

# Laboratorio Di Elettro-Radio-Radar-Tecnica

## Modulo 1

### Contenuti:

- *Elementi introduttivi fondamentali sugli errori di misura*
- *Strumenti elettrici*
- *Classe degli strumenti di misura*
- *Alimentatore stabilizzato*
- *Multimetri o Tester*
- *Linee guida per la stesura della relazione tecnica*

### Obiettivi:

*Mettere l'allievo in grado di conoscere ed utilizzare gli strumenti di misura e di valutare gli errori che si commettono nella effettuazione delle misure elettriche.*

*Mettere l'allievo in grado di sviluppare una relazione tecnica mettendo in evidenza il procedimento usato i risultati conseguiti.*

## Elementi introduttivi fondamentali sugli errori di misura

### Generalità

Per poter misurare una **grandezza fisica** si deve effettuare un **confronto** con una grandezza dello stesso tipo che viene assunta ad **unità di misura**.

Il confronto può essere:

- ✚ *diretto: occorrono dei campioni della grandezza nota*
- ✚ *indiretto: quando si utilizzano strumenti di misura e si ricorre ad un trasduttore tarato per avere il valore della grandezza incognita*

Queste modalità presuppongono che:

- ✚ si siano stabilite le unità di misura
- ✚ ci siano dei campioni per le grandezze da misurare
- ✚ vi siano strumenti atti a effettuare le misure delle grandezze
- ✚ si realizzino opportuni metodi di misura per la determinazione delle grandezze sia con metodi diretti che indiretti

Le misure che vengono effettuate avranno un certo grado di precisione ma non saranno mai esatte al 100% esisterà sempre una differenza fra il valore vero e il valore misurato. Per questo motivo andiamo ad analizzare quali sono gli errori che si commettono, come vengono classificati, quali sono le classi di precisione degli strumenti, il Sistema Internazionale di unità di misura e alcuni campioni di misura.

### Sistema Internazionale di unità di misura

Le varie grandezze fisiche sono definite, quantitativamente, attraverso le loro unità di misura che abbiamo già incontrato nel corso dello studio teorico. Le grandezze fisiche inoltre, sono legate tra loro e questo fa presupporre che lo siano anche le loro unità di misura. Queste ultime devono essere tali da semplificare al massimo i risultati numerici delle formule e delle relazioni che interpretano le leggi fisiche inoltre, devono essere un numero non troppo elevato di unità fondamentali.

Oggi viene adottato il Sistema Internazionale (SI) che ha stabilito le sette unità di misura fondamentali:

- ✚ Lunghezza: metro
- ✚ Massa: kilogrammo
- ✚ Tempo: secondi
- ✚ Intensità di corrente: Ampere
- ✚ Temperatura: gradi Kelvin
- ✚ Intensità luminosa: candela
- ✚ Quantità di materia: mole

In elettrotecnica ci interessano le prime quattro.

## Campioni

In campo elettrico ci sono campioni di tensione, di resistenza, di induttanza, di capacità e di frequenza. I campioni si dividono in *campioni primari* e *campioni secondari*.

I migliori sono i campioni primari in quanto essi si ottengono da misure assolute effettuate su dispositivi fisici realizzati con il minor numero di grandezze fisiche. I campioni secondari si ottengono per confronto con i campioni primari.

## Tipi di errori

Tutte le misure sono affette da errori e ne distinguiamo tre tipi:

✚ **Errori accidentali**

✚ **Errori soggettivi**

✚ **Errori sistematici**

*Gli errori accidentali dipendono dalle condizioni ambientali ed è difficile eliminarli, ma possono essere opportunamente contenuti.*

*Gli errori soggettivi sono quelli commessi dall'operatore nella lettura degli strumenti e si dividono in:*

✚ *errori di apprezzamento: che consistono nella capacità dell'operatore di apprezzare le frazioni di scala durante la lettura dello strumento*

✚ *errori di parallasse: dipendono dalla posizione che l'operatore assume, per la lettura della scala, rispetto all'indice; questi errori sono eliminati quando la scala dello strumento è provvista di uno specchio che permette, all'osservatore, di effettuare la lettura stando esattamente sulla posizione normale rispetto all'indice della scala*

*Gli errori sistematici dipendono dal sistema di misura impiegato per cui si possono avere errori dovuti all'inserzione degli strumenti nel circuito di misura e errori dovuti a semplificazioni effettuate nella esecuzione dei calcoli; questi errori influenzano la misura variandone il risultato in più o in meno rispetto al valore vero per cui non possono essere compensati. Si deve quindi provvedere ad utilizzare strumenti più precisi, ad utilizzare il sistema di misura più corretto, se si hanno le caratteristiche degli strumenti si possono apportare le opportune correzioni alla misura.*

## Errore assoluto – errore relativo

La misura, come abbiamo già detto, non può mai essere precisa al 100% per cui definiamo due tipi di errori:

✚ **l'errore assoluto**

✚ **l'errore relativo**

Indichiamo con:

**$A_V$  valore vero della grandezza in esame**

**$A_m$  valore misurato della grandezza in esame**

**$E_a$  errore assoluto**

## **$E_r$ errore relativo**

e definiamo i due tipi di errori come segue:

*L'errore assoluto è la differenza fra il valore misurato ed il valore vero.*

$$E_a = A_m - A_v$$

*L'errore relativo è il rapporto tra l'errore assoluto e il valore vero, è generalmente espresso in %.*

$$E_r = \frac{E_a}{A_v} 100$$

Per entrambi i tipi di errori si ha che possono essere sia di segno positivo sia di segno negativo. Per quanto riguarda l'errore relativo, a volte, è espresso come il rapporto tra l'errore assoluto e il valore misurato invece del valore vero cioè:

$$E_r = \frac{E_a}{A_m} 100$$

Il grado *di precisione di una misura* si esprime in percentuale facendo la differenza fra 100 e il valore assoluto dell'errore relativo espresso in percento.

### Esempio:

Se la misura è affetta da un errore pari a + 1,5%, allora il grado di precisione è dato da:

errore assoluto dell'errore relativo = 1,5 da cui:

$$100 - 1,5 = 98,5$$

per cui il grado di precisione è del 98,5 %.

## Strumenti elettrici

### Classificazione degli strumenti elettrici

Gli strumenti elettrici si dividono in:

- ✚ *Strumenti analogici*

- ✚ *Strumenti digitali*

Gli *strumenti analogici* sono provvisti di una scala ad indice e si suddividono in:

- ✚ *Strumenti elettromeccanici*

- ✚ *Strumenti elettronici*

Gli *strumenti elettromeccanici* si suddividono in altre categorie a seconda del tipo di costruzione interna e sono:

- ✚ Magnetoelettrici

- ✚ Elettromagnetici

- ✚ Elettrodinamici

- ✚ Elettrostatici

- ✚ Termici

- ✚ A induzione

Gli *strumenti digitali* sono provvisti di una scala numerica detta anche display.

Alcuni strumenti consentono di effettuare misure sia in corrente continua che in corrente alternata, mentre altri funzionano solo in c.c. o in c.a. Analizzeremo brevemente, in seguito, i vari tipi sopra elencati mettendo in evidenza se sono utilizzati in c.c. o in c.a. e il loro grado di precisione rimandando una analisi più approfondita a testi più specifici.

Non tutti gli strumenti possono avere lo stesso grado di precisione e, a tale proposito, vengono definite le ***classi di precisione degli strumenti***.

### Classe degli strumenti di misura

Gli strumenti di misura non hanno tutti la stessa precisione per cui vengono divisi in ***classi di precisione***. Le norme C.E.I. (Comitato Elettrotecnico Italiano) ha diviso gli strumenti in cinque classi a seconda della loro precisione:

2,5 - 1,5 - 1,0 - 0,5 - 0,2

i numeri rappresentano il massimo errore assoluto che viene tollerato, per ciascuna classe, in percentuale rispetto alla portata.

Gli strumenti di classe 2,5 si intendono utilizzabili come strumentazione da quadro.

Gli strumenti di classe da 1,0 a 0,5 si intendono utilizzabili come strumentazione portatile per misure industriali.

Gli strumenti di classe 0,2 si intendono utilizzabili come strumentazione di precisione o detta anche da laboratorio.

### **Portata**

Rappresenta il massimo valore misurabile per la grandezza sottoposta a misura, i dispositivi sono costruiti con la possibilità di poter cambiare la portata entro certi valori limite stabiliti dal costruttore.

### **Sensibilità**

Si parla di **sensibilità** di un apparecchio o di un dispositivo con riferimento al grado in cui l'apparecchio è capace di risentire degli effetti che tendono a farlo entrare in azione o comunque a modificarne lo stato. Viene individuata dalla più piccola entità della grandezza alla quale l'apparecchio è in grado di reagire con effetto apprezzabile. Per gli **strumenti dotati di scala graduata**, la sensibilità si può valutare dalla variazione che la grandezza da misurare deve subire perché l'indice si sposti del più piccolo intervallo apprezzabile sulla scala, oppure, dal numero di divisioni della scala percorse dall'indice in corrispondenza a un certo valore convenzionale delle grandezze applicate. Per i **dispositivi digitali** la **sensibilità** è data dalla cifra meno significativa indicata sul display. Ad esempio se un display ha quattro cifre intere e si trova nella portata di 5 Volt, la sua sensibilità è data da:

$$S = \frac{5}{10^4} = 0,0005\text{Volt}$$

### **Risoluzione**

La **risoluzione** di uno strumento è data dal rapporto tra la più piccola variazione che lo strumento è in grado di apprezzare e il valore massimo della grandezza che si può misurare con lo strumento, cioè il valore di fondo scala. La risoluzione migliore si ottiene con i dispositivi digitali. Per questi ultimi la risoluzione è data dal rapporto tra la variazione minima di conteggio sul display e il numero massimo che viene letto sul display, è generalmente espressa in %.

### **Scale di lettura degli strumenti**

Le scale di lettura degli strumenti possono essere **graduate direttamente** con la grandezza da misurare oppure in **divisioni**.

Nel secondo caso si deve definire la **costante di lettura dello strumento** indicata, generalmente, con la lettera **K**:

**la costante di lettura dello strumento è il coefficiente per cui va moltiplicato il numero di divisioni lette per ottenere il valore della grandezza misurata.**

Nelle scale degli strumenti la distanza tra una asta graduata e la successiva può variare a seconda della distanza le une dalle altre. Distinguiamo tre tipi di scale:

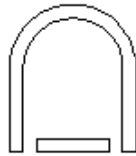
- ✚ Scala lineare: la distanza tra le varie tacche è costante in tutta la scala
- ✚ Scala non lineare: la distanza tra le varie tacche è minore all'inizio della scala e aumenta andando verso la fine
- ✚ Scala non lineare: la distanza tra le varie tacche è maggiore all'inizio della scala e diminuisce andando verso la fine

la scala dipende dal tipo di strumento e quindi dal principio di funzionamento su cui è basata la costruzione dello stesso.

### **Quadro generale di alcuni tipi di strumenti di misura**

Gli strumenti di misura possono, a seconda del tipo di costruzione interna, essere dispositivi in grado di misurare grandezze continue o alternate, diamo di seguito un elenco in cui sono messi in evidenza i tipi di strumenti, le grandezze che possono essere misurate e il simbolo corrispondente: Si rimanda a testi specifici la trattazione del funzionamento interno degli strumenti.

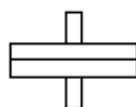
- ✚ **Strumenti magnetoelettrici:** sono costituiti da una bobina che produce un campo magnetico proporzionale alla grandezza da misurare. La bobina si muove, nel traferro di un magnete permanente, di una quantità che è proporzionale all'effetto dei due campi. Sono utilizzati per misure in c.c.  
Il loro simbolo grafico è:



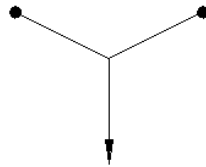
- ✚ **Strumenti elettromagnetici:** sono costituiti da due magneti che si muovono, l'uno rispetto all'altro, per effetto del campo magnetico prodotto dalla grandezza da misurare. Vengono utilizzati per misure in c.c. e c.a. Sono strumenti di elevata precisione e sensibilità per cui si utilizzano come strumenti da laboratorio.  
Il loro simbolo grafico è:



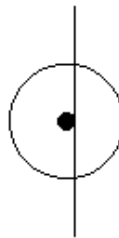
- ✚ **Strumenti elettrodinamici:** sono costituiti da due bobine, una fissa e una mobile, che vengono percorse da una parte della stessa grandezza da misurare oppure da due grandezze diverse e producono campi magnetici interagenti fra loro. Sono usati come strumentazione da quadro in quanto sono robusti ma non molto precisi. Vengono utilizzati per misure in c.c. e c.a.  
Il loro simbolo grafico è:



- ✚ **Strumenti termici:** la grandezza da misurare percorre un opportuno conduttore di cui ne provoca il riscaldamento per effetto Joule. La variazione termica, opportunamente rilevata, determina poi la misura della grandezza desiderata. Sono utilizzati per misure in c.c. e in c.a. sia in bassa che in alta frequenza. I dispositivi a filo sono adatti per misure di laboratorio e il simbolo grafico è:



- ✚ **Strumenti a induzione:** sono costituiti da un disco che viene sollecitato a muoversi sotto l'azione di due campi magnetici creati dalla grandezza che deve essere misurata, la rotazione del disco è proporzionale alla grandezza da misurare. Trovano applicazione nella costruzione di Wattmetri e contatori elettrici. Sono utilizzati solo per misure in c.a. Il simbolo grafico è:



### Alimentatore stabilizzato

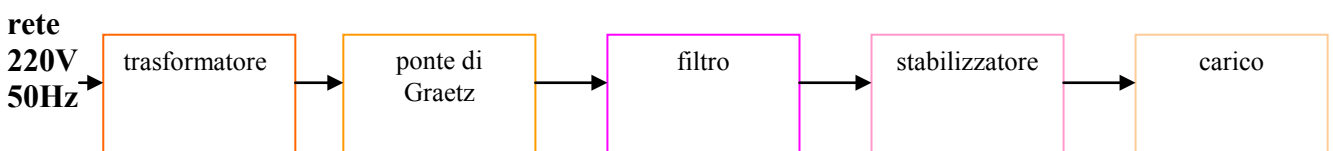


Fig. 1

Per alimentare i circuiti in continua o dispositivi elettronici in laboratorio si utilizzano gli **alimentatori stabilizzati**. Lo schema a blocchi dell'alimentatore è mostrato in figura 1. In essa si vede che l'alimentatore è collegato alla rete alternata a 50 Hz e questa viene trasformata in una grandezza continua.

Gli elementi fondamentali sono:

- ✚ **Trasformatore**
- ✚ **Raddrizzatore a ponte di diodi**
- ✚ **Filtro**



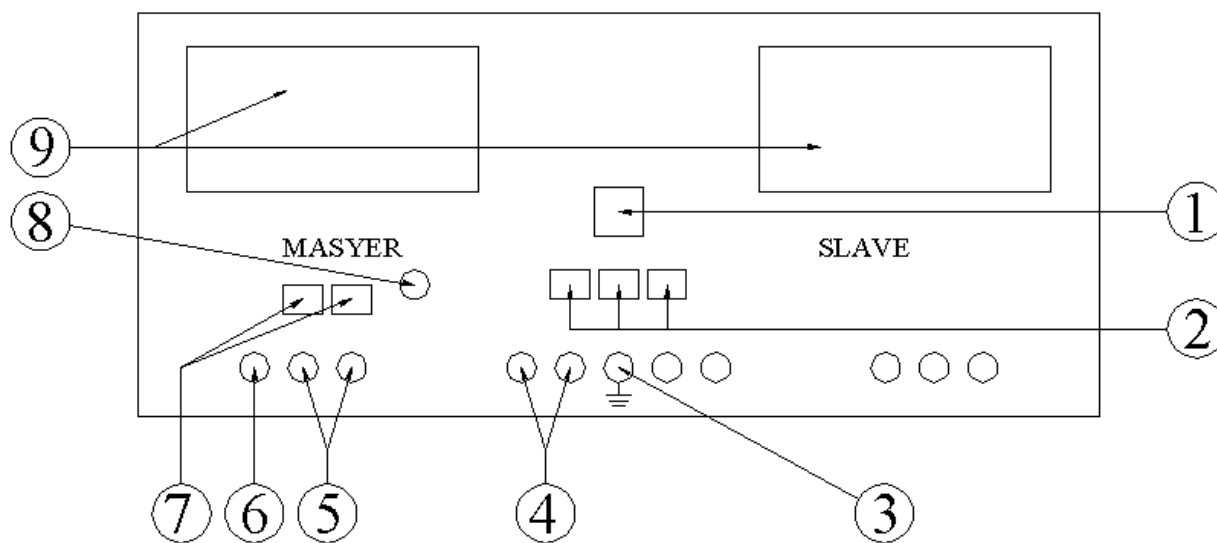
## ✚ **Regolatore**

Il primo elemento dell'alimentatore stabilizzato è il **trasformatore** che abbassa la tensione alternata ad un valore pari al rapporto di trasformazione del trasformatore. Segue poi un **ponte di diodi** per raddrizzare la tensione alternata che deve essere però maggiormente livellata passando attraverso un **filtro**; l'ultimo stadio è costituito da un circuito elettronico che può livellare ulteriormente la tensione e mantenerla costante al valore voluto. Lo strumento è fornito di un circuito limitatore di corrente (è presente sul frontale una manopola di regolazione) per evitare un eventuale corto circuito dovuto ad errori di manovra. Mediante una ulteriore manopola è possibile regolare la tensione in uscita per ottenere quella necessaria per la misura.

Gli alimentatori stabilizzati utilizzati nei laboratori elettronici, generalmente, sono costituiti da due alimentatori che possono funzionare separatamente o accoppiati in serie per ottenere una tensione doppia in uscita, o in parallelo per ottenere una corrente doppia in uscita. Se, ad esempio, la tensione di ciascun alimentatore è di 40 Volt, in serie si può ottenere una tensione di 80 Volt; per la corrente, se ciascun alimentatore fornisce al carico una corrente massima di 2,5 A, in un collegamento in parallelo si può avere una corrente d'uscita di 5 A.

Consideriamo la figura 2 e analizziamo il frontale di un alimentatore stabilizzato.

**Fig.2**



- **Power:** interruttore per l'accensione dell'alimentatore (1)
- **Pulsanti di selezione:** permettono di selezionare la modalità di lavoro dei due alimentatori: funzionamento distinto, in serie, in parallelo (2)
- **Morsetto di massa:** è collegato al telaio dell'alimentatore (3)
- **Morsetti (positivo e negativo):** morsetti di collegamento per la tensione di uscita (4)
- **Manopole per la regolazione della tensione:** le manopole sono due in quanto una opera la regolazione grossolana ed una la regolazione fine (5)

- **Manopola di limitazione della corrente:** con questa manopola si regola la possibilità di intervenire con il limitatore di corrente in modo da salvaguardare il sistema dei sovraccarichi accidentali (6)
- **Pulsanti per impostare la misura:** una manopola, contraddistinta da Volt, imposta la lettura della tensione sul display, l'altra manopola, contraddistinta da Amp, imposta la lettura della corrente sul display (7)
- **Spia indicatrice:** indica che c'è un sovraccarico di corrente rispetto alla predisposizione effettuata con la manopola del limitatore di corrente, quando si spegne vuol dire che non vi è sovraccarico (8)
- **Display:** è l'indicatore digitale che visualizza il valore della tensione o della corrente a seconda della predisposizione effettuata (9)

L'alimentatore stabilizzato, essendo duale, ha tutti i comandi doppi; una sezione viene denominata **Master** e l'altra **Slave**. Quando l'alimentatore funziona con il collegamento dei due in serie o in parallelo, i comandi da utilizzare sono quelli della sezione **Master**.

## Multimetri o Tester

Trattiamo brevemente lo strumento maggiormente utilizzato, per la sua versatilità, nelle misure di verifica del funzionamento dei circuiti. Il **tester**, infatti, può essere utilizzato come amperometro, voltmetro e ohmetro; può effettuare **misure in continua e in alternata** e può essere di tipo **analogico** o **digitale**.

Nei dispositivi analogici per le misure in c.c. la classe di precisione può andare da 1 a 1,5 mentre, in c.a. la classe può andare da 2 a 2,5 e la precisione, quando è utilizzato come ohmetro è del 2,5% al centro della scala. La sensibilità è sufficientemente elevata e migliora nei dispositivi elettronici, inoltre non necessitano di alimentazione esterna e sono economici.

Quando vengono utilizzati per misure in corrente alternata si debbono avere grandezze sinusoidali e il valore letto corrisponde al valore efficace della grandezza sottoposta a misura.

