

Percorsi Abilitanti Speciali  
Didattica e Laboratorio dei Sistemi Elettrici ed Elettronici

13 maggio 2014

# Indice

0.1	Principali strumenti di misura . . . . .	3
0.1.1	Amperometro . . . . .	3
0.1.2	Voltmetro . . . . .	5
0.1.3	Wattmetro . . . . .	7
0.2	Multimetro . . . . .	10
0.3	Breadboard . . . . .	13
0.4	Alimentatore . . . . .	15
0.5	Resistenze da laboratorio . . . . .	16
0.6	Condensatori da laboratorio . . . . .	16
0.7	Induttori da laboratorio . . . . .	17
0.8	Generatori di forme d'onda . . . . .	18
0.9	Oscilloscopio . . . . .	18

# Elenco delle figure

1	Amperometro: simbolo grafico e corrispondente grandezza misurata . . . .	3
2	Amperometro analogico . . . . .	4
3	Voltmetro: simbolo grafico e corrispondente grandezza misurata . . . . .	6
4	Voltmetro analogico . . . . .	6
5	Wattmetro: simbolo grafico e corrispondente grandezza misurata . . . . .	8
6	Circuito di misura in laboratorio . . . . .	8
7	Collegamento wattmetro . . . . .	9
8	Wattmetro analogico . . . . .	9
9	Multimetro digitale . . . . .	10
10	A sinistra un esempio di breadboard, a destra sono mostrate le sue connessioni interne . . . . .	13
11	Alimentatore da laboratorio . . . . .	15
12	Struttura e modalità di rottura resistenze . . . . .	16
13	Condensatore . . . . .	17
14	Induttori . . . . .	17
15	Generatore di forme d'onda . . . . .	18
16	Oscillatore analogico . . . . .	19
17	(a) Visualizzazione di un segnale in modalità base dei tempi; (b) visualizzazione di un segnale in modalità xy (sui due assi sono applicate due sinusoidi alla stessa frequenza e sfasate tra loro). . . . .	20

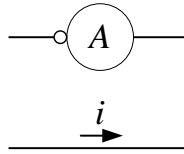


Figura 1: Amperometro: simbolo grafico e corrispondente grandezza misurata

## 0.1 Principali strumenti di misura

I principali strumenti di misura per le grandezze elettriche sono l' *amperometro*, per la misura della corrente, il *voltmetro*, per la misura della tensione e il *wattmetro*, per la misura della potenza.

L'amperometro deve essere inserito in serie all'elemento del quale si vuole misurare la corrente. Esso presenta un morsetto contrassegnato che individua il verso della corrente che si sta misurando e, per non perturbare il sistema che si vuole misurare, deve avere una resistenza propria molto piccola. Nel caso di *amperometro ideale* la resistenza interna dello strumento è nulla, per cui può essere considerato un corto circuito. Il simbolo dell'amperometro è riportato in figura 1 dove è anche indicata la corrente misurata con il suo verso.

### 0.1.1 Amperometro

L'amperometro è uno strumento che misura l'intensità della corrente elettrica sfruttando uno dei seguenti effetti determinati dalla circolazione di corrente in un conduttore: la creazione di un campo magnetico, lo sviluppo di calore, una caduta di tensione, etc. Il funzionamento dei diversi tipi di amperometri si basa su uno solo di questi effetti. Gli amperometri le cui indicazioni sono legati all'effetto magnetico o a quello termico della corrente effettuano una misurazione diretta di questa grandezza, mentre quelli che utilizzano la caduta di tensione ai capi di una resistenza sono in realtà dei voltmetri e misurano quindi la corrente in modo indiretto.

I *galvanometri* sono amperometri destinati a misure di piccole intensità di corrente tipiche di un laboratorio. Sono più delicati, perché caratterizzati da una meccanica più fine e di precisione. Ad esempio, negli amperometri la bobina è tipicamente montata su due perni e alla sua rotazione si oppone una piccola molla. Nei galvanometri alla torsione della bobina si oppone la coppia generata dal filo a cui è sospesa. I galvanometri più sensibili riescono a misurare intensità di corrente dell'ordine dei 10-12 A.

Gli amperometri analogici sono caratterizzati da un equilibrio mobile, ruotando sotto l'azione della coppia di forze prodotte dalla corrente da misurare, carica due molle che, opponendosi alla rotazione, rendono possibile l'equilibrio dell'equipaggio. Un indice segnala il valore della corrente su una scala graduata.

Un esempio è qui riportato:



Figura 2: Amperometro analogico

Gli amperometri digitali sono caratterizzati da un convertitore analogico-digitale che fa corrispondere alla tensione presente ai capi di una resistenza il suo valore espresso in forma numerica che compare su un visualizzatore a diodo luminosi o a cristalli liquidi.

Ciò che segue è un elenco che descrive molto sinteticamente i vari tipi di amperometri.

