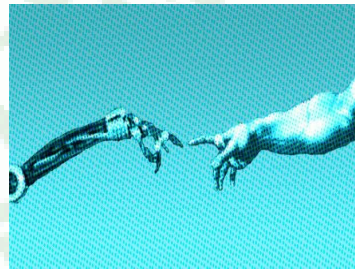




**DIE** **UNIVERSITA'** DEGLI STUDI DI  
**TI** **NA** POLI FEDERICO II

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ELETTRICA  
E DELLE TECNOLOGIE DELL'INFORMAZIONE

# DMM Digital MultiMeter



**DIE** **UNIVERSITA'**  
**TI** **NA**

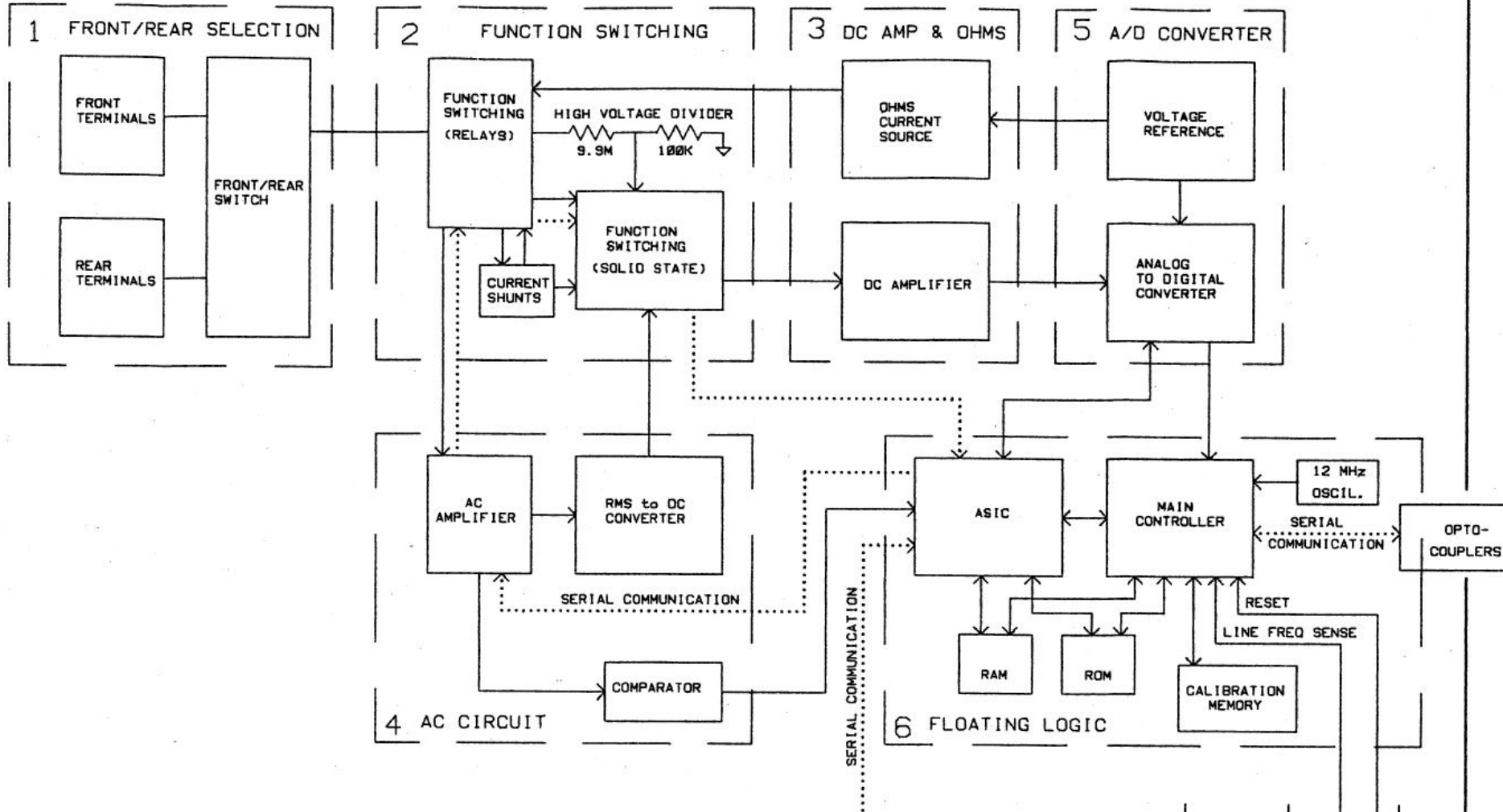
# Digital Multimeter

## Outline

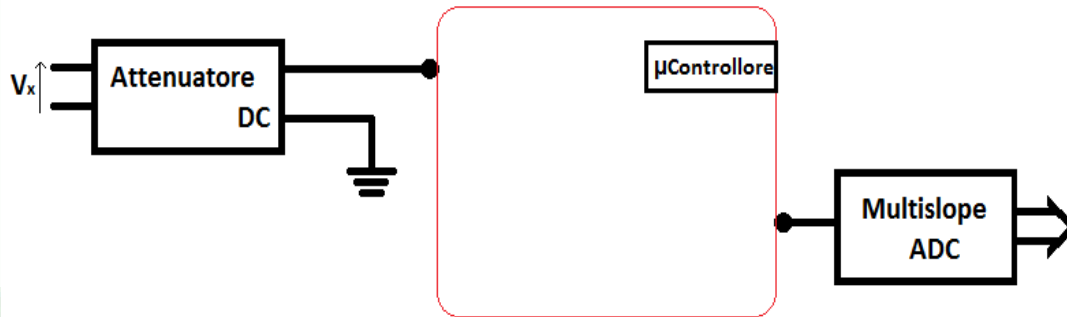
- **Misurazioni di Tensioni**
  - **DC**
  - **AC**
- **Misurazioni di Corrente**
- **Misurazioni di Resistenza**
  - **a 2 fili**
  - **a 4 fili**

