOhm}$$

**Urel=0.04%**

DMM3)

Function	Range <sup>3</sup>	Frequency,	24 Hour <sup>2</sup>	90 Day	1 Year
Resistance <sup>7</sup>	100.0000 Ω	1 mA Current Source	0.0030 + 0.0030	0.008 + 0.004	0.010 + 0.004

$$\pm U_X = \pm(0.00010 \cdot |12.3567| + 0.00004 \cdot 100) = 5.2 \text{ mOhm}$$

**Urel=0.04%**

# Multimetro digitale: Valutazione dell'incertezza di misura



Overview of Keysight Truevolt Digital Multimeters

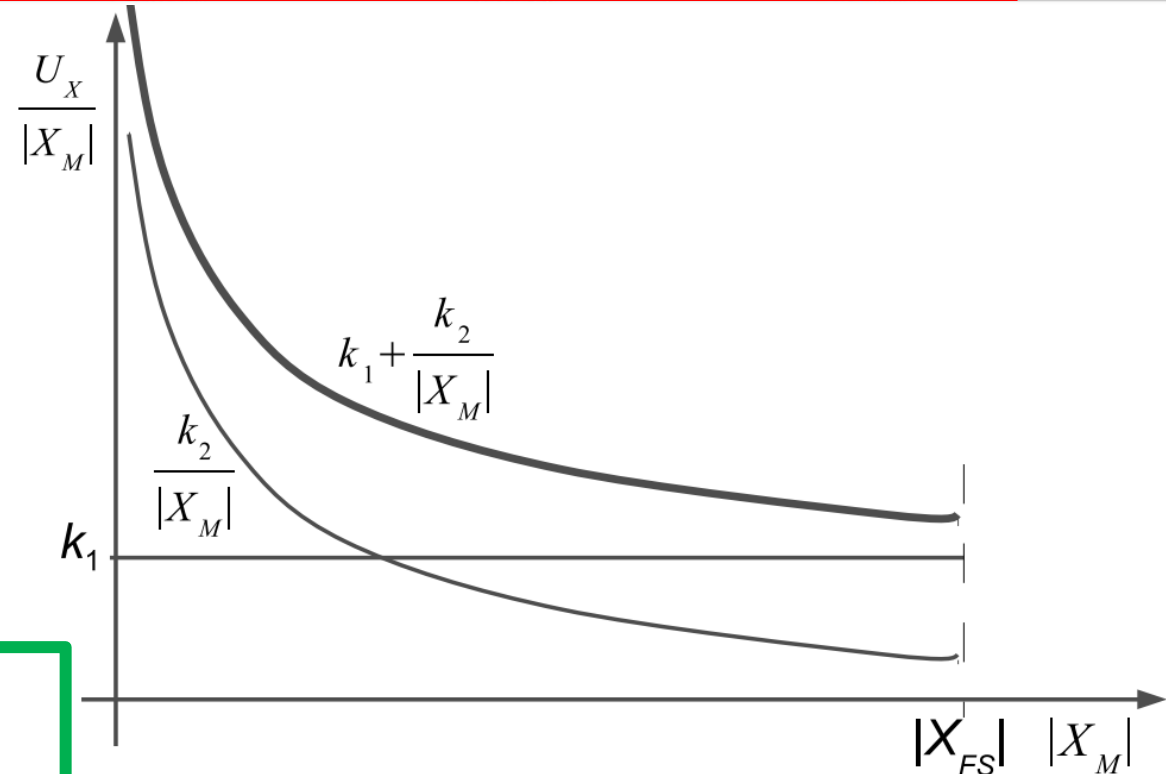
Key specifications	34460A	34461A	34465A	34470A
Digits of resolution	6½	6½	6½	7½
Basic DCV accuracy	75 ppm	35 ppm	30 ppm	16 ppm

$$\pm U_X = \pm(k_1 \cdot |X_M| + k_2)$$

## FORMA RELATIVA

$$\pm \frac{U_X}{|X_M|} = \pm \left( k_1 + \frac{k_2}{|X_M|} \right)$$

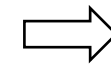
- l'entità del primo termine **non dipende dal valore indicato** e, dunque, il suo contributo rimane costante per tutto il campo di valori misurabili.
- Il contributo del **secondo termine invece diminuisce all'aumentare del valore indicato**



- E quindi preferibile, quando sia possibile, eseguire le misure predisponendo lo strumento in modo che il valore indicato appartenga alla **parte alta del campo disponibile**.
- Per un uso ottimale dello strumento (minima incertezza di misurati dovrebbe utilizzare la **minima portata compatibile con il valore assunto dal misurando**).

# OUTLINE

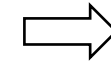
- Multimetro digitale: specifiche



**QUIZ 1**



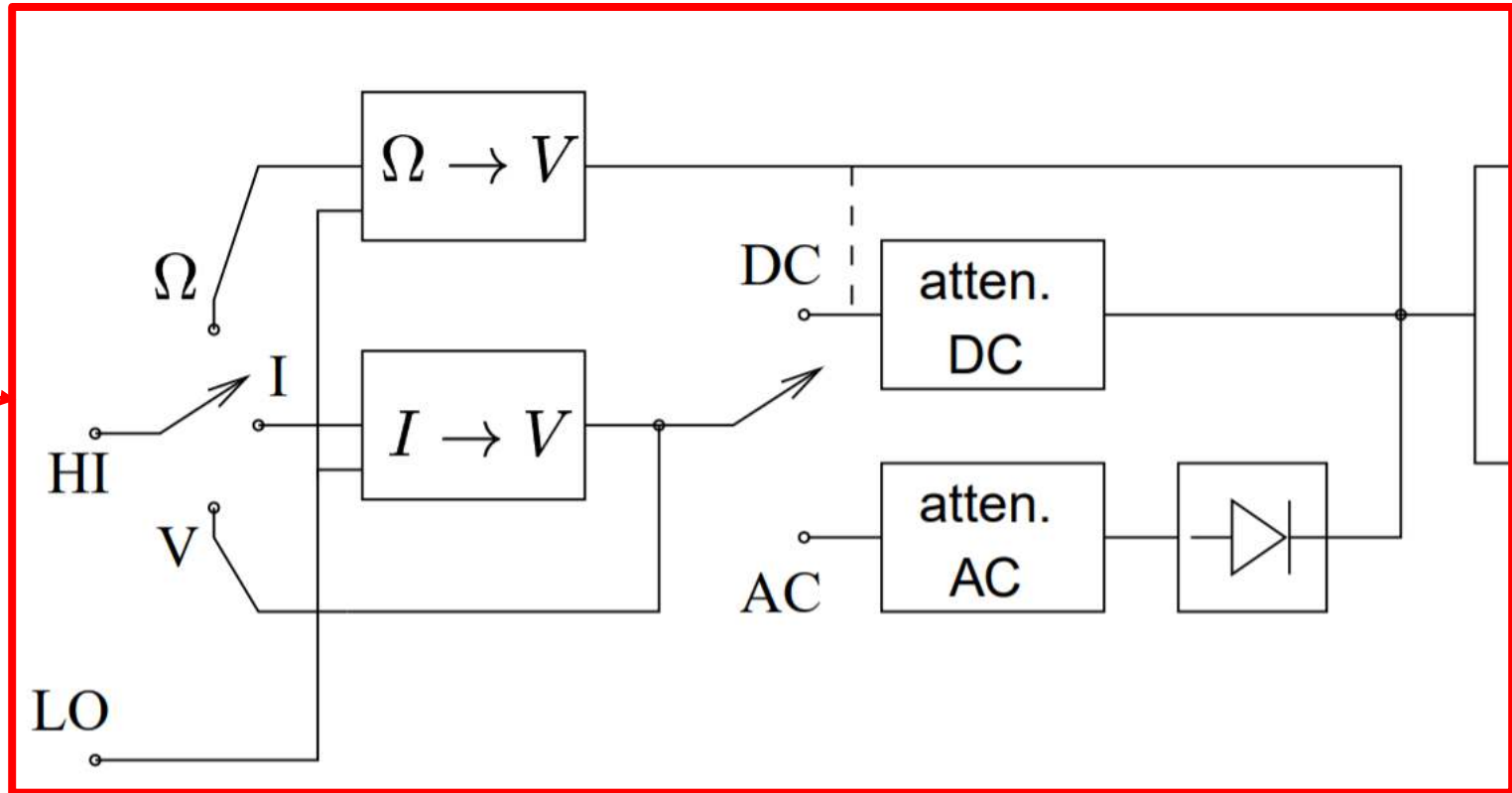
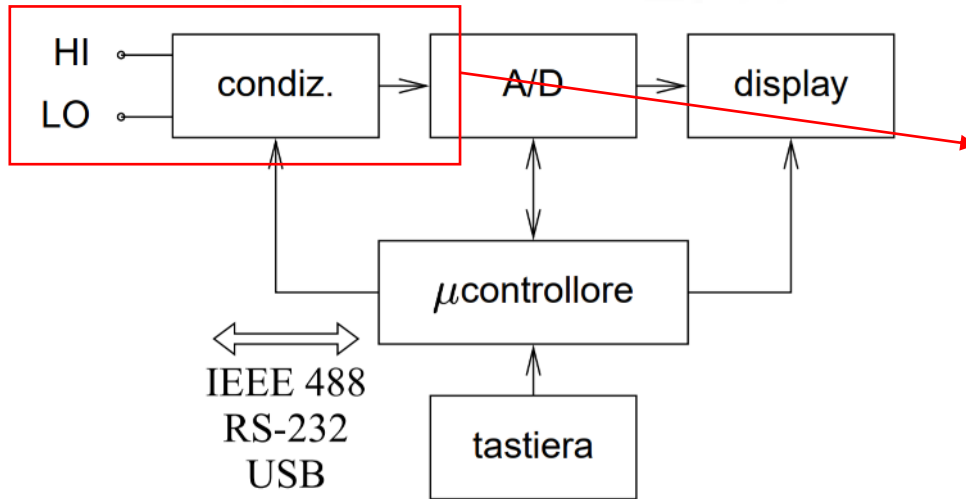
- Architettura e funzioni principali di un multimetro



**QUIZ 2**



# Multimetro digitale: architettura



- Lo **schema funzionale** generale di un DMM si compone di **un convertitore A/D** con adeguata risoluzione ed accuratezza con tempi di conversione relativamente ridotti unito a vari elementi la cui **interconnessione può variare a seconda della funzione di misura scelta dall'utilizzatore**.
- Di solito **3 o 5 terminali di ingresso**, da cui tramite opportuna rete di interruttori ci si collega ai vari blocchi interni specifici a seconda del tipo di misura.
- Per la maggior parte delle misure sono necessari soltanto **2 terminali**, ma gli strumenti di migliori prestazioni sono in grado di effettuare anche misure di resistenza con l'impiego **4 conduttori** di collegamento.



# Multimetro digitale: applicazioni in ambito biomedico

Tutte le verifiche sono state effettuate con lo stesso modello di Bio-Tek® 601PRO



TESTER ELETTRICO  
SIGMAPACE™ 1000

- per stimolatori cardiaci esterni
- portatile
- digitale



TESTER ANTIMICROBICO  
SECULIFE SERIE

- di sicurezza elettrica
- di resistività
- di corrente di fuga



TESTER DI SICUREZZA ELETTRICA  
288+

- di corrente di fuga
- per dispositivi medici
- da laboratorio



TESTER DI SICUREZZA ELETTRICA  
VPAD-ES 2

- per dispositivi medici
- portatile
- con touch screen



ANALIZZATORE PER MONITOR MULTIP...  
BMET PACK PRO

ANALIZZATORE PER DISPOSITIVI MEDICI  
BMET PACK ADVANCED

- di sicurezza elettrica
- di temperatura
- compatto



*Esempio di Tester  
per valutazioni di  
sicurezza di  
elettrobisturi*

Il tester esegue verifiche secondo le norme IEC 601-1, VDE 751, VDE 701, HEI 95, IEC 1010, AAMI e AS/NZS 3551.