### Multimetro analogico

Oggi questo tipo di dispositivo è stato sostituito dai multimetri digitali soprattutto nelle misure di collaudo e di assistenza tecnica in generale.

Lo strumento dispone di una **scala ad indice lineare** e, normalmente, sono inserite **scale di diverso colore**, ciascuna corrispondente alle **portate** di cui è costituito lo strumento in modo da scegliere quella più appropriata per la misura.

Nel caso che il dispositivo venga utilizzato come **Ohmetro** la scala è diversa dalle altre in quanto va letta partendo da destra verso sinistra e non è di tipo lineare.

Sul frontale del dispositivo vi sono le manopole per cambiare la portata sia quando è utilizzato come voltmetro sia come amperometro; vi sono più morsetti di entrata a seconda della portata che vanno collegati al punto a potenziale più positivo e un morsetto comune che rappresenta il morsetto negativo.

### Multimetro digitale

I **multimetri digitali** si distinguono in:

✚ **Multimetri da banco:** funzionano con collegamento alla rete

✚ **Multimetri portatili:** funzionano con le pile e sono di dimensioni minori rispetto ai precedenti

I **multimetri digitali** quando misurano una grandezza alternata, ne danno il **valore efficace**, alcuni tipi sono interfacciabili al computer.

Il principio di funzionamento dei tester analogici si basa essenzialmente sulla misura di una corrente continua proporzionale alla grandezza da misurare. Per i multimetri digitali invece, l'elaborazione avviene per la tensione e quindi funzionano come un voltmetro digitale. Consideriamo uno schema a blocchi di un generico multimetri (figura 1).

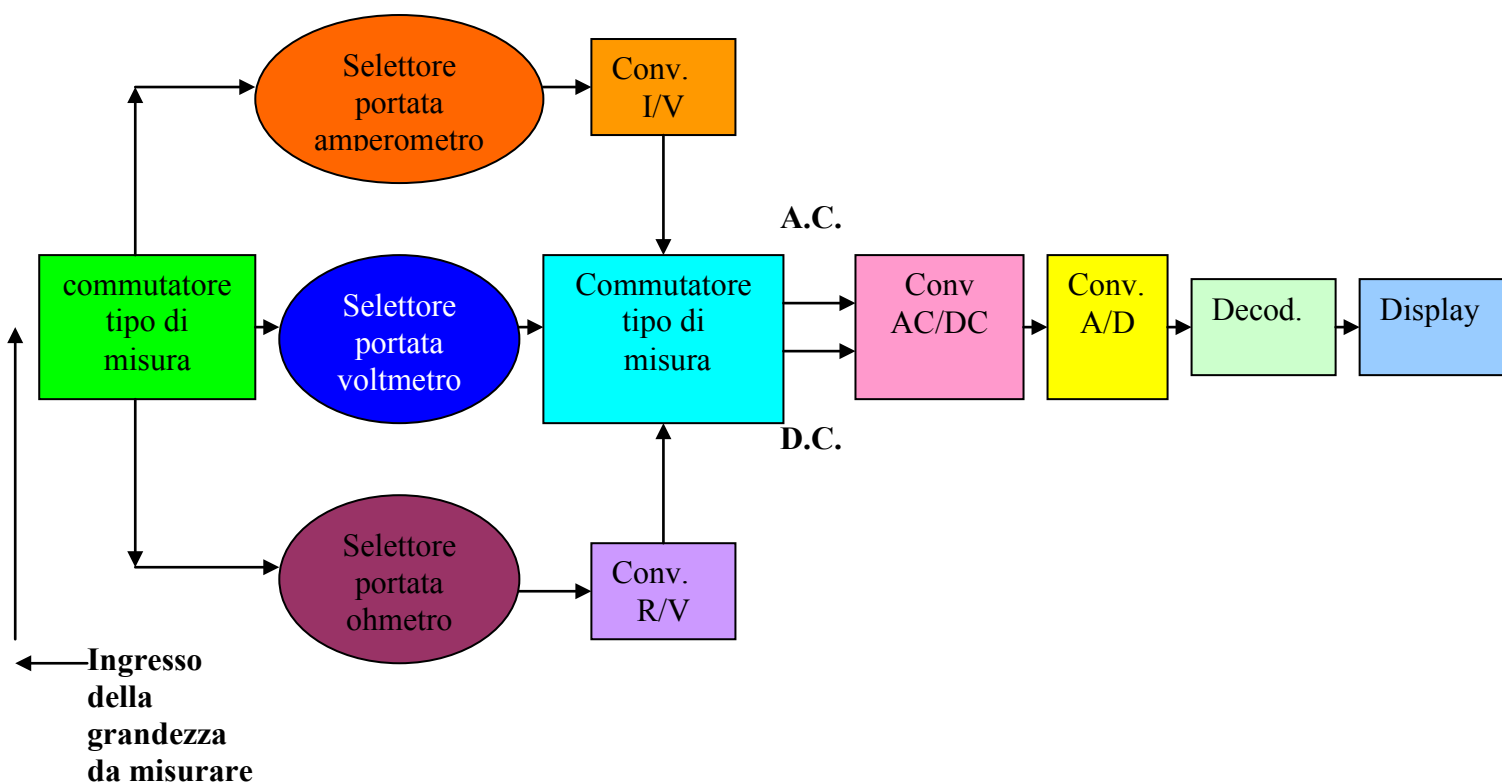


Fig. 1

Il *commutatore di ingresso* seleziona il tipo di misura da effettuare. I *selettori di portata* sono di tipo manuale per cui l'operatore seleziona quella opportuna. Nel caso che si *misuri una tensione* il segnale passa dal selettore di portata al blocco del *convertitore A/D (analogo – digitale)* se la misura è in continua altrimenti passa al blocco del *convertitore AC/DC* in modo che la tensione alternata sia trasformata in una tensione continua proporzionale al valore efficace della grandezza da misurare e, successivamente, il segnale passa nel *convertitore A/D*. Da questo blocco la grandezza esce in forma binaria e arriva allo stadio di *decodifica* che trasmette l'informazione necessaria al *display* per la visualizzazione del valore della grandezza misurata.

Nel caso che si *misuri una corrente*, dopo aver selezionato la portata come nel caso precedente, la corrente entra in un blocco *convertitore I/V (corrente – tensione)* in modo da avere, come grandezza di riferimento, sempre una tensione che passerà agli stadi successivi nel modo già descritto.

Nel caso di una misura di resistenza per riportare tale valore proporzionale ad una tensione si utilizza un *convertitore R/V (resistenza – tensione)*.

Le caratteristiche generali di un multimetro digitale sono:

- ✚ La *portata* per *misure di tensione continua (DC)* può andare da 20mV fino a 1000V, la *resistenza* di ingresso può arrivare a 10MΩ, la *sensibilità* può variare da 1μV a 0,1V
- ✚ La *portata* per *misure di tensione alternata (AC)* può andare da 200mV fino a 500V, la *resistenza* di ingresso può avere valori di

- ✚ La **portata** per **misure di corrente continua** possono andare da  $200\mu\text{A}$  a  $2\text{A}$ , la **resistenza** varia in base alla portata ma può variare fra un centinaio di ohm e qualche decimo di ohm, la **sensibilità** può andare da  $0,01\mu\text{A}$  a  $0,1\text{mA}$ ; la **sensibilità** va da  $10\mu\text{V}$  a  $1\text{V}$ , la lettura massima possibile dipende dalla frequenza del segnale
- ✚ La **portata** per **misure di corrente continua** può andare da  $200\mu\text{A}$  a  $2\text{A}$ , la **resistenza** varia in base alla portata ma può variare fra un centinaio di ohm e qualche decimo di ohm, la **sensibilità** può andare da  $0,01\mu\text{A}$  a  $0,1\text{mA}$
- ✚ La **portata** per **misure di corrente alternata** può andare da  $200\mu\text{A}$  a  $2\text{A}$ , la **resistenza** varia in base alla portata ma può variare fra un centinaio di ohm e qualche decimo di ohm, la **sensibilità** può andare da  $0,01\mu\text{A}$  a  $0,1\text{mA}$ , il campo di frequenze utili per una corretta misura è il medesimo a quello del funzionamento come voltmetro
- ✚ La **portata** per **misure di resistenza** può andare da  $200\Omega$  a  $20\text{M}\Omega$ , la **sensibilità** varia da un massimo di  $1\text{K}\Omega$  a un minimo di  $0,01\Omega$ . Il costruttore fornisce, per questo tipo di misura, la corrente generata dallo strumento in base alle varie portate

Questo dispositivo ha assunto una importanza fondamentale nella strumentazione base nei laboratori di progetto, nella assistenza tecnica e nei collaudi per la sua maneggevolezza, per la versatilità delle misure che si possono effettuare accompagnate anche da una rapida lettura.

## Linee guida per la stesura della relazione tecnica

### Generalità

La misura di una grandezza elettrica avviene attraverso l'uso di strumenti di misura inseriti in un opportuno circuito elettrico. Le misure elettriche permettono di verificare e/o progettare apparati elettrici ed elettronici e questo comporta la conoscenza **dei fondamenti teorici di elettrotecnica ed elettronica, la conoscenza e l'utilizzo degli strumenti di misura e regole di carattere pratico.**

### Stesura della relazione tecnica

Generalmente vi sono schede già stampate che mettono in evidenza i punti fondamentali da sviluppare. Tralasciamo le indicazioni generali e passiamo ai punti fondamentali da trattare nello sviluppo di una relazione tecnica.

Le tematiche fondamentali da inserire sono:

- ✚ **Oggetto della misura:** è il titolo della misura.
- ✚ **Schema elettrico:** è uno schema di principio in cui compare il tipo di alimentazione, l'oggetto della misura e la strumentazione necessaria per effettuare la misura stessa ;spesso si disegna anche lo schema **di montaggio** attraverso il quale si dà una indicazione più chiara sui collegamenti da eseguire nel circuito.
- ✚ **Caratteristiche del dispositivo sottoposto a misura:** sono i dati tecnici del dispositivo su cui si effettua la misura, può essere una sigla o un valore numerico, ecc.
- ✚ **Apparecchi utilizzati:** vanno elencate le apparecchiature e gli strumenti utilizzati con le loro caratteristiche tecniche e la casa costruttrice, in particolare modo, se le caratteristiche sono numerose, si trascrivono solo quelle che sono state utili ai fini della misura effettuata; generalmente l'**alimentazione** viene indicata a parte per stabilire se vi è alimentazione in c.c. oppure no e quindi stabilire il tipo di strumenti da utilizzare.
- ✚ **Montaggio del circuito:** si segue lo schema di montaggio o quello di principio realizzando prima il **circuito amperometrico** e successivamente quello **volumetrico**, è **importante imparare a tradurre lo schema nel circuito reale**. Si esegua il montaggio più volte se necessario.
- ✚ **Tabelle dei risultati:** vengono inseriti tutti i valori misurati e vi si trascrivono eventuali osservazioni utili quali, ad esempio, un cambiamento di portata dello strumento o una annotazione relativa ad un particolare valore misurato.
- ✚ **Grafici:** i grafici richiesti vanno eseguiti su apposita carta millimetrata, logaritmica o semilogaritmica a seconda del tipo di grandezze da visualizzare, nel caso di più grafici questi vanno eseguiti su carte diverse oppure sullo stesso grafico quando si deve effettuare un confronto fra le varie curve. Si deve porre attenzione alla **scala** da utilizzare per cui si **analizzino attentamente sia la tabella dei risultati sia le unità di misura** per stabilire quale possa essere quella più adatta.
- ✚ **Relazione:** consiste nella spiegazione della misura effettuata partendo dai principi teorici applicati. E' costituita da quattro parti:
  - ✚ **Parte teorica:** si descrive la legge o il principio che sono alla base della misura effettuata e i risultati teorici a cui portano;

- ✚ **Calcoli:** si eseguono i calcoli richiesti e si analizzano i risultati;
- ✚ **Parte pratica:** si descrive il procedimento seguito per la misura pratica mettendo in rilievo come è stata effettuata la **scelta degli strumenti**, eventuali difficoltà incontrate nella misura e come sono state risolte, ecc.
- ✚ **A conclusione** della relazione si analizzano i risultati sperimentali con quelli teorici e si verifica per quali motivi possono risultare delle discrepanze e a quali cause sono dovute.

# Modulo 2

## Contenuti:

- *Verifica della legge di Ohm e del secondo principio di Kirchhoff per un circuito serie*
- *Verifica della legge di Ohm e del primo principio di Kirchhoff per un circuito parallelo*
- *Misure di resistenza*
- *Misura di resistenza incognita con il metodo voltamperometrico*
- *Misura di resistenza incognita con il ponte di Wheatstone*
- *Rilievo della caratteristica voltamperometrica di una lampada ad incandescenza e di un resistore*
- *Misura della potenza elettrica in corrente continua con il metodo voltamperometrico*
- *Rilievo delle curve di carica e scarica di un condensatore e determinazione della costante di tempo*

## Obiettivi:

*Mettere l'allievo in grado di effettuare misure di tensioni e correnti in c.c.*

*Sviluppare la capacità di identificare i procedimenti sperimentali con il principi teorici studiati : Legge di Ohm, Principi di Kirchhoff, variazione della resistenza al variare della temperatura e potenza elettrica in c.c.*

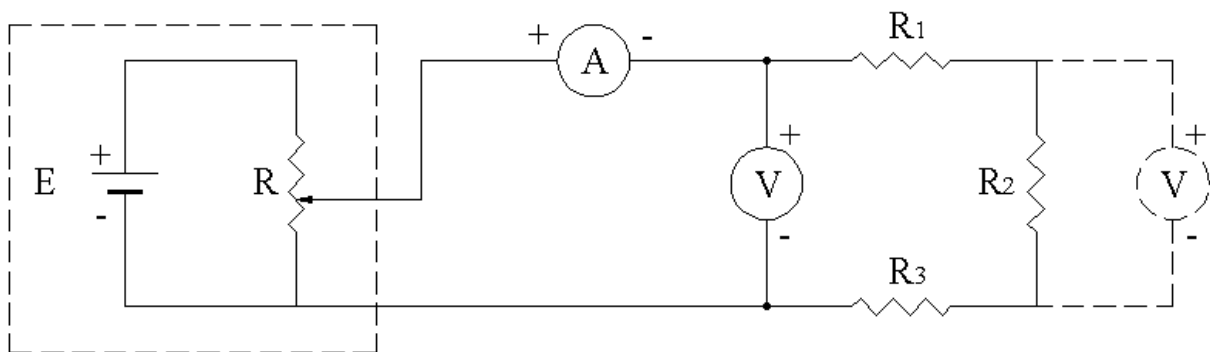


## Verifica della legge di Ohm e del secondo principio di Kirchhoff per un circuito serie

Lo scopo di questa misura è quello di verificare i primi principi di elettrotecnica studiati in teoria e imparare l'uso del metodo di lettura indiretto di uno strumento analogico.

Lo schema elettrico per lo svolgimento della misura è quello di figura 1, in esso l'alimentatore stabilizzato è collegato a tre resistenze inserite in serie, nel circuito amperometrico sono pure inseriti un amperometro e un voltmetro di tipo analogico. Quest'ultimo viene spostato, durante la misura, per permettere di effettuare la lettura della tensione ai capi di ciascuna resistenza.

Fig.1



### Dimensionamento

$$R_1 = \quad \Omega, \text{ tolleranza } \quad \%, P_{M1} = \quad \text{W}$$

$$R_2 = \quad \Omega, \text{ tolleranza } \quad \%, P_{M2} = \quad \text{W}$$

$$R_3 = \quad \Omega, \text{ tolleranza } \quad \%, P_{M3} = \quad \text{W}$$

Noti i valori sopra indicati si effettua il **dimensionamento** che consiste nella determinazione della tensione massima applicabile al circuito per non avere la distruzione dei dispositivi.

Delle resistenze sono noti i valori massimi di potenza ammesse per cui si va a calcolare la corrente massima sopportabile da ciascuna resistenza e si sceglie quella minima per non danneggiare alcun dispositivo.

$$I_{M1} = \sqrt{\frac{P_{M1}}{R_1}}$$

$$I_{M2} = \sqrt{\frac{P_{M2}}{R_2}}$$

$$I_{M3} = \sqrt{\frac{P_{M3}}{R_3}}$$

Dei tre valori di corrente si sceglie quello minore che indichiamo con  $I_{M \min}$ .

Si va ora a calcolare la tensione massima, determinando prima la resistenza complessiva del circuito data da:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

da cui:

$$V_{Max} = R_T I_{M \min}$$

Sulla base del valore determinato si stabilisce una tensione complessiva, ai capi del circuito serie, di un valore sensibilmente inferiore a quello determinato.

### **Misure**

Stabilita la tensione si effettuano, con amperometro e voltmetro, le seguenti misure:

$V_G$  d.d.p. ai morsetti del generatore

$V_A$  d.d.p. ai capi dell'amperometro

$V$  d.d.p. ai capi della serie delle tre resistenze

$V_1$  d.d.p. ai capi della resistenza  $R_1$

$V_2$  d.d.p. ai capi della resistenza  $R_2$

$V_3$  d.d.p. ai capi della resistenza  $R_3$

$I$  corrente circolante nel circuito

### **Metodo di lettura per lo strumento analogico**

In uno strumento analogico la grandezza si misura guardando la posizione dell'indice dello strumento sulla scala graduata. Lo spostamento dell'indice sulla scala è proporzionale alla grandezza che viene misurata.

Per una corretta lettura della grandezza si procede come segue:

- ✚ Si inserisce l'**amperometro** in **serie**
- ✚ Si inserisce il **voltmetro** in **parallelo**
- ✚ Si scelgono **le portate** adeguate in base al dimensionamento effettuato
- ✚ Si sceglie **la scala di lettura** in modo tale che le divisioni della scala, utilizzata per la lettura, siano uguali alla **portata** oppure **multiplo o sottomultiplo decimale della portata**
- ✚ Si calcola, per ciascuno strumento, la sua **costante di lettura  $K$** , che esprime il valore di ogni divisione ed è data dal rapporto tra la portata e la scala di lettura prescelti:

$$K = \text{portata/numero divisioni della scala}$$

Le unità di misura di K saranno rispettivamente, (Volt/div) per il voltmetro e (A/div) per l'ampmetro, il **numero di divisioni lette** sullo strumento lo indichiamo con  $\delta$ ,

- ✚ Il **valore misurato** per la **tensione** è dato da :  $V = K \delta$
- ✚ Il **valore misurato** per la **corrente** è dato da :  $I = K \delta$
- ✚ Riportare i dati in tabella

### Tabella dei risultati

N	Voltmetro			Amperometro			Note
	K V/div	$\delta$ div	V Volt	K A/div	$\delta$ div	I A	

Quando non si conosce l'entità della grandezza che si deve misurare è opportuno procedere come segue:

- ✚ Scegliere la portata massima consentita dallo strumento
- ✚ Eseguire una prima misura approssimata
- ✚ Scegliere una portata adeguata in modo che l'indice di lettura si mantenga in fondo scala, comunque nella seconda parte della scala
- ✚ Cercare di non commettere l'errore di parallasse per cui, se la scala è fornita di specchio, restare sopra lo strumento per la lettura e leggere anche la frazione di divisione ove sia possibile

### **Verifiche**

Mediante i valori misurati si eseguono le seguenti verifiche:

- ✚ della legge di Ohm
- ✚ del secondo principio di Kirchhoff
- ✚ delle resistenze in serie

cioè la tensione ai capi della serie di resistenze è data dalla d.d.p. del generatore meno la d.d.p. dovuta all'ampmetro.

$$V = V_E - V_A$$

I valori delle resistenze ricavate dai valori misurati, con la legge di Ohm, sono:

$$R_1 = \frac{V_1}{I}$$

$$R_2 = \frac{V_2}{I}$$

$$R_3 = \frac{V_3}{I}$$

La resistenza totale, come somma dei valori misurati è data da:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

Confrontare i valori con quelli nominali.  
Coincidono? Motivare la risposta.

### ***Bilancio energetico***

Con i dati della misura si può effettuare il bilancio energetico delle potenze nel circuito.  
Si vuole verificare che la potenza fornita dal generatore viene assorbita dagli elementi presenti nel circuito.

La potenza generata deve essere maggiore o al più uguale a quella assorbita dalle tre resistenze e dall'ampmetro.

La **potenza generata** è data da:

$$P_G = V_G I$$

La **potenza assorbita dal circuito** è data da:

$$P = P_A + P_1 + P_2 + P_3$$

dove le potenze si calcolano con le seguenti relazioni:

$$P_A = V_A I$$

$$P_1 = V_1 I$$

$$P_2 = V_2 I$$

$$P_3 = V_3 I$$

confrontare la potenza generata  $P_G$  con la potenza assorbita  $P$ .