# DMM: Architettura

FLOATING CIRCUITRY



# DMM: Misurazioni di Tensioni DC



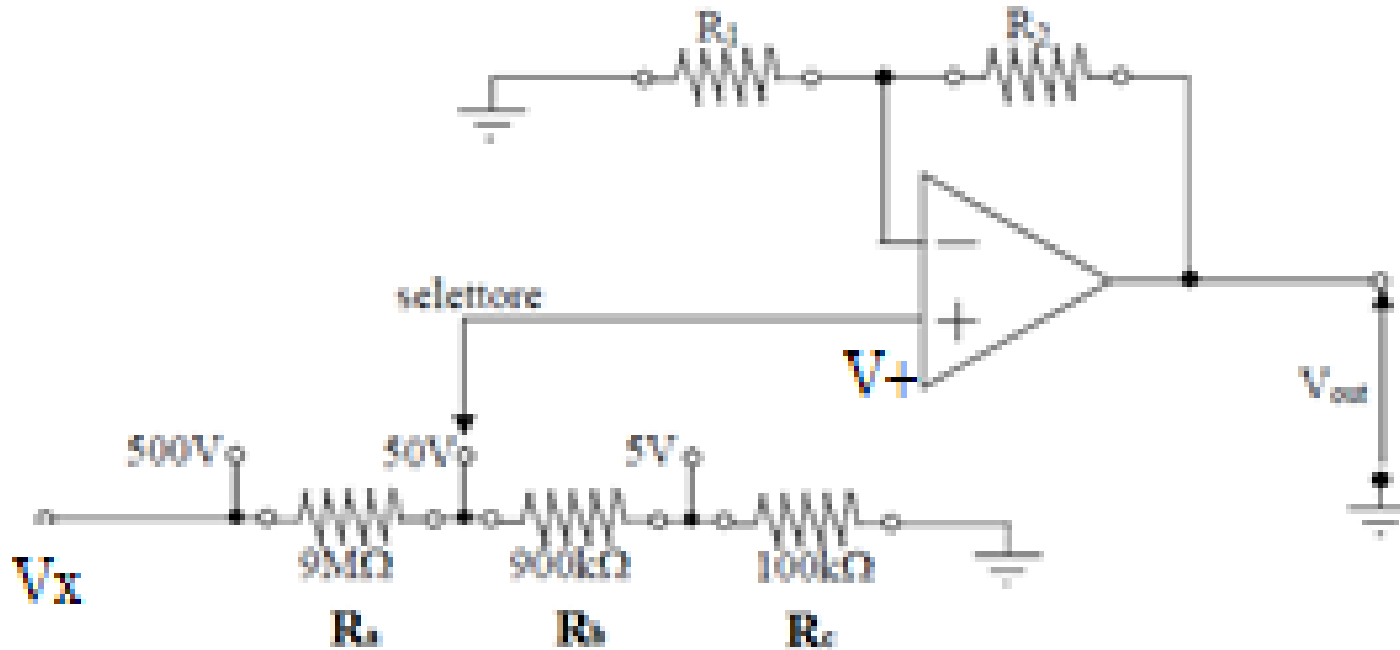
Per effettuare misurazioni di **tensioni in continua**,  $V_x$ , si ricorre ad un'architettura come quella mostrata in figura.

La rete attenuatrice in ingresso (*Attenuatore DC*) ha lo scopo di ridurre i segnali di tensione affinché essi possano assumere valori sopportabili dai circuiti elettronici a valle.

Il segnale in uscita dall'attenuatore viene applicato in ingresso al convertitore analogico/digitale (ADC doppia rampa/multislope), mediante un sistema, il microcontrollore, che il compito di istradare il segnale in uscita dall'attenuatore verso l'ingresso dell' ADC.

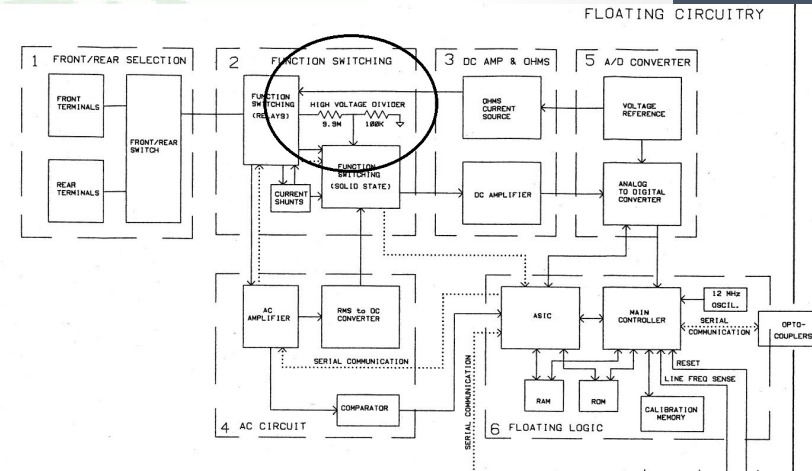
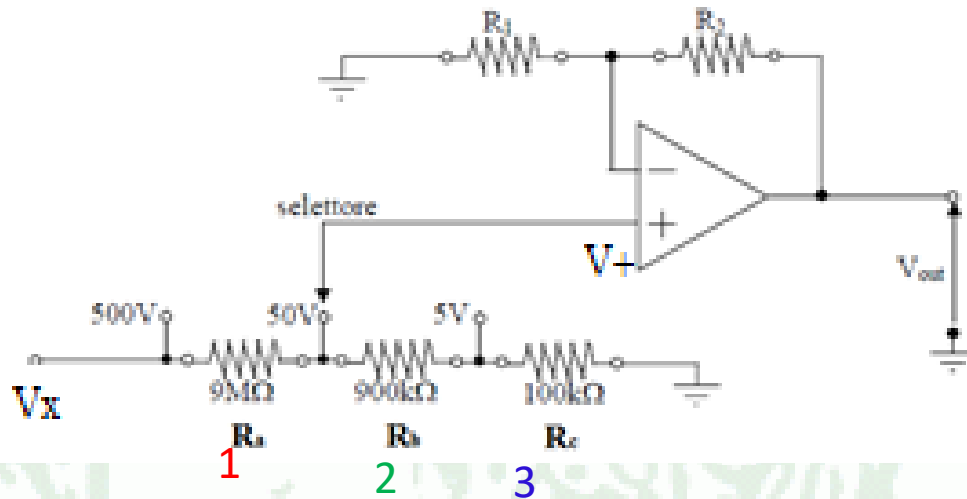
I voltmetri che si trovano in commercio hanno un valore di fondo scala almeno pari ai 100mV; tale valore può essere ampliato introducendo dei fattori di conversione (passando così da un valore di fondo scala pari a 100mV fino a un valore di fondo scala pari a 1000V).