Le principali funzioni sono:

- Tensione:** tensione di rete (in caso di misure a singolo filo) o tensione fra gli elettrodi alle bocche rossa e nera (in caso di misure a doppio filo)
- Corrente:** consumo di corrente dell'apparecchio sotto test
- Isolamento:** verifica della resistenza di isolamento
- Dispersione verso terra:** misura della corrente di dispersione verso terra. Misura eseguita fra la massa dell'apparecchio sotto test e il terminale di terra del tester
- Dispersione sull'involucro:** corrente di dispersione sull'involucro
- Dispersione su paziente:** misura delle correnti di dispersione sul paziente (da parti applicate verso terra)
- Dispersione rete su parti applicate:** applica il 110% della tensione di rete sulle parti applicate selezionate e misura la corrente di dispersione verso terra in due polarità
- Correnti ausiliarie su paziente:** misura la corrente di dispersione e polarizzazione tra le parti applicate

# Multimetro digitale: applicazioni in ambito biomedico



TESTER ELETTRICO  
SIGMAPACE™ 1000

- per stimolatori cardiaci esterni
- portatile
- digitale



TESTER ANTIMICROBICO  
SECULIFE SERIE

- di sicurezza elettrica
- di resistività
- di corrente di fuga



TESTER DI SICUREZZA ELETTRICA  
288+

- di corrente di fuga
- per dispositivi medici
- da laboratorio



TESTER DI SICUREZZA ELETTRICA  
VPAD-ES 2

- per dispositivi medici
- portatile
- con touch screen



ANALIZZATORE PER MONITOR MULTIP...  
BMET PACK PRO

ANALIZZATORE PER DISPOSITIVI MEDICI  
BMET PACK ADVANCED

- di sicurezza elettrica
- di temperatura
- compatto

- Valutazione della **resistenza di sensori biomedici** per tarature e per misure
- Valutazione della **continuità in circuiti elettronici** all'interno di dispositivi biomedici e elettromedicali
- Valutazione della presenza di **corti circuiti** anomali in impianti clinici
- Valutazione di **isolamento** in apparati elettromedicali

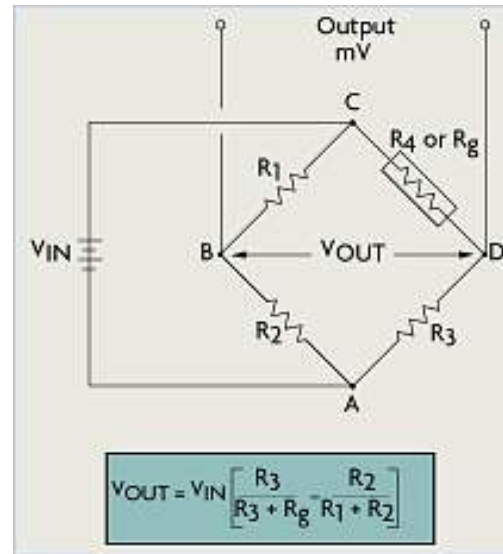
*per eseguire tali valutazioni*

## PRINCIPALI FUNZIONI DI UN MULTIMETRO:

- Misura di tensione continua
- Misura di corrente continua
- Misura di resistenza
- Misura di valori efficaci/medi di grandezze alternate

# Funzioni di un multimetro digitale: Misura di tensione continua

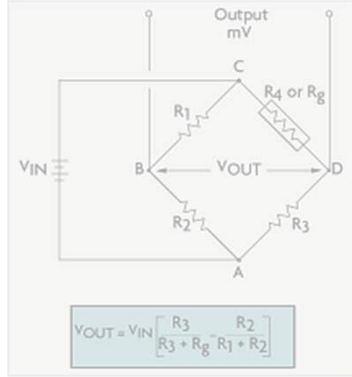
Esempio di applicazione pratica...



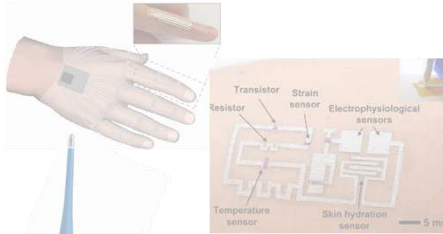
*Misura dell'uscita in tensione continua in partitori resistivi per il condizionamento di trasduttori di temperatura, estensimetri ecc*

# Funzioni di un multimetro digitale: Misura di tensione continua

## Esempio di applicazione pratica...



$$V_{OUT} = V_{IN} \frac{R_3}{R_3 + R_g} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$



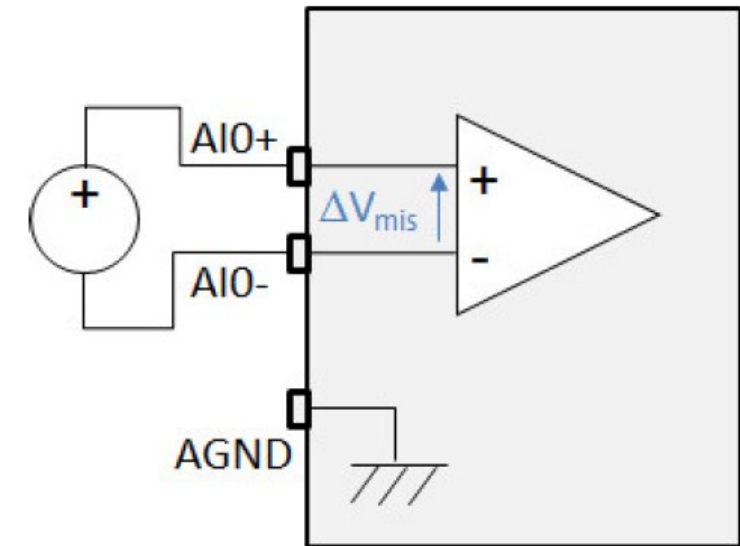
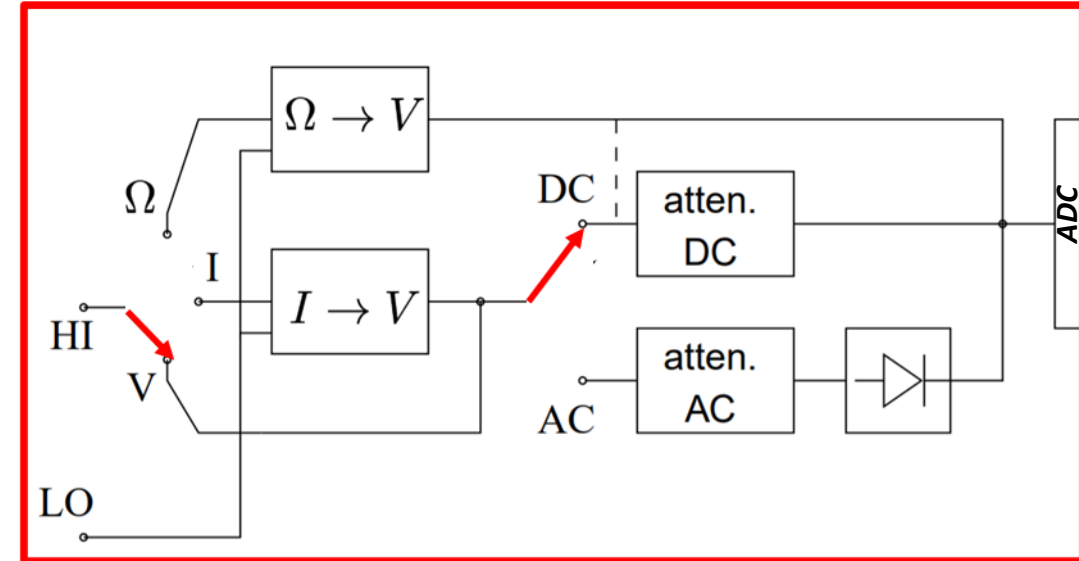
Misura dell'uscita in tensione continua in partitori resistivi per il condizionamento di trasduttori di temperatura, estensimetri ecc

- Segnale in ingresso in tensione attraverso **attenuatori e amplificatori impostati in base al valore di fondo scala scelto** dall'utilizzatore per adattare il segnale all'ADC.
- Misura con la migliore accuratezza

Key specifications	34460A
Digits of resolution	6½
Basic DCV accuracy	75 ppm

- Ingresso differenziale, con resistenza di ingresso di 10 MΩ. Isolamento rispetto a tensioni di modo comune fino a 1 kV.
- Tensioni misurate sia segno positivo, sia segno negativo, rispetto a un riferimento, in campi di valori di solito **da valori di fondo scala di parecchie centinaia di V fino a mV o μV**, a seconda del tipo di strumento.

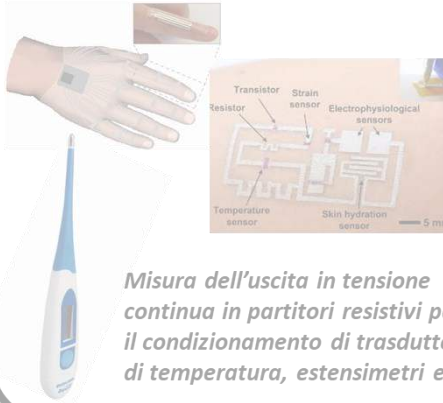
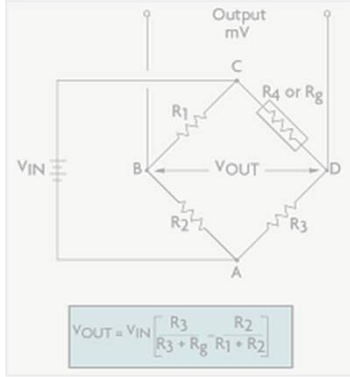
- La **scelta della portata di solito automatica tramite AUTORANGE** che, di fatto, esegue sempre misure preliminari per stabilire la migliore predisposizione dei circuiti di condizionamento (Da evitare se si richiede elevata velocità)



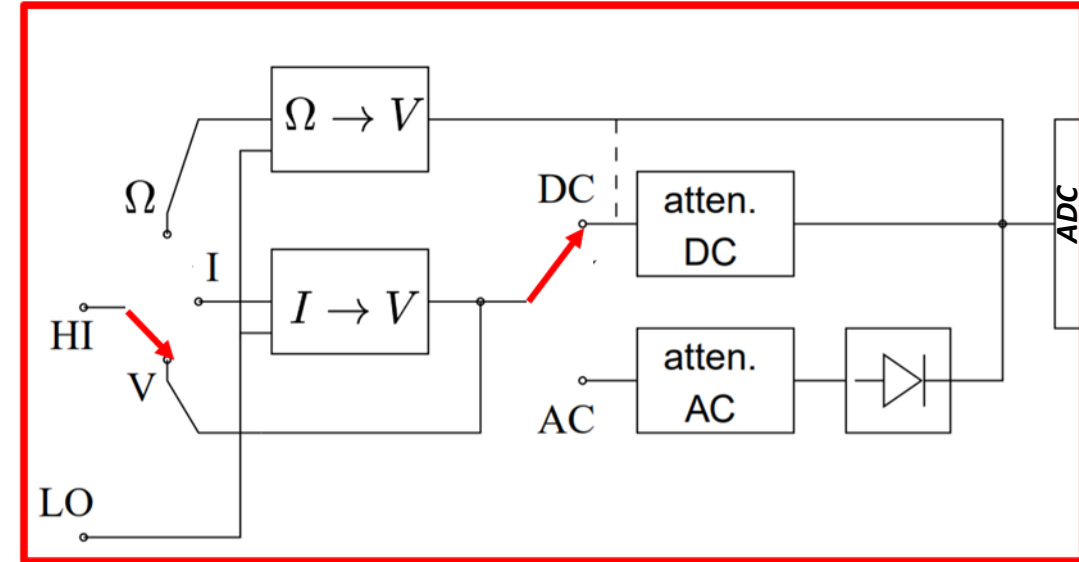


# Funzioni di un multimetro digitale: Misura di tensione continua

Esempio di applicazione pratica...



- Segnale in ingresso in tensione attraversa **attenuatori e amplificatori** impostati in base al **valore di fondo scala** scelto dall'utilizzatore per adattare il segnale all'ADC.