**Nella relazione teorica vanno descritti in modo sintetico, ma completo, tutti i principi, le leggi e i calcoli eseguiti motivando sempre perché una data procedura viene effettuata.**

**Nella relazione pratica tutte le procedure utilizzate vanno descritte dettagliatamente.**

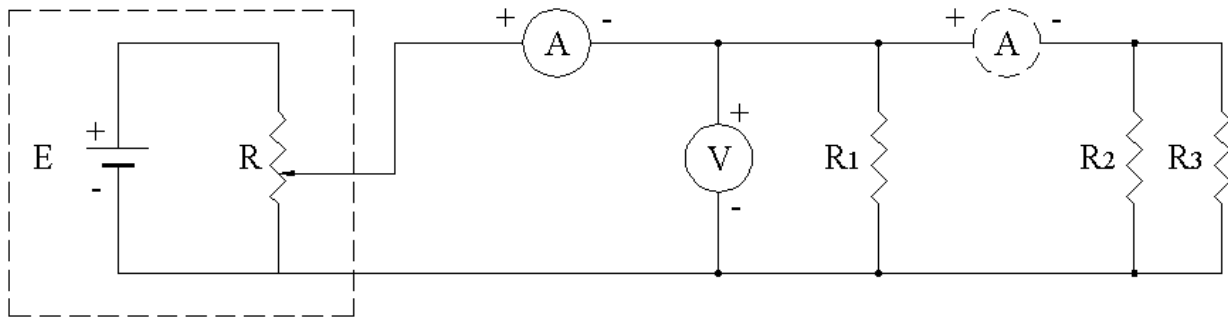
**Nelle conclusioni vanno rilevate eventuali discrepanze tra i valori misurati e quelli calcolati.**

## Verifica della legge di Ohm e del primo principio di Kirchhoff per un circuito parallelo

Lo scopo di questa misura è quello di verificare i primi principi di elettrotecnica studiati in teoria e imparare l'uso del metodo di lettura indiretto di uno strumento analogico.

Lo schema elettrico per lo svolgimento della misura è quello di figura 1, in esso l'alimentatore stabilizzato è collegato a tre resistenze inserite in serie, nel circuito amperometrico sono pure inseriti un amperometro e un voltmetro di tipo analogico. Quest'ultimo viene spostato, durante la misura, per permettere di effettuare la lettura della tensione ai capi di ciascuna resistenza.

Fig.1



### Dimensionamento

$$R_1 = \quad \Omega, \text{ tolleranza } \quad \%, P_{M1} = \quad \text{W}$$

$$R_2 = \quad \Omega, \text{ tolleranza } \quad \%, P_{M2} = \quad \text{W}$$

$$R_3 = \quad \Omega, \text{ tolleranza } \quad \%, P_{M3} = \quad \text{W}$$

Noti i valori sopra indicati si effettua il **dimensionamento** che consiste nella determinazione della tensione massima applicabile al circuito per non avere la distruzione dei dispositivi.

*Delle resistenze sono noti i valori massimi di potenza consentite, per cui si va a calcolare la tensione massima sopportabile da ciascuna resistenza e si sceglie quella minima per non danneggiare alcun dispositivo in quanto le resistenze sono poste in parallelo.*

$$V_{M1} = \sqrt{P_{M1} R_1}$$

$$V_{M2} = \sqrt{P_{M2} R_2}$$

$$V_{M3} = \sqrt{P_{M3} R_3}$$

Dei tre valori di tensione si sceglie quello minore che indichiamo con  $V_{M \min}$ .

Per la misura si sceglie un valore di tensione opportunamente più piccolo rispetto a quello calcolato.

### Misure

Stabilita la tensione si effettuano, con amperometro e voltmetro, le seguenti misure:

$V_G$  d.d.p. ai morsetti del generatore

$V_A$  d.d.p. ai capi dell'amperometro

$V$  d.d.p. ai capi del parallelo delle tre resistenze

$I_1$  corrente che attraversa la resistenza  $R_1$

$I_2$  corrente che attraversa la resistenza  $R_2$

$I_3$  corrente che attraversa la resistenza  $R_3$

$I$  corrente totale

### **Metodo di lettura per lo strumento analogico**

In uno strumento analogico la grandezza si misura guardando la posizione dell'indice dello strumento sulla scala graduata. Lo spostamento dell'indice sulla scala è proporzionale alla grandezza che viene misurata.

Per una corretta lettura della grandezza si procede come segue:

- ✚ Si inserisce l'**amperometro** in **serie**, con esso si misura sia la corrente totale sia le tre correnti nei rami del circuito
- ✚ Si inserisce il **voltmetro** in **parallelo** alle tre resistenze in modo da determinare la tensione ai capi del parallelo
- ✚ Si scelgono **le portate** adeguate in base al dimensionamento effettuato
- ✚ Si sceglie **la scala di lettura** in modo tale che le divisioni della scala, utilizzata per la lettura, siano uguali alla **portata** oppure **multiplo o sottomultiplo decimale della portata**
- ✚ Si calcola, per ciascuno strumento, la sua **costante di lettura  $K$** , che esprime il valore di ogni divisione, ed è data dal rapporto tra la portata e la scala di lettura scelti:

$$K = \text{portata} / \text{numero divisioni della scala}$$

L'unità di misura di  $K$  saranno, rispettivamente, (Volt/div) per il voltmetro e (A/div) per l'amperometro, il **numero di divisioni lette** sullo strumento lo indichiamo con  $\delta$ ,

- ✚ Il **valore misurato** per la **tensione** è dato da:  $V = K \delta$
- ✚ Il **valore misurato** per la **corrente** è dato da:  $I = K \delta$
- ✚ Riportare i dati in tabella

### Tabella dei risultati

N	Voltmetro			Amperometro			Note
	K V/div	$\delta$ div	V Volt	K A/div	$\delta$ div	I A	

Quando non si conosce l'entità della grandezza che si deve misurare è opportuno procedere come segue:

- ✚ Scegliere la portata massima consentita dallo strumento
- ✚ Eseguire una prima misura approssimata
- ✚ Scegliere una portata adeguata in modo che l'indice di lettura si mantenga verso il fondo scala, comunque nella seconda parte della scala
- ✚ Cercare di non commettere l'errore di parallasse per cui, se la scala è fornita di specchio, restare sopra lo strumento per la lettura e leggere anche la frazione di divisione ove sia possibile

### **Verifiche**

Mediante i valori misurati si eseguono le seguenti verifiche:

- ✚ della legge di Ohm
- ✚ del primo principio di Kirchhoff
- ✚ del secondo principio di Kirchhoff
- ✚ delle resistenze in parallelo

cioè si determina la tensione ai capi del parallelo delle resistenze che è data dalla d.d.p. del generatore meno la d.d.p. dovuta all'amperometro.

$$V = V_E - V_A$$

si determina la corrente totale come somma delle singole correnti misurate:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

si può calcolare la somma delle correnti in due rami ponendo l'amperometro nel punto P come indicato in figura 1, per cui si calcola la

$$I_{2-3} = I_2 + I_3$$

Si calcolano i valori delle singole resistenze con i dati misurati utilizzando la formula della legge di Ohm:

$$R_1 = \frac{V}{I_1}$$

$$R_2 = \frac{V}{I_2}$$

$$R_3 = \frac{V}{I_3}$$

La resistenza totale è data da:

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

il valore di questa resistenza va confrontata con la relazione

$$R_T = \frac{V}{I}$$

in cui V e I sono i valori di tensione e corrente misurati.

### **Bilancio energetico**

Con i dati della misura si può effettuare il bilancio energetico delle potenze nel circuito.

Si vuole verificare che la potenza fornita dal generatore venga assorbita dagli elementi presenti nel circuito.

La potenza generata dovrà essere maggiore o al più uguale a quella assorbita dalle tre resistenze e dall'amperometro.

La **potenza generata** è data da:

$$P_G = V_G I$$

La **potenza assorbita dal circuito** è data da :

$$P = P_A + P_1 + P_2 + P_3$$

dove le potenze si calcolano con le seguenti relazioni:

$$P_A = V_A I$$

$$P_1 = V I_1$$

$$P_2 = V I_2$$



$$P_3 = V I_3$$

confrontare la potenza generata  $P_G$  con la potenza assorbita  $P$ .

**Nella relazione teorica vanno descritti in modo sintetico, ma completo, tutti i principi, le leggi e i calcoli eseguiti motivando sempre perché una data procedura viene effettuata.**

**Nella relazione pratica tutte le procedure utilizzate vanno descritte dettagliatamente.**

**Nelle conclusioni vanno rilevate eventuali discrepanze tra i valori misurati e quelli calcolati.**

## Misure di resistenza

### Generalità

Le misure di resistenza servono per rilevare i valori delle resistenze elettriche di dispositivi elettrici, di impianti elettrici, ecc. Tali misure vengono effettuate in corrente continua e vi sono diverse modalità per effettuarle:

- ✚ Metodo industriale: quando si utilizzano strumenti di misura a lettura diretta per rilevare il valore della resistenza
- ✚ Utilizzo di strumenti specifici: ohmetri
- ✚ Metodo a ponte: utilizzano opportuni circuiti con resistenze e si misura la resistenza incognita attraverso il confronto di determinati parametri

L'utilizzazione del metodo per la misura di resistenza dipende anche dall'ordine di grandezza della resistenza stessa, se questo è noto.

Le resistenze si possono distinguere in:

- ✚ Resistenze piccole: valori inferiori all'ohm
- ✚ Resistenze medie: valori da uno a un milione di ohm
- ✚ Resistenze grandi: valori superiori a un milione di ohm

La precisione delle misure dipende dal tipo di applicazioni e possono andare da  $\pm 1\%$ , ad esempio per misure in impianti elettrici, fino ad approssimazioni di  $\pm 1$  su un milione nel caso di misure di resistenze interne di strumenti elettrici o di resistenze tarate.

*Codice dei colori standard dei resistori*

Colore	Cifra	Moltiplicatore	Tolleranza
nero	0	1	—
bruno	1	10	±1%
rosso	2	100	±2%
arancio	3	1000	—
giallo	4	10000	—
verde	5	100000	±0,5%
blu	6	1000000	—
viola	7	10000000	—
grigio	8	—	—
bianco	9	—	—
oro	—	0,1	±5%
argento	—	—	±10%

## Misura di resistenza incognita con il metodo voltamperometrico

Questo metodo è utilizzato, generalmente, in misure di tipo industriale per determinare il valore di resistenze comprese tra  $1\Omega$  e  $100\text{K}\Omega$  ma anche minori.

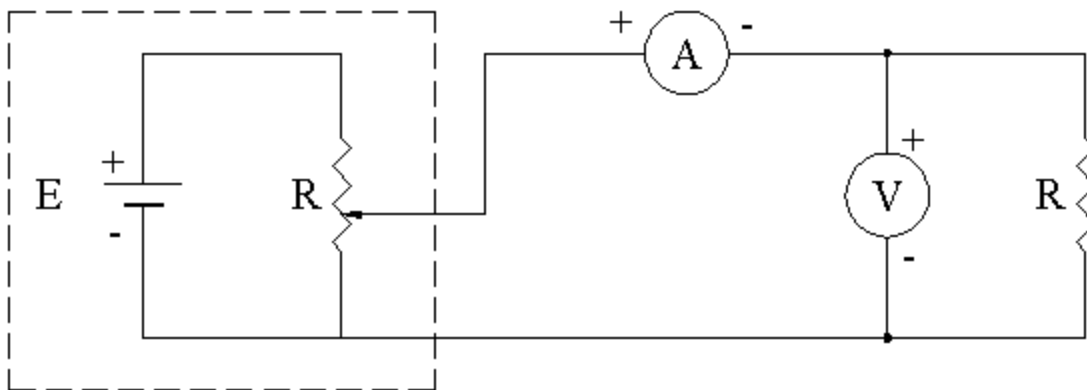
L'inserzione del voltmetro è diversa nei due schemi in quanto si effettua la prova con due resistenze di valore diverso, dato che la misura è affetta da errore, quest'ultimo risulta minore o maggiore a seconda dell'ordine di grandezza della resistenza.

In entrambi i casi:

- ✚ si calcolano gli errori di misura commessi dagli strumenti a seconda del tipo di inserzione
- ✚ si calcola l'errore percentuale commesso con l'una e l'altra misura
- ✚ si determina qual è il metodo più conveniente, cioè dove l'errore risulta minore, in base all'ordine di grandezza della resistenza incognita

### Inserzione a valle

Fig.1



Il circuito è costituito da un alimentatore stabilizzato, da un amperometro, un voltmetro e dalla resistenza incognita. Il **voltmetro** si dice in **inserzione a valle** quando i suoi morsetti si trovano ai capi della resistenza, l'amperometro si trova inserito nel circuito prima del voltmetro per cui misura la corrente che arriva al carico più la corrente assorbita dal voltmetro (figura 1). I costruttori forniscono il valore della **resistenza interna dello strumento** per ciascuna portata in modo da poter calcolare l'errore dovuto all'autoconsumo dello strumento.

Analizziamo i dati da misurare, gli errori da calcolare e indichiamo rispettivamente con:

$R_x$  la resistenza incognita calcolata tenendo presente l'autoconsumo degli strumenti

$R_m$  la resistenza incognita misurata come rapporto dei valori letti sugli strumenti

$R_a$  la resistenza interna dell'amperometro

$R_v$  la resistenza interna del voltmetro

$V$  la tensione misurata con il voltmetro

$I$  la corrente misurata con l'amperometro

$I_v$  la corrente assorbita dal voltmetro nella inserzione a valle

$V_a$  la tensione ai capi dell'amperometro nella inserzione a monte

Il valore della corrente, nel circuito, viene regolato in base all'ordine di grandezza della resistenza incognita e alla rispettiva portata. E' importante che, se la resistenza è di piccolo valore, la corrente sia sufficientemente grande da far rilevare una tensione misurabile; se invece la resistenza è grande la tensione può avere valori relativamente elevati e corrente piccola.

Il valore della resistenza incognita, misurato direttamente, è dato da:

$$R_m = \frac{V}{I}$$

Si deve però tenere presente l'autoconsumo del voltmetro in quanto, essendo inserito a valle dell'amperometro, fa sì che quest'ultimo misuri una corrente che è quella effettiva del carico più la corrente assorbita dal voltmetro per cui la resistenza incognita  $R_x$  è data dalla seguente relazione:

$$R_x = \frac{V}{I - I_v} = \frac{V}{I - \frac{V}{R_v}}$$

Si calcola ora l'errore assoluto:

$$\Delta R = R_m - R_x$$

ed ora si calcola l'errore %

$$\Delta R\% = \frac{R_m - R_x}{R_x} 100$$

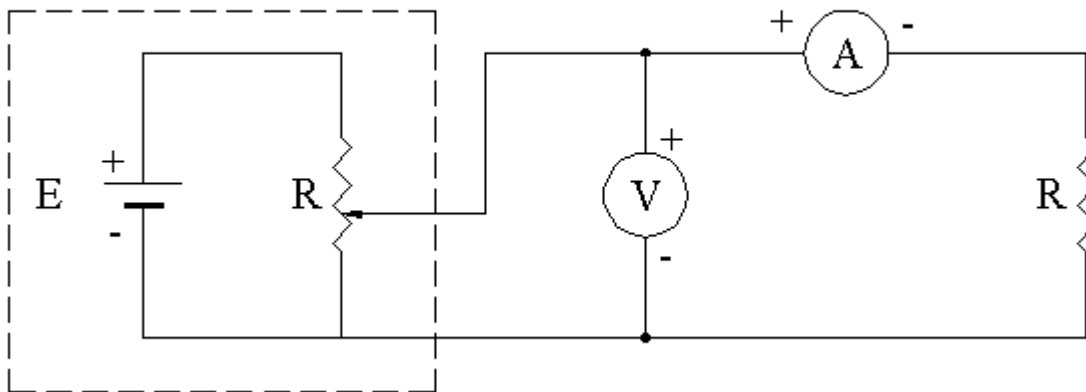
I dati ottenuti si riportano in tabella per l'analisi dei risultati.

Voltmetro a valle

N	V	I	R <sub>m</sub>	R <sub>x</sub>	ΔR	ΔR%	Note
	Volt	A	Ω	Ω	Ω		

### Inserzione a monte

Fig.2



Le notazioni sono le stesse del caso precedente. Il circuito è il medesimo ma, in questo caso, **il voltmetro** è in **inserzione a monte**, cioè la tensione misurata risulta costituita dalla tensione ai capi della resistenza più la tensione ai capi dell'amperometro dovuta al suo autoconsumo.

Il valore della resistenza incognita, misurato direttamente, è dato da:

$$R_m = \frac{V}{I}$$

Si deve però tenere presente l'autoconsumo dell'amperometro per cui la resistenza incognita calcolata è data dalla seguente relazione:

$$R_x = \frac{V - V_a}{I} = \frac{V}{I} - \frac{R_a I}{I} = \frac{V}{I} - R_a$$

dalla relazione emerge che il prodotto  $V_a = R_a I$  rappresenta la tensione, ai capi dell'amperometro, che viene letta dal voltmetro.

Si calcola ora l'errore assoluto:

$$\Delta R = R_a = R_m - R_x$$

ed ora si calcola l'errore %

$$\Delta R \% = \frac{R_m - R_x}{R_x} 100$$

da cui

$$\Delta R \% = \frac{R_m - R_x}{R_x} 100 = \frac{R_a}{R_x} 100 \quad (1)$$

I dati ottenuti si riportano in tabella per l'analisi dei risultati.

Dalla relazione (1) si rileva che  $\Delta R$  risulta tanto più piccola quanto maggiore risulta essere  $R_x$  rispetto a  $R_a$ .

Tabella dei risultati

Voltmetro a monte

N	V	I	R <sub>x</sub>	ΔR	ΔR%
	Volt	A			

Dall'analisi dei risultati che si ottengono devono emergere queste caratteristiche:

- ✚ *nel caso che la resistenza incognita sia di piccolo valore conviene utilizzare l'inserzione a valle*
- ✚ *nel caso che la resistenza incognita sia di valore medio conviene utilizzare l'inserzione a monte*

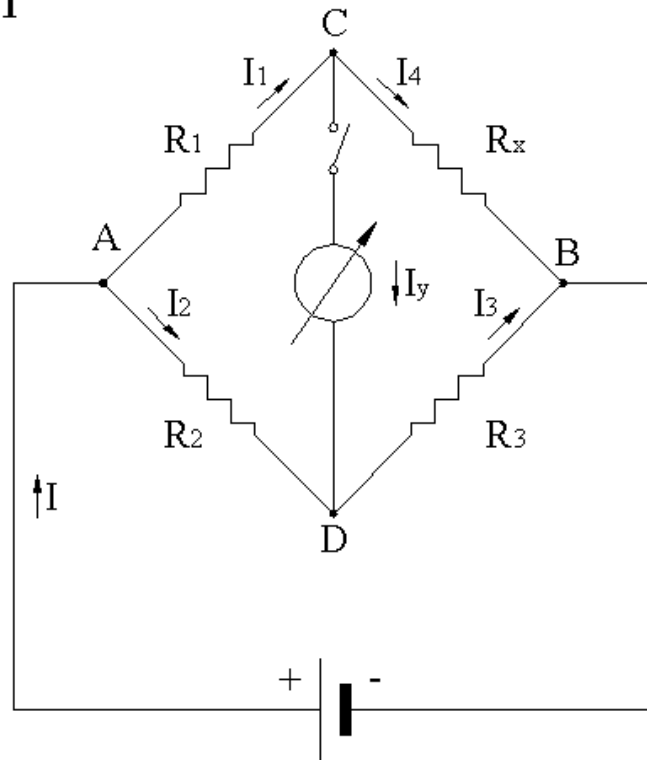
**Nel primo caso** deve risultare che la resistenza incognita sia di valore molto minore della resistenza interna del voltmetro; in questo modo la quasi totalità della corrente passa attraverso la resistenza per cui il valore letto sull'amperometro è molto prossimo al valore che realmente vi circola.

**Nel secondo caso** deve risultare che la resistenza incognita sia di valore molto grande rispetto alla resistenza interna dell'amperometro; in questo modo la quasi totalità della tensione letta sul voltmetro è molto prossima al valore che realmente è presente ai capi della resistenza incognita.

## Misura di resistenza mediante il ponte di Wheatstone

Questo metodo viene, in genere, utilizzato per la misura di precisione di *resistenze medie* ed è basato sull'uso di un circuito detto *ponte di Wheatstone*. Il ponte può essere costituito da una cassetta munita di spinotti a cui collegare la resistenza incognita e gli strumenti di misura oppure può essere costruito in laboratorio con quattro resistenze, tra cui quella incognita, come mostrato nello schema di figura 1.