- **a bobina mobile** preciso insensibile ai campi magnetici esterni; adatto per la misurazione di correnti continue comprese tra 10pA e 100mA
- **a magnete mobile** sensibile ai campi esterni; adatto per misurazioni in corrente continua
- **a ferro mobile** sensibile ai campi magnetici esterni; adatto per misurazioni in corrente continua e alternata a bassa frequenza; è meno preciso di quello a bobina mobile
- **a filo caldo** non risente dei campi magnetici esterni; è lento ed è influenzato dalla temperatura ambiente; funziona sia in continua sia in alternata fino a frequenze di diverse MHz; non è influenzato dalla forma d'onda della corrente della quale fornisce il vero valore efficace.
- **a termocoppia** non risente dei campi magnetici esterni né delle variazioni della temperatura ambiente; le altre proprietà sono comuni all'amperometro a filo caldo.
- **bimetallo** insensibile ai campi magnetici esterni e alla temperatura ambiente; è molto più lento del tipo a filo caldo col quale ha in comune le altre proprietà

- **elettrodinamico** adatto per le misurazioni in corrente continua e alternata; non risente delle variazioni di frequenza e di temperatura, mentre è influenzato dai campi magnetici esterni.
- **a induzione** l'elevata coppia motrice lo rende adatto alla costruzione di strumenti registratori; è sensibile alla frequenza e meno preciso degli altri tipi; funziona solo in corrente alternata. a trasformatore ha il vantaggio di essere sovraccaricabile e, se il nucleo del trasformatore è apribile a tenaglia, di consentire l'esecuzione della misurazione senza interrompere il circuito; funziona solo in corrente alternata.
- **a pinza** misura correnti continue senza interrompere il circuito in prova; non preciso
- **digitale** adatto per misurazioni in continua e in alternata fino a una frequenza di 100 kHz; è molto robusto e preciso; può essere programmabile.

**Funzionamento** Gli amperometri sono semplici strumenti che misurano l'intensità di corrente e per questo devono essere attraversati dalla corrente da misurare. Per farlo, un amperometro deve essere collegato in serie al carico del quale si vuole misurare l'assorbimento: se per esempio un circuito è costituito da un generatore e un solo carico, lo strumento andrà proprio tra il carico e la batteria (o l'alimentazione). In tanti casi (nei circuiti d.c.) lo strumento va collegato in modo tale che la corrente entri dal morsetto positivo ed esca da quello negativo. Per non influenzare in modo rilevante il valore dell'intensità di corrente, gli amperometri devono avere una resistenza con un valore bassissimo e per questo, nell'eseguire la misurazione di una qualsiasi grandezza elettrica si commettono sempre degli errori, nella maggior parte di due tipi: errori accidentali (es. il modo in cui si effettua la lettura) ed errori sistematici (dipendenti dalle caratteristiche e dalla precisione dell'amperometro). Per quanto riguarda la seconda classe degli errori (sistematici), possono essere calcolati, in modo da avere una stima migliore della misurazione che si deve fare. Per questo le norme CEI classificano gli strumenti nelle categorie: 0.1; 0.2; 0.3; 0.5; 1.0; 1.5; 2;5, partendo da quelli di alta precisione, finendo agli strumenti da quadro. Per trovare la nostra tolleranza di misura, basta prendere in considerazione queste categorie e la portata dello strumento e moltiplicare i due valori. Per esempio, un amperometro di classe 0.2 che arriva ad una portata di 20 A (ampere), l'errore nella valutazione sarà: errore = classe \* portata / 100 = 0.2 \* 20 A / 100 = 0.04 A. Questo vuol dire che in ogni misurazione bisogna considerare la tolleranza di più o meno 0.04 A.

### 0.1.2 Voltmetro

Il voltmetro deve essere inserito in parallelo all'elemento del quale si vuole misurare la tensione. Esso presenta un morsetto contrassegnato che individua il verso della tensione che si sta misurando e, per non perturbare il sistema che si vuole misurare, deve avere una resistenza propria molto grande. Nel caso di *voltmetro ideale* la resistenza interna dello strumento è infinita, per cui può essere considerato un circuito circuito. Il simbolo

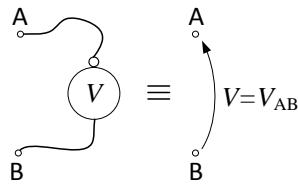


Figura 3: Voltmetro: simbolo grafico e corrispondente grandezza misurata

del voltmetro è riportato in figura 3 dove è anche indicata la corrispondente tensione misurata con il suo verso.

Il volmetro è uno strumento che misura la differenza di potenziale tra due punti di un circuito. Tipicamente si tratta di un amperometro (capace di misurare correnti dell'ordine dei mA o dei  $\mu\text{A}$ ) o addirittura un galvanometro, collegato in serie con una grossa resistenza  $R_v$ . Se  $r$  è la resistenza interna dell'amperometro, la differenza di potenziale cercata è:  $Dv = (r+R_v) I$  A parità di sensibilità, un voltmetro è tanto migliore quanto maggiore è la resistenza  $(r+R_v)$ . La  $R_v$  è necessaria perché la sola resistenza interna dello strumento, di fronte ad una elevata intensità di corrente entrante, produrrebbe forti variazioni della differenza di potenziale da misurare. Occorre allora una elevata resistenza dello strumento, ottenuta sommando in serie  $R_v+r$ , affinché lo strumento sia attraversato da una piccola intensità di corrente, tale inoltre da non alterare l'equilibrio ohmico del circuito. Un voltmetro deve essere collegato in parallelo al circuito tra i due punti di cui si vuole la misura della differenza di potenziale. Un esempio è qui riportato:



Figura 4: Voltmetro analogico

**Funzionamento** Come abbiamo detto il voltmetro misura la differenza di potenziale ai capi del circuito o del componente elettronico del quale si vuole fare la misurazione. E' quindi necessario utilizzare i capi del voltmetro (cioè i due puntali) sui punti tra i quali si vuole rilevare la tensione (i volt o millivolt). Questo tipo di collegamento si dice in parallelo. In commercio esistono voltmetri a lancetta o elettronici. Di solito è possibile impostare un fondo-scala sul voltmetro, cioè la misura massima che ci aspettiamo di rilevare. E' sempre bene scegliere l'adeguata tensione massima per avere una misurazione più precisa ed una lettura più semplice. Una volta inseriti i due elettrodi ai capi della oggetto da misurare, sul voltmetro sarà possibile leggere il valore della tensione rilevato. Se lo strumento è digitale la lettura è molto facile da effettuare. Per quelli a lancetta aspettare che l'indicatore acquisisca una certa stabilità e poi leggere il valore sulla scala graduata. I due terminali del voltmetro sono di colore rosso e nero. Due cose da ricordare:

1. Quando si effettuano misure in corrente alternata (es. alle prese di casa) è indifferente puntare i due terminali su uno o l'altro capo del circuito (presa)

2. Quando si effettuano misure in corrente continua (es. per misurare la tensione a poli della batteria dell'auto) è necessario utilizzare la corretta polarità. Il terminale rosso andrà sul polo + (positivo) della batteria. Il terminale nero andrà sul polo - (negativo) della batteria.

Eventualmente se il voltmetro non è automatico impostare il tipo di misurazione che si andrà ad effettuare o in corrente continua (contrassegnato da due linee nere parallele) effettuare o in corrente alternata (contrassegnato da un simbolo a sinusoide rosso).

La potenza elettrica può essere misurata tramite l'utilizzo combinato di un tensiometro e di un amperometro. È possibile compendiare i due strumenti in uno strumento unico, il wattmetro. Il wattmetro presenta in generale quattro morsetti, due per la misura amperometrica e due per quella voltmetrica, di cui due sono contrassegnati così da identificare in modo univoco i versi della corrente e della tensione e quindi quelli della potenza misurata. Il simbolo del voltmetro è riportato in figura 5 dove è anche indicata la corrispondente tensione misurata con il suo verso.

### 0.1.3 Wattmetro

Il wattmetro è uno strumento per la misura della potenza elettrica attiva generata su una sezione di una linea elettrica. Nei circuiti elettrici, la potenza complessiva è data dalla combinazione di due contributi distinti:

1. La potenza attiva, misurata in watt.

Per la misura dei due contributi di potenza si usano strumenti differenti: per la potenza attiva si usa il wattmetro mentre per la potenza reattiva si usa il varmetro.

**Funzionamento** Nel caso di circuiti alimentati con tensione alternata monofase la misura di potenza costituisce un'operazione più complessa rispetto al semplice prodotto  $V \cdot I$ . Infatti il prodotto dei valori misurati dagli strumenti, un amperometro e un voltmetro, serve a definire quella che viene normalmente indicata come  $A$ , potenza apparente, misurata in voltampere. Per realizzare una misura di potenza attiva  $P$ , è necessario





Figura 5: Wattmetro: simbolo grafico e corrispondente grandezza misurata

moltiplicare il prodotto  $V \cdot I$  ancora per il fattore di potenza  $\cos\phi$  dove  $\phi$  è l'angolo di sfasamento tra le due grandezze tensione e corrente. Per ultimo, conoscendo  $A$  e  $P$ , cioè rispettivamente potenza apparente e attiva, si potrà determinare la potenza reattiva attraverso il cosiddetto triangolo delle potenze. In laboratorio si può procedere nel seguente modo: dato un carico costituito da una resistenza e un'induttanza, si monta il circuito indicato in figura.

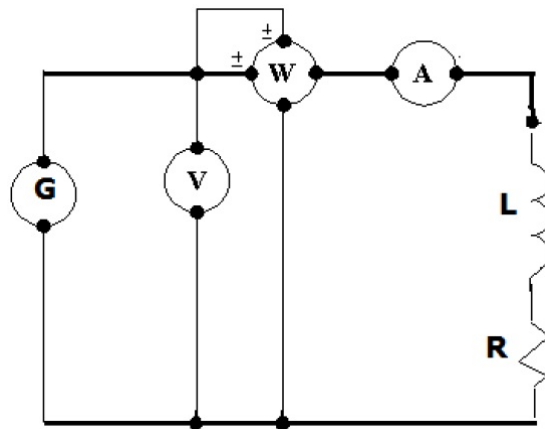


Figura 6: Circuito di misura in laboratorio

La posizione a valle dell'amperometro consente di misurare l'effettiva corrente che attraversa il carico. Per ogni valore di tensione si ottengono i seguenti valori:  $V$ , misurata dal voltmetro;  $I$ , misurata dall'amperometro. Con queste due grandezze si ottiene quindi il prodotto  $V \cdot I$  che definisce  $A$ , potenza apparente, misurata in Voltampere. Successivamente si procede alla misura con il wattmetro, collegato come indicato nella figura sottostante:

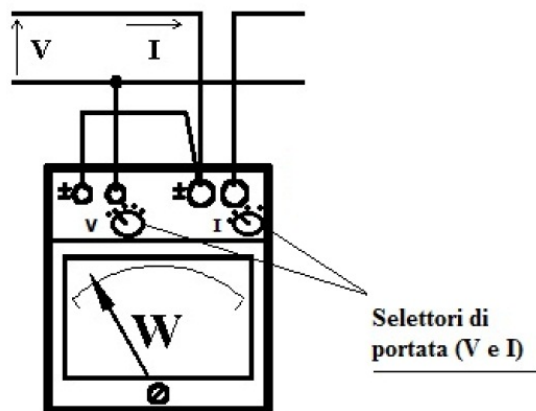


Figura 7: Collegamento watmetro

Come si vede, il wattmetro ha 4 prese destinate ai collegamenti, due dedicata alla parte voltmetrica dello strumento, due a quella amperometrica. Di conseguenza i due morsetti contraddistinti con V verranno collegati in parallelo, come tutti i voltmetri, i due morsetti distinti con I, saranno collegati in serie come gli amperometri.



Figura 8: Wattmetro analogico

## 0.2 Multimetro

Il multimetro digitale, comunemente denominato *tester*, è uno strumento versatile in grado di poter eseguire misure di corrente, tensione, resistenza e continuità elettrica, inoltre su alcune tipologie di multimetri è possibile la verifica del funzionamento dei transistor. Un esempio di multimetro digitale è qui riportato:



Figura 9: Multimetro digitale

Le parti principali di un tester sono il display, dove appaiono i valori misurati, il selettore, di tipo rotante oppure a tastiera, che permette di scegliere la portata più adatta alla misura da effettuare, ed un paio di puntali, uno rosso (positivo) ed uno nero (negativo), che vanno inseriti nelle apposite bocche.

**Dispositivo di visualizzazione** I dispositivi di visualizzazione nei multimetri digitali sono normalmente display a sette segmenti, caratterizzati dal loro numero di cifre. Ciascuna cifra piena può assumere ogni valore intero compreso fra 0 e 9. Un display di 3 cifre e mezzo può essere considerato sufficientemente preciso; la mezza cifra non può assumere tutti i valori fra 0-9, ma, per esempio, solo i valori 0 ed 1. Occorre scegliere per ogni misura la giusta portata allo scopo di sfruttare tutte le cifre disponibili per la

lettura del valore misurato. Se il display indica 1 la misura supera in fondo scala inserito ed è necessario inserire una portata più alta.

**Il selettore** La manopola che si trova al centro del tester permette di scegliere sia il tipo di grandezza che si vuol misurare, sia la portata massima, ovvero il massimo valore misurabile. Partendo dalle misure di resistenza, indicate dal caratteristico simbolo  $\Omega$  si può scegliere una delle portate indicate: 200 (ohm), 2k (2 kohm), 200k (200 kohm), 2M (2 megaohm), 20M (20 megaohm). Se per esempio si vuole misurare una resistenza di 240 ohm: se scegliamo come portata 2K, leggiamo sul display .241 che significa 0,241 kohm e, quindi, 241 ohm. Proviamo a scegliere la portata 20k: otteniamo come lettura 0.24, il che significa che abbiamo già perso la precisione corrispondente all'ultima cifra. Impostando come portata 200k, otteniamo il valore 00.2, che è molto impreciso. La posizione avente come simbolo una nota musicale, si usa per i controlli di continuità (per esempio per verificare se un cavo è interrotto): in caso di conduzione, il tester emette un segnale acustico. Troviamo poi le misure di tensioni continue, con le portate 200m (200 millivolt), 2, 20, 200 e 1000 V. Si deve scegliere la portata più opportuna. Successivamente, sempre continuando in senso orario, si trovano le misure di tensione alternata, corrente alternata, e quindi le misure di corrente continua. Per ogni misura, occorre quindi posizionare la manopola all'interno del settore corrispondente, scegliendo la portata più vicina.

**Boccole per l'inserzione dei puntali** Nella parte inferiore del tester, ci sono quattro boccole rosse, dove è possibile inserire gli spinotti dei puntali; mentre il puntale nero va inserito sempre nella boccola COM, che sta per comune, la posizione del puntale rosso varia in base alla misura. Per le misure di tensione e di resistenza, il puntale rosso va inserito nella boccola V/ $\Omega$ . Per misure di corrente fino a 2 A, il puntale rosso va inserito nella boccola A. Per misurare correnti fino a 20 A, il puntale rosso va nella boccola 20A.