# DMM: Rete attenuatrice



L'attenuatore in continua può essere rappresentato mediante un partitore resistivo (dove, come esempio, sono state poste in serie le resistenze di 9M $\Omega$ , 900k $\Omega$  e 100k $\Omega$ , ottenendo così una resistenza equivalente di 10M $\Omega$ ) collegato ad un amplificatore operazionale in configurazione non invertente; sul morsetto non invertente dell'amplificatore è applicata una tensione  $V_+$ .

# DMM: Rete attenuatrice



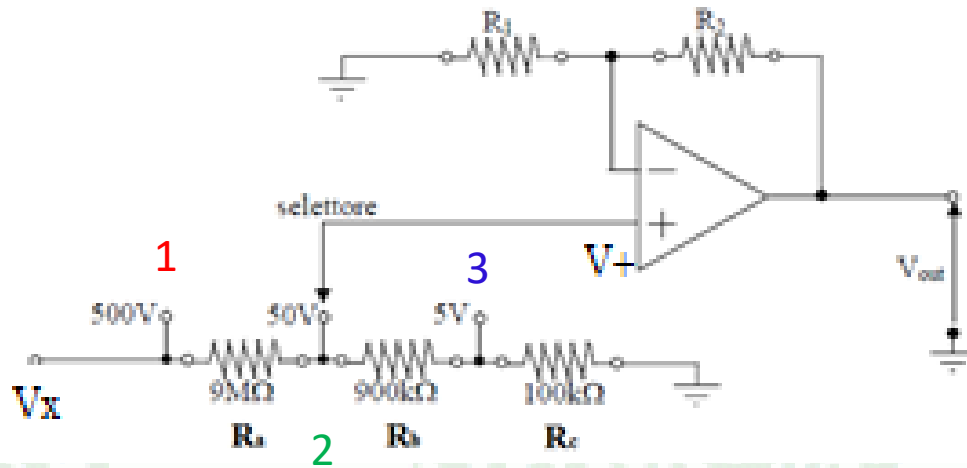
Quest'ultima è la tensione che il selettore preleva da una delle tre posizioni contraddistinte.

La tensione  $V_{out}$ , continua, per il principio di cortocircuito virtuale si può esprimere come:

$$V_{out} = I(R_1 + R_2) = \frac{V_+}{R_1} (R_1 + R_2) = kV_x \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

Dove  $k$  è il rapporto di partizione associato alla posizione su cui è prelevata la tensione.

# DMM: Rete attenuatrice



In posizione **1**  
 $k = \frac{R_a + R_b + R_c}{R_{tot}} = \frac{R_{tot}}{R_{tot}} = 1 \Rightarrow \text{non c'è guadagno}$

In posizione **2**  
 $k = \frac{R_b + R_c}{R_{tot}} = \frac{(900 + 100)k\Omega}{10M\Omega} = \frac{1000k\Omega}{10M\Omega} = \frac{1M\Omega}{10M\Omega} = \frac{1}{10}$

In posizione **3**  
 $k = \frac{R_c}{R_{tot}} = \frac{100k\Omega}{10M\Omega} = \frac{100k\Omega}{10^4k\Omega} = \frac{1}{100}$

# DMM: Rete attenuatrice

La rete attenuatrice in AC è distinta dalla rete attenuatrice in DC poiché dovremmo avere in quest'ultima dei comportamenti resistivi puri a tutte le frequenze.

Ciò risulta praticamente impossibile a causa di comportamenti parassiti (induttivi o capacitivi) indesiderati.

Nel caso di un attenuatore AC si realizza il partitore con delle impedenze formate da capi RC posti in cascata.