Fig.1



Il circuito è realizzato con quattro resistenze che costituiscono i lati del quadrilatero **ABCD**, ai nodi **A** e **B** viene collegato l'alimentatore stabilizzato e ai nodi **C** e **D** è collegato un galvanometro.

Il *galvanometro* è uno strumento con scala a zero centrale che permette di rilevare se, nel ramo ove è inserito circola corrente oppure no. In quest'ultimo caso si ha una tensione ai capi del galvanometro cioè tra i punti **C** e **D** del ponte.

Delle quattro resistenze  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_x$  l'ultima è incognita, mentre delle altre tre, almeno una è variabile.

La prova consiste nel portare il ponte in equilibrio per rilevare poi, dalla relazione della condizione di equilibrio, il valore della resistenza incognita.

### Calcoli ed esecuzione della misura

Quando si alimenta il circuito la corrente circola come indicato in figura e, nel ramo centrale, si sceglie un verso qualsiasi in quanto si possono verificare tre casi:

- ⚡ Il potenziale del punto **C** è maggiore del potenziale nel punto **D**, allora la corrente va da **C** a **D**
- ⚡ Il potenziale del punto **C** è minore del potenziale nel punto **D**, allora la corrente va da **D** a **C**
- ⚡ Il potenziale del punto **C** è uguale al potenziale nel punto **D**, in questo caso si dice che *il ponte è in equilibrio*



Quando il ponte è in equilibrio si ha che la corrente  $I_1$  è uguale alla corrente  $I_4$  e che la corrente  $I_2$  è uguale alla corrente  $I_3$ .

Dalla condizione di equilibrio si ottiene che se  $V_C$  è uguale a  $V_D$  è valida la seguente relazione:

$$V_{AC} = V_{AD}$$

che può essere scritta come segue:

$$R_1 I_1 = R_2 I_2 \quad (1)$$

Inoltre si ha che è verificata anche la seguente espressione:

$$V_{CB} = V_{DB}$$

che può essere scritta come segue:

$$R_X I_4 = R_3 I_3 \quad (2)$$

dividendo poi, membro a membro, la relazione (1) con la (2) si ottiene:

$$\frac{R_1}{R_X} = \frac{R_2}{R_3}$$

ossia

$$R_1 R_3 = R_2 R_X \quad (3)$$

La relazione (3) si esprime dicendo che:

***la condizione di equilibrio del ponte è verificata quando il prodotto delle resistenze dei due lati opposti del quadrilatero è uguale al prodotto delle resistenze degli altri due lati indipendentemente dal valore della alimentazione fornita, dal galvanometro e dalle resistenze proprie delle due diagonali.***

La misura consiste nel variare almeno una delle tre resistenze note fino ad ottenere una tensione nulla tra i morsetti **C** e **D**. Questa condizione viene rilevata attraverso la lettura del galvanometro che deve avere l'indice sullo zero, per questo motivo la procedura è detta **metodo di riduzione a zero**. Il tasto T serve per collegare il galvanometro al circuito in modo da verificare quando si arriva alla condizione di equilibrio.

La resistenza incognita resta quindi determinata dalla relazione seguente:

$$R_X = \frac{R_1}{R_2} R_3$$

I lati in cui sono inserite le resistenze  $R_1$  e  $R_2$  sono detti **lati di proporzione** del ponte, mentre il ramo in cui è inserita la resistenza  $R_3$  viene detto **lato di paragone**.

La condizione di **massima sensibilità** si ottiene quando **l'ordine di grandezza delle resistenze**, nei quattro rami è circa il **medesimo**. Ove possibile si effettua una misura preventiva stabilendo l'ordine

di grandezza delle tre resistenze quando è nota quella della resistenza incognita; la misura viene poi affinata per raggiungere l'equilibrio.

Per avere buoni risultati di lettura le resistenze è bene che abbiano valori compresi tra i decimi di ohm fino a un migliaio di ohm; infatti se la resistenza è troppo piccola si possono avere problemi per le resistenze ai contatti, e per le resistenze troppo grandi diventa difficile ottenere una sufficiente sensibilità.

Se il galvanometro è a postazione fissa, ed ha una buona sensibilità, si può avere un miglioramento nella determinazione del valore della resistenza incognita.

Dopo aver determinato il valore della resistenza si realizza una relazione tecnica in cui vengono evidenziati, oltre ai concetti teorici, anche la procedura utilizzata per arrivare all'equilibrio del ponte e i calcoli relativi.

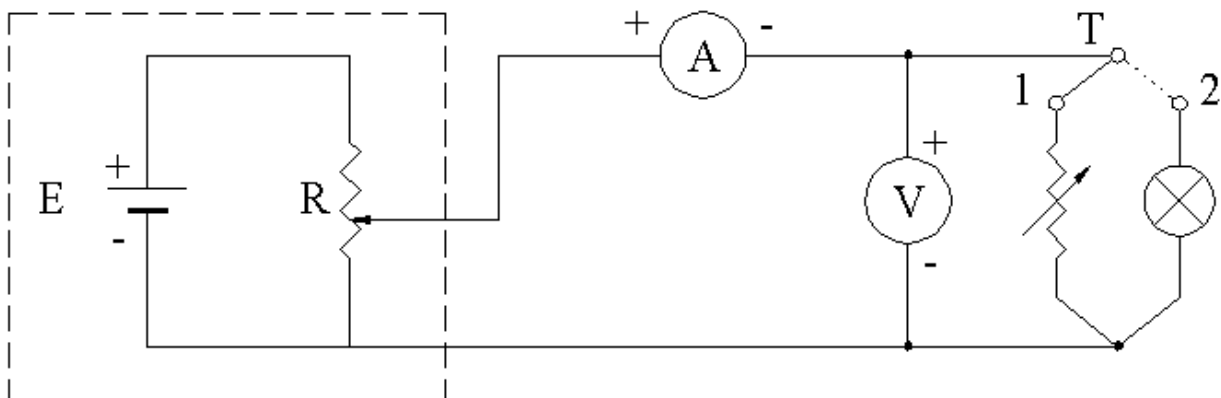
## Rilievo della caratteristica voltamperometrica di una lampada a incandescenza e di un resistore

La misura consiste nel determinare la caratteristica  $V = f(I)$  per un resistore ed una lampada ad incandescenza e verificare se la legge di Ohm è valida in entrambi i casi.

La lampada utilizzata è una lampada ad incandescenza costituita da un filamento di tungsteno inserito in una ampolla di vetro contenente gas inerte all'interno che, quando la temperatura è a regime, produce i seguenti effetti:

- ✚ Impedisce che il filamento si bruci infatti, se ci fosse aria e quindi ossigeno, all'interno dell'ampolla il filamento brucerebbe
- ✚ La volatilizzazione del filamento si manifesta con maggiore intensità nel vuoto rispetto al caso in cui sia presente un gas inerte
- ✚ Permette al filamento, di raggiungere temperature di  $2500^{\circ}\text{C}$ , infatti più è alta la temperatura e maggiore è l'intensità luminosa della lampadina

La misura mette in rilievo che la legge di Ohm non è più valida quando la temperatura varia di molto. Per il resistore non vi è alcuna variazione di temperatura durante la misura per cui la caratteristica voltamperometrica risulta una retta mentre, per la lampadina, all'aumentare della corrente si ha un forte aumento di temperatura che fa variare in modo considerevole il valore della resistenza dall'istante iniziale a quello finale. Per la lampadina non è quindi verificata la legge di Ohm e le relazioni che legano la resistenza alle variazioni di temperatura sono quelle analizzate nella parte teorica del testo.



**Fig.1**

Lo schema elettrico per la determinazione delle caratteristiche è quello di figura 1 mentre, i grafici che si ottengono sono visualizzati in figura 2.

Nel circuito sono inseriti:

- ✚ Un alimentatore stabilizzato
- ✚ Un voltmetro
- ✚ Un amperometro

- ✚ Un tasto deviatore per effettuare prima il collegamento con il resistore e successivamente con la lampada

Si parte con un valore iniziale di corrente uguale per entrambi i dispositivi e si aumenta la tensione, attraverso l'alimentatore stabilizzato, fino a circa 14 V. Si riportano i dati in tabella e, successivamente, si costruiscono le caratteristiche voltamperometriche.

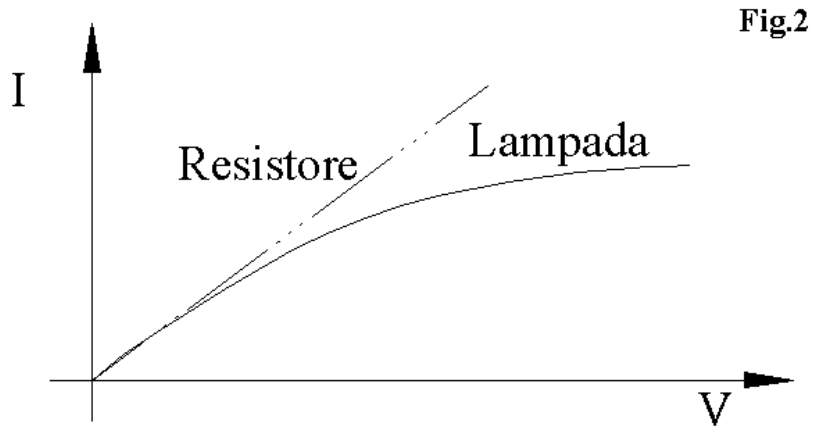


Tabella dei risultati

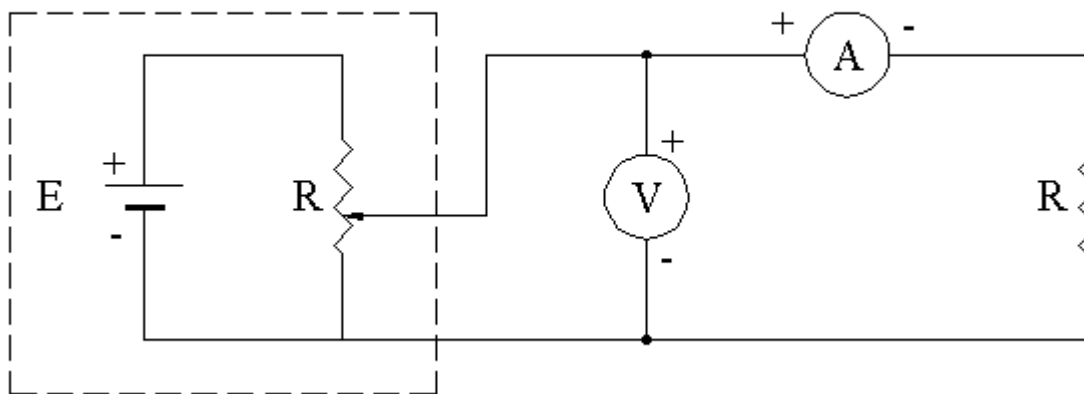
N	V	I <sub>L</sub>	I <sub>R</sub>	Note
	Volt	A	A	

## Misura della potenza elettrica in corrente continua con il metodo voltamperometrico

Questa misura consente di determinare la potenza generata e assorbita in un circuito elettrico. Consideriamo lo schema di figura 1; in esso è presente un alimentatore stabilizzato con tensione regolabile da 0 a 30 Volt, un carico rappresentato da una resistenza di valore noto e da un amperometro e un voltmetro. Il metodo utilizzato è di tipo industriale e la misura viene effettuata una volta con *voltmetro a monte dell'amperometro* e una volta con *voltmetro a valle dell'amperometro*.

### Inserzione con voltmetro a monte dell'amperometro

Fig.1



Sono noti i valori della resistenza e la tensione di alimentazione:

$$R = \quad \Omega, \text{ tolleranza } \%, P_M = \quad \text{W}$$

$$V_G = \quad \text{Volt (tensione di alimentazione)}$$

Con questi due valori si può calcolare l'entità della corrente che circola nel circuito con la relazione seguente:

$$I = \frac{V_G}{R}$$

in questo modo si stabiliscono le portate per i due strumenti di misura.

Si esegue il montaggio del circuito con il *voltmetro a monte*: in questo caso l'amperometro legge la corrente che effettivamente attraversa la resistenza, mentre il voltmetro misura la tensione ai capi del carico sommata alla d.d.p. ai capi dell'amperometro.

Indichiamo con le seguenti lettere rispettivamente:

$R_A$  la resistenza interna dell'amperometro

$V$  il valore di tensione ai capi della resistenza

$I$  il valore di corrente misurato che circola effettivamente sulla resistenza

La **potenza misurata** è data da:

$$P_m = (V + R_A I)I = VI + R_A I^2$$

La **potenza assorbita dall'ampmetro** è data da:

$$P_A = R_A I^2$$

mentre la **potenza vera** è data dalla relazione seguente:

$$P = VI$$

La misura è affetta da un **errore sistematico** dovuto all'**autoconsumo dell'ampmetro** per cui l'errore percentuale è:

$$e\% = \frac{P_m - P}{P} 100 = \frac{R_A I}{V} 100$$

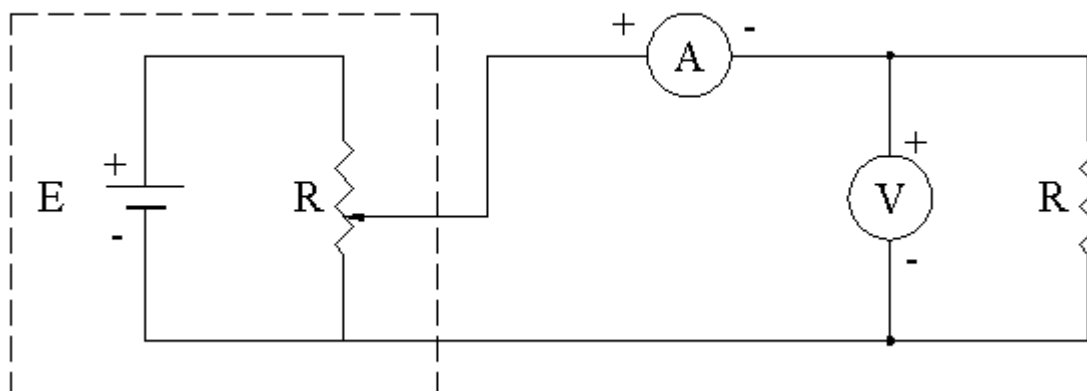
### Tabella dei risultati

Voltmetro a monte

N	V	I	P <sub>m</sub>	P <sub>v</sub>	e%	Note
	Volt	A	Watt	Watt		

### *Inserzione con voltmetro a valle dell'ampmetro*

**Fig.2**



Lo schema da realizzare è quello di figura 2; in esso il **voltmetro** è inserito **a valle** rispetto all'**ampmetro**. In questo caso il voltmetro misura effettivamente la tensione ai capi del carico resistivo, mentre l'ampmetro legge la corrente che giunge alla resistenza sommata alla corrente assorbita dal voltmetro.

Indichiamo con le seguenti lettere rispettivamente:

$R_v$  la resistenza interna del voltmetro

$V$  il valore di tensione misurato, d.d.p. effettiva ai capi della resistenza

$I$  il valore di corrente che circola sulla resistenza

La **potenza misurata** risulta quindi essere data da:

$$P_m = V(I + I_v) = VI + VI_v$$

La **potenza assorbita dal voltmetro** è:

$$P_v = \frac{V^2}{R_v}$$

La **potenza vera** è data dalla seguente espressione:

$$P = VI$$

Anche questa **misura** è affetta da un **errore sistematico** dovuto, in questo caso, all'**autoconsumo del voltmetro** per cui l'errore percentuale è:

$$e\% = \frac{P_m - P}{P} 100 = \frac{I_v}{I} 100 = \frac{V}{R_v I} 100$$

I dati rilevati vengono raccolti in una tabella dati che permette rapide considerazioni sulle caratteristiche delle due misure effettuate.

### Tabella dei risultati

Voltmetro a valle

N	V	I	P <sub>m</sub>	P <sub>v</sub>	e%	Note
	Volt	A	Watt	Watt		

### **Osservazioni**

Si osserva che l'errore, nella inserzione con il voltmetro a monte, è tanto minore quanto maggiore è la tensione ai capi della resistenza e quanto minore è la corrente che la attraversa.

Nella inserzione con il voltmetro a valle dell'amperometro l'errore è tanto più piccolo quanto minore è la tensione ai capi della resistenza e quanto maggiore è la corrente che vi circola.

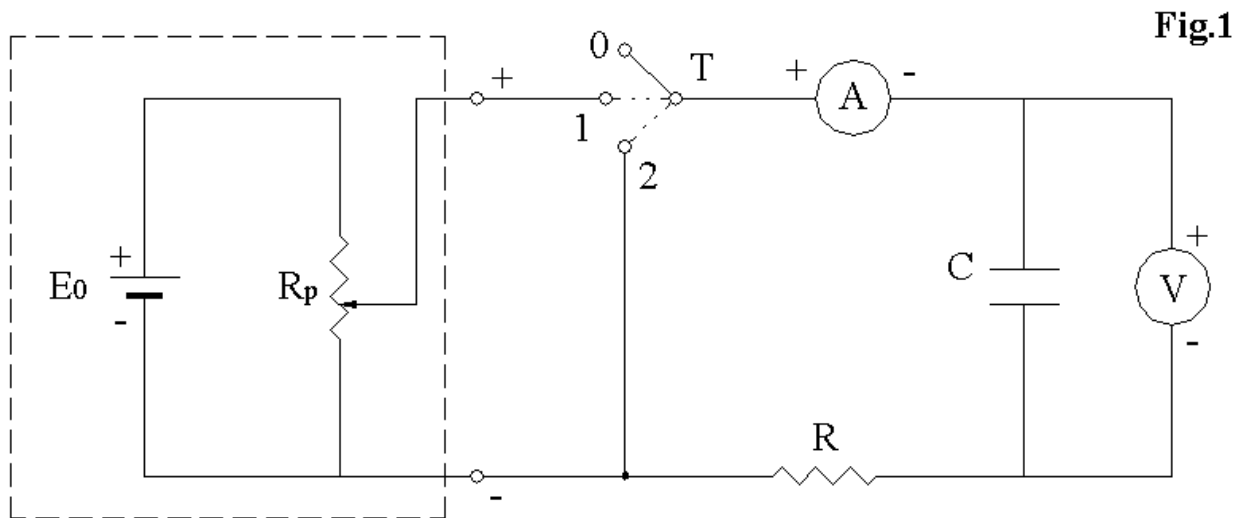
Per diminuire l'errore è necessario che le resistenze interne degli strumenti siano:

- ✚ per il voltmetro molto elevata
- ✚ per l'amperometro molto piccola

In misure come queste gli strumenti utilizzati debbono essere, possibilmente, di precisione. Controllare che gli errori sistematici rilevati risultino inferiori agli errori strumentali. Si tenga presente che, essendo la potenza determinata dal prodotto di due grandezze, l'errore relativo risultante è dato dalla somma algebrica degli errori relativi che si commettono nelle due misure singole. Quindi se le misure di tensione e corrente vengono eseguite con una approssimazione dell'1%, la potenza è determinata con una approssimazione del 2%.



## Rilevo delle curve di carica e scarica di un condensatore e determinazione della costante di tempo



Lo schema per il rilievo delle curve di  $V = f(t)$  e  $I = f(t)$  per un condensatore è quello rappresentato in figura 1. Si collega l'alimentatore stabilizzato con un circuito costituito da una resistenza inserita in serie ad un condensatore, si inseriscono l'amperometro e il voltmetro e si utilizza un tasto deviatore  $T$  nella posizione 1 per il rilevamento delle curve nella fase di carica e nella posizione 2 per il rilevamento delle curve nella fase di scarica.

Il voltmetro e l'amperometro sono digitali per ridurre al minimo gli effetti dell'autoconsumo degli strumenti e per il rilevamento del tempo si utilizza un cronometro.

Il valore del condensatore  $C$  e della resistenza  $R$  vengono letti direttamente sui due componenti, per la resistenza si legge anche la tolleranza rispetto al valore nominale.

### Curve di carica

Si effettua la misura di carica del condensatore e si rilevano i dati di tensione e corrente in funzione del tempo riportandoli in tabella. La tensione massima da raggiungere viene stabilita in base alle caratteristiche dei componenti e a quella dell'alimentatore stabilizzato.