- **Misure di tensione** Collegare il puntale nero alla boccola COM ed il terminale rosso alla boccola V/ $\Omega$ . Posizionare il commutatore sulla portata desiderata DCV o ACV e connettere i puntali al punto da misurare. Se la tensione da misurare è sconosciuta, provare prima con portata più alta e poi scendere.
- **Misure di corrente** Per misurare una corrente è importante selezionare correttamente la portata, e inserire i puntali nelle boccole corrette; in caso contrario si rischia di danneggiare lo strumento di misura a causa delle elevate correnti che possono circolare in esso. Si deve collegare il puntale nero alla boccola COM e il puntale rosso alla boccola A per una corrente massima di 2 A. Per correnti massime di 20 A, utilizzare l'apposita boccola 20A. Predisporre il commutatore sulla portata più alta e gradualmente scendere nella posizione ADC e ACA desiderata e collegare i puntali in serie alla sorgente o al carico da misurare. La misura di corrente è protetta da un fusibile. La corrente massima misurabile è 2 o 20 A in funzione del terminale utilizzato.
- **Misure di resistenza** Quando si vuole misurare il valore di una resistenza, occorre che non ci siano altri componenti in parallelo alla resistenza stessa e che il circuito

non sia alimentato; si deve collegare il puntale nero alla boccia COM e il puntale rosso alla boccia  $V/\Omega$ . Portare il commutatore sulla portata in ohm corretta e collegare i puntali ai capi della resistenza da misurare. Il display visualizza il valore della resistenza. Se il valore di resistenza misurato eccede la portata selezionata, il display visualizzerà 1 per indicare il fuori scala. Selezionare una portata maggiore. Per misure di resistenze oltre 1 Mohm, lo strumento impiega alcuni secondi a stabilizzarsi. Il fenomeno è normale per letture di valori resistivi così elevati. Se i puntali sono aperti e non si misura alcuna resistenza, il display indicherà 1.

### 0.3 Breadboard

La Breadboard o basetta sperimentale rappresenta un mezzo molto comodo e nello stesso tempo potente per realizzare montaggi di circuiti elettronici senza saldature. La semplicità, la velocità di impiego e la buona affidabilità ne fanno uno strumento indispensabile in un laboratorio elettronico, in fase di elaborazione e studio del progetto, per provare il corretto funzionamento dei circuiti in esame. La breadboard è costituita da una basetta provvista di 4 serie di fori disposti secondo righe e colonne separate da una scanalatura mediana. I fori sono distanziati di 2,54 mm (1/10 di pollice) misura tipica della distanza dei pin dei circuiti integrati. In genere la breadboard è costituita da 64 x 2 serie di fori 5 fori nella parte centrale e di 50 x 2 serie di fori di 2 fori nelle parti laterali (linee di alimentazione) fronte retro.

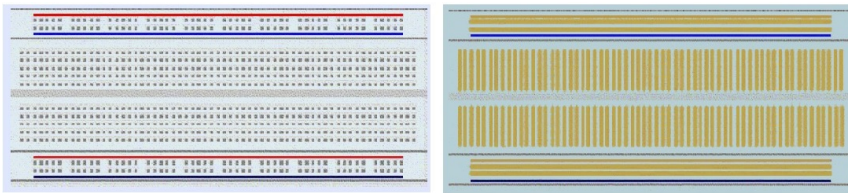


Figura 10: A sinistra un esempio di breadboard, a destra sono mostrate le sue connessioni interne

I fori di una colonna sono collegati internamente tra di loro mediante un collegamento metallico a molla non vi è nessun collegamento tra colonne adiacenti o colonne simmetriche rispetto alla scanalatura centrale. La scanalatura centrale consente di inserire i circuiti integrati a cavallo della scanalatura in questo modo rimangono a disposizione per ogni pin 4 fori per collegare ulteriori componenti. Il collegamento a molla consente il fissaggio dei reofori (terminali) di una grande quantità di componenti. Sui lati della basetta sono disposte due file di fori utilizzati di solito per l'alimentazione e la massa contassegnate di solito da una fascia rossa con il "+" e da una fascia azzurra con il "-". I collegamenti tra i fori vengono realizzati con filo rigido avente un diametro di circa 0,5 mm, commercialmente è possibile utilizzare filo di spessore 0,511 mm e 0,404 mm (sono ad esempio adatti i fili AWG 24 e 26, in dotazione in laboratorio). Di solito una delle file superiori, unita con un ponticello, costituisce il conduttore di alimentazione, mentre una delle file inferiori il conduttore di massa.

#### Regole per il corretto utilizzo

- I componenti debbono essere disposti secondo uno schema ordinato ed in modo da poter essere facilmente estratti e sostituiti senza dover smontare il circuito;
- Non si deve forzare l'inserimento nei fori dei reofori o di fili troppo grossi; così facendo le molle finiscono per perdere la loro elasticità ed i contatti divengono incerti;

- Non inserire mai nei fori fili con le estremità piegate, raddrizzarle prima con una pinza;
- I fili di collegamento debbono essere tenuti aderenti alla basetta e fatti passare intorno e non sopra i componenti.