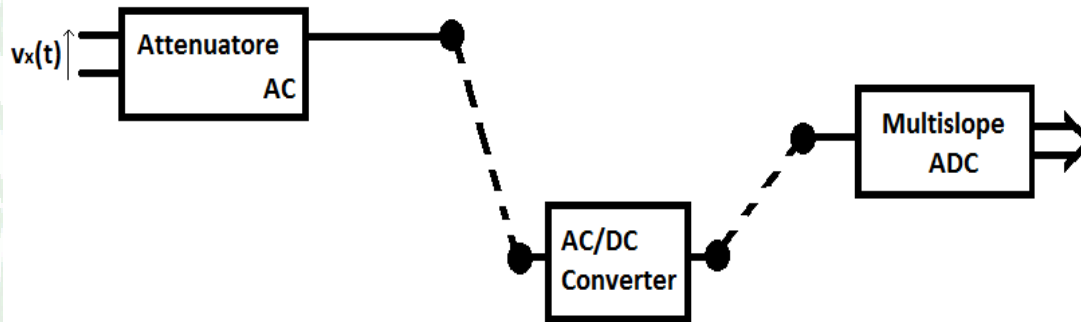
Generalmente i morsetti per la misura della tensione in DC e AC sono gli stessi. E' pertanto fondamentale la funzione di routing del  $\mu\text{C}$  che instrada il segnale da misurare verso la circuiteria di misura corretta una volta che l'utente ha selezionato la tipologia di misura da effettuare.

Prelevato il segnale dall'attenuatore AC il  $\mu\text{C}$  lo porta ad un convertitore AC/DC il quale ricorre al montaggio differenziale di termocoppie. (TRMS DMM)

A partire dalla grandezza alternata condizionata questo blocco fornisce una uscita continua e proporzionale alla  $V_{\text{rms}}$  dell'ingresso.

Pertanto l'uscita dell'AC/DC è poi posta in ingresso al multislope che effettua la misura.

# DMM: Misurazioni di Tensioni AC



Per effettuare misurazioni di **tensioni in alternata**,  $v_x(t)$ , si ricorre ad un'architettura come quella mostrata sopra.

È presente un attenuatore AC, il quale ha ancora lo scopo di ridurre i segnali di tensione affinché essi possano assumere valori sopportabili dai circuiti elettronici a valle.

Nelle misurazioni di tensione in AC il circuito d'ingresso prevede un'ulteriore importante sezione circuitale costituita dal convertitore AC/DC: esso è un convertitore che produce in uscita un segnale di tensione continuo con valore pari al valore efficace del segnale applicato in ingresso  $V_{rms}$ .

# DMM: Misurazione di corrente

Il problema della misurazione di correnti, sia in regime continuo che alternato, si riconduce al problema della misurazione di una tensione continua.

Nella misurazione di correnti continue è necessario prelevare la grandezza di interesse e trasdurla in una tensione proporzionale alla corrente in ingresso.

Il trasduttore può essere costituito da uno o più componenti resistivi; ciò perché se al suo ingresso è applicata una corrente molto debole o molto elevata essa deve essere rielaborata affinché la tensione associata sia misurabile e sia consona ai blocchi ai quali è posta in ingresso.

Sono scelte:

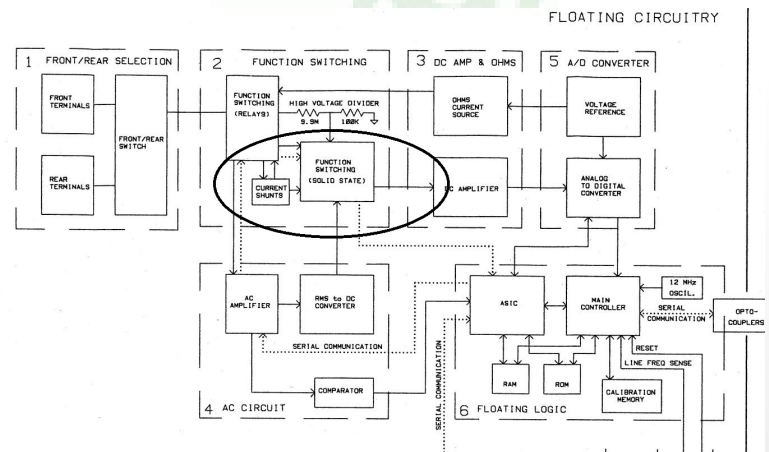
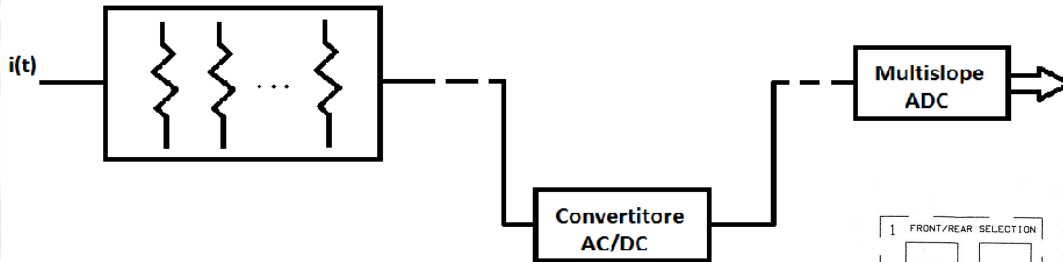
resistenze elevate per poter misurare correnti deboli  
resistenze piccole per poter misurare correnti elevate.

A questo punto, a partire dal valore di tensione misurata, noto il valore del resistore usato per la trasduzione, si ottiene la corrente incognita  $I_x$