Si determina la **costante di tempo** utilizzando i valori nominali della resistenza e del condensatore:

$$\tau = RC$$

Il tempo di carica risulta quindi:

$$T = 5\tau = 5RC$$

Conoscendo il transitorio di carica si stabilisce ogni quanti secondi rilevare la tensione, e la corrente, per ottenere le curve richieste. Ad esempio se  $T$  risulta di 120 secondi, si possono effettuare rilevamenti ogni 5 secondi per le prime 6 o 7 misure e ogni 10 secondi per le successive. Si riportano i dati in tabella.

I grafici relativi al **transitorio di carica** sono mostrati in figura 2 e figura 3.

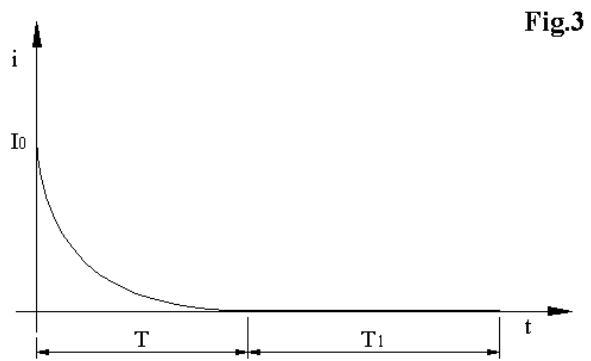
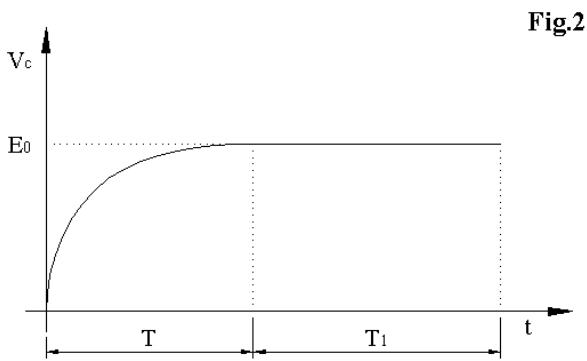
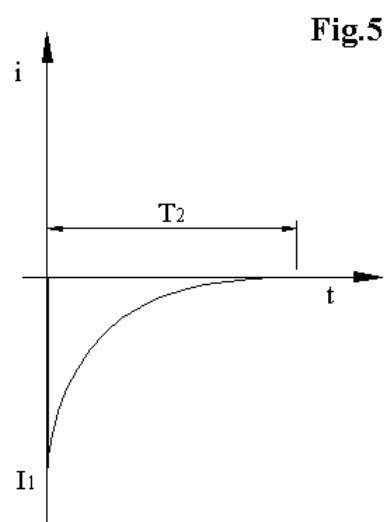
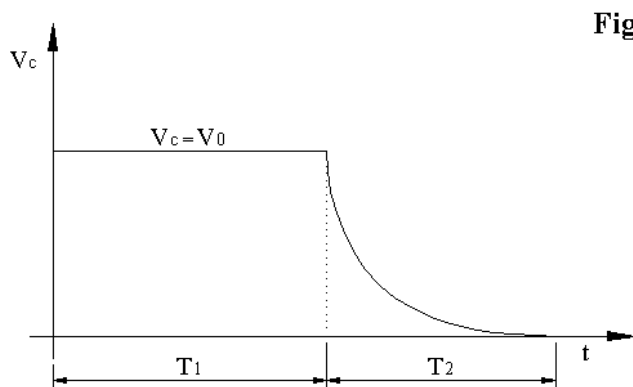


Tabella dei risultati

N	t	Vc	I	Note
	sec	Volt	A	

**Curve di scarica**

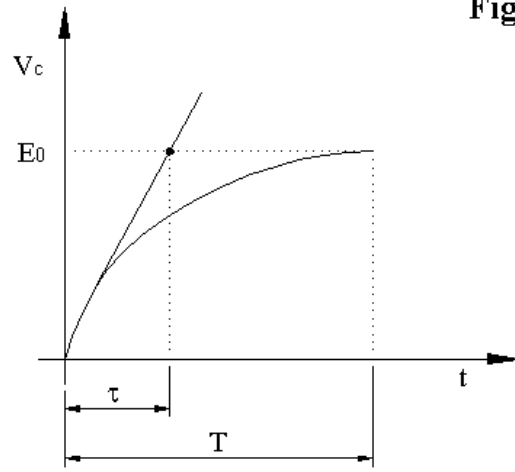
Si pone il tasto del deviatore nella posizione 2 e si effettuano le misure di tensione e di corrente al variare del tempo riportando i dati in tabella (analoga alla precedente 9 e si disegnano i grafici di figura 4 e 5).



**Determinazione sperimentale della costante di tempo**

La determinazione sperimentale della costante di tempo si ottiene dal grafico di  $V = f(t)$ : si traccia la tangente alla curva nell'origine degli assi e la si fa intersecare con la retta, parallela all'asse delle ascisse, che parte dal valore massimo raggiunto dalla tensione (figura 6). Determinata la costante di tempo  $\tau$ , si può rilevare il tempo  $T = 5 \tau$ . Si effettua poi il confronto con il valore teorico determinato.

**Fig.6**



# Modulo 3

## Contenuti:

- *Generatore di funzioni*
- *Rilevamento della curva di risposta in frequenza di un filtro RC passa basso e passa alto*
- *Rilevamento della curva di risposta in frequenza di un circuito risonante serie*
- *Rilievo della caratteristica voltamperometrica diretta e inversa di un diodo al germanio e un diodo al silicio*
- *Rilievo della caratteristica voltamperometrica diretta e inversa di un diodo Zener*

## Obiettivi:

*Mettere l'allievo in grado di utilizzare il generatore di segnale.*

*Verificare sperimentalmente il funzionamento dei filtri passivi e del circuito risonante serie.*

*Verificare sperimentalmente le caratteristiche dei diodi con il metodo statico.*

## Generatore di funzioni

Il generatore di funzioni è uno strumento utilizzato per generare forme d'onda da applicare all'ingresso dei circuiti al fine di effettuare collaudi, tarature e verifiche del funzionamento dei circuiti elettronici. In ambito elettronico i segnali maggiormente utilizzati sono:

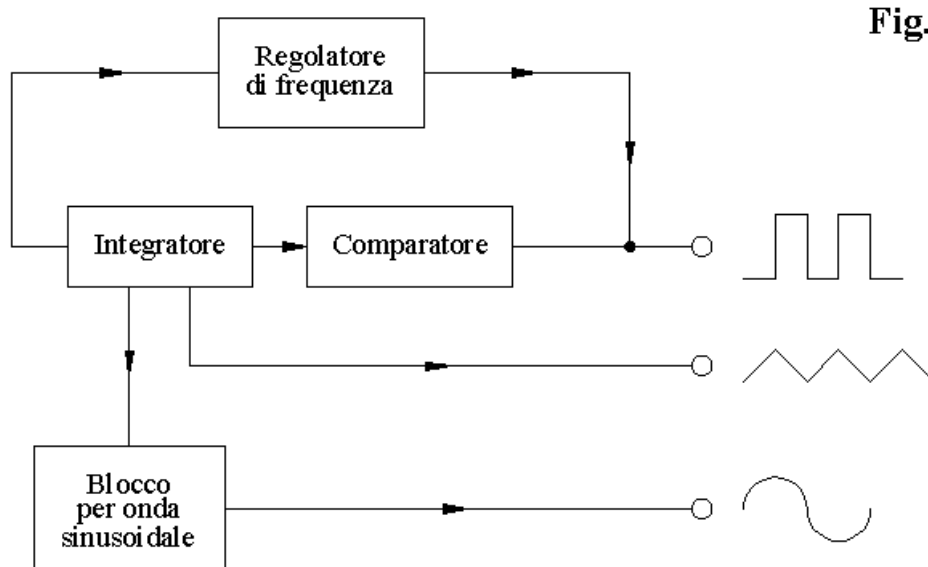
- ✚ Le funzioni triangolari
- ✚ Le funzioni sinusoidali
- ✚ Le funzioni ad onda quadra

Il segnale che il generatore fornisce all'uscita si può presentare in vari modi ed alcuni tipi di dispositivi hanno la possibilità di fornire in uscita segnali modulati in AM e FM.

I generatori di funzione di tipo commerciale utilizzati in campo analogico si suddividono in:

- ✚ Generatori a B.F. (bassa frequenza) che lavorano con frequenze non superiori a qualche MHz
- ✚ Generatori a A.F. (alta frequenza) che lavorano con frequenze non inferiori a qualche decina di KHz

In generale il generatore di funzione è costituito da un blocco che genera l'onda triangolare e un blocco che genera l'onda quadra. Il segnale sinusoidale si può desumere dal blocco ad onda triangolare e per questo motivo, a volte, tale segnale può non essere perfettamente sinusoidale e presentare delle irregolarità. Lo schema a blocchi corrispondente può essere quello di figura 1.



### Parametri fondamentali

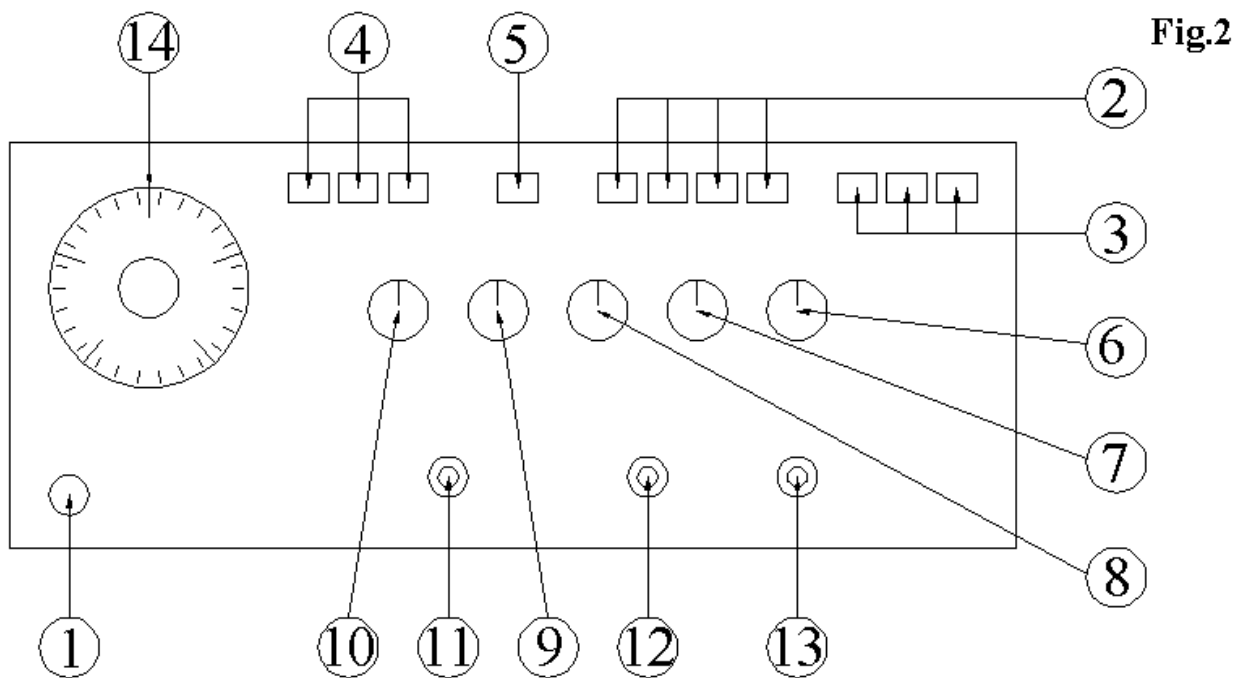
Per i generatori di funzione i parametri fondamentali si possono riassumere come segue:

- ✚ **Banda di frequenza:** generalmente è compresa tra 0,1 Hz e qualche decina di Mhz

- ✚ **Stabilità in frequenza:** rappresenta lo scostamento % in frequenza fra il segnale impostato all'inizio e quello generato dopo un certo tempo
- ✚ **Precisione in frequenza:** indica la precisione della scala graduata, relativa alla manopola di regolazione, rispetto alla frequenza prodotta
- ✚ **Errore di linearità:** è un parametro relativo all'onda triangolare e da la misura dello scostamento massimo % del segnale rispetto all'andamento teorico rettilineo
- ✚ **Tempo di salita e di discesa:** questo parametro è relativo all'onda quadra e, generalmente, hanno valori di qualche decina di nano secondi
- ✚ **Distorsione armonica:** è un parametro relativo all'onda sinusoidale ed è riferito alla % di deformazione del segnale prodotto rispetto al segnale sinusoidale teorico
- ✚ **Impedenza di uscita:** in genere è di  $50 \Omega$ , ma in alcuni strumenti è presente anche una uscita a  $600 \Omega$
- ✚ **Ampiezza:** è l'ampiezza picco-picco di uscita che può variare da pochi volt a qualche decina di volt
- ✚ **Attenuazione in dB:** il segnale di uscita può essere regolato con attenuazioni che, in genere, sono di 10, 20, 30 dB
- ✚ **Livello di continua:** è generalmente variabile con continuità tra 0 volt e + 10 volt e tra 0 volt e - 10 volt

Prima di prendere in esame il frontale dello strumento analizziamo brevemente il suo funzionamento secondo la modalità *sweep*. In questo caso il generatore fornisce, in uscita, un segnale la cui frequenza viene fatta variare in un modo prefissato mediante opportune regolazioni. La frequenza varia quindi da un valore minimo ad un valore massimo e l'andamento della variazione può essere di tipo logaritmico, lineare o arbitrario a seconda del genere di segnale di controllo che effettua la regolazione. Tale segnale può essere interno o esterno. Questo sistema permette quindi di rilevare la risposta in frequenza sia degli amplificatori sia di altri dispositivi elettronici.

Consideriamo la figura 2 e analizziamo le manopole principali del frontale di un generatore di funzione.

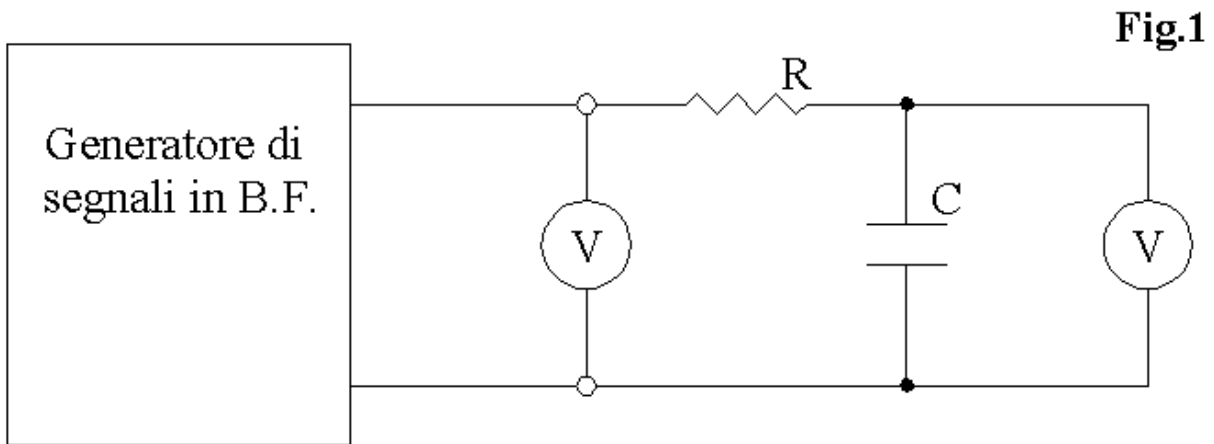


- ✚ Pulsante di accensione (1)
- ✚ Pulsanti di selezione della funzione richiesta: sinusoidale, triangolare, quadra, tensione continua (2)
- ✚ Pulsanti per l'impostazione dell'ampiezza minima del segnale di uscita: possono essere premuti anche più pulsanti contemporaneamente per ottenere una maggiore attenuazione del segnale di uscita (3)
- ✚ Pulsanti per la selezione dell'intervallo di frequenza da utilizzare per la funzione generata (4)
- ✚ Pulsante utilizzato per dare inizio ad un periodo *sweep* singolo interno (5)
- ✚ Manopola di regolazione dell'ampiezza del segnale generato (6)
- ✚ Manopola di regolazione della tensione continua da -10 volt a + 10 volt sovrapposta al segnale generato (7)
- ✚ Manopola per regolare la frequenza finale di stop dello *sweep* (8)
- ✚ Manopola per la predisposizione del tempo di durata dello *sweep* (9)
- ✚ Manopola per la regolazione fine della frequenza (10)
- ✚ Connettore BNC di ingresso e uscita relativo alla tensione di controllo dello *sweep*: può essere utilizzato come ingresso di una tensione che va poi ad agire sulla frequenza, oppure può essere utilizzato come uscita per cui il segnale a rampa, interno al dispositivo, è disponibile in uscita (11)

- ✚ **Connettore BNC** che genera una onda quadra opportuna per circuiti integrati TTL (12)
- ✚ **Connettore BNC** da cui prelevare il segnale selezionato (13)
- ✚ **Manopola per la regolazione continua della frequenza:** è in scala logaritmica (14)



## Rilevamento della curva di risposta in frequenza di un filtro RC passa basso



Lo schema per la determinazione della curva di risposta al variare della frequenza per un filtro passa basso è quello di figura 1. Il generatore di segnale è collegato al filtro elettrico, per la determinazione delle tensioni di ingresso e uscita si utilizzano due voltmetri digitali, per cui l'autoconsumo dello strumento è trascurabile ai fini della misura.

Per il rilevamento della curva di risposta si pone la tensione di ingresso ad un valore che rimane costante per tutta la durata della misura. I due voltmetri misurano le tensioni efficaci ai capi del quadripolo per cui si determina il rapporto  $F = V_2/V_1$  della funzione di trasferimento che verrà utilizzata per la determinazione della curva di risposta. I dati rilevati vengono riportati in tabella e, successivamente, si realizza il grafico utilizzando la scala logaritmica per la frequenza e la scala lineare per la funzione di trasferimento.

Sul grafico si può visualizzare, invece della funzione di trasferimento, la tensione di uscita in funzione della frequenza in quanto la d.d.p. di ingresso rimane costante.

I valori nominali della resistenza e del condensatore che costituiscono il filtro sono noti:

R =

C =

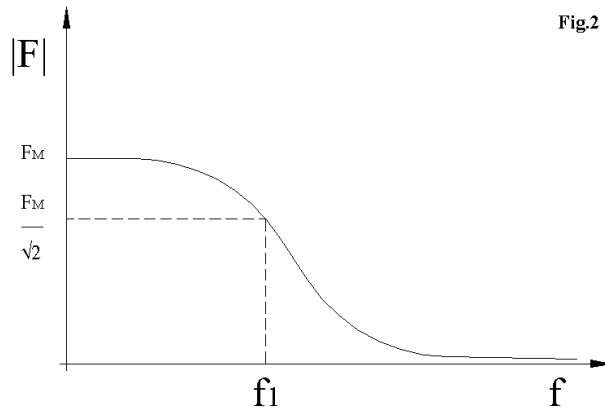
per cui si calcola la **frequenza di taglio teorica**:

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

da questo valore si ricava la gamma di frequenze entro cui effettuare le misure prendendo come valore minimo  $f/10$  e come valore massimo  $10f$ .

*Ad esempio se  $f = 1500$  Hz, gli estremi sono 150 Hz e 15 KHz.*

Si suddividono opportunamente una decina di misure da effettuare, intensificando i rilevamenti in corrispondenza dell'intorno della frequenza di taglio per ottenere una curva più precisa. Si riportano i dati in tabella e, successivamente, si disegna il grafico come quello di figura 2.