## 0.4 Alimentatore

Il funzionamento di un alimentatore è quanto di più simile ci sia ad un generatore ideale, di tensione o di corrente (dipendentemente dal tipo e dalle impostazioni). I modelli più comuni si comportano da generatori di tensione, fornendo in uscita una tensione continua fissa e stabile, il cui valore è impostabile da 0 Volt fino al valore massimo di specifica (ciò lo rende flessibile nel suo funzionamento). Per evitare danneggiamenti ai circuiti collegati (ma soprattutto all'alimentatore stesso) tutti gli alimentatori sono dotati di una protezione contro i corti circuiti, che limita in caso di sovraccarico o di corto circuito accidentale la corrente di uscita ad un valore in genere modificabile dall'utente. Il valore della corrente massima deve essere impostato ad un valore leggermente superiore a quello necessario per il corretto funzionamento del circuito (per le esercitazioni, è sufficiente una corrente di qualche centinaia di mA). Un alimentatore da laboratorio è generalmente costruito per essere usato anche come un generatore ideale di corrente, sfruttando la regolazione della corrente massima. Impostando il valore di corrente massima sul valore di corrente da generare, ed impostando un valore di tensione più alto di quello che verrà generato dal resto del circuito, si avrà un comportamento simile a quello di un generatore ideale di corrente. Quando l'alimentatore lavora in questa modalità, è in genere accesa una spia (spesso "CC" o simili) che indica la modalità "corrente costante".



Figura 11: Alimentatore da laboratorio



## 0.5 Resistenze da laboratorio

Il tipo più comune di resistenza per uso elettronico è quello a strato di carbone. È costituita da un impasto contenente carbone o grafite, il cui spessore e la cui lunghezza determinano il valore della resistenza. Esternamente appare come in figura; il valore della resistenza è indicato da 3 bande colorate, ogni colore rappresenta una cifra. Le prime due bande indicano le prime due cifre del valore della resistenza, la terza il moltiplicatore. Ad esempio, una resistenza da  $1000\ \Omega$  è codificata dalle tre bande marrone/nero/rosso (corrispondenti alle cifre 1-0-2); la lettura avviene aggiungendo alle prime due cifre un numero di zeri pari alla terza cifra. Una quarta fascia indica la tolleranza, cioè il discostamento massimo dal valore nominale. Le resistenze più comuni hanno tolleranza del 5%, indicata con una fascia colore oro.

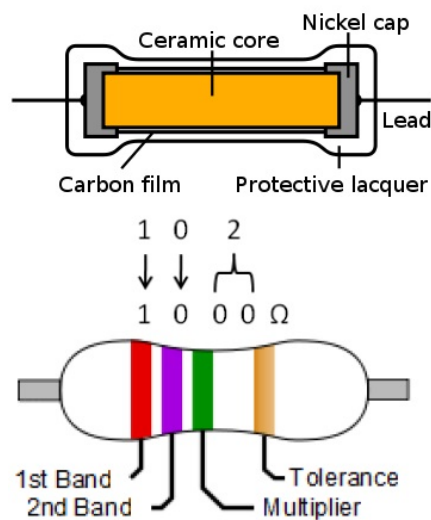


Figura 12: Struttura e modalità di rottura resistenze

## 0.6 Condensatori da laboratorio

I condensatori sono componenti elettrici che accumulano cariche elettriche tra due armature separate da uno strato isolante. Generalmente sono di due tipi: elettrolitici e a dielettrico solido (questi ultimi più comunemente noti come ceramici o a poliestere). I primi riescono a raggiungere capacità molto elevate (dell'ordine delle migliaia di microfarad) ma presentano una bassa precisione, tendono a diminuire il proprio valore di capacità con il tempo (l'elettrolitico presente all'interno tende, infatti, a evaporare, soprattutto se sottoposti ad alte temperature) e sono polarizzati, che vuol dire che la tensione ai loro capi non può essere invertita. Sono utilizzati tipicamente come filtro sulla tensione di alimentazione. I condensatori a dielettrico solido sono invece in tutto e per tutti

condensatori a facce piane e parallele, e prendono il nome dal tipo di dielettrico tra le armature metalliche (es. condensatori ceramici, a poliestere, etc.). Le capacità massime ottenibili sono di qualche microfarad, e data la buona stabilità (tolleranza tipica del 10%) sono usati per l'elaborazione (il filtraggio) di segnali. Generalmente tutti i condensatori recano stampato sopra il proprio valore, se non diversamente indicato, in microfarad.



Figura 13: Condensatore

## 0.7 Induttori da laboratorio

L'induttore è un componente elettrico che genera un campo magnetico al passaggio di corrente elettrica. E' sempre realizzato con spire di rame, avvolte in aria oppure attorno a materiale ferromagnetico. Il loro utilizzo è tuttavia abbastanza limitato, per le limitate possibilità di miniaturizzare. Restano comunque fondamentali in applicazioni come i convertitori DC/DC di tipo switching. Sono anche molto usati per applicazioni ad altissime frequenze, dove i valori di induttanza richiesti sono abbastanza bassi da poter impiegare dispositivi dalle ridotte dimensioni.