# DMM: Misura di corrente

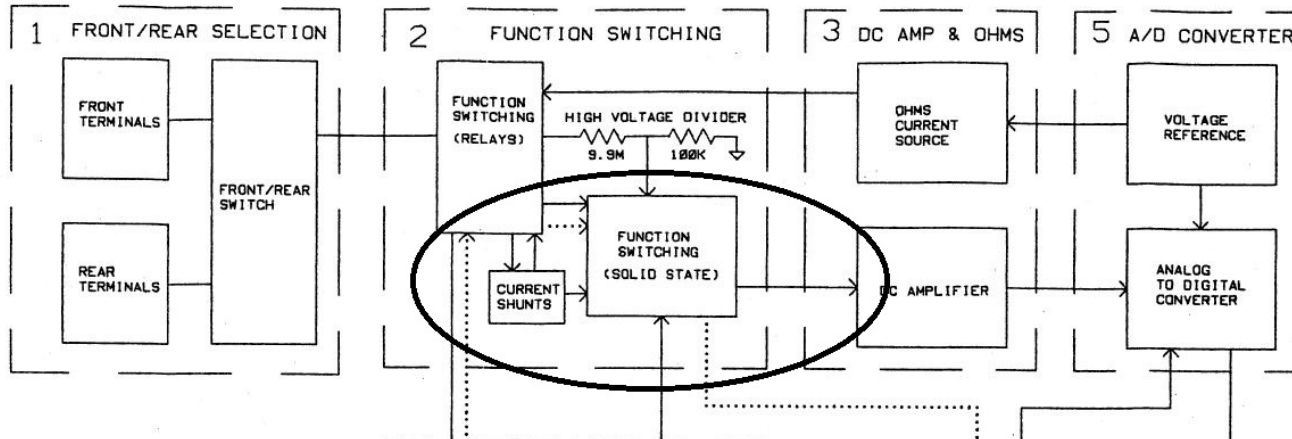
Se siamo in grado di garantire al trasduttore comportamenti puramente resistivi (assenza di componente reattive) utilizzo lo stesso sistema per trasformare la corrente in tensione.

A questo punto l'uscita del trasduttore subisce prima una conversione AC/DC che fornisce una tensione continua rappresentata dal valore efficace di quella in ingresso; questa tensione verrà misurata e divisa per il valore del resistore di trasduzione ottenendo così il valore efficace della corrente ( $I_{rms}$ ) di interesse.



# DMM: Misura di corrente

FLOATING CIRCUITRY



In the DC current function, a current is applied between the Input I and LO terminals. Ranging is accomplished by relay K102 and amplifier gain switching in U101. Since a known resistor (the shunt resistor) is connected between these terminals, a voltage proportional to the unknown current is generated. The voltage sensed at R121 is measured by the multimeter's dc circuitry. The table below illustrates the dc current measuring function configurations.

| DCI Range | Shunt Resistor | U101-10 Input | Amplifier Gain | ADC Input |
|-----------|----------------|---------------|----------------|-----------|
| 3A        | 0.1 $\Omega$   | 300 mV        | x10            | 3V        |
| 1A        | 0.1 $\Omega$   | 100 mV        | x100           | 10V       |
| 100 mA    | 5.1 $\Omega$   | 510 mV        | x10            | 5.1V      |
| 10 mA     | 5.1 $\Omega$   | 51 mV         | x100           | 5.1V      |

# DMM: Misurazione di resistenza

La misurazione della resistenza  $R_x$  è effettuata solo in regime continuo.

Se si vuole caratterizzare la misura di un dipolo in regime alternato si deve tener conto degli effetti reattivi. Per far ciò si utilizzano altri strumenti di misura basati su schemi differenti (LCR meter o impedenzimetri numerici).

Ricordiamo che la resistenza è una grandezza fisica misurabile solo per via indiretta, pertanto dovrà essere sottoposta ad un forzamento affinché espliciti la sua natura. Nel nostro caso il forzamento sarà in corrente.

Il resistore  $R_x$  è collegata ad un blocco il quale contiene al suo interno un generatore di corrente  $I$  continua e regolabile\*.

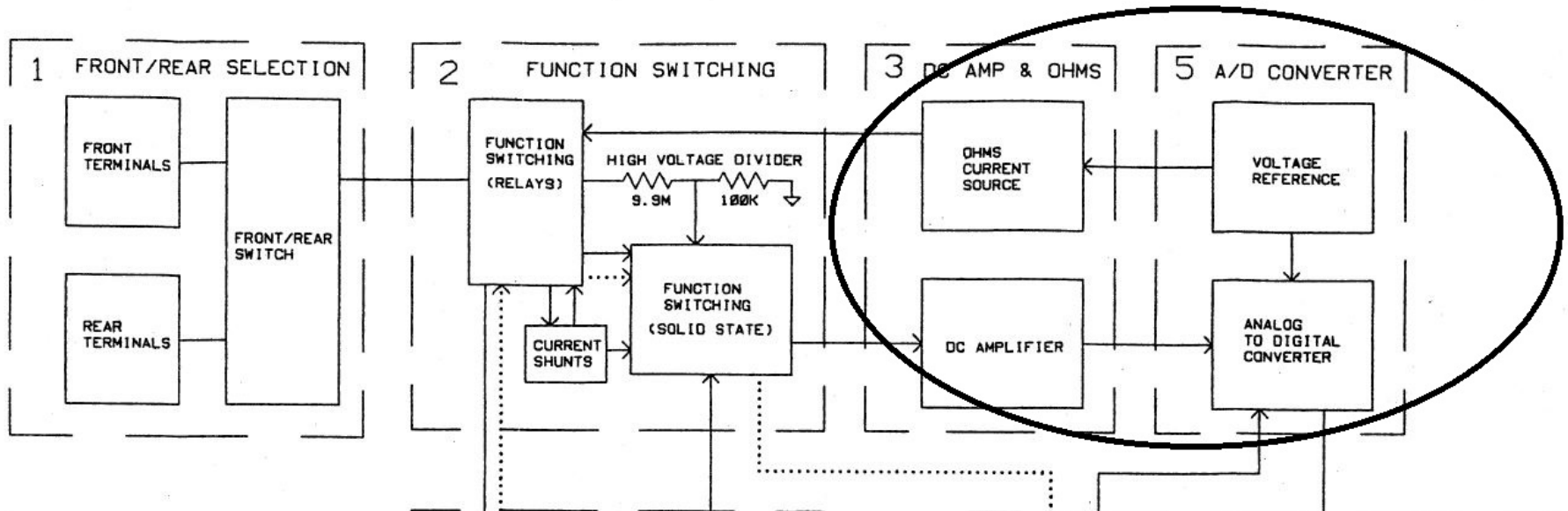
L'uscita dal blocco sarà una tensione  $V_{DC}$ , anch'essa continua, la quale rappresenta la caduta di potenziale ai capi della resistenza  $R_x$ . La tensione verrà poi posta in ingresso ad un voltmetro multislope ADC.