- ✚ Verificare se il valore massimo della funzione di trasferimento è pari a 1, come nel caso teorico, oppure ha un valore inferiore
- ✚ per la determinazione della frequenza di taglio sperimentale si considera il valore effettivamente ottenuto e su quello si determina il valore ridotto del 30%
- ✚ Graficamente si determina la frequenza di taglio e la si confronta con il valore teorico precedentemente calcolato
- ✚ Gli strumenti di misura utilizzati non intervengono sugli errori della misura; si deve invece, tenere presente l'approssimazione nella realizzazione del grafico, e si consideri che la frequenza di taglio teorica è stata calcolata sui valori nominali dei componenti i quali hanno una determinata tolleranza per cui i valori effettivi potrebbero non essere esattamente quelli utilizzati per il calcolo

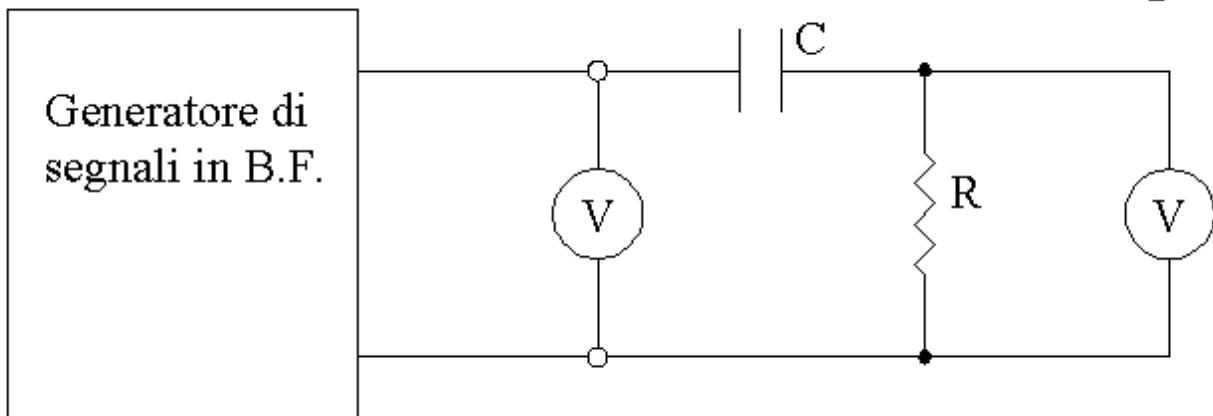
Tabella dei risultati

N	f	V1	V2	F	Note
	Hz	Volt	Volt		

**Rilevamento della curva di risposta in frequenza di un filtro RC passa alto**

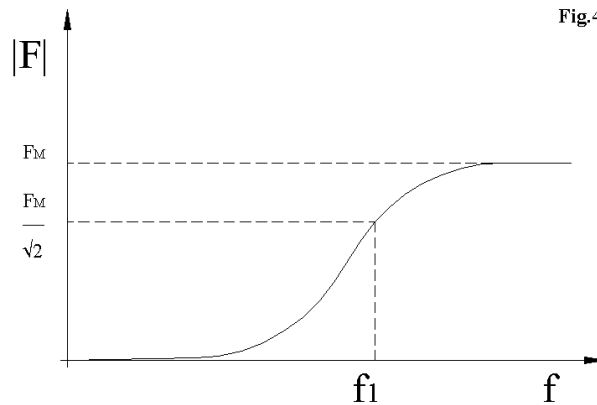
Lo schema per la determinazione della curva di risposta al variare della frequenza per un filtro passa alto è quello di figura 3. La misura viene effettuata con le modalità precedenti. Si determina la *frequenza di taglio teorica*:

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

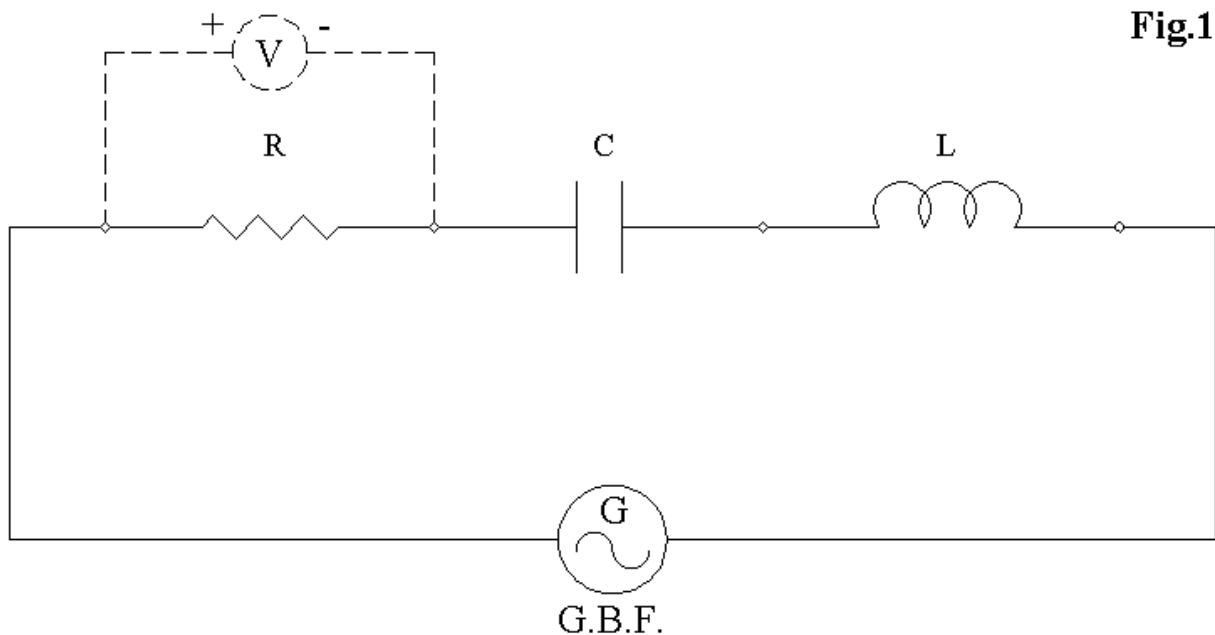
**Fig.3**

e si ricava la gamma di frequenze entro le quali rilevare i dati che vengono poi riportati in una tabella identica a quella utilizzata per il filtro passa-basso.

Si disegna il grafico, come quello rappresentato in figura 4, si determina poi la frequenza di taglio effettuando il confronto con il valore calcolato.

**Fig.4**

## Rilevamento della curva di risposta in frequenza di un circuito risonante serie



Con questa misura si vuole determinare la curva di risposta di un circuito risonante serie e verificare i dati sperimentali con quelli teorici calcolati.

Il circuito di figura 1 è utilizzato per il rilevamento della curva di risposta in frequenza di un circuito risonante serie.

### *Parte teorica – Calcoli*

I valori dei componenti che costituiscono il circuito risonante sono valori nominali, per cui potrebbero non corrispondere ai valori effettivi dei componenti e di questo si deve tenere conto nelle valutazioni finali relative alla misura.

Sono noti:

R =

L =

C =

con essi si calcola la *frequenza di risonanza teorica*:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

si calcola anche il valore del *coefficiente di risonanza Q* con la seguente relazione:

$$Q = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$$

e la *banda passante* del circuito

$$B = \frac{R}{2\pi L}$$

Dato che  $Q = \frac{f_0}{B}$  e la banda passante è data da  $B = f_2 - f_1$  si può conoscere l'ordine di grandezza della banda passante e si possono poi stabilire i valori da dare alla frequenza per ricavare la curva richiesta.

### **Parte pratica**

Dopo avere effettuato i calcoli teorici si passa alla determinazione pratica dei valori di corrente per tracciare la curva di risposta.

Gli strumenti utilizzati sono del tipo digitale per cui il loro autoconsumo è ridotto e non lo si tiene in considerazione. I punti da sviluppare sono:

- ✚ Montaggio del circuito come da schema di figura 1
- ✚ Determinazione dei valori da attribuire alla frequenza per la misura; la frequenza viene posizionata e letta sul generatore di segnale
- ✚ Rilevamento dei valori di tensione  $V$ , ai capi della resistenza, al variare della frequenza. Nel grafico quindi, in realtà, si visualizza la tensione  $V$  in funzione della frequenza
- ✚ Si decidono le scale da utilizzare per il grafico che si costruisce su scala semilogaritmica: scala lineare per la corrente e scala semilogaritmica per la frequenza
- ✚ Si verifica che la curva sia tracciata con un sufficiente numero di punti tali da permettere la determinazione della **frequenza di risonanza** e della **banda passante sperimentali**
- ✚ Si effettua il confronto tra i valori calcolati e quelli rilevati sperimentalmente

La curva che si ottiene è analoga a quella mostrata in figura 2.

**Fig.2**

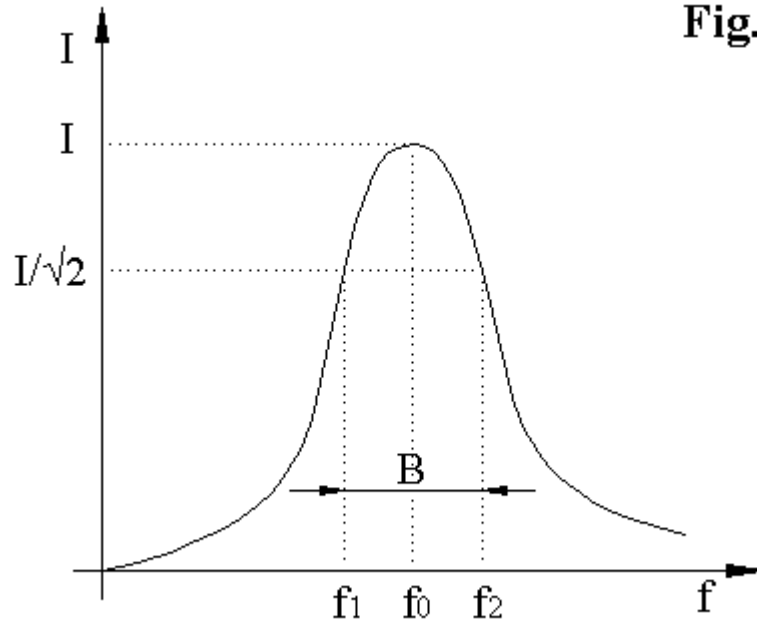


Tabella dei risultati

N	f	V	Note
	Hz	Volt	

## Rilevo della caratteristica voltamperometrica diretta e inversa di un diodo al germanio e di un diodo al silicio

### Generalità

Questo metodo di misura viene effettuato in c.c. e per tale motivo è denominato *metodo statico*.

Il rilevamento delle caratteristiche può essere effettuato anche con l'utilizzo del generatore di segnale e dell'oscilloscopio e in questo caso si dice che si utilizza il *metodo dinamico*.

Le misure di tipo statico richiedono che il componente rimanga sollecitato per un tempo maggiore rispetto al rilevamento con il metodo dinamico, si ha quindi il riscaldamento del dispositivo che potrebbe falsare la misura. Per questo motivo si mantengono i valori di tensione e corrente molto più bassi rispetto ai valori massimi forniti dal costruttore.

Le caratteristiche hanno un andamento esponenziale, essendo il dispositivo non lineare, secondo la relazione seguente:

$$I = I_0 \left( e^{\frac{V}{\eta T}} - 1 \right)$$

dove si ha:

$I$  è la corrente che attraversa il diodo

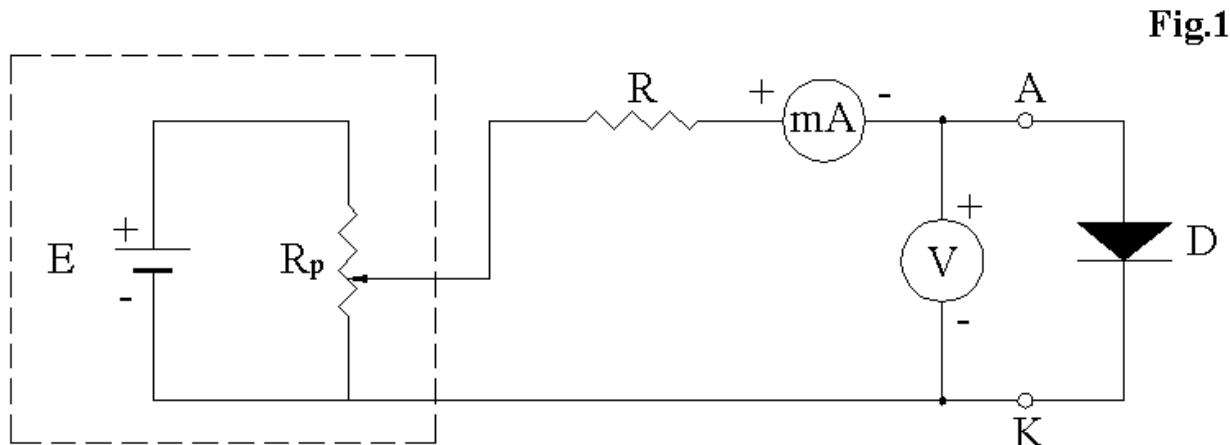
$I_0$  è la corrente inversa di saturazione

$V$  è la tensione ai capi del diodo

$\eta$  è un parametro che dipende dal semiconduttore, per il germanio è circa uguale a 1, mentre per il silicio i suoi valori sono compresi tra 1 e 2.

$V_T$  è un parametro che dipende dalla temperatura e per  $T = 27^\circ\text{C}$  vale 26mV.

### Caratteristica diretta per diodo al germanio e al silicio



I diodi sono dispositivi dal comportamento non lineare e le caratteristiche forniscono l'andamento della corrente al variare della tensione. La caratteristica viene rilevata per punti mediante il metodo voltamperometrico.

Il circuito è costituito da:

- ✚ un alimentatore stabilizzato, con tensioni di uscita da 0 a 2 V

- ✚ La resistenza R serve per limitare la corrente, il suo valore varia da 100 a 330  $\Omega$  a seconda del dispositivo utilizzato
- ✚ Un amperometro con portate da 1 a 100 mA
- ✚ Il voltmetro ad alta sensibilità (20.000  $\Omega/V$ ) viene inserito a valle in quanto la resistenza interna del diodo, in polarizzazione diretta, ha un valore basso
- ✚ Si rilevano i valori di tensione e corrente per punti, intensificando i rilevamenti in prossimità della tensione di soglia; si tenga presente che la tensione ha una escursione massima da 0 a 2 Volt a seconda del tipo di diodo inserito
- ✚ La misura ha termine prima che l'aumento di corrente arrivi al valore massimo imposto dal costruttore, che può essere letto sul data-book della casa costruttrice del componente
- ✚ Si stabiliscono le unità di misura delle scale lineari del grafico
- ✚ Si rilevano i dati del diodo al germanio e successivamente quelli del diodo al silicio, si riportano i valori in tabella
- ✚ Si disegnano le due caratteristiche in uno stesso grafico per effettuare il confronto. Emerge che il diodo al germanio inizia la conduzione prima del diodo al silicio ma la caratteristica di quest'ultimo è più ripida rispetto a quella del diodo al germanio, come mostrato in figura 3
- ✚ Si determinano i valori sperimentali delle tensioni di soglia per i due componenti e si effettua il confronto con i valori teorici

### ***Caratteristica inversa per diodo al germanio e al silicio***

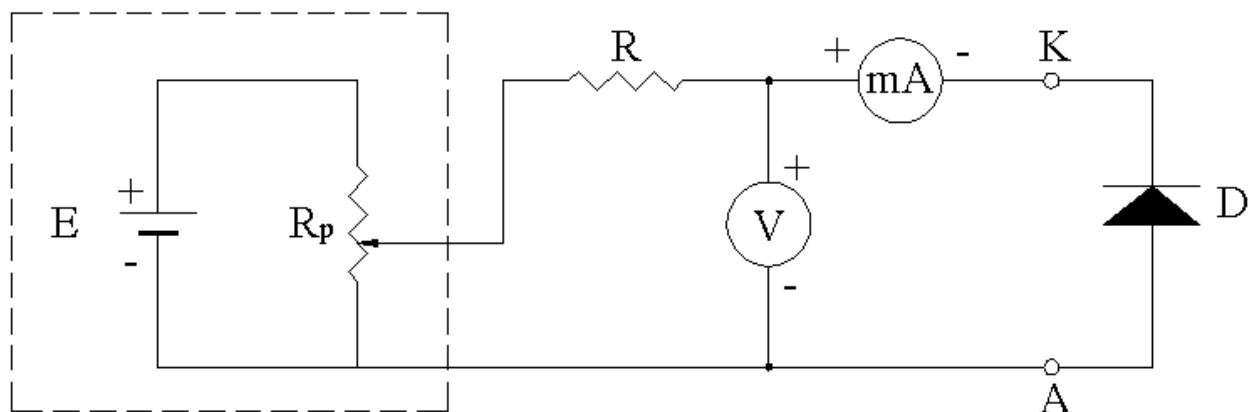
Nei diodi sottoposti a polarizzazione inversa, circola la **corrente** dovuta al movimento delle cariche minoritarie e questa ha valori **dell'ordine dei  $\mu A$  per i dispositivi al germanio e dell'ordine dei nA per i dispositivi al silicio**.

Il componente si comporta quasi come se fosse un circuito aperto pertanto la resistenza interna è molto elevata.

In questo caso si utilizza un collegamento voltamperometrico con voltmetro a monte e il valore della resistenza R, inserita nel circuito, risulta elevato. La **tensione inversa** indicata con V ha valori elevati, può arrivare infatti a qualche centinaio di Volt per cui il voltmetro utilizza portate fino a 150 Volt.

Lo schema per la determinazione della caratteristica inversa è quello di figura 2.



**Fig.2**

Per la determinazione di questi valori di corrente bisogna utilizzare nanoamperometri, non avendo a disposizione tali strumenti si usano amperometri con fondo scala da  $10 \mu A$  a  $100 \mu A$ .

Si inizia la misura variando la tensione dell'alimentatore di una decina di volt per ciascun rilevamento e si leggono i valori di corrente sull'amperometro; la tensione massima a cui arrivare viene stabilita guardando i valori nei data-book. La corrente inversa per il diodo al silicio è difficile da rilevare se non si ha a disposizione un nanoamperometro, si può aumentare la tensione inversa lentamente in modo da rilevare una corrente dell'ordine dei  $\mu A$  cercando di non superare i valori massimi consentiti.

I dati vengono riportati in tabella e il grafico delle caratteristiche, diretta e inversa, è visualizzato in figura 3.

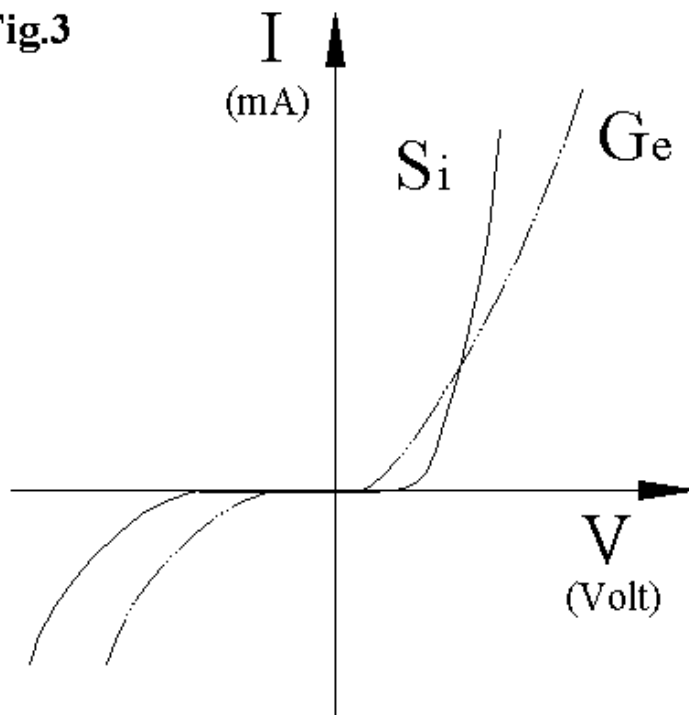
**Fig.3**

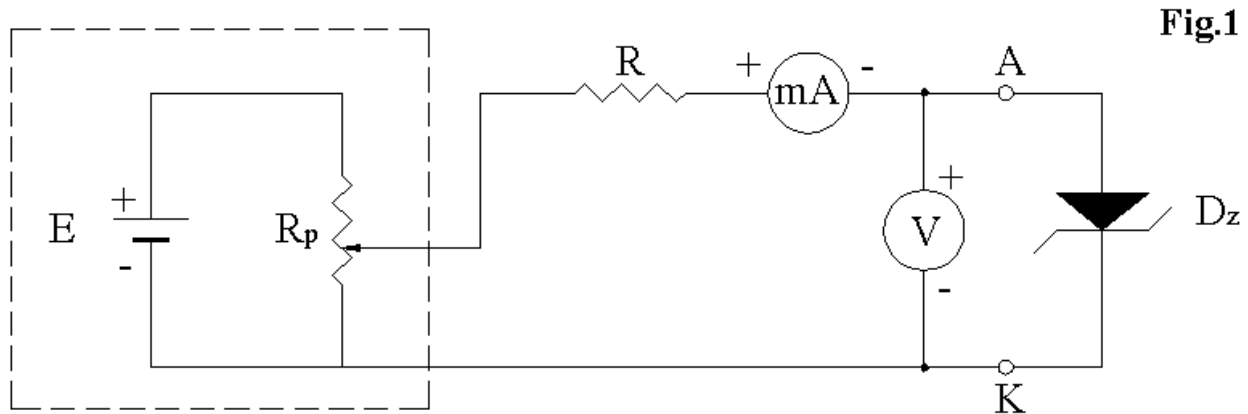
Tabella dei risultati

Le tabelle da realizzare sono due: una per il diodo al silicio ed una per il diodo al germanio.

