

# MA0748 - FISICA PER I DISPOSITIVI IOT

Lorenzo Santi

*AA 2022/23 – Lezione 6 15/03/2023*

# Argomenti della lezione di oggi

- Strumenti di misura elettrici
  - Il voltmetro
  - Gli amperometri digitali
  - Gli ohmmetri

# Strumenti di misura elettrici

Sono dei dispositivi che servono a misurare correnti o tensioni in un ramo di un circuito elettrico.

Questi strumenti possono essere classificati in due categorie

- **Strumenti analogici.** Sono strumenti che sfruttano le proprietà del flusso di corrente in particolari configurazioni di conduttori, che permettono di misurare l'intensità di corrente circolante.  
Lo strumento base di questa categoria è un misuratore di corrente.
- **Strumenti digitali.** Sono strumenti in cui la tensione applicata ai capi dello strumento viene «convertita» in un valore numerico (**ADC, Analog to Digital Converter**). Lo strumento base di questa categoria è un misuratore di tensione.

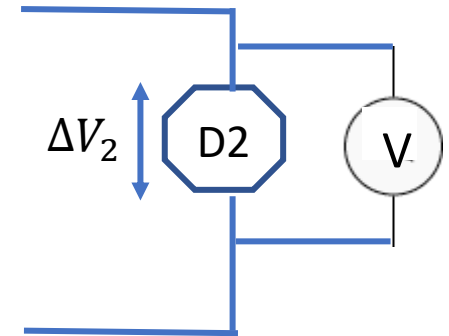
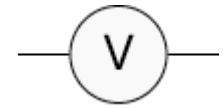
In questo corso esamineremo solo strumenti di tipo digitale, tra i quali il **voltmetro** (misuratore di tensione) è lo strumento fondamentale.

Vedremo poi come si può costruire l'**amperometro** (misuratore di corrente) utilizzando un voltmetro digitale.

# Il voltmetro

Il voltmetro è uno strumento (con simbolo circuitale rappresentato accanto) che ha la caratteristica di avere una resistenza estremamente grande.

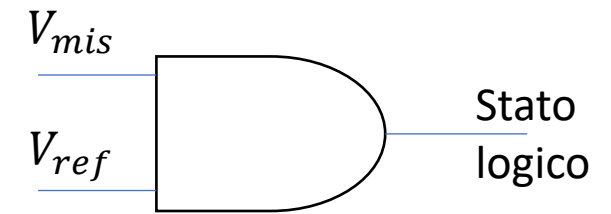
Viene collegato in parallelo al ramo di circuito di cui si vuole misurare la ddp. Il fatto che il voltmetro abbia una resistenza estremamente grande rende trascurabile la corrente in essa circolante e quindi la sua inserzione nel circuito non perturba il funzionamento di quest'ultimo.



Il funzionamento di un voltmetro digitale si basa sul confronto (**comparazione**) della tensione che si vuole misurare con quelle di una serie di tensioni di riferimento.