Misurata la tensione continua  $V_{DC}$ , per ottenere la resistenza  $R_x$  è necessario dividere la tensione  $V_{DC}$  per la corrente continua  $I$ .

\*Ciò per poter regolare la misurazione della tensione in relazione al fattore di fondoscala: se la resistenza in ingresso è piccola verrà scelta una corrente di intensità elevata, viceversa se la resistenza in ingresso è elevata verrà scelta una corrente di piccola intensità.

# DMM: Misurazione di resistenza

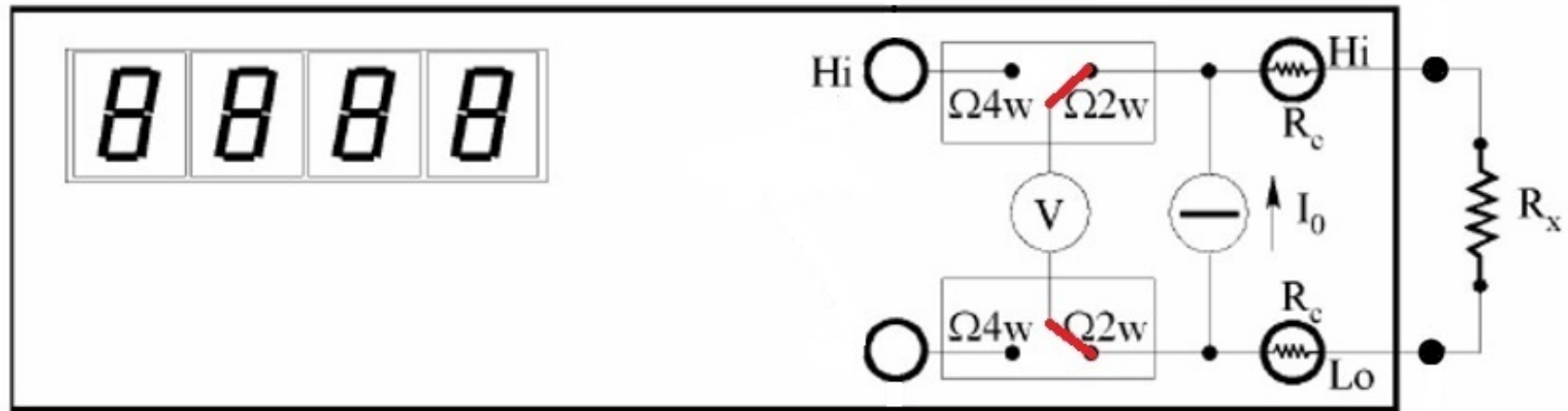
FLOATING CIRCUITRY



## Ohms Current Source

The ohms current source (schematic shown on page 9-10) flows from the Input HI terminal to the Input LO terminal for both the 2-wire and 4-wire ohms functions. Each current value is generated by forcing a stable, precise voltage across a stable resistance. The value of the current becomes part of the range gain constant stored during calibration.

# DMM: Misurazione di resistenza a 2 fili ( 2 Wire )



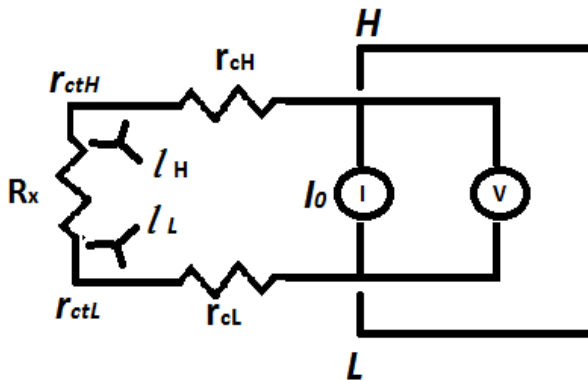
Questo metodo di misura permette di ottenere misurazioni di resistenze di valore medio (da  $1\Omega$  a  $1\text{ M}\Omega$ ) con un'accuratezza non molto elevata.

# DMM: Misurazione di resistenza 2w

La resistenza da misurare  $R_x$  è collegata a due resistenze,  $r_{cH}$  e  $r_{cL}$ , dette resistenze di collegamento, le quali rappresentano la resistenza dei cavi di collegamento che collegano la grandezza in uscita  $V$  alla grandezza in ingresso  $R_x$ .

In presenza di cavi di collegamento realizzati con materiali diversi e, in particolare, in corrispondenza del punto di contatto tra i due cavi si realizza una giunzione (termocoppia), la quale dà luogo a resistenze di contatto ( $r_{ctL}$  e  $r_{ctH}$ ) e produce le f.e.m. di contatto  $l_L$  e  $l_H$ .

Questo metodo presenta l'inconveniente di misurare oltre alla caduta di tensione ai capi della resistenza  $R_x$  anche altre grandezze come la caduta di tensione dovuta alla resistenza dei conduttori di collegamento ( $r_{cH}$  e  $r_{cL}$ ), la caduta di tensione dovuta alla resistenza dei contatti ( $r_{ctL}$  e  $r_{ctH}$ ) e alle forze elettromotrici di contatto ( $l_L$  e  $l_H$ , le quali sono diverse poiché le resistenze di contatto sono diverse).