**Principale fonte di errore:**

**OFFSET** = valore di tensione restituito dallo strumento pur con ingresso cortocircuitato

**Soluzione: COMPENSAZIONE DELL'OFFSET.**

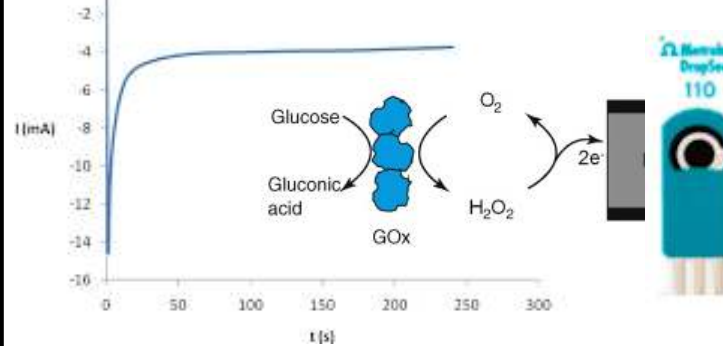
Ip: Tensione di offset può essere considerata costante per il tempo della misura

- Possibile **predisporre lo strumento in modo che ad ogni misura di una tensione incognita sia associata una misura con ingresso cortocircuitato, sottratta in modo automatico.** (Autozero, ossia "azzeramento automatico").
  - Migliorata l'accuratezza dei risultati, a spese della velocità.

# Funzioni di un multimetro digitale: Misura di corrente continua

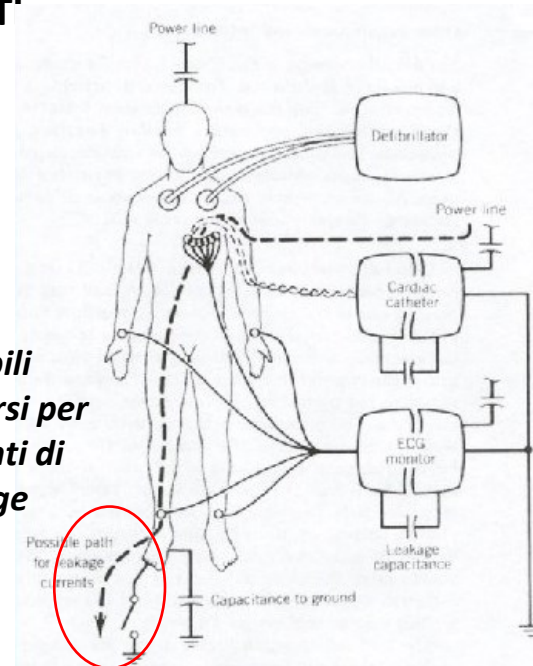
## Esempi di applicazione pratica...

### MISURE CRONOAMPEROMETRICHE



### MISURE CORRENTI DI LEAKAGE IN CIRCUIT\*

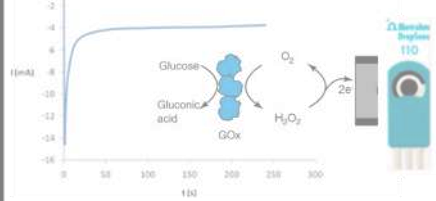
*Possibili percorsi per correnti di leakage*



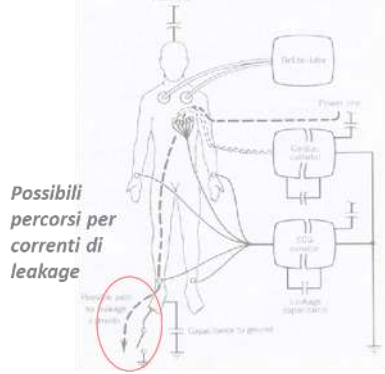
# Funzioni di un multimetro digitale: Misura di corrente continua

## Esempi di applicazione pratica...

### MISURE CRONOAMPEROMETRICHE



### MISURE CORRENTI DI LEAKAGE IN CIRCUIT



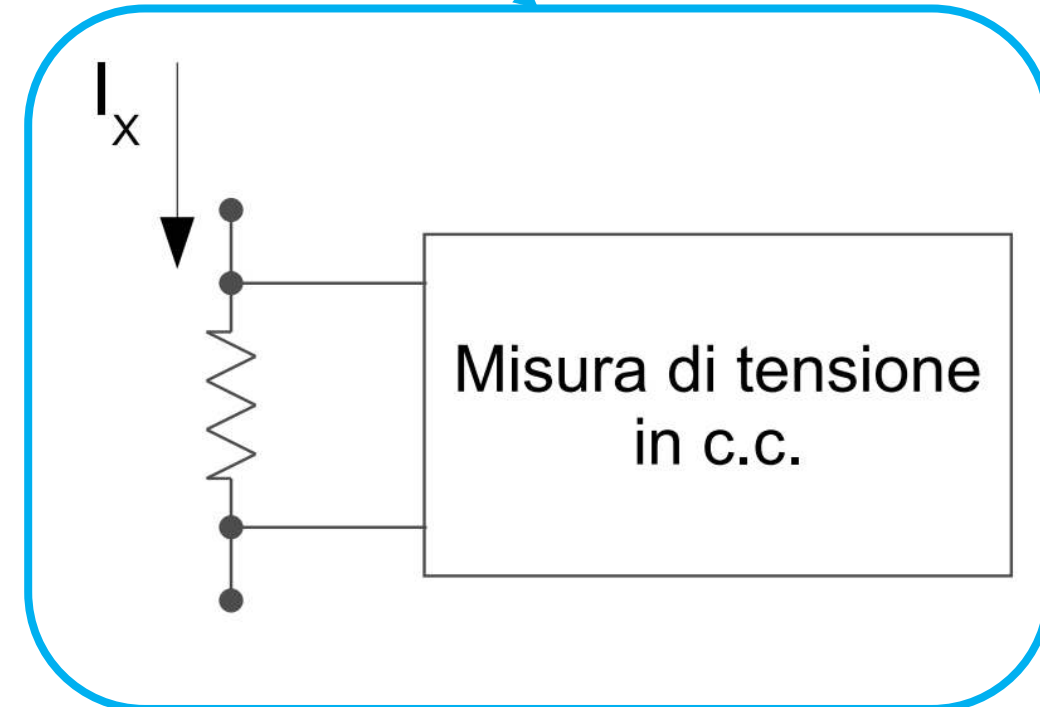
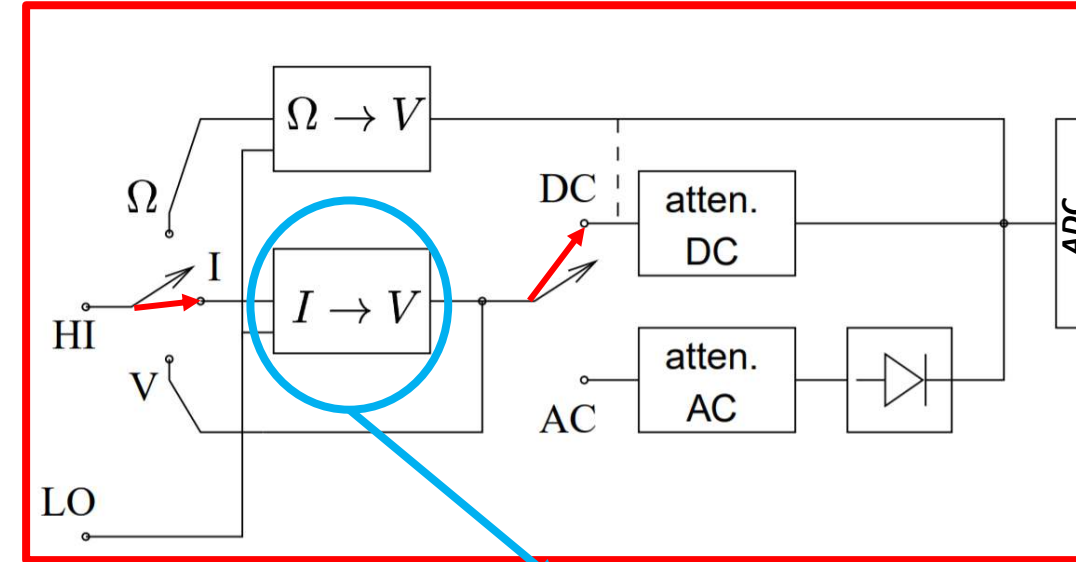
- La **misura di correnti continue** avviene misurando la **caduta di tensione  $V_M$  ai capi di una resistenza nota**, interna allo strumento, attraverso la quale viene fatta passare la corrente incognita.
- Questa **resistenza prende il nome di derivatore di corrente, o shunt**.

- Per non alterarne le condizioni, lo strumento dovrebbe idealmente comportarsi come un corto circuito, e nella pratica quindi  **$R_{shunt}$  dell'ordine di  $0.1 \Omega$**  (attenzione al riscaldamento per correnti elevate)

$$I_M = \frac{V_M}{R_{shunt}}$$

- **nelle specifiche del multimetro** non viene indicato il valore della resistenza  $R_{shunt}$ , ma la **massima caduta di tensione ai suoi capi  $V_{A(MAX)}$**

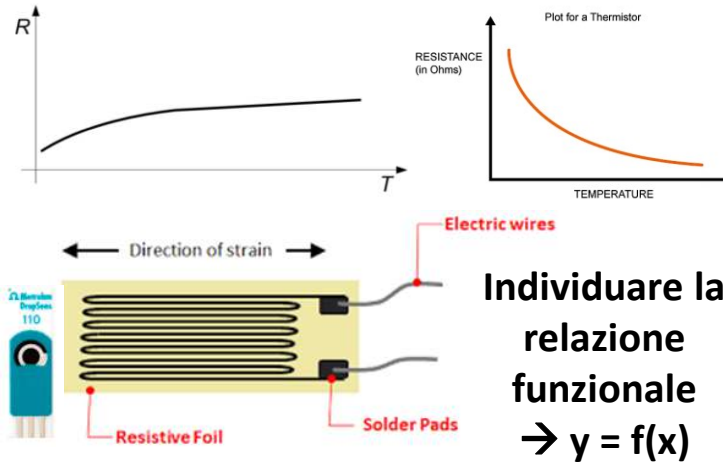
$$R_{shunt} = V_{A(MAX)} / I_{FS}$$



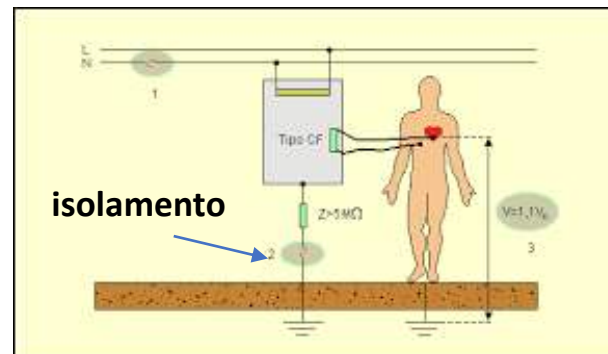
# Funzioni di un multimetro digitale: Misura di resistenza a 2 fili

## Esempi di applicazione pratica...

### CARATTERIZZAZIONE DI SENSORI RESISTIVI e di Elettrodi



### TEST DI VALORI DI RESISTENZE IN CIRCUITI DI SISTEMI BIOMEDICALI

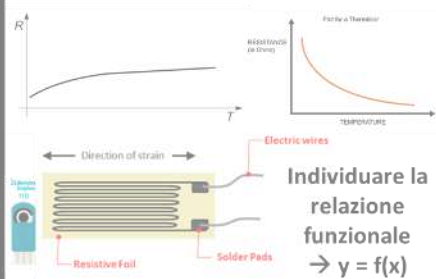




# Funzioni di un multimetro digitale: **Misura di resistenza a 2 fili**

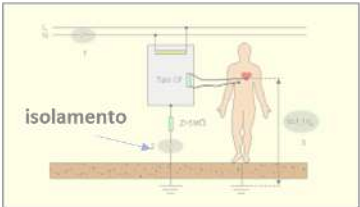
## Esempi di applicazione pratica...