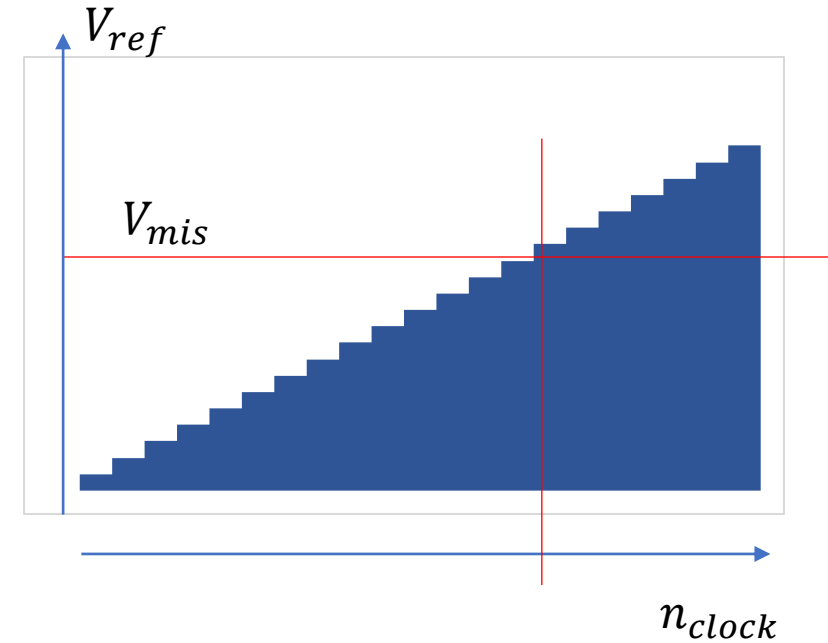
Il dispositivo che realizza questo confronto si chiama comparatore: ha in ingresso la tensione da misurare  $V_{mis}$  e quella di riferimento  $V_{ref}$ .

Mediante una logica interna, produce un segnale logico 0 se ad esempio  $V_{mis} > V_{ref}$ , 1 altrimenti.



Un modo semplice per usare il comparatore è quello di generare una rampa crescente in tensione come tensione di riferimento e rilevare l'istante di tempo (misurato in cicli di clock del dispositivo) nel quale il valore della rampa supera (o è uguale) a  $V_{mis}$ .

Dal numero di clock (con una opportuna taratura) si può risalire al valore di misura di  $V_{mis}$ .



Questo metodo di conversione però è lento. Il tempo di risposta è quello in cui la tensione di riferimento arriva al valore massimo (fondo scala).

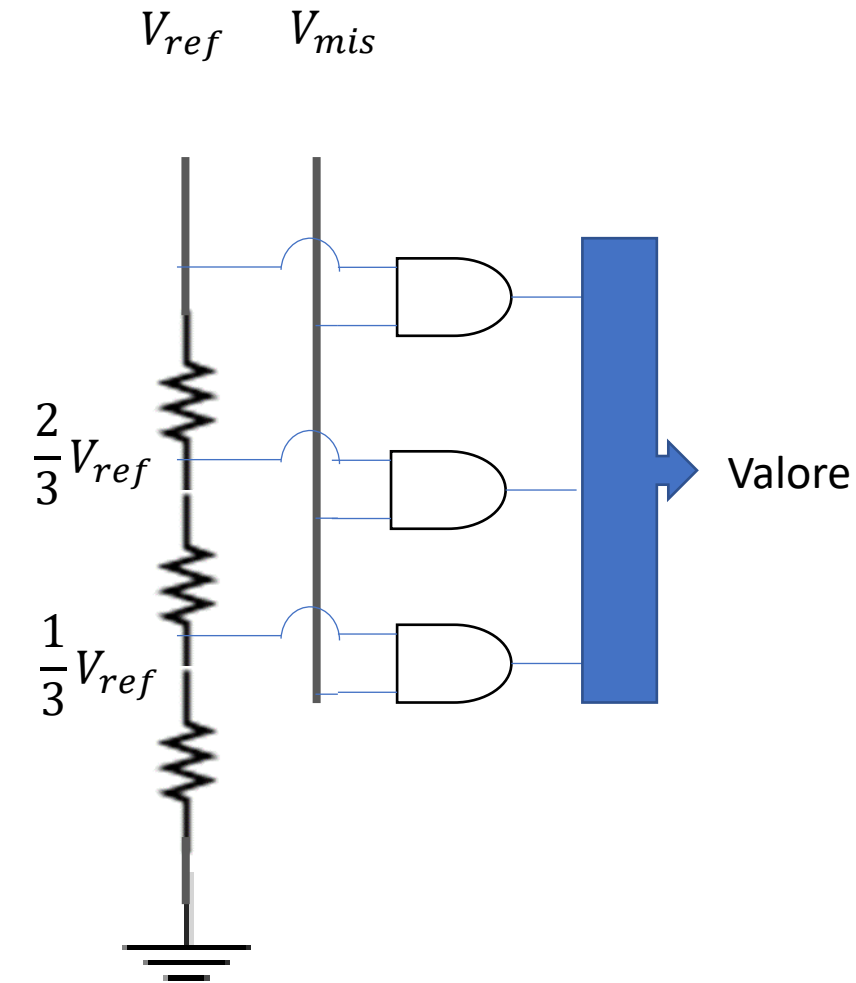
Va bene per uno strumento che deve fornire un risultato ogni frazione di secondo ma non per strumenti più «performanti».