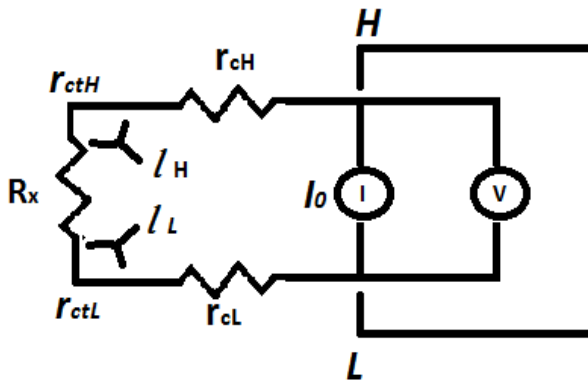
$$V = (R_x + r_{ctH} + r_{ctL} + r_{cL} + r_{cH}) * I_0 + (l_L - l_H)$$

# DMM: Misurazione di resistenza 2w

La resistenza da misurare  $R_x$  è collegata a due resistenze,  $r_{cH}$  e  $r_{cL}$ , dette resistenze di collegamento, le quali rappresentano la resistenza dei cavi di collegamento che collegano la grandezza in uscita  $V$  alla grandezza in ingresso  $R_x$ .

In presenza di cavi di collegamento realizzati con materiali diversi e, in particolare, in corrispondenza del punto di contatto tra i due cavi si realizza una giunzione (termocoppia), la quale dà luogo a resistenze di contatto ( $r_{ctL}$  e  $r_{ctH}$ ) e produce le f.e.m. di contatto  $l_L$  e  $l_H$ .

Questo metodo presenta l'inconveniente di misurare oltre alla caduta di tensione ai capi della resistenza  $R_x$  anche altre grandezze come la caduta di tensione dovuta alla resistenza dei conduttori di collegamento ( $r_{cH}$  e  $r_{cL}$ ), la caduta di tensione dovuta alla resistenza dei contatti ( $r_{ctL}$  e  $r_{ctH}$ ) e alle forze elettromotrici di contatto ( $l_L$  e  $l_H$ , le quali sono diverse poiché le resistenze di contatto sono diverse).



$$V = (R_x + r_{ctH} + r_{ctL} + r_{cL} + r_{cH}) * I_0 + (l_L - l_H)$$

# DMM: Misurazione di resistenza 2w

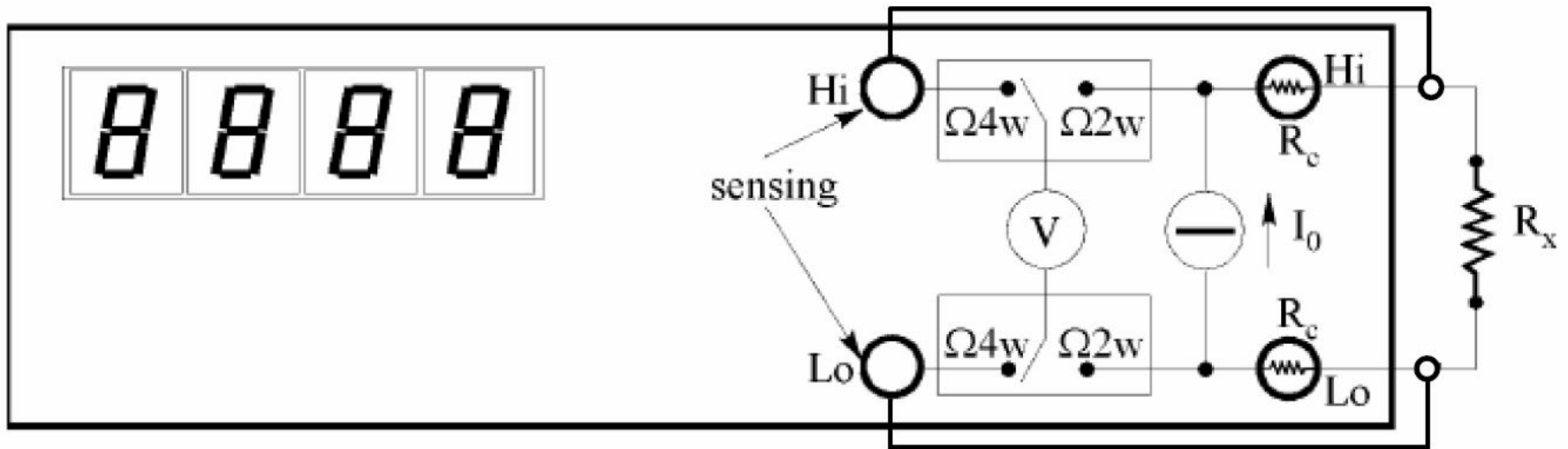
Per scorporare le resistenze di collegamento è necessario, prima di realizzare il collegamento con il dipolo di interesse  $R_x$ , **cortocircuitare i cavi di collegamento ed effettuare una misurazione dell'entità dei collegamenti.**

Il valore di questa misurazione viene salvato in una memoria tramite il comando NULL.

In seguito, effettuato il collegamento con la resistenza  $R_x$ , è eseguita la misurazione complessiva della resistenza ( $R_x + r_{ctH} + r_{ctL} + r_{cL} + r_{cH}$ ) ma con il comando NULL è possibile azzerare la misurazione della resistenza dei collegamenti così da poter ricavare la misura effettiva di  $R_x$ .