### CARATTERIZZAZIONE DI SENSORI RESISTIVI e di ELETTRIDI



Individuare la relazione funzionale  
 $\rightarrow y = f(x)$

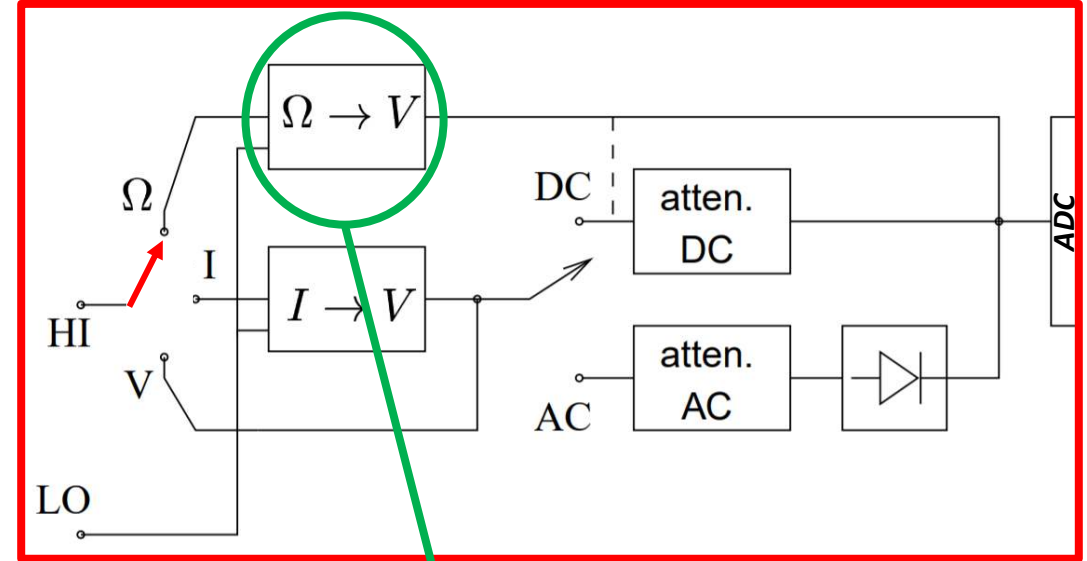
### TEST DI VALORI DI RESISTENZE IN CIRCUITI DI SISTEMI BIOMEDICALI



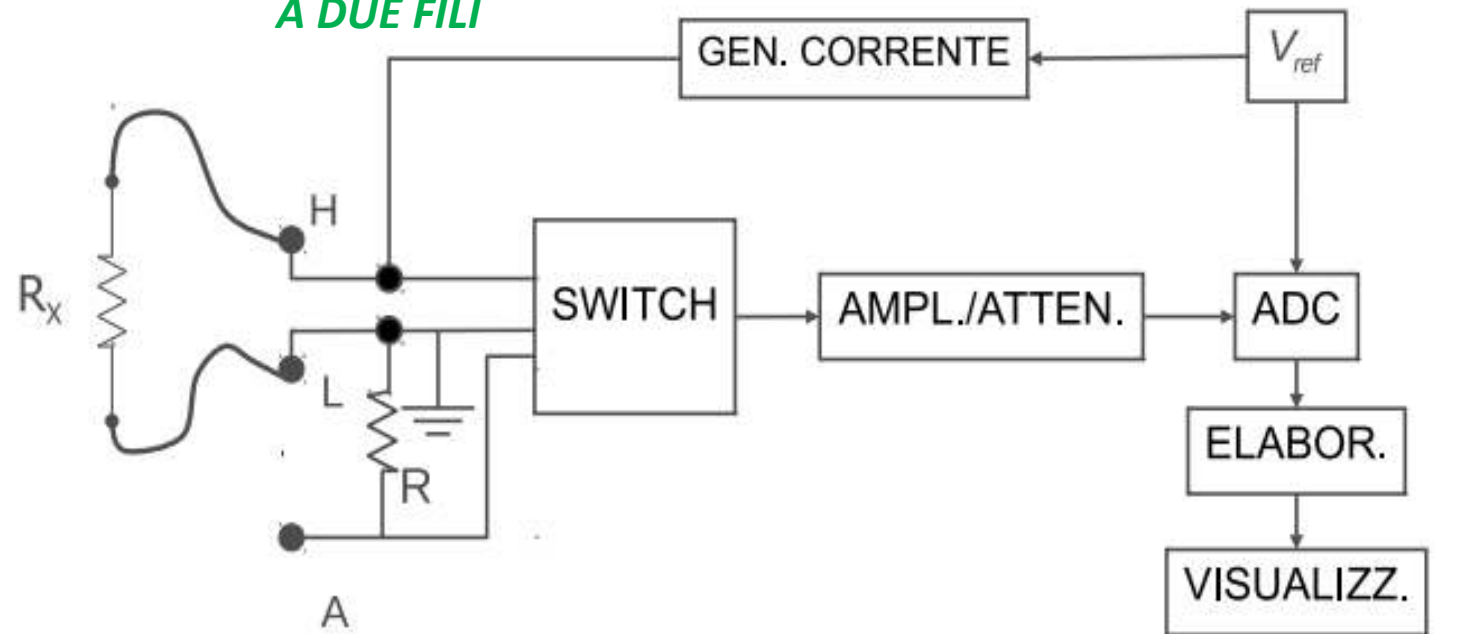
- L'organizzazione della misura consiste nel far circolare nella resistenza incognita  $R_x$  una corrente nota e misurare la caduta di tensione  $V_M$  così provocata.
- La conoscenza della corrente di prova  $I_{\text{test}}$  erogata dal generatore interno è spesso ottenuta mediante una valutazione della caduta di tensione che questa genera attraversando una resistenza nota.

- La misura di una resistenza si traduce nella misura di due tensioni, con successiva elaborazione dei risultati prima di presentare il valore sul display.

**!! Attenzione** all'intensità della corrente di prova utilizzata, per evitare di danneggiare inavvertitamente il dispositivo da misurare, soprattutto agli estremi del campo di resistenze misurabili.



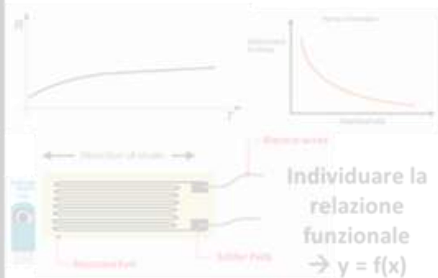
## A DUE FILI



# Funzioni di un multimetro digitale: Misura di resistenza a 2 fili

## Esempi di applicazione pratica...

### CARATTERIZZAZIONE DI SENSORI RESISTIVI e di Elettrodi



### TEST DI VALORI DI RESISTENZE IN CIRCUITI DI SISTEMI BIOMEDICALI



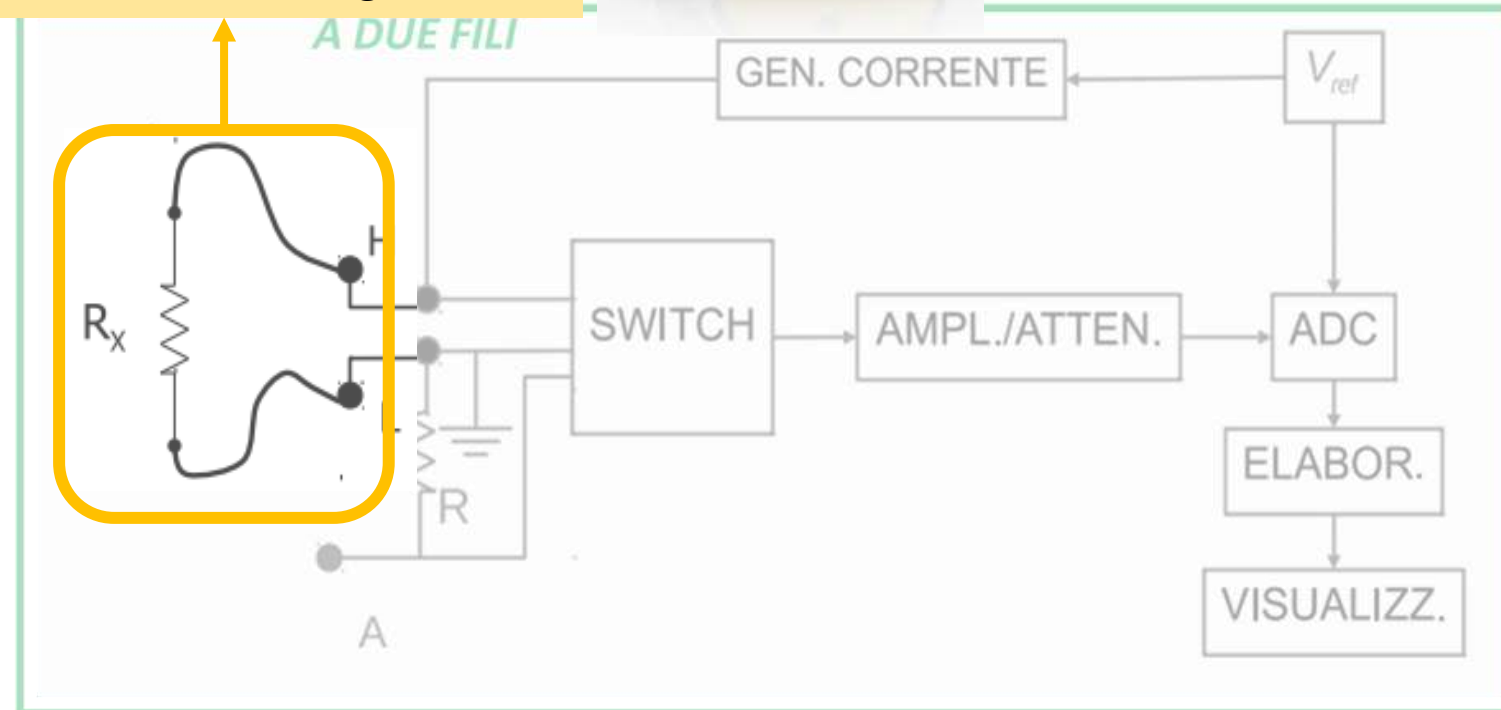
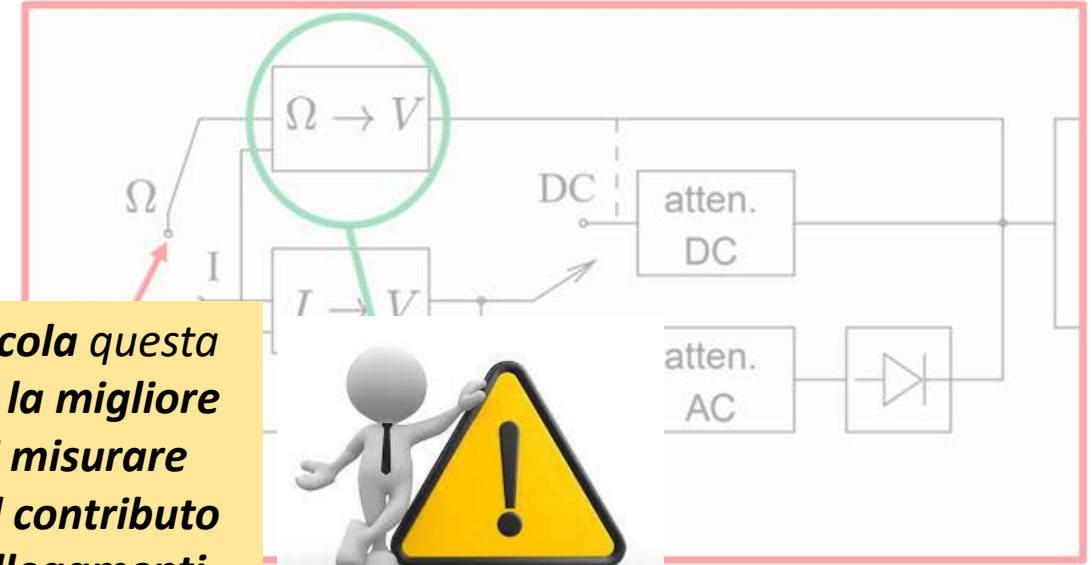
- L'organizzazione della misura consiste nel far circolare nella resistenza incognita  $R_x$  una corrente nota e misurare la caduta di tensione  $V_M$  così provocata.

- La conoscenza della corrente  $I_{test}$  erogata dal generatore è spesso ottenuta dalla valutazione della caduta di tensione su una resistenza nota.

**Quando  $R_x$  molto piccola questa configurazione non è la migliore in quanto rischia di misurare insieme a  $R_x$  anche il contributo dei contatti e dei collegamenti**

- La misura di una resistenza si traduce nella misura di due tensioni, con successiva elaborazione dei risultati prima di presentare il valore sul display.