Una conversione più veloce viene realizzata mediante i cosiddetti **flash ADC**.

Essi sono costituiti da una serie di resistenze eguali, che connettono la tensione di riferimento con la terra, realizzando una **partizione** di  $V_{ref}$ . Ad ogni punto di partizione è connesso un comparatore, che confronta  $V_{mis}$  con il valore scalato di  $V_{ref}$ .

L'insieme di stati logici risultanti viene poi trattato mediante un circuito per fornire i bit del valore di misura.

In figura è mostrata la configurazione che permette di ottenere quattro possibili valori di misura (rispettivamente 1, 2/3, 1/3 e 0  $V_{ref}$ ).



Questa soluzione è ovviamente più costosa, visto il grande numero di componenti necessari per realizzare uno strumento con un minimo di sensibilità di misura

Per caratterizzare un voltmetro (o comunque un qualsiasi strumento di misura elettrica) sono necessari due parametri

- La **portata o fondo scala** dello strumento, cioè il valore massimo misurabile
- La **classe** dello strumento, parametro legato all'errore di misura. La classe viene definita come il massimo errore di misura in percentuale della portata. Ad esempio, uno strumento di portata 100. e classe 5 ha un errore di misura pari a  $5\% * 100. = 5$ .

In uno strumento digitale il valore di misura viene riportato sul display con un **numero di cifre tale che l'ultima sia quella affetta dall'errore di misura**.



In uno strumento è possibile avere più **scale di misura**, cioè più valori possibili di portata, per permettere di selezionare quella più adatta per ridurre l'errore di misura.

Ad esempio, supponiamo di avere un voltmetro di classe 5, con due scale, rispettivamente di 100. V e 10. V.

Per valori di tensione superiori a 10. V, è necessario utilizzare la scala a 100. V, con errore di 5. V.

Per valori inferiori a 10. V, si può usare la seconda scala, che ha associato un errore 10 volte più piccolo, 0.5 V.

In un voltmetro si possono realizzare più scale utilizzando lo stesso convertitore ADC, dividendo la tensione da misurare per un fattore  $F$  noto (attraverso una partizione realizzata con una serie di resistenze, simile a quella vista per i flash ADC), misurare questa nuova tensione e poi moltiplicare il valore ottenuto per il fattore  $F$ .

# L'amperometro digitale

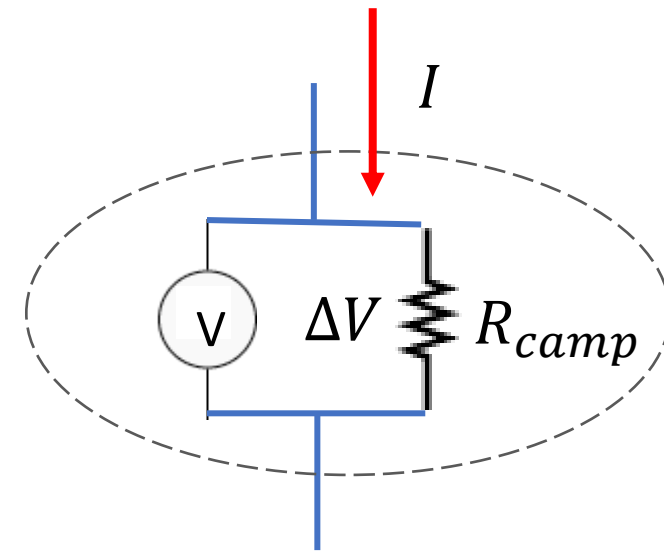
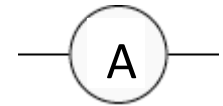
L'amperometro è uno strumento di misura della corrente, il cui simbolo circuitale è rappresentato accanto.