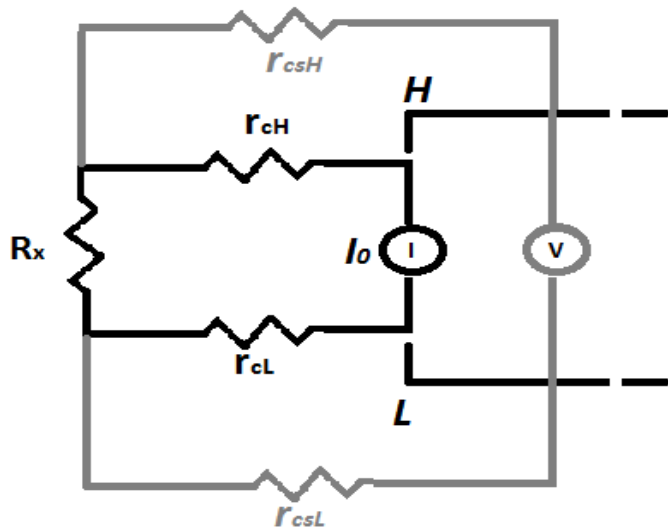
Questo metodo di misura è detto ***a due fili (two wire) in modalità NULL***, consente di ottenere una misurazione delle resistenze anche di basso valore ( $<1\Omega$ ).

# DMM: Misurazione di resistenza a 4 fili ( 4 Wire )



L'idea che sta alla base di questo schema è quella di far in modo che la caduta di tensione sulle resistenze di contatto sia tale da poter essere trascurata. Per far ciò si separa la rete di misura vista in precedenza in due maglie: una per l'iniezione della corrente nel resistore di valore incognito l'altra per la misura della tensione.

# DMM: Misurazione di resistenza a 4 fili ( 4 Wire )

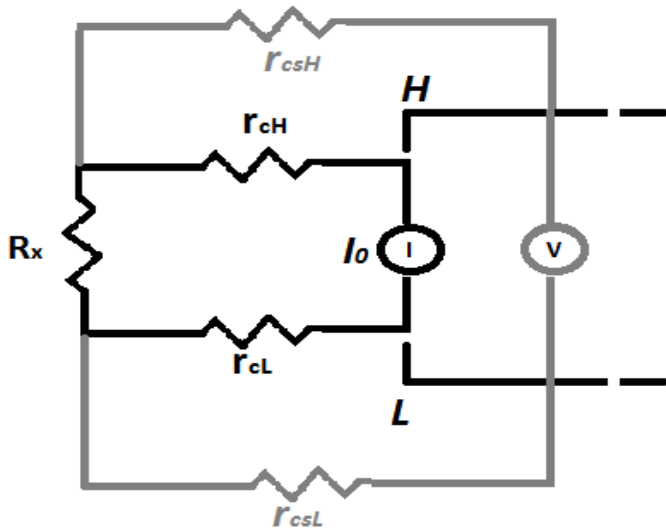


La resistenza da misurare  $R_x$  è collegata a due resistenze,  $r_{cH}$  e  $r_{cL}$ , dette resistenze di collegamento, le quali rappresentano la resistenza dei cavi di collegamento che collegano la grandezza  $I_0$  alla grandezza in ingresso  $R_x$ .

Inoltre la resistenza  $R_x$  è collegata a due resistenze,  $r_{csH}$  e  $r_{csL}$ , le quali rappresentano la resistenza dei *cavi di collegamento di sense* (in grigio) che collegano la grandezza in uscita  $V$  alla grandezza in ingresso  $R_x$ .

Si ottiene così un circuito costituito da 2 maglie: una maglia interna, detta *amperometrica*, e una maglia esterna, detta *voltmetrica* e nella quale non circola corrente. Infatti in questa maglia la corrente drenata sarà debolissima in quanto limitata dalla resistenza interna del voltmetro (10 M $\Omega$ )

# DMM: Misurazione di resistenza a 4 fili ( 4 Wire )



Lo strumento utilizza la maglia amperometrica per iniettare la corrente  $I_0$  nella resistenza incognita  $R_x$  e la maglia voltmetrica per la misura di tensione ai morsetti di *sense*.

Separando le due maglie ( $R_{eq,A} \ll R_{eq,V}$ ) è possibile neutralizzare gli effetti dovuti alle cadute di tensioni lungo i collegamenti che costituiscono la maglia amperometrica.

# DMM: Misurazione di resistenza

## Ampliamento del campo di impiego

È possibile collegare la resistenza  $R_x$  in parallelo alla resistenza  $R_{FS}$  (fondo scala nella misura di resistenza) e misurare la resistenza equivalente  $R_{mis}$ .

Il misurando, mediante la costruzione del parallelo, è ricondotto nel campo di impiego dello strumento.

Per ricavare  $R_x$  è necessario risolvere la seguente relazione rispetto  $R_x$ :

$$R_{mis} = R_x \parallel R_{FS} = \frac{R_x * R_{FS}}{R_x + R_{FS}}$$

$$\Rightarrow R_x + R_{FS} = \frac{R_x * R_{FS}}{R_{mis}}$$

$$\frac{R_x * R_{FS}}{R_{mis}} - R_x = R_{FS}$$

$$R_x \left( \frac{R_{FS}}{R_{mis}} - 1 \right) = R_{FS}$$

$$R_x = \frac{R_{mis} * R_{FS}}{R_{FS} - R_{mis}} > 0 \text{ poich\`e } R_{mis} < R_{FS}$$

# DMM: Misurazione di resistenza

## Ampliamento del campo di impiego

Resistance measurements are made by applying a known current through an unknown resistance. The resulting voltage drop across the unknown resistance is then measured by the multimeter's dc circuitry. The 100 M $\Omega$  range is measured using the known internal 10 M $\Omega$  resistance (U102A) in parallel with the unknown input resistance while applying the 500 nA current source. The result is computed from the measured data. The internal 10 M $\Omega$  resistance is determined whenever a zero calibration is performed.