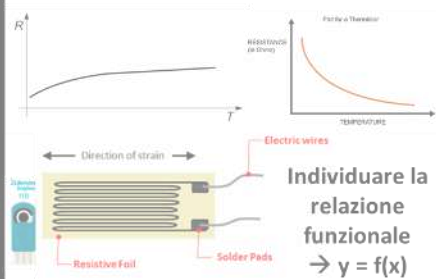
**!! Attenzione** all'intensità della corrente di prova utilizzata, per evitare di danneggiare inavvertitamente il dispositivo da misurare, soprattutto agli estremi del campo di resistenze misurabili.



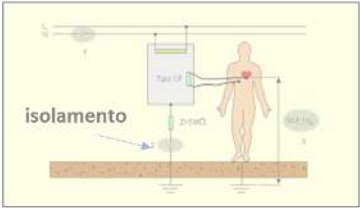
# Funzioni di un multimetro digitale: Misura di resistenza a 4 fili

## Esempi di applicazione pratica...

### CARATTERIZZAZIONE DI SENSORI RESISTIVI e di ELETTRODI



### TEST DI VALORI DI RESISTENZE IN CIRCUITI DI SISTEMI BIOMEDICALI



## QUANDO E' NECESSARIA QUESTA CONFIGURAZIONE?



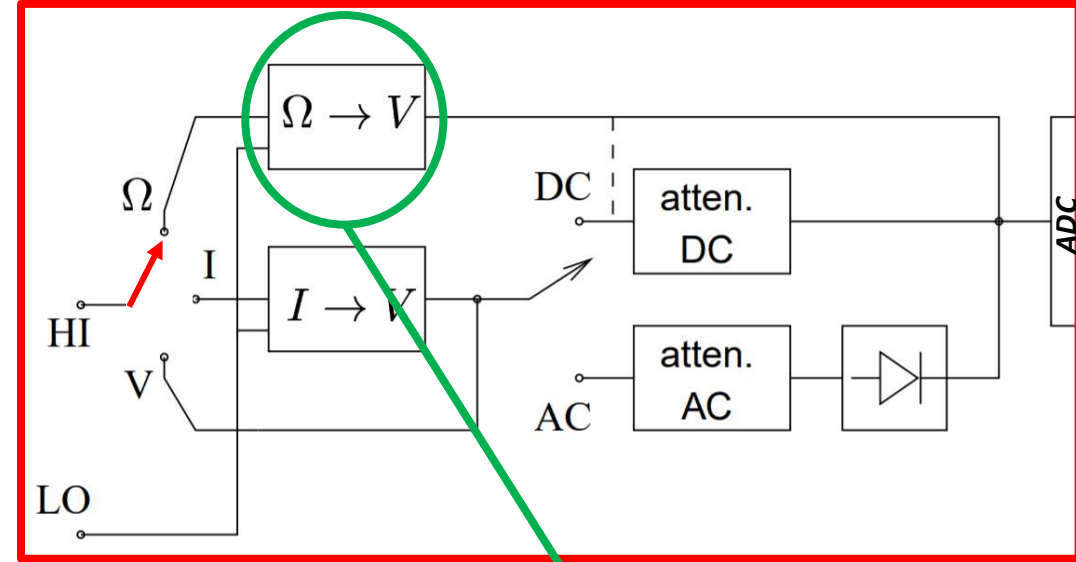
### PRACTICAL TIPS

Per ottenere elevata accuratezza se lo strumento ha una risoluzione (espressa in  $\Omega$ ) confrontabile a quella che normalmente è la resistenza di un normale conduttore alcuni m $\Omega$ .  
(Ad esempio, in un DMM a 5 cifre che utilizzi un valore di fondo scala di 100  $\Omega$  la risoluzione è di 1 m $\Omega$ .)

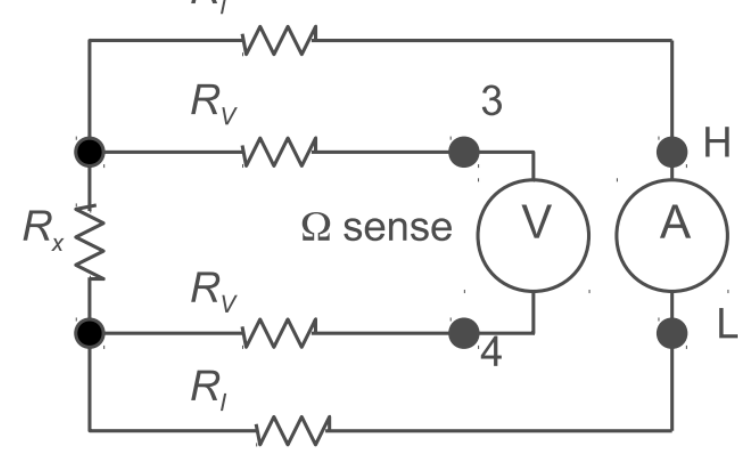
## CASO 1: Resistenze piccole ma influenza delle sorgenti di tensione di rumore trascurabili

- Utilizzati per la misura **4 morsetti**:  
**2 forniscono la corrente di misura** (generata e misurata all'interno dello strumento)  
**2 collegano prelevano la tensione** ai capi della resistenza incognita
- Si ha quindi scarsa influenza di tutte le resistenze parassite nel circuito voltmetrico poichè la coppia di conduttori che preleva la tensione (circuito « $\Omega$  sense») **non è percorsa da corrente**.

$$R_X = \frac{V_{34}}{I_{HL}} \quad \text{con: } I_{34} = 0$$



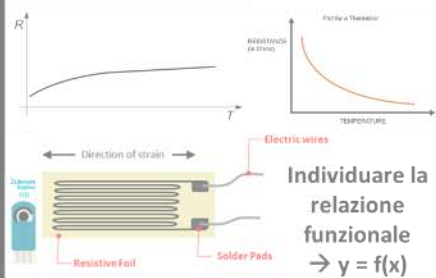
## A QUATTRO FILI



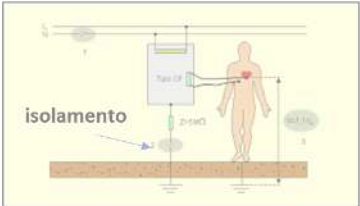
# Funzioni di un multimetro digitale: Misura di resistenza a 4 fili

## Esempi di applicazione pratica...

### CARATTERIZZAZIONE DI SENSORI RESISTIVI e di ELETTRIDI



### TEST DI VALORI DI RESISTENZE IN CIRCUITI DI SISTEMI BIOMEDICALI



## QUANDO E' NECESSARIA QUESTA CONFIGURAZIONE?



### PRACTICAL TIPS

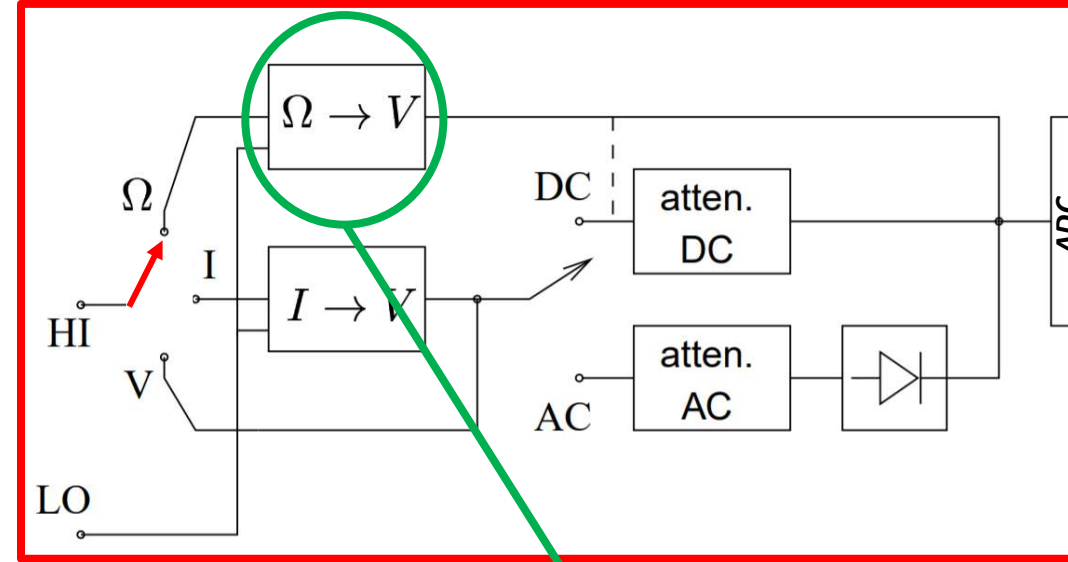
Per ottenere elevata accuratezza se lo strumento ha una risoluzione (espressa in  $\Omega$ ) confrontabile a quella che normalmente è la resistenza di un normale conduttore alcuni  $m\Omega$ .  
(Ad esempio, in un DMM a 5 cifre che utilizzi un valore di fondo scala di  $100 \Omega$  la risoluzione è di  $1 m\Omega$ .)

**+ ALTA INFLUENZA RUMORE**

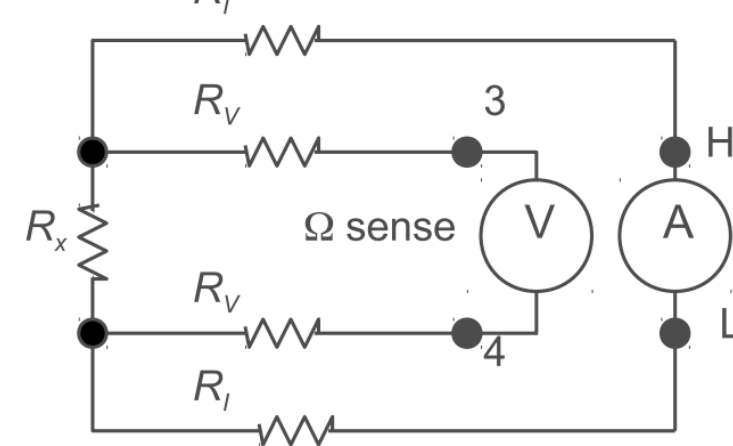
## CASO 2: Resistenze piccole con rischio di influenza delle sorgenti di tensione di rumore

➤ Si procede in due operazioni separate:

- 1) in una prima fase valutata la **caduta di tensione ai capi della resistenza incognita**, generata dalla corrente fornita dallo strumento.
- 2) nella seconda si misura la **tensione ai capi della resistenza incognita in assenza di corrente** fornita dallo strumento e **tale valore viene sottratto da quello precedente**.



## A QUATTRO FILI

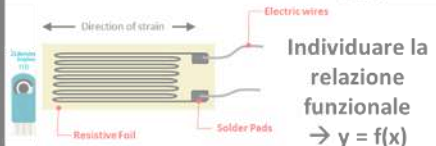




# Funzioni di un multimetro digitale: Misura di resistenze grandi

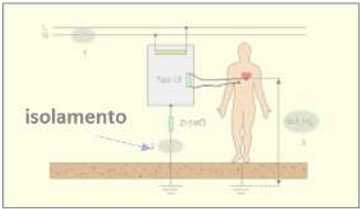
## Esempi di applicazione pratica...