Come abbiamo visto, lo strumento digitale di base è il voltmetro. Un amperometro digitale viene realizzato mettendo un resistenza campione nota  $R_{camp}$  in parallelo ad un voltmetro, come in figura.

Misurando la tensione  $\Delta V$  ai capi di  $R_{camp}$ , si risale al valore in essa circolante

$$I = \frac{\Delta V}{R_{camp}}$$

(in un voltmetro ideale la corrente circolante è nulla e quindi nel circuito accanto la corrente fluisce solo in  $R_{camp}$ )



Nella realizzazione di circuiti in cui sono inseriti strumenti di misura, devono essere seguite due regole fondamentali

- **I voltmetri vanno inseriti in parallelo** al dispositivo ai capi del quale si vuole misurare la tensione.

In questo modo l'inserzione del voltmetro modifica il circuito originario, sostituendo alla resistenza  $R$  del dispositivo misurato una resistenza equivalente

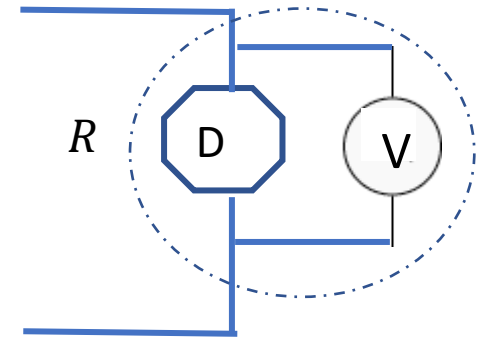
$$\frac{1}{R^*} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_{interna}}$$

ove  $R_{interna}$  è la resistenza interna del voltmetro.

Se  $R_{interna}$  è abbastanza grande, approssimativamente si ha

$$R^* \cong R(1 - R/R_{interna})$$

E quindi l'influenza del voltmetro è tanto più piccola quanto lo è il rapporto  $R/R_{interna}$ . (resistenze tipiche di voltmetri portatili sono sull'ordine di  $100 \text{ M}\Omega$  e quindi introducono errori minori del 1% per resistenze  $R$  inferiori a  $1 \text{ M}\Omega$ )



L'altra regola è

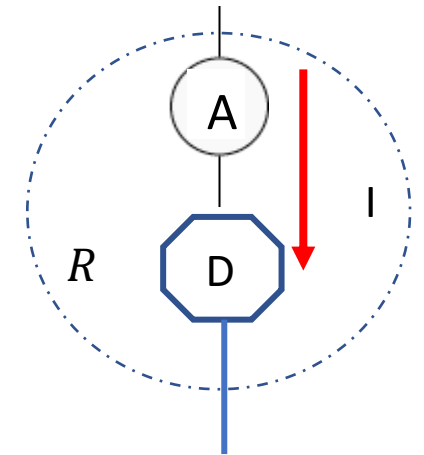
- Gli **amperometri vanno inseriti in serie** al dispositivo del quale si vuole misurare il flusso di corrente.

Anche stavolta l'inserzione dello strumento di misura modifica il circuito originario, sostituendo alla resistenza  $R$  del dispositivo misurato una resistenza equivalente

$$R^* = R + R_{interna}$$

ove  $R_{interna}$  è la resistenza interna dell'amperometro.