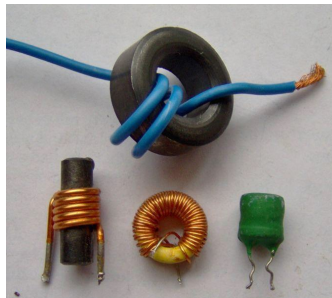


Figura 14: Induttori

## 0.8 Generatori di forme d'onda

Un generatore di forme d'onda (o generatore di segnali) è un sistema in grado di fornire segnali periodici con diversi andamenti temporali e con possibilità di definire ampiezza, frequenza a altri parametri caratteristici (come potrebbe essere il duty-cycle di un'onda rettangolare). Alcuni generatori sono anche in grado di fornire segnali modulati( con modulazioni d'ampiezza e d'angolo, analogiche o digitali). Le forme d'onda sono tipicamente quelle più comuni: segnali sinusoidali, segnali ad onda quadra o rettangolare o con andamento triangolare. I primi possono essere utilizzati per rilevare la risposta in frequenza di un amplificatore; generatori sinusoidali ad alte frequenze vengono utilizzati per produrre segnali di prova per sistemi di telecomunicazione. Un segnale ad onda quadra può essere usato per verificare se un attenuatore è compensato e meno, o per esaminare il comportamento di un flip-flop.

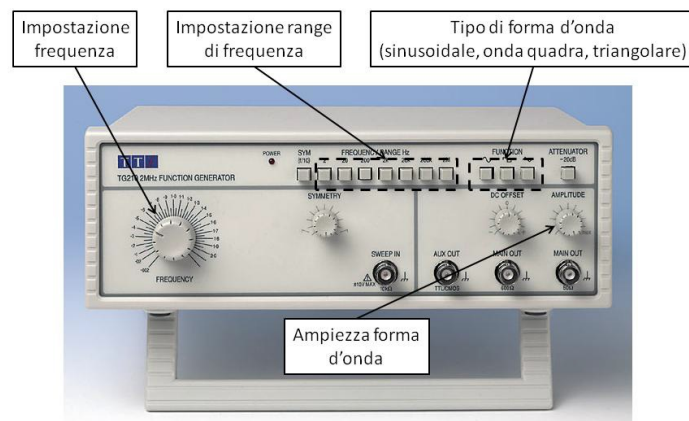


Figura 15: Generatore di forme d'onda

## 0.9 Oscilloscopio

L'oscilloscopio è uno strumento in grado di riprodurre e misurare le forme d'onda di segnali di tensione su di uno schermo attraverso un opportuno pennello elettronico. L'utilità dell'oscilloscopio come strumento di misura non si limita all'analisi di segnali elettrici in quanto, grazie all'impiego di sensori e trasduttori, è in grado di visualizzare l'evoluzione nel tempo di un numero elevato di grandezze fisiche. Di conseguenza l'oscilloscopio è tra i più diffusi ed utilizzati strumenti di misura.

La frequenza massima dei segnali visualizzabili, così come la risoluzione temporale, ovvero la più rapida variazione rilevabile, dipende dalla banda passante dello strumento, a sua volta dipendente dalla qualità e in ultima analisi dal costo. Si spazia dalle decine di MHz adatti per lavorare con segnali audio e televisivi, ai costosi modelli digitali da diversi GHz.

Un esempio di oscillatore analogico è qui riportato:

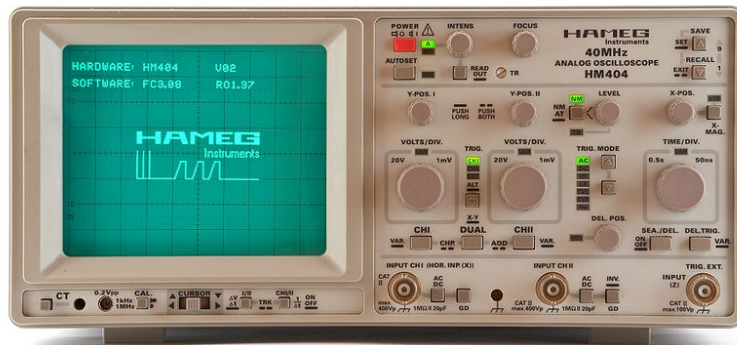


Figura 16: Oscillatore analogico

Uno oscilloscopio analogico presenta due diverse modalità di funzionamento:

- Modalità base dei tempi;
- Modalità xy;

Nella modalità base dei tempi è possibile visualizzare il segnale seguendo la sua evoluzione temporale  $V_y = v(t)$ . Nella modalità xy è possibile visualizzare l'andamento di una tensione  $V_y$  in funzione di un'altra tensione  $V_x$ .