### CARATTERIZZAZIONE DI SENSORI RESISTIVI e di ELETTRODI



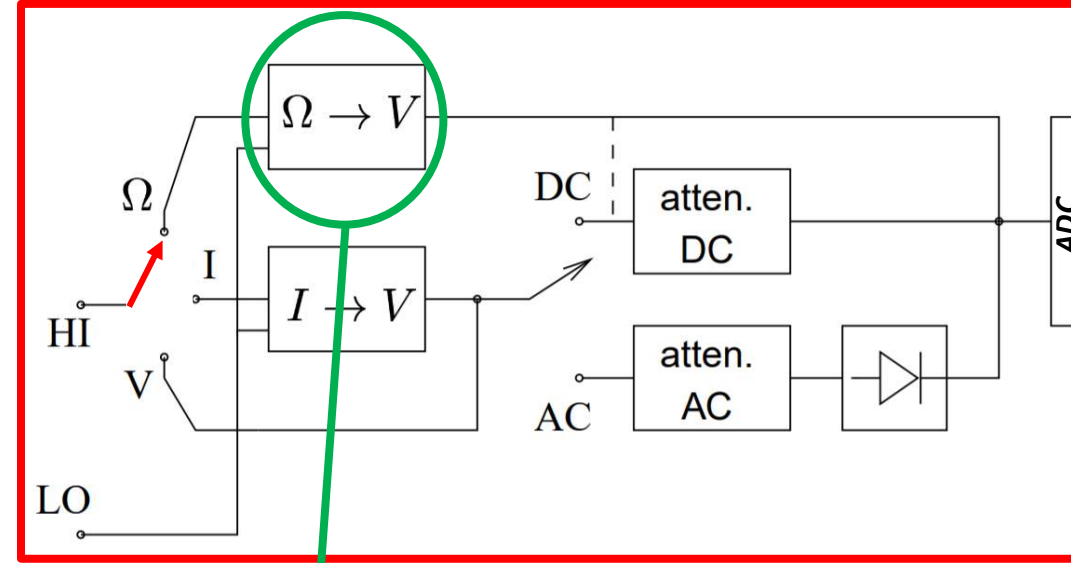
Individuare la relazione funzionale  
→  $y = f(x)$

### TEST DI VALORI DI RESISTENZE IN CIRCUITI DI SISTEMI BIOMEDICALI



E per resistenze **MOLTO GRANDI** agli estremi del campo di valori misurabili (es.  $G\Omega$ )

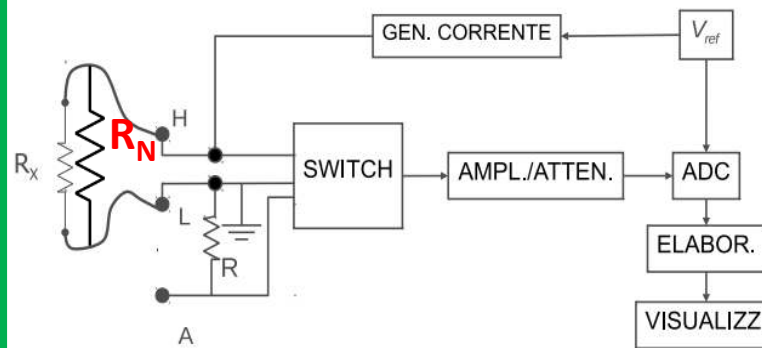
- Il **limite massimo** del campo di valori misurabili è determinato dalla necessità di **mantenere la caduta di tensione ai capi del resistore incognito entro limiti accettabili per la misura**, senza dover generare una corrente di prova troppo piccola.



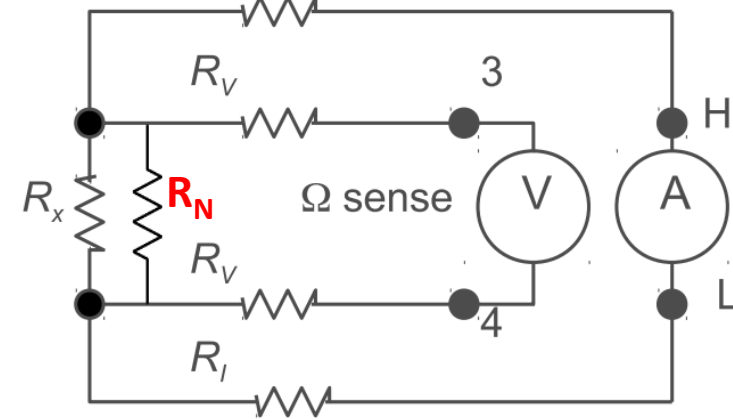
- Per **estendere il campo**, posta resistenza nota  $R_N$  in **parallelo**, di modo che soltanto una frazione della corrente di prova attraversi  $R_x$ , e poi valore misurato  $R_M$  corretto secondo la:

$$R_X = \frac{R_N R_M}{R_N - R_M}$$

## A DUE FILI



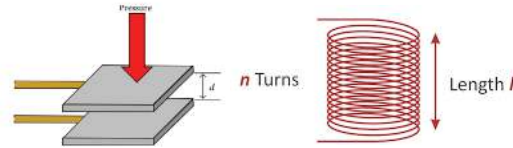
## A QUATTRO FILI



# Funzioni di un multimetro digitale: Misura di grandezze alternate

## Esempi di applicazione pratica...

### CARATTERIZZAZIONE DI SENSORI CAPACITIVI E INDUTTIVI



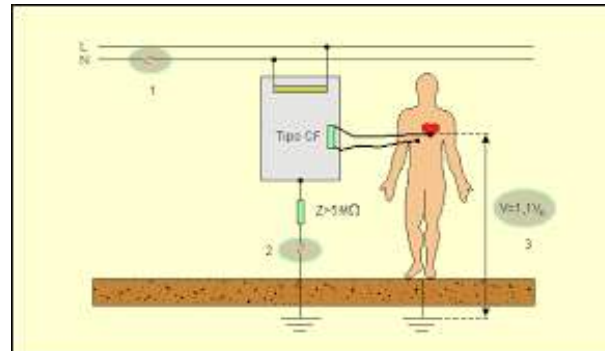
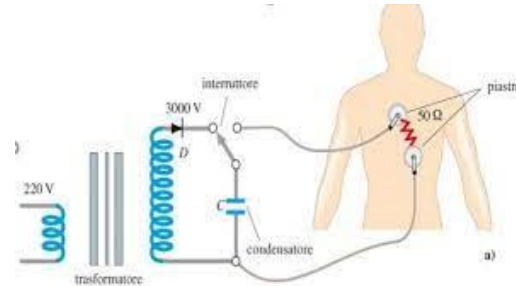
$$C = \frac{Q}{V} = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

$$L = \mu_0 \mu_r \frac{A}{l} \cdot n^2$$

$$I = C \frac{dV}{dt}$$

$$V = L \frac{dI}{dt}$$

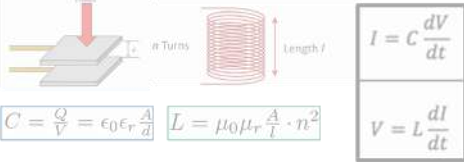
### TEST DI VALORE EFFICACE SEGNALI IN CIRCUITI DI SISTEMI BIOMEDICALI



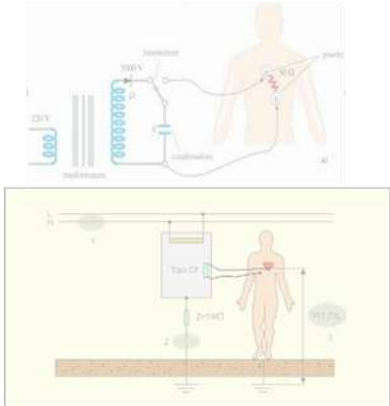
# Funzioni di un multimetro digitale: Misura di grandezze alternate

## Esempi di applicazione pratica...

### CARATTERIZZAZIONE DI SENSORI CAPACITIVI E INDUTTIVI




### TEST DI VALORE EFFICACE SEGNALI IN CIRCUITI DI SISTEMI BIOMEDICALI




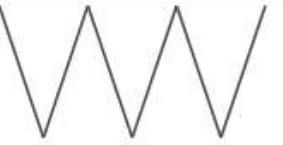
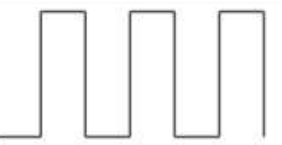

- Un multimetro è in grado di misurare anche **tensioni e correnti variabili**, per le quali fornisce **un'indicazione di vari parametri significativi**:

- Valore efficace  $X_{RMS}$  ➔

coincide con il valore di una tensione o di una corrente continua che trasferisce ad una resistenza la stessa potenza attiva del segnale periodico

$$P = V_{RMS}^2 / R_{eq}$$



$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} x^2(t) dt}$$

$x(t)$				D = duty cycle 
$X_{RMS}$	$\frac{A_0}{\sqrt{2}}$	$\frac{A_0}{\sqrt{3}}$	$A_0$	$2A_0 \sqrt{D(1-D)}$

# Funzioni di un multimetro digitale: Misura di grandezze alternate

## Esempi di applicazione pratica...

### CARATTERIZZAZIONE DI SENSORI CAPACITIVI E INDUTTIVI



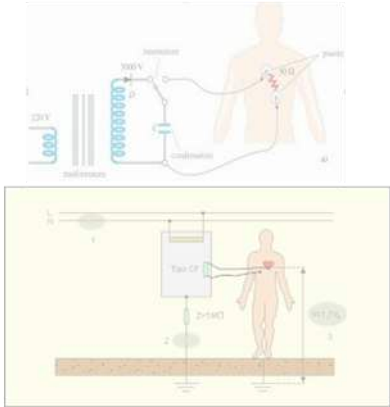
$$C = \frac{Q}{V} = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

$$L = \mu_0 \mu_r \frac{N^2}{l} \cdot n^2$$

$$I = C \frac{dV}{dt}$$

$$V = L \frac{dI}{dt}$$

### TEST DI VALORE EFFICACE SEGNALI IN CIRCUITI DI SISTEMI BIOMEDICALI


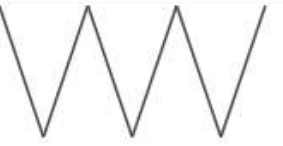
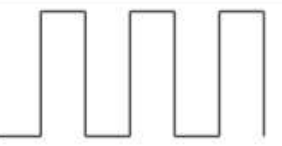



- Un multimetro è in grado di misurare anche **tensioni e correnti variabili**, per le quali fornisce un'indicazione di vari parametri significativi:

- Valore efficace  $X_{RMS}$

- Valore medio convenzionale  $X_m$  ➔

$$X_m = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} |x(t)| dt$$

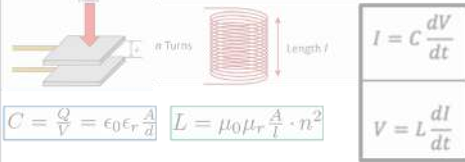
$x(t)$				D = duty cycle 
$X_{RMS}$	$\frac{A_0}{\sqrt{2}}$	$\frac{A_0}{\sqrt{3}}$	$A_0$	$2A_0 \sqrt{D(1-D)}$
$X_m$	$\frac{2A_0}{\pi}$	$\frac{A_0}{2}$	$A_0$	$4A_0 [D(1-D)]$



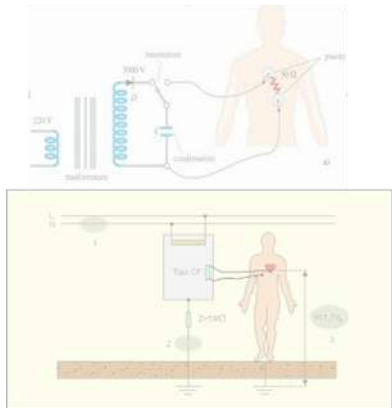
# Funzioni di un multimetro digitale: Misura di grandezze alternate

## Esempi di applicazione pratica...

### CARATTERIZZAZIONE DI SENSORI CAPACITIVI E INDUTTIVI



### TEST DI VALORE EFFICACE SEGNALI IN CIRCUITI DI SISTEMI BIOMEDICALI



- Un multimetro è in grado di misurare anche **tensioni e correnti variabili**, per le quali fornisce un'indicazione di vari parametri significativi:

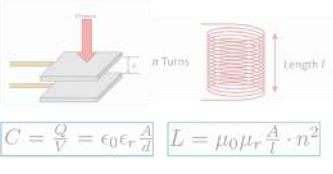
- Valore efficace  $X_{RMS}$
- Valore medio convenzionale  $X_m$
- Valore di picco  $X_{pk}$
- Fattore di forma  $FF$  è dato dal rapporto  $X_{RMS}/X_m$
- Fattore di cresta  $CF$  è definito come segue:  $CF = X_{pk}/X_{RMS}$

$x(t)$				D = duty cycle 
$X_{RMS}$	$\frac{A_0}{\sqrt{2}}$	$\frac{A_0}{\sqrt{3}}$	$A_0$	$2A_0 \sqrt{D(1-D)}$
$X_m$	$\frac{2A_0}{\pi}$	$\frac{A_0}{2}$	$A_0$	$4A_0 [D(1-D)]$
$X_{pk}$	$A_0$	$A_0$	$A_0$	$2A_0 \left( \frac{1}{2} +  D - \frac{1}{2}  \right)$
$FF$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}} \simeq 1.11$	$\frac{2}{\sqrt{3}} \simeq 1.15$	1	$\frac{1}{2\sqrt{D(1-D)}}$
$CF$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{3}$	1	$\frac{\frac{1}{2} +  D - \frac{1}{2} }{\sqrt{D(1-D)}}$