Se  $R_{interna}$  è abbastanza piccola, il termine aggiuntivo di resistenza modifica in maniera trascurabile le caratteristiche del circuito. (resistenze tipiche di amperometri portatili sono sull'ordine di  $0.1 \Omega$  e quindi introducono errori minori del 1% per resistenze  $R$  superiori a  $10 \Omega$ )



# Gli ohmmetri

Gli ohmmetri sono degli strumenti di misura elettrica che connessi ai capi di un dispositivo a resistenza costante, permettono di misurare quest'ultima.

Sono dotati di un alimentatore interno (negli ohmmetri portatili è costituita da una batteria) che applica una tensione nota al dispositivo sotto misura e di un amperometro che ne misura la corrente circolante.

Da questi valori è possibile risalire al valore di resistenza del dispositivo

Voltmetri, amperometri e ohmmetri digitali sono tutti riconducibili a misure di tensione e possono essere riuniti in un unico strumento chiamato multimetro.

La funzione desiderata viene scelta utilizzando un selettore (può essere selezionata una sola funzione alla volta).

In figura è mostrata l'interfaccia del multimetro che userete nel laboratorio a controllo remoto.

Sono evidenziate le funzioni che userete nella prima esperienza. Notate come ci siano due sezioni per il voltmetro: questo è dovuto al fatto che l'ADC nei due casi è fisicamente diverso (quello con fondo scala è più sensibile).

Il simbolo  $\text{---}$  indica che la funzione è dedicata ai circuiti in corrente continua (DC)



# Suggerimenti per la stesura delle relazioni

Le relazioni non devono essere né troppo stringate né troppo prolisse: una dimensione ottimale è dalle due alle quattro facciate.

Devono contenere un certo numero di sezioni

## 1) Contesto teorico

Spiegate in cosa consistono le grandezze o i fenomeni che sono argomento delle misure delle esperienze.

Ad esempio che cos'è una resistenza (o, per quello, anche che cos'è un conduttore), citando relazioni e definizioni utili a tale scopo.

## 2) Principio di misura

Spiegate su quale principio fisico si basano le misure.

Ad esempio per la caratterizzazione della resistenza, attraverso misure di tensioni e correnti per il calcolo della resistenza

### 3) Strumenti utilizzati

Elencare gli strumenti ed i dispositivi utilizzati (indicando anche altri elementi utili per la loro caratterizzazione: portata, sensibilità, tolleranza ...).

Ad esempio per la caratterizzazione della resistenza, breadboard, resistenze, multimetro, alimentatore....

### 4) Procedura di misura

Descrivete come avete effettuato l'esperienza, in maniera che un vostro collega possa capire cosa fare per riprodurla

Ad esempio diagrammi circuitali, il modo con cui avete scelto i valori di tensione utilizzati nelle misure di corrente, .....



5) Dati ottenuti

Una tabella dei dati così come li avete ottenuti (senza calcoli intermedi, etc.).

6) Analisi dei dati

I risultati dei conti effettuati sui dati acquisiti (avendo cura di descrivere qui o nella sezione del principio di misura quali siano i conti da effettuare)

7) Risultati e commenti

Tutto quanto possa servire a illustrare i risultati ottenuti  
(Torna? Non torna? Perché?)

Le esperienze di laboratorio sono lavoro di gruppo, **la stesura delle relazioni è lavoro individuale**: non fate relazioni che siano fotocopie una dell'altra, magari con qualche parola cambiata.

Nella valutazione finale terrò conto anche di questo fattore.

Nel corso Moodle entro breve aprirò una cartella per l'upload delle relazioni: potete caricarle e chiedermi una revisione, e successivamente modificarle dietro le mie osservazioni (procederò comunque periodicamente a revisionare le versioni caricate).

**Cercate di fare le relazioni non troppo tempo dopo l'esperienza!** Vi scordate di quello che avete fatto e rimanete affogati con il lavoro alla fine: uno iato di un paio di settimane al massimo tra l'esecuzione dell'esperienza e il caricamento di (almeno) una bozza è l'ideale.