**Principio di funzionamento** Il cuore dell'oscilloscopio analogico è il tubo a raggi catodici, costituito da uno speciale tubo termoelettronico a vuoto spinto, in cui un fascio di elettroni (raggio catodico) viene focalizzato su uno schermo in modo da produrre su questo un punto luminoso. Lungo il percorso del fascio di elettroni sono disposte due coppie di placchette di deflessione alle quali vengono applicati i segnali elettrici che determinano l'oscillogramma. I principali componenti sono:

- **TRC:** tubo a raggi catodici sul cui schermo si ottiene la visualizzazione della curva;
- **Sistema di amplificazione verticale:** riceve in ingresso il segnale da visualizzare e lo rende adatto per poterlo applicare alle placchette di deflessione verticale (lungo asse y);
- **Sistema di deflessione orizzontale:** modifica il segnale in ingresso per renderlo adatto alle placchette di deflessione orizzontale; in modalità xy avrà in ingresso la tensione  $V_x$ , in modalità base dei tempi, invece riceverà un segnale a dente di sega (vedi paragrafo 5.1);
- **Base dei tempi:** genera il segnale a dente di sega necessario per la visualizzazione del segnale in modalità base dei tempi;
- **Circuito di sincronismo:** serve per sincronizzare la deflessione verticale con quella orizzontale (vedi paragrafo 6);

- **Circuito porta:** (detto anche circuito di unblanking) agisce sull'intensità luminosa del fascio.

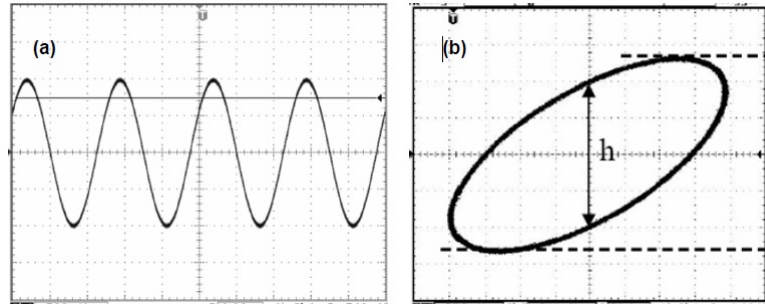


Figura 17: (a) Visualizzazione di un segnale in modalità base dei tempi; (b) visualizzazione di un segnale in modalità xy (sui due assi sono applicate due sinusoidi alla stessa frequenza e sfasate tra loro).

In modalità semplice, un punto luminoso percorre lo schermo da sinistra a destra a velocità costante, ridisegnando ripetutamente una linea orizzontale. La velocità di scansione è selezionabile per mezzo di una manopola presente sul pannello, la quale comanda il circuito chiamato base dei tempi: questo circuito genera precisi intervalli di tempo, che possono spaziare da pochi secondi a qualche nanosecondo; i valori, espressi in unità di tempo per divisione, sono riportati sulla manopola.

In assenza di segnale, la traccia è solitamente al centro dello schermo, e l'applicazione di un segnale all'ingresso, provoca la deflessione verso l'alto o verso il basso, in funzione dalla polarità del segnale. La scala verticale è espressa in volt per divisione e può essere regolata da decine a millesimi di volt (sono comunque disponibili modelli in grado di effettuare misure dell'ordine dei microvolt). L'altezza iniziale del grafico (offset) può comunque essere decisa dall'utente, così come è possibile escludere la componente in corrente continua presente nel segnale in esame, nonché scegliere l'impedenza di ingresso.

In questo modo si ottiene la visualizzazione di un grafico di tensione in funzione del tempo. Se il segnale è periodico, è possibile ottenere una traccia stabile regolando la base dei tempi in modo che questa coincida con la frequenza del segnale o un suo sottomultiplo. Per esempio, se si ha in ingresso un segnale sinusoidale a 50 Hz (periodo  $T = 1/50 = 20 \text{ ms}$ ), si può regolare la base dei tempi in modo che una scansione orizzontale avvenga in 20 millisecondi. Questo sistema è chiamato sweep continuo.

Per ottenere una traccia stabile gli oscilloscopi dispongono di una funzione chiamata trigger (innesco): questo circuito fa partire la scansione solo in corrispondenza del verificarsi di un evento sul segnale in ingresso, per esempio il superamento di una soglia di tensione positiva o negativa. Dopo avere completato la scansione da sinistra a destra, l'oscilloscopio rimane in attesa di un nuovo evento. In questo modo la visualizzazione

rimane sincronizzata al segnale e la traccia è perfettamente stabile. La soglia di sensibilità del trigger, così come altri parametri, è regolabile dall'utente. Il circuito del trigger può essere configurato per mostrare una sola scansione di un segnale non periodico, come un singolo impulso o sequenze impulsi non ripetitivi. È possibile introdurre un ritardo tra l'evento e l'inizio della visualizzazione, in modo da analizzare parti del segnale che altrimenti sarebbero fuori dal campo di visualizzazione.

Ogni oscilloscopio ha almeno 3 modi base di impostazione del trigger:

- SINGLE - Singolo, la scansione avviene solo una volta, al primo evento di trigger. Per attenderne un'altra si deve ri-abilitare manualmente il trigger con l'apposito pulsante. In questo modo si vede solamente un'unica tracciata al primo evento di trigger la cui durata dipende dall'impostazione della base tempi.
- NORMAL - Normale, la scansione ricomincia solo in presenza dell'evento di trigger. Al termine della scansione la traccia viene riportata al punto iniziale (a sinistra dello schermo) e resta in attesa del prossimo evento di trigger. Quindi se mancano gli eventi di trigger nel modo normal non si vede alcuna traccia.
- AUTO - Automatico, la scansione ricomincia automaticamente ad ogni fine scansione anche in mancanza dell'evento di trigger.