# Funzioni di un multimetro digitale: **convertitori a valore efficace**

**Esempi di applicazione pratica...**

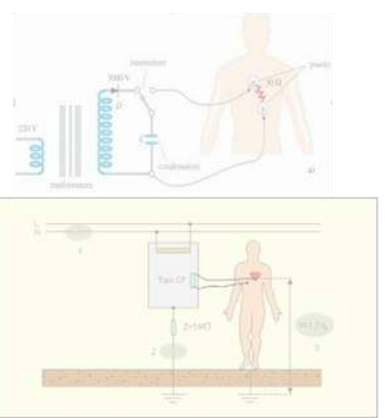
**CARATTERIZZAZIONE DI SENSORI CAPACITIVI E INDUTTIVI**



$C = \frac{Q}{V} = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$     $L = \mu_0 \mu_r \frac{A}{l} \cdot n^2$

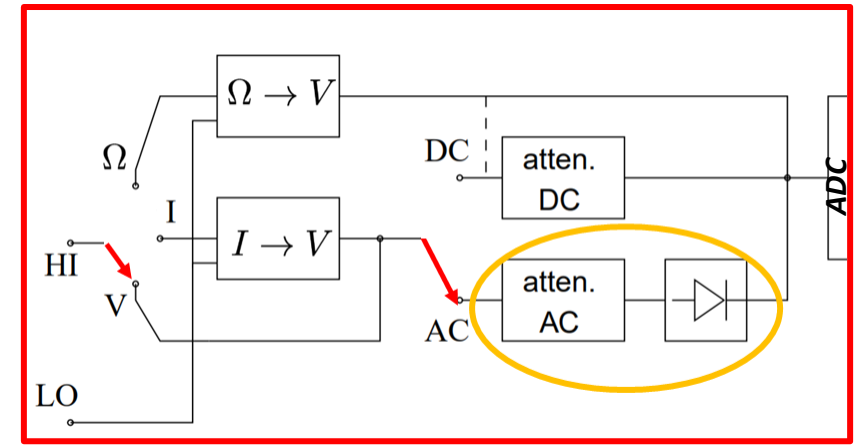
$I = C \frac{dV}{dt}$     $V = L \frac{dI}{dt}$

**TEST DI VALORE EFFICACE SEGNALE IN CIRCUITI DI SISTEMI BIOMEDICALI**



- Nei multimetri è prevalente l'impiego di circuiti analogici che convertono il segnale alternato di ingresso in una **tensione continua proporzionale al suo valore efficace**. Tali circuiti prendono il nome di **convertitori RMS-DC**.

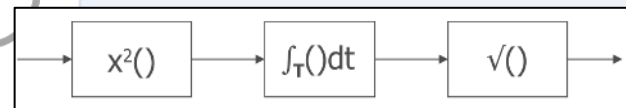
## COME VIENE IMPLEMENTATA NEI MULTIMETRI QUESTA FUNZIONE?



### CONVERTITORI TRUE – RMS

### CONVERTITORI RMS TRAMITE VALOR MEDIO

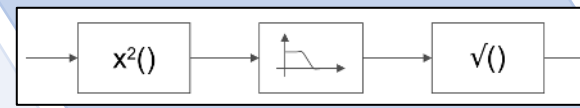
#### APPROCCIO ANALITICO



#### METODO 0

riprodurre i passaggi analitici (quadrato, integrale e radice quadrata) con 3 elementi funzionali analogici

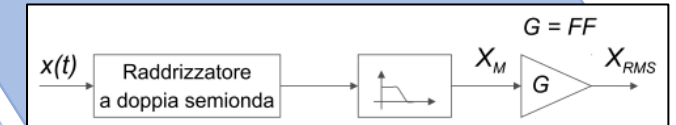
#### APPROCCIO ANALITICO APPLICATO



#### METODO 1

sostituire all'integratore complicato da sincronizzare un **filtro passa basso**, che conservi solo la componente continua pari a  $X_{RMS}^2$

#### APPROCCIO PRATICO PIU' SEMPLICE



#### METODO 2

Passare attraverso il calcolo **del valor medio convenzionale**, e poi da quello calcolare il valore RMS tramite il fattore di forma

IP: FENOMENI PERIODICI CON ANDAMENTI **APPROSSIMATIVAMENTE SINUSOIDALI**

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} x^2(t) dt}$$

# Funzioni di un multimetro digitale: **convertitori a valore efficace**

CONVERTITORI TRUE - RMS

CONVERTITORI RMS TRAMITE VALOR MEDIO

## METODO 0

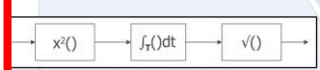
### Convertitori true-rms «analitici»

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} x^2(t) dt}$$

## METODO 0:

*difficoltoso e poco conveniente nella pratica perchè sarebbe necessario sincronizzare l'integratore con il periodo del segnale misurato e riazzeroarlo a ogni fine periodo.*

### APPROCCIO ANALITICO



#### METODO 0

riprodurre i passaggi analitici (quadrato, integrale e radice quadrata) con 3 elementi funzionali analogici

### APPROCCIO ANALITICO APPLICATO



#### METODO 1

sostituire all'integratore complicato da sincronizzare un filtro passa basso, che conservi solo la componente continua pari a  $X_{RMS}^2$

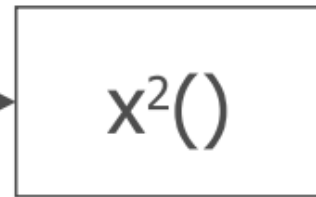
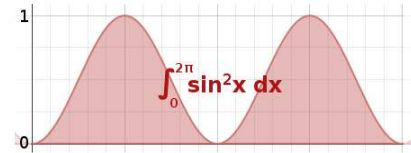
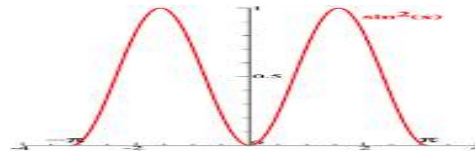
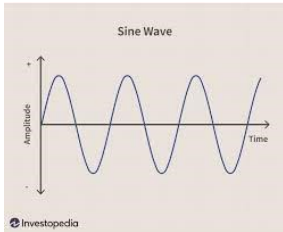
### APPROCCIO PRATICO PIU' SEMPLICE



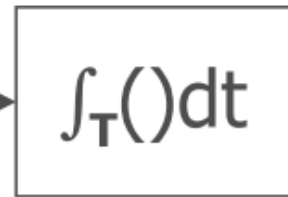
#### METODO 2

Passare attraverso il calcolo del **valor medio convenzionale**, e poi da quello calcolare il valore RMS tramite il fattore di forma

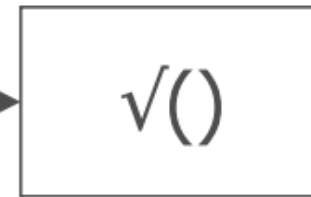
IP: FENOMENI PERIODICI CON ANDAMENTI APPROSSIMATIVAMENTE SINUSOIDALI



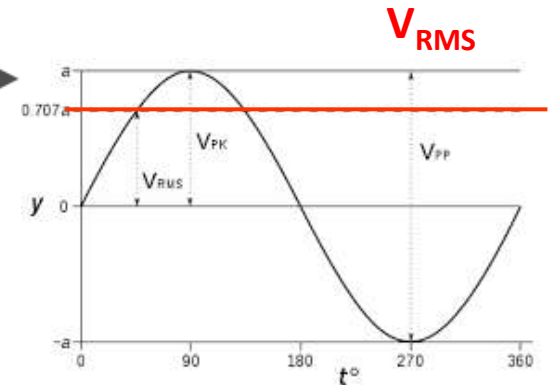
1) Blocco che fornisca una **tensione di uscita proporzionale al quadrato** di quella di ingresso



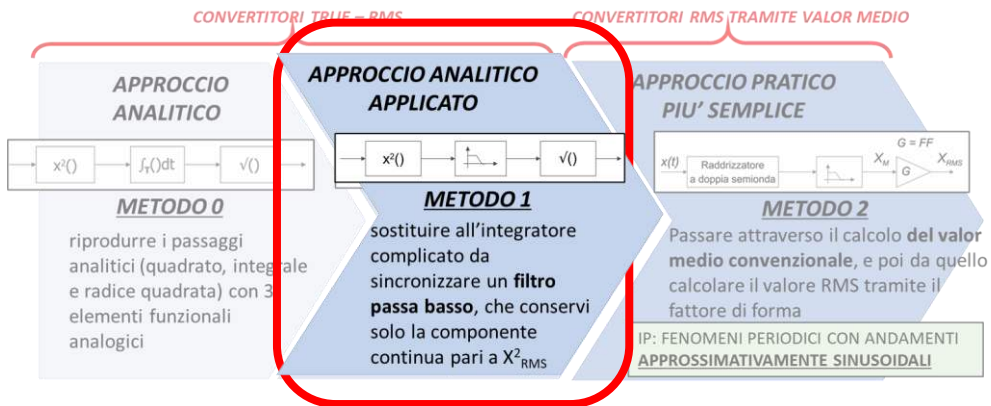
2) **Blocco integratore sincronizzato con il segnale da misurare**, in modo che il periodo di integrazione coincida esattamente con il periodo del segnale



3) Blocco che fornisca in uscita una **tensione proporzionale alla radice quadrata dell'elemento di ingresso**



# Funzioni di un multimetro digitale: **convertitori a valore efficace**



## METODO 1

### Convertitori true-rms «applicati»

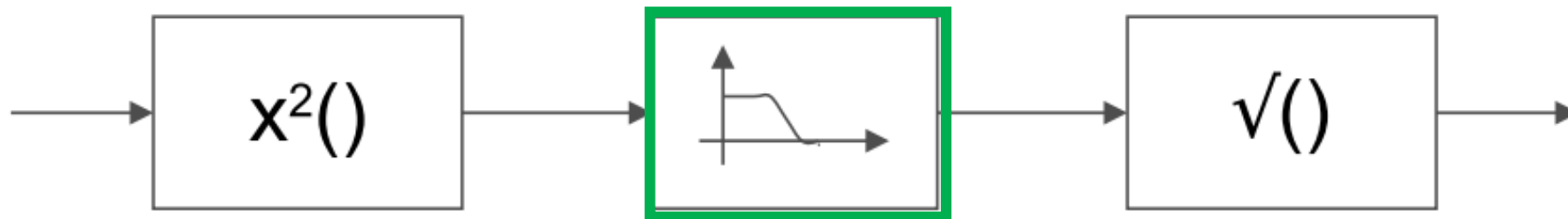
Serie di Fourier e suo RMS per generico segnale  $x(t)$

$$x(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{+\infty} A_k \sin\left(\frac{2\pi k}{T}t + \phi_k\right) \quad X_{RMS} = \sqrt{A_0^2 + \sum_{k=1}^{+\infty} \frac{A_k^2}{2}}$$

$$x^2(t) = A_0^2 + \sum_{k=1}^{+\infty} \frac{A_k^2}{2} + \sum_{k=1}^{+\infty} \frac{A_k^2}{2} \cos\left(\frac{4\pi k}{T}t + 2\phi_k\right) + \sum_{j,k=1, j \neq k}^{+\infty} \frac{A_j A_k}{2} \left\{ \cos\left[\frac{2\pi(j-k)}{T}t + \phi_j - \phi_k\right] + \cos\left[\frac{2\pi(j+k)}{T}t + \phi_j + \phi_k\right] \right\}$$

$X_{RMS}^2$

la **componente continua di  $x^2(t)$**  è pari a  $X_{RMS}^2$ , mentre i termini cosinusoidali hanno frequenza superiore alla fondamentale  $f_1 = 1/T$  del segnale  $x$ , e quindi possono essere filtrati con un passa basso.