N	Diretta		Inversa		Note
	V	I	V	I	
	Volt	mA	Volt	$\mu$ A	

## Rilievo della caratteristica voltamperometrica diretta e inversa di un diodo Zener

### Caratteristica diretta del diodo Zener



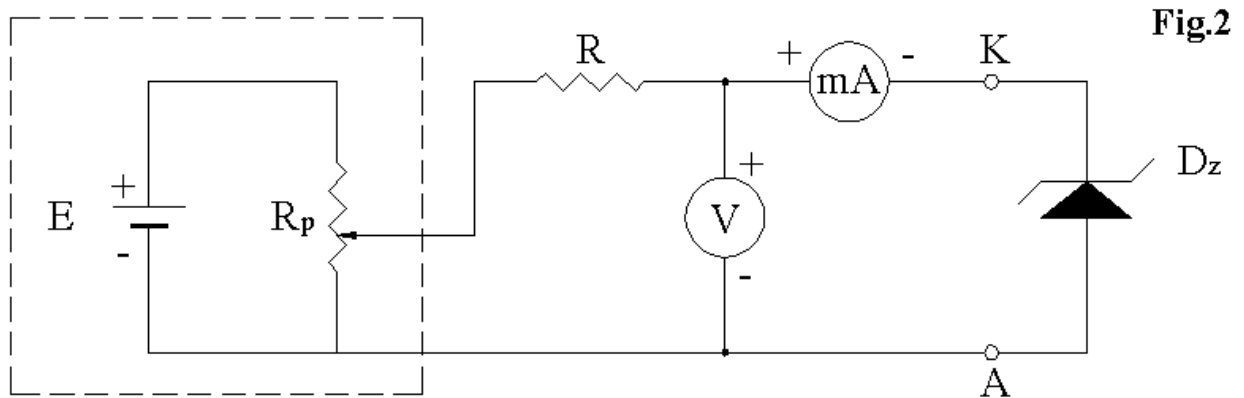
Il diodo ha una caratteristica esponenziale analoga a quella dei diodi analizzati nella precedente misura il grafico completo è come quello di figura 3.

Il circuito è costituito da:

- ✚ un alimentatore stabilizzato, con tensione variabile da 0 a 2 Volt
- ✚ una resistenza inserita in serie al diodo del valore di 330  $\Omega$ , serve per limitare la corrente
- ✚ Un amperometro con portate da 1 a 100 mA
- ✚ Il voltmetro ad alta sensibilità (20.000  $\Omega/V$ ) viene inserito a valle in quanto la resistenza interna del diodo, in polarizzazione diretta, ha un valore basso
- ✚ Si rilevano i valori di tensione e corrente per punti, intensificando i rilevamenti in prossimità della tensione di soglia; si tenga presente che la tensione ha una escursione massima da 0 a 2 Volt a seconda del tipo di diodo inserito
- ✚ La misura ha termine prima che l'aumento di corrente arrivi al valore massimo imposto dal costruttore, che può essere letto sul data-book della casa costruttrice del componente
- ✚ Si stabiliscono le unità di misura delle scale lineari del grafico

La curva è di tipo esponenziale e dalla caratteristica diretta si ricava il valore della **tensione di soglia** sperimentale e la si confronta con il valore teorico.

### Caratteristica inversa del diodo Zener



In questo caso si rileva il valore della **tensione di Zener** e si verifica se corrisponde al valore che è indicato direttamente sul diodo. Se si hanno a disposizione i manuali si può calcolare qual è il valore massimo della corrente sopportabile dal dispositivo attraverso i dati tecnici dei *data-book*, in modo da non portare in distruzione il dispositivo.

Lo schema di principio per la determinazione della misura è quello riportato in figura 2.

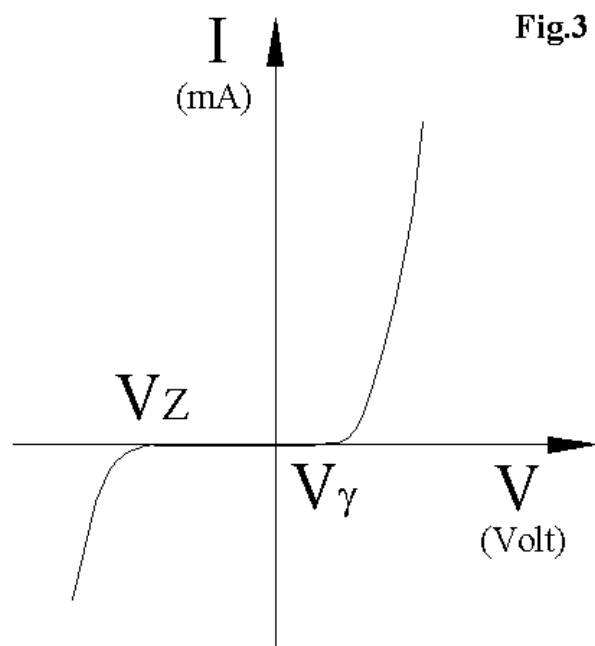


Tabella dei risultati

N	Diretta		Inversa		Note
	V	I	V	I	
	Volt	mA	Volt	$\mu$ A	

# Modulo 4

## Contenuti:

- *Oscilloscopio*
- *Misura di ampiezza e di frequenza mediante l'uso dell'oscilloscopio*
- *Verifica di alcune forme d'onda come applicazione dei diodi*
- *Rilievo delle caratteristiche di ingresso e di uscita di un BJT, con il metodo statico*

## Obiettivi:

*Mettere l'allievo in grado di conoscere le funzioni principali di un oscilloscopio e saperlo utilizzare.*

*Verificare le forme d'onda realizzabili mediante circuiti con diodi e individuazione della tensione di soglia.*

*Rilevare praticamente le caratteristiche di un BJT e confrontarle con quelle teoriche.*

# Oscilloscopio

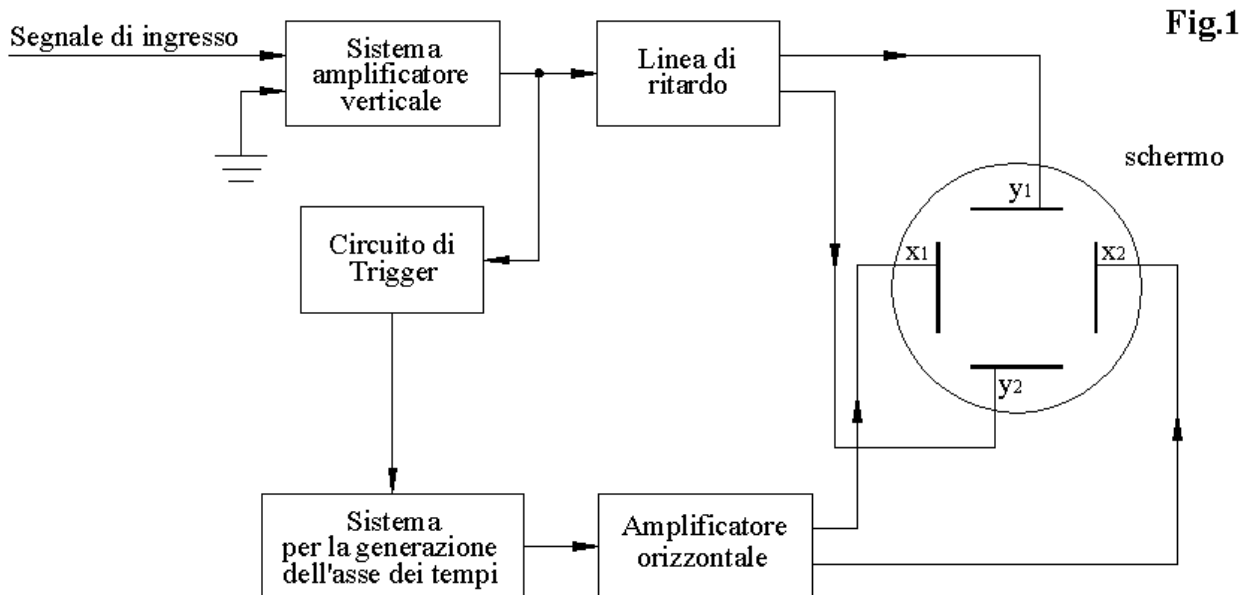
## Generalità

L'oscilloscopio è uno degli strumenti più utilizzati per l'analisi dei sistemi elettronici in quanto permette di visualizzare sullo schermo i segnali presenti nel circuito e verificarne la funzionalità.

Questo strumento presenta sullo schermo, in forma bidimensionale, le forme d'onda delle grandezze che si stanno misurando e può visualizzarne da una a quattro. Le grandezze periodiche sono osservate sullo schermo per il tempo necessario alla misura; per le grandezze non periodiche si devono avere degli oscilloscopi con memoria in modo da "memorizzare" il segnale durante la sua durata che può essere poi osservato in un secondo momento.

Per le **grandezze periodiche** si possono determinare **l'ampiezza, il periodo, la frequenza e la fase** di una funzione rispetto ad un'altra. L'oscilloscopio inoltre, permette di rilevare contemporaneamente sia un segnale in corrente continua sia un segnale in corrente alternata.

## Schema a blocchi



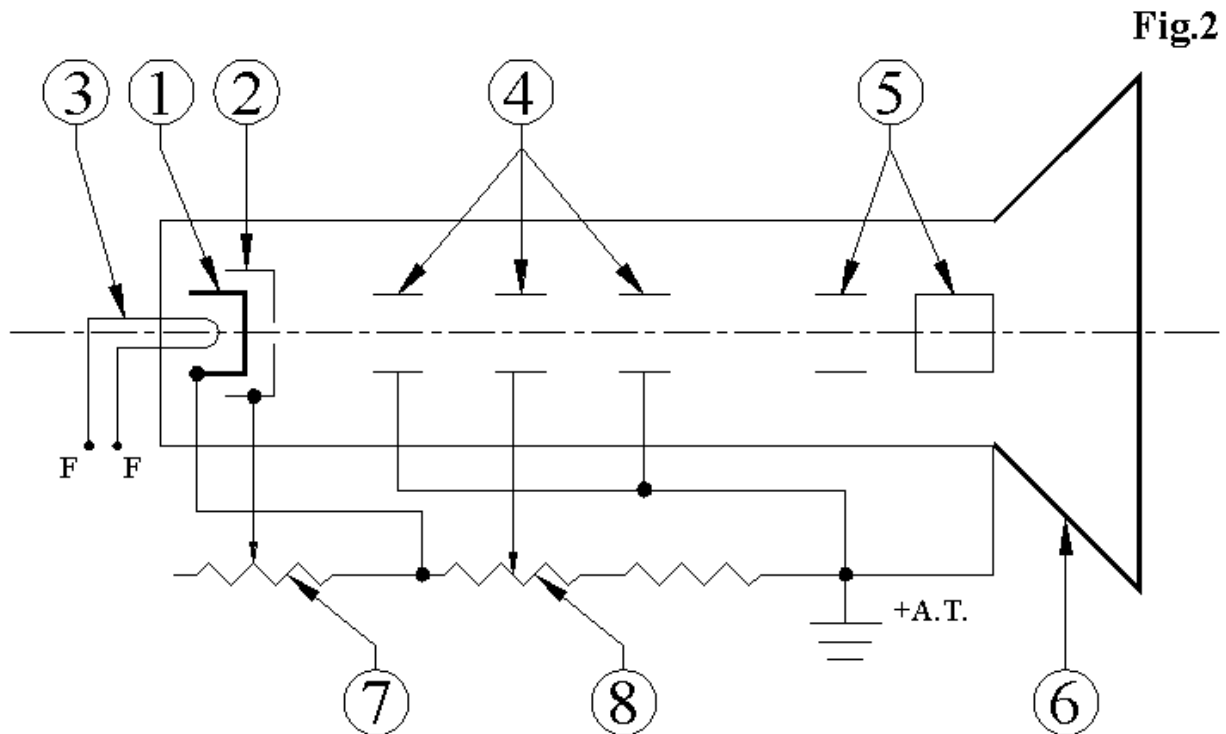
Dallo schema di figura si vede come si possono individuare tre sezioni fondamentali:

- ✚ Una **sezione verticale** a cui viene applicato il **segnale di ingresso** da misurare e che giunge, attraverso un **sistema di stadi amplificatori** e una **linea di ritardo**, alle **placchette di deviazione verticale** del **tubo a raggi catodici**. Al termine di quest'ultimo si trova lo **schermo**.
- ✚ Una **sezione orizzontale** che comanda le **placchette di deviazione orizzontale**, tale sezione comprende un **sistema per la generazione dell'asse dei tempi** e un **amplificatore**.
- ✚ Le sezioni orizzontale e verticale sono collegate fra loro attraverso la **Sezione di trigger** che serve per sincronizzare il segnale, interno all'oscilloscopio, il quale simula l'asse dei tempi.

Il segnale in ingresso è generalmente, di piccola ampiezza per cui deve essere amplificato con un sistema costituito da più stadi amplificatori. La sezione della linea di ritardo è presente perché

permette la sincronizzazione del segnale in arrivo dall'ingresso, con il segnale a dente di sega che simula l'asse dei tempi. Attraverso il circuito di trigger, che riceve un input dal segnale in arrivo, viene inviato un segnale impulsivo al sistema della generazione dell'asse dei tempi. Per effettuare queste operazioni i dispositivi impiegano un certo tempo per cui è necessaria la linea di ritardo, in modo da poter visualizzare la forma d'onda sullo schermo.

### *Tube a raggi catodici*



Il *tubo a raggi catodici* (figura 2) è il componente fondamentale dell'oscilloscopio in quanto permette di trasformare i segnali elettrici in una o più tracce sullo schermo per poter effettuare le misure.

Il tubo a raggi catodici è costituito essenzialmente da tre parti:

- ✚ Un *catodo* per la generazione del fascio di elettroni, una *griglia* che ne regola il flusso e una *serie di elettrodi* per la focalizzazione del fascio di elettroni, l'insieme di questi componenti costituisce il *cannone elettronico*
- ✚ Un sistema di *deflessione orizzontale e verticale* che permettono di deviare il fascio di elettroni
- ✚ Un *contenitore di vetro speciale* ad alta resistenza che contiene gli elementi precedenti e, al termine del quale, si trova lo *schermo* costituito da uno strato di fosfori ad alta persistenza

All'interno del tubo, per permettere il libero movimento degli elettroni, si crea il vuoto spinto. Gli elettroni vengono generati attraverso il riscaldamento del catodo che inizia ad emettere elettroni. Subito dopo è inserita una griglia munita di una fessura che viene mantenuta ad un potenziale più negativo rispetto al catodo in modo che gli elettroni che la superano giungono poi sullo schermo.



Gli elettrodi successivi servono per accelerare e focalizzare il fascio di elettroni verso il centro dello schermo.

Quando viene inviato il fascio di elettroni e questo giunge sullo schermo senza che vi sia stata alcuna deflessione, si vede un punto luminoso al centro. Questa immagine deve restare visibile per un certo tempo per cui si deve avere una elevata **“persistenza”** dei **fosfori**.

I fosfori sono scelti con maggiore o minore “persistenza” a seconda delle caratteristiche dell’oscilloscopio quale, ad esempio, la velocità di scansione e quindi le frequenze di lavoro.

La persistenza risulta bassa se il tempo di persistenza è di  $10^{-5} - 10^{-6}$  secondi, mentre è alta quando è di 1/10 di secondo, è media quando va da  $10^{-1}$  a  $10^{-3}$  secondi e quest’ultima categoria è la più utilizzata.

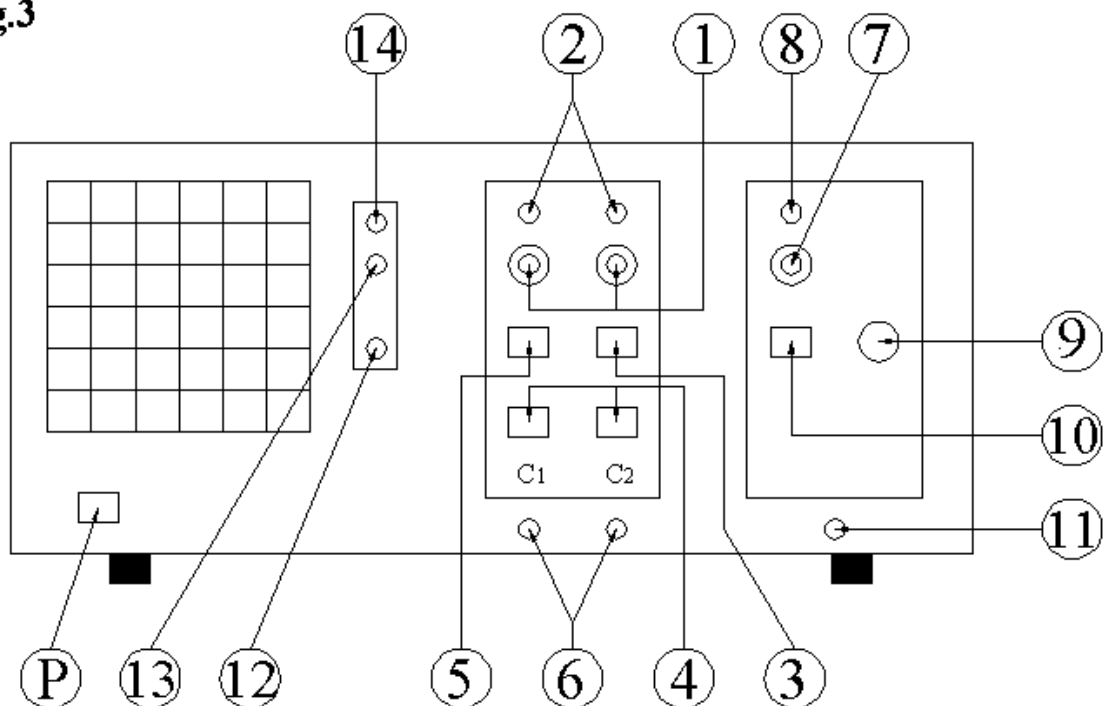
A seconda delle sostanze fosforescenti utilizzate si hanno colorazioni diverse che possono essere:

- ✚ Bianco
- ✚ Giallo – verde
- ✚ Azzurro

Generalmente gli schermi dei tubi sono sottoposti a “metallizzazione” cioè sui fosfori viene posto uno strato sottilissimo di alluminio. Questo strato metallico riflette la luce che i fosfori invierebbero direttamente verso l’interno del tubo per cui viene migliorato il contrasto nella visualizzazione della traccia.

### Costituzione del frontale dell’oscilloscopio

Fig.3



Uno schema blocchi del frontale dell’oscilloscopio può essere quello visualizzato in figura 3 dove sono messi in evidenza quattro sezioni fondamentali:

- ✚ **Una sezione verticale** che riceve il segnale da analizzare attraverso il canale 1 e il canale 2 e lo invia poi alla sezione di visualizzazione e alla sezione dei comandi dell’asse dei tempi

- ✚ **Una sezione dell'asse dei tempi** detti **comandi di Trigger** che comanda la tensione dell'asse dei tempi; tale segnale può essere immesso dall'esterno oppure si utilizza il segnale a dente di sega interno all'oscilloscopio
- ✚ **Una sezione orizzontale** che produce le tensioni per la scansione periodica dell'asse dei tempi
- ✚ **Una sezione di visualizzazione detto anche "Display"** che visualizza, con una o più tracce, sullo schermo fluorescente i segnali da misurare

Analizziamo ora i comandi principali delle quattro sezioni partendo dal comando di accensione dello strumento (P).

### Sezione verticale

I segnali da misurare vengono introdotti attraverso i canali 1 e 2:

- ✚ Con la **manopola Volt/divisioni** si può graduare la sensibilità dei due canali per regolare l'ampiezza (1)
- ✚ Con la **manopola position** si regola la posizione, in verticale, della traccia del canale corrispondente (2)
- ✚ Con il tasto **mode** si inseriscono, per la visualizzazione, i segnali presenti al canale 1 o 2 oppure tutti e due con varie modalità di lavoro (3)
- ✚ Con il tasto **coupling** si ha la possibilità di visualizzare, per ciascun canale, la sola componente alternata o continua o entrambe (4)
- ✚ Con il tasto **Both** si hanno i canali 1 e 2 contemporaneamente in funzione (5)
- ✚ Connettori per l'ingresso dei segnali (6)

### Sezione orizzontale e comandi di Trigger

Questa sezione è collegata ad un **generatore di sweep** all'interno dell'oscilloscopio che permette di simulare l'asse dei tempi per visualizzare le grandezze sullo schermo, c'è però la possibilità di inserire un segnale esterno che comanda l'asse dei tempi per effettuare misure specifiche.

- ✚ Con la **manopola secondi/divisioni** si può graduare la sensibilità della scala dei tempi (7)
- ✚ Con la **manopola position** si regola la posizione della traccia in orizzontale (8)
- ✚ Con la **manopola Trigger Holdoff** si regola il tempo morto di scansione al termine della rampa (9)
- ✚ Con il tasto **mode** si sceglie se utilizzare o meno l'asse dei tempi ritardato nei canali 1 e 2 (10)
- ✚ **Exit input** è l'ingresso per un eventuale segnale esterno (11)

### Sezione di visualizzazione

Lo schermo è costituito da un reticolo su cui sono incise delle divisioni. Esse, generalmente, si dividono in otto divisioni verticali e dieci orizzontali; al centro dello schermo vi sono due linee centrali in cui le divisioni principali sono ulteriormente suddivise in 5 divisioni secondarie. Le unità espresse sulla manopola di Volt/div sono riferite alle divisioni principali.

Sul frontale dell'oscilloscopio ci sono dei comandi che permettono la messa a punto delle tracce sullo schermo per una lettura migliore, i principali sono:

- ✚ Il pulsante *beam find* serve per riposizionare la traccia sullo schermo quando una regolazione non corretta lo ha fatto andare fuori dallo schermo (12)
- ✚ La manopola *auto focus* permette di regolare la larghezza della traccia sullo schermo (13)
- ✚ La manopola *auto intensità* serve per regolare la luminosità della traccia (14)

### Le sonde

I collegamenti tra l'oscilloscopio e i punti del circuito in cui si devono rilevare le grandezze o il collegamento con un generatore di segnale avviene attraverso dei conduttori schermati denominati *sonde*. Con le sonde è possibile ottenere delle misure senza alterare il circuito sottoposto a misura.

Se però si lavora con frequenze minori di 5KHz la sonda "carica" il circuito dal punto di vista resistivo per cui è necessario che questa sia di due ordini di grandezza maggiore rispetto alla resistenza del circuito. Ad esempio, se la resistenza del circuito è di  $10K\Omega$  allora la sonda dovrà avere una resistenza di  $1M\Omega$ . Quando invece si lavora con frequenze elevate diventano determinanti sia le induttanze sia le capacità e per questo motivo si usano delle sonde che possono attenuare il segnale in modo da ridurre al minimo il carico dei circuiti sotto misura. Nelle sonde si possono avere diverse attenuazioni, tra cui:

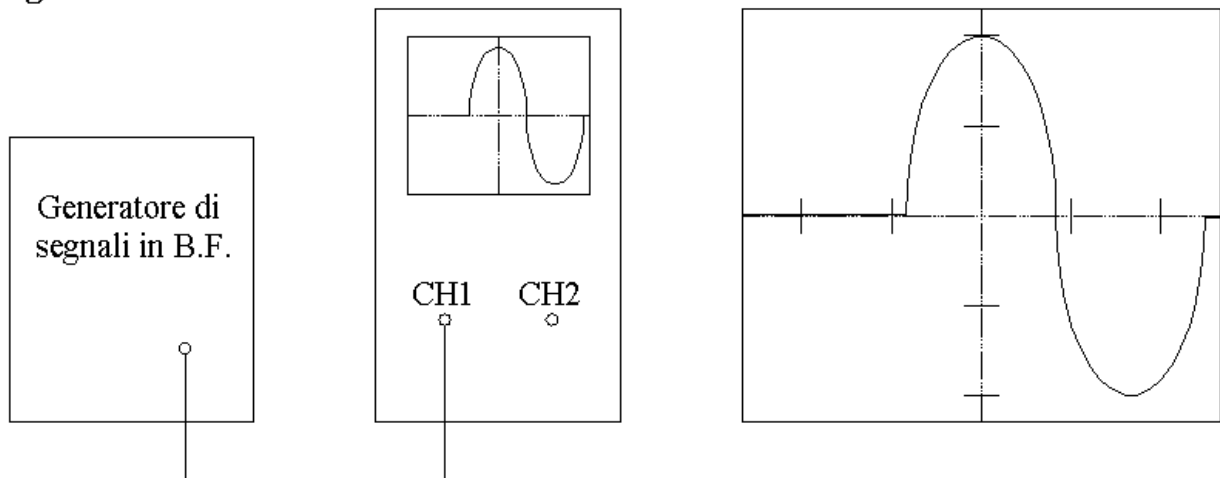
- ✚ Il rapporto 10 a 1 (10X) sta a significare che introduce una capacità dieci volte inferiore (circa 10 – 14 pF)
- ✚ Il rapporto 1 a 1 (1X) non si ha attenuazione e utilizza la massima sensibilità dell'oscilloscopio

Si hanno anche sonde con rapporto 100X e 1.000X questo dipende dal tipo di oscilloscopio e dalle sue caratteristiche.

Le sonde descritte precedentemente sono *sonde passive* ma esistono anche *sonde attive* che hanno, all'interno, dei componenti attivi per cui si migliora nettamente la prestazione dello strumento. Si rimanda la trattazione a testi specifici.

## Misura di ampiezza e di frequenza mediante l'uso dell'oscilloscopio

Fig.1



### Misura di ampiezza

Questa misura è utile per imparare ad utilizzare l'oscilloscopio e leggerne i valori sullo schermo, inseriamo un segnale sinusoidale per effettuare le misure. Sullo schermo si legge direttamente il valore della tensione di picco-picco. Per la misura si procede come segue:

- ✚ Collegare il canale 1 dell'oscilloscopio all'ingresso del generatore di segnale con resistenza di ingresso  $R = 600 \Omega$
- ✚ Mettere il tasto del canale 1 su AC
- ✚ Mettere il comando di sincronismo sulla posizione *interno*
- ✚ Agire sui comandi di sincronismo e sulla manopola dell'asse dei tempi in modo da ottenere una immagine fissa sullo schermo
- ✚ Regolare l'attenuatore del canale 1 in modo da ottenere una traccia chiara e ben visibile, posizionare il valore massimo della semionda positiva in corrispondenza dell'asse centrale dello schermo in modo che la lettura risulti migliore
- ✚ Leggere il valore dei Volt/div sulla manopola del canale 1
- ✚ leggere direttamente sullo schermo il numero di divisioni tra i due valori massimi (tensione picco-picco) e moltipliciamoli per i Volt/div in modo da ottenere il valore della tensione da misurare
- ✚ Ricavare dal valore  $V_{pp}$  e ricavare la tensione massima  $V_M$  dalla relazione  $V_M = \frac{V_{pp}}{2}$

Esempio:

*Letti 30 mVolt/div*

*divisioni lette 4*

valore della tensione  $V_{pp} = 30 \text{ mV/div} \times 4 \text{ div} = 120 \text{ mV}$

$$V_M = \frac{V_{pp}}{2} = 120/2 = 60 \text{ mV}$$

### **Misura di tempo e di frequenza**

Quando si esegue una misura di tempo, l'asse delle ascisse sullo schermo, rappresenta l'asse dei tempi della grandezza presa in esame. Nell'oscilloscopio le placchette di deflessione orizzontale sono collegate al generatore a dente di sega per realizzare la scala lineare richiesta.

La misura si effettua come segue:

- ✚ Collegare il canale 1 dell'oscilloscopio all'ingresso del generatore di segnale con resistenza di ingresso  $R = 600 \Omega$
- ✚ Mettere il tasto del canale 1 su AC
- ✚ Mettere il comando di sincronismo sulla posizione *interno*
- ✚ Agire sui comandi di sincronismo e sulla manopola dell'asse dei tempi in modo da ottenere una immagine fissa sullo schermo
- ✚ Cercare di ottenere che l'asse dei tempi occupi buona parte dello schermo in modo da facilitare la misura
- ✚ Leggere il valore dei Time/div sulla manopola dell'attenuatore
- ✚ Moltiplicare tale valore per il numero di divisioni lette direttamente sullo schermo sull'asse delle x, per rilevare il periodo della grandezza presa in esame
- ✚ Determinato il **periodo** si ricava il valore della frequenza del segnale dalla seguente relazione:  $f = \frac{1}{T}$

### Esempio:

*Letti 2 msec/div*

*divisioni lette 4*

*valore del periodo 2 msec/div x 4 div = 8 msec*

$$\text{valore della frequenza } f = \frac{1}{T} = \frac{1}{8 * 10^{-3}} = 333,3 \text{ Hz}$$

La misura del tempo viene eseguita direttamente mentre la frequenza si ricava indirettamente attraverso la formula relativa.

## Verifica di alcune forme d'onda come applicazione dei diodi

### Scopo della misura

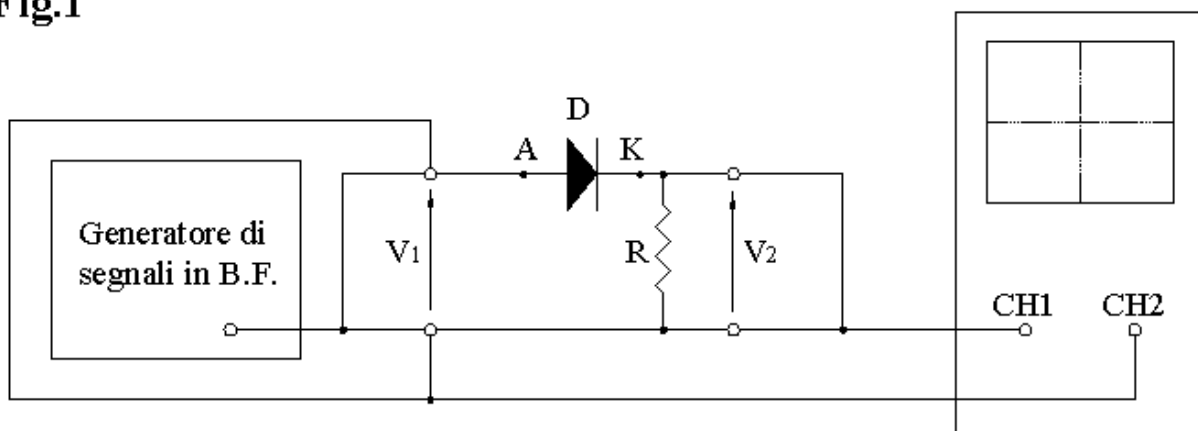
Determinazione, mediante l'uso dell'oscilloscopio, della massima tensione di ingresso e della massima tensione di uscita con corrispondente determinazione della tensione di soglia del diodo a giunzione.

Verifica del funzionamento del diodo Zener come limitatore di tensione.

Prima di iniziare le misure e i collegamenti degli strumenti al circuito si accenda l'oscilloscopio, si visualizzino sullo schermo le due linee di riferimento dei canali 1 e 2 e si effettui l'allineamento delle due in modo da rendere più agevole il confronto tra la tensione di ingresso e quella di uscita durante le misure.

### Circuito raddrizzatore a semplice semionda

Fig.1



Nel circuito di figura 1 si inserisce in ingresso il generatore di segnale, il canale 1 dell'oscilloscopio viene collegato in ingresso e il canale 2 in uscita. Il tasto di commutazione dell'oscilloscopio viene posto in posizione DC. Il generatore di segnale viene posizionato su un determinato valore di tensione di ingresso e la frequenza del segnale è posta a 500 Hz. Si determina il valore massimo della tensione di ingresso  $V_{1M}$  e quella di uscita  $V_{2M}$  e la differenza delle due d.d.p. dà il valore della tensione di soglia del diodo:

$$D = (\text{sigla del diodo utilizzato})$$

$$R = (\text{valore della resistenza, tolleranza, potenza massima})$$

$$V_{1M} = \quad \text{Volt}$$

$$f = \quad \text{Hz}$$

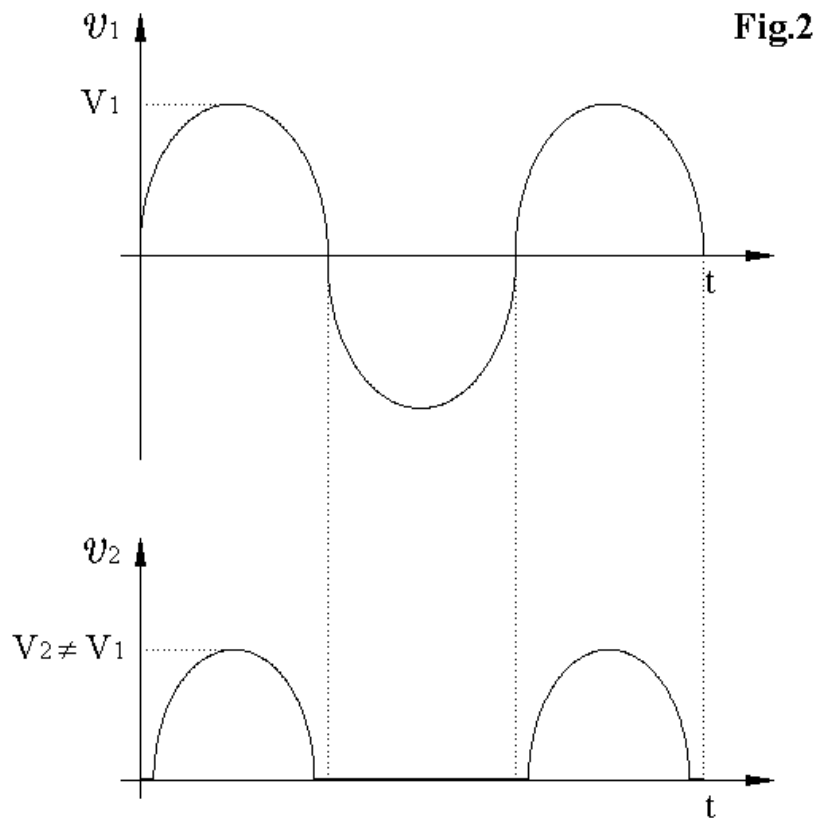
$$V_{2M} = \quad \text{Volt}$$

$$V_{\gamma} = V_{1M} - V_{2M} = \quad \text{Volt}$$

Verificare se le forme d'onda coincidono con quelle analizzate in teoria.

*Cosa comporta la presenza della tensione di soglia rispetto al caso ideale?*

Dato che la conduzione avviene dopo aver superato la tensione di soglia la semionda non corrisponde esattamente a mezzo periodo ma risulta minore per cui, **la conduzione effettiva è minore di mezzo periodo.** (vedere figura 2)

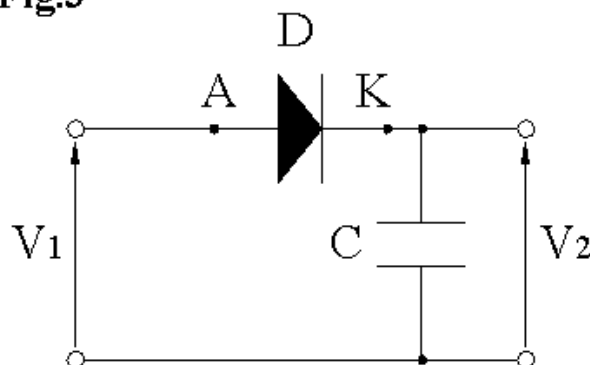


Disegnare le forme d'onda in un foglio di carta millimetrata.

Nella relazione mettere in evidenza le differenze fra il diodo ideale e quello reale. Spiegare **dettagliatamente** come sono state effettuate le misure con l'oscilloscopio mettendo in evidenza  $i$  (Volt/div) e  $i$  (Time/div) utilizzati per rilevare le grandezze richieste.

### Rivelatore di picco

**Fig.3**



I collegamenti del generatore di segnale e dei canali dell'oscilloscopio sono i medesimi del caso precedente. Il tasto di commutazione è posto prima in AC per tarare la traccia e dopo, viene posto in DC per rilevarla. Rimane invariata la frequenza di lavoro  $f = 500$  Hz.

Si determina la massima tensione di ingresso, la tensione di uscita e la tensione di soglia del diodo.

D = (sigla del diodo utilizzato)

C = (valore del condensatore)

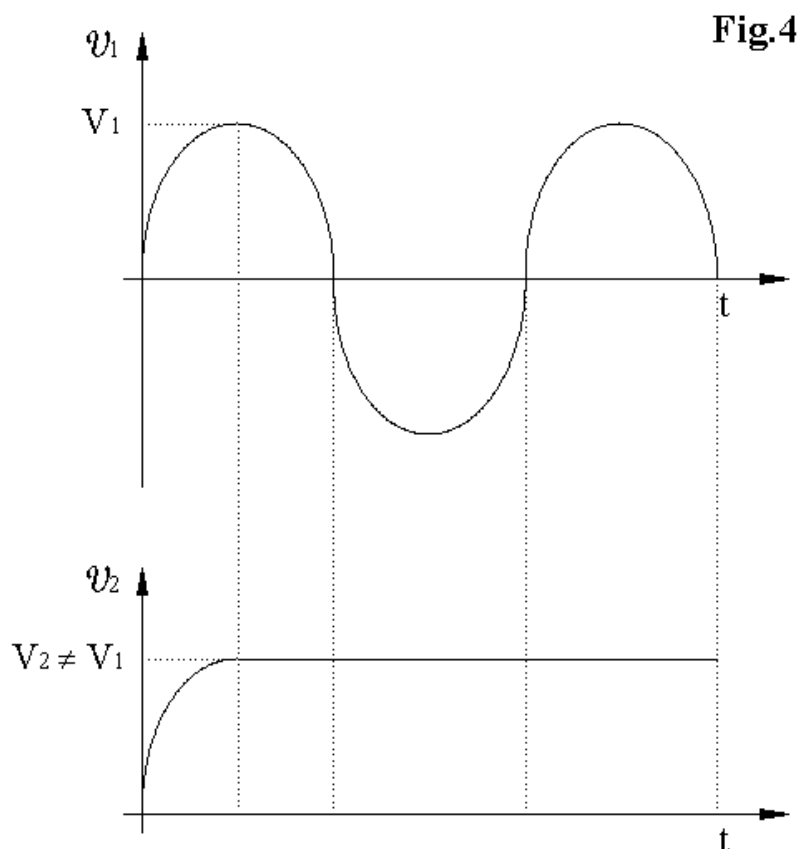
$V_{1M} =$  Volt

f = Hz

$V_{2M} =$  Volt

$V_{\gamma} = V_{1M} - V_{2M} =$  Volt

Nel grafico teorico è messo in evidenza come, considerando un condensatore scarico, il primo quarto di periodo se ne evidenzia la carica, nel caso pratico questa non è evidenziata in quanto l'oscilloscopio non è in grado di rilevarla perché la sua traccia è più lenta. Sullo schermo si evidenzia quindi direttamente la linea continua.



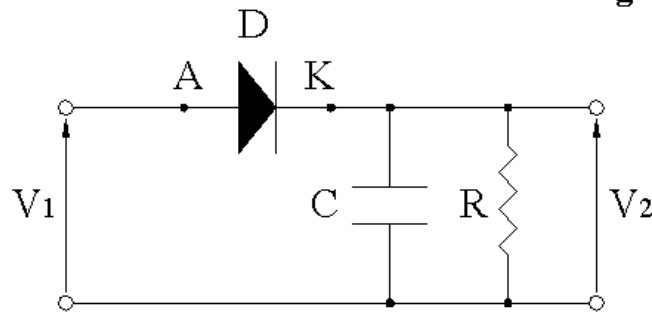
Disegnare le forme d'onda in un foglio di carta millimetrata.

Nella relazione spiegare **dettagliatamente** come sono state effettuate le misure con l'oscilloscopio mettendo in evidenza i (Volt/div) e i (Time/div) utilizzati per rilevare le grandezze richieste.



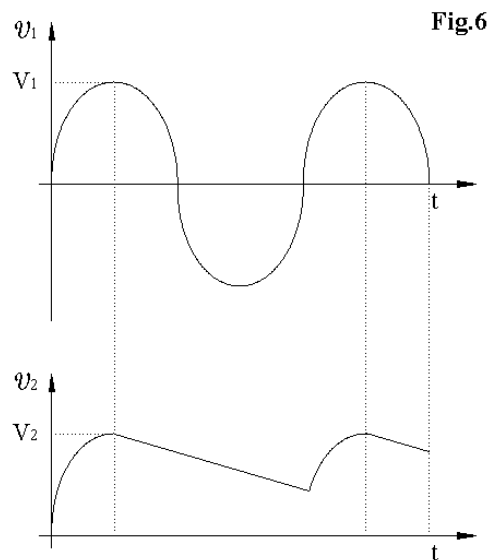
## Rivelatore di cresta

Fig.5



I collegamenti del generatore di segnale e dei canali dell'