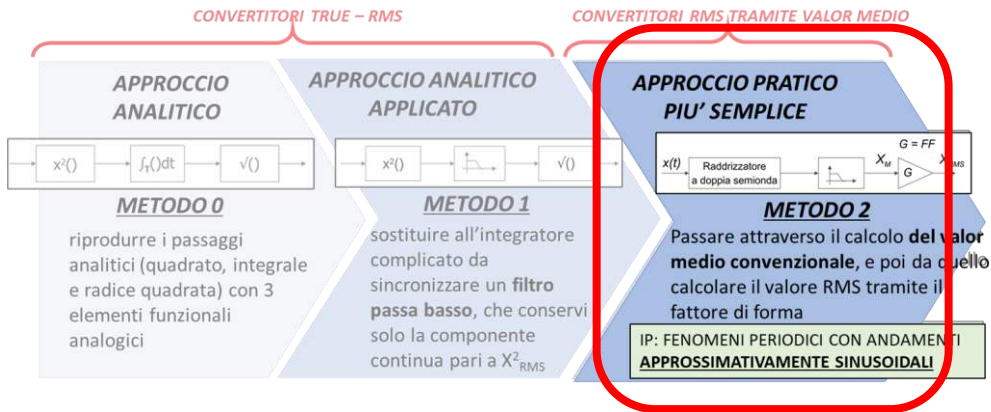
- Possibile sostituire all'integratore sincronizzato un **filtro passa basso** con frequenza di taglio **molto piccola e forte attenuazione alle frequenze più elevate** per isolare  $X_{RMS}^2$
- Molto più conveniente a livello circuitale

## **METODO 1:**

**molto utilizzato nella strumentazione e realizzato con una varietà di soluzioni circuitali, presenta come unica condizione necessaria che la frequenza fondamentale di  $x(t)$  sia superiore alla frequenza di taglio del filtro passa basso.**



# Funzioni di un multimetro digitale: **convertitori a valore efficace**




$$x(t) = A_1 \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \phi_1\right)$$

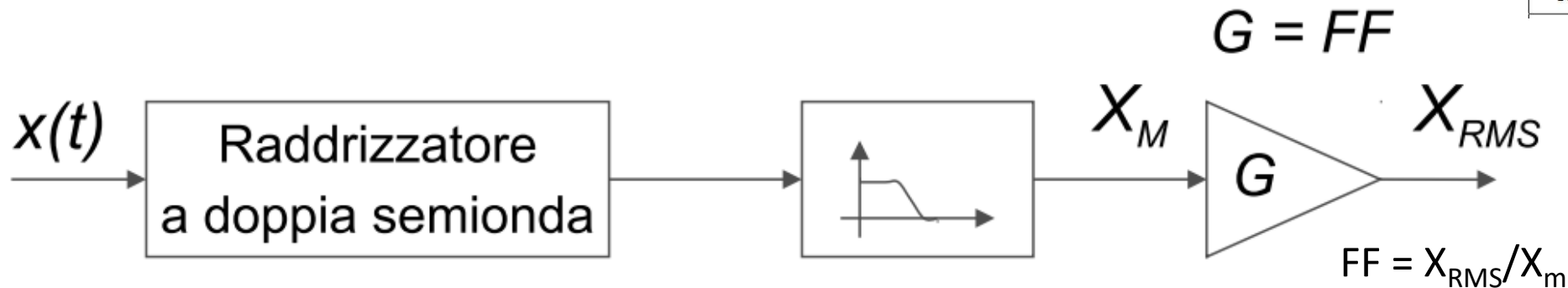
*Serie di Fourier di una sinusoide*

$X_m$

$$|x(t)| = \frac{2A_1}{\pi} \left[ 1 + \sum_{k=1}^{+\infty} \frac{(-1)^{k+1}}{4k^2 - 1} \cos 2k \left( \frac{2\pi}{T}t + \phi_1 \right) \right]$$

la componente continua di  $|x(t)|$  corrisponde al valor medio  $X_m$  di  $x(t)$ ; gli altri termini hanno frequenza superiore al doppio della frequenza  $f_1 = 1/T$  del segnale sinusoidale  $x(t)$ .

$x(t)$	
$X_{RMS}$	$\frac{A_0}{\sqrt{2}}$
$X_m$	$\frac{2A_0}{\pi}$



- Possibile ottenere  $|x(t)|$  con un **raddrizzatore a doppia semionda**, con un **filtro passa basso** isolare il valor medio e con un **amplificatore dal guadagno** pari al fattore di forma di un'onda sinusoidale ottenere il valore efficace

## METODO 2

### Convertitori rms «tramite valor medio»

Ip: grandezze alternate che varino secondo andamenti approssimativamente sinusoidali

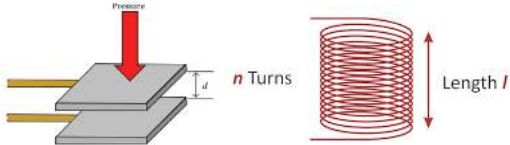
## **METODO 2:**

molto utilizzato nella strumentazione, di più semplice realizzazione, a patto che il segnale valutato possa essere ricondotto ad un andamento sinusoidale

# Funzioni di un multimetro digitale: **misura di correnti alternate**

## Esempi di applicazione pratica...

### CARATTERIZZAZIONE DI SENSORI CAPACITIVI E INDUTTIVI



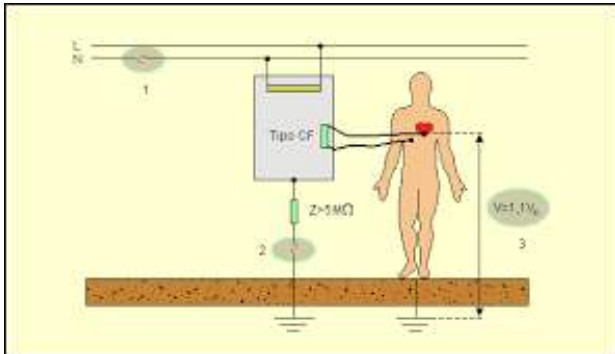
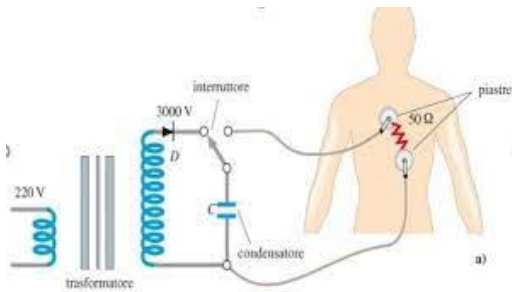
$$C = \frac{Q}{V} = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

$$L = \mu_0 \mu_r \frac{A}{l} \cdot n^2$$

$$I = C \frac{dV}{dt}$$

$$V = L \frac{dI}{dt}$$

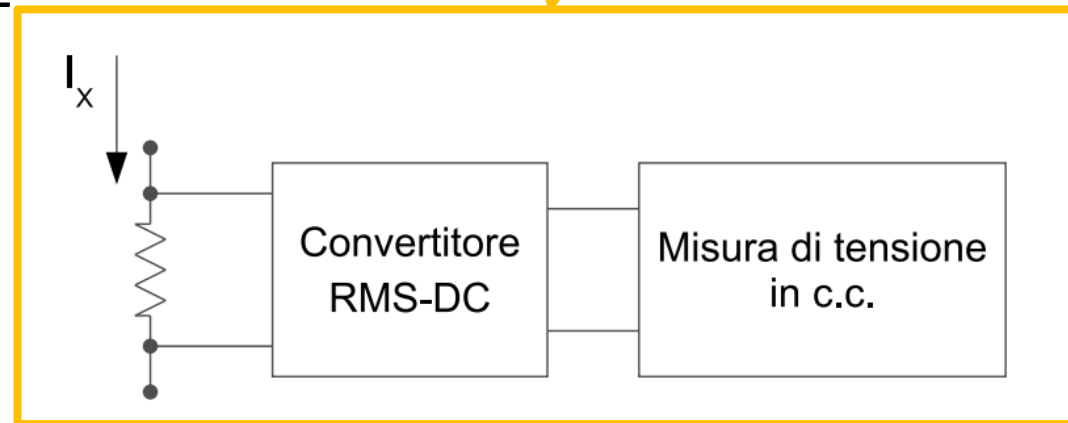
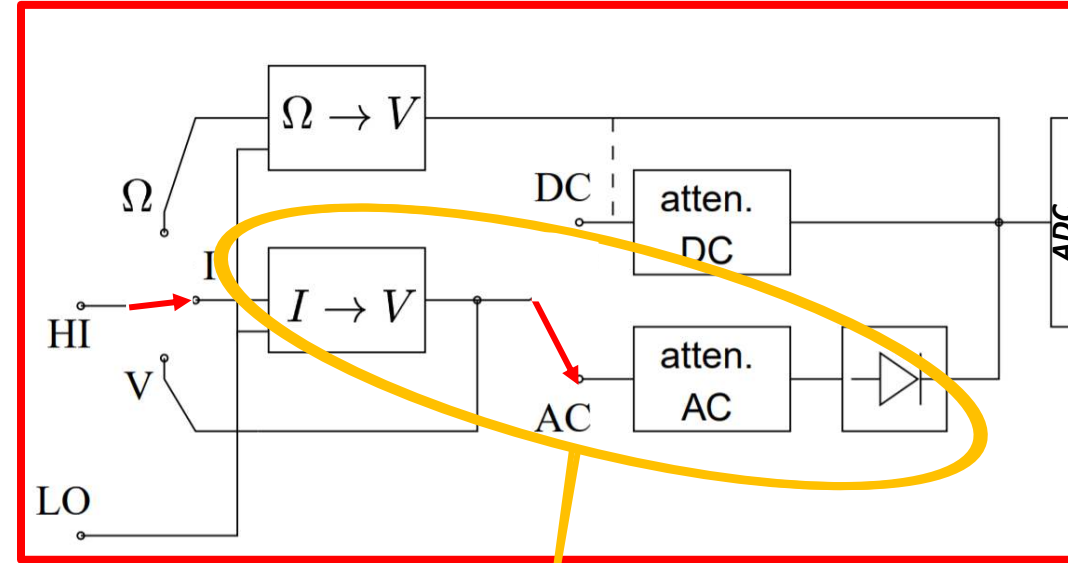
### TEST DI VALORE EFFICACE SEGNALI IN CIRCUITI DI SISTEMI BIOMEDICALI



➤ Per eseguire le stesse misure viste precedentemente su di **correnti** anzichè tensioni è necessario procedere in due fasi:

- 1) Utilizzare il **derivatore di corrente**, convertendo prima la corrente in una tensione alternata
- 2) Utilizzare il **convertitore RMS-DC** che riceve la tensione incognita e può effettuare la conversione a corrente continua con i metodi a vero valore efficace o a valore medio a seconda della forma d'onda.

➤ Oltre alle stesse considerazioni per correnti continue, In aggiunta è necessario **tenere conto dell'eventuale sfasamento** tra tensione e corrente che lo shunt può introdurre e verificare che questo sia sufficientemente piccolo.



# Take home messages

---

## MULTIMETRO DIGITALE: SPECIFICHE

- I multimetri digitali (DMM) sono strumenti numerici per la misurazione sia di tensioni e correnti, continue ed alternate, sia di resistenze.
- Le principali specifiche che caratterizzano le prestazioni dello strumento sono: **risoluzione**, minima variazione del misurando che lo strumento è in grado di rilevare, rappresentata in termini di numero di cifre che si utilizzano per mostrare il risultato; **accuratezza**, quasi sempre descritta come incertezza composta da due termini caratterizzati da parametri specifici per range di frequenze dell'ingresso e validi per specifici tempi, temperature e umidità.

---

## ARCHITETTURA E FUNZIONI PRINCIPALI DI UN MULTIMETRO

- Lo schema funzionale generale di un DMM si compone di un convertitore A/D con adeguata risoluzione ed accuratezza con tempi di conversione relativamente ridotti unito a vari elementi la cui interconnessione può variare a seconda della funzione di misura scelta dall'utilizzatore.
  - La misura di tensioni avviene direttamente, semplicemente adattando l'ampiezza all'ADC tramite opportuni amplificatori/attenuatori, mentre la misura di corrente è possibile previa trasformazione in una tensione con una resistenza definita di shunt.
  - Per la misura di grandezze alternate sono utilizzati blocchi che permettono di calcolarne in valore efficace o valor medio tramite l'utilizzo di filtri passa bassi e raddrizzatori. Per la scelta del miglior sistema è opportuno far riferimento alla possibilità o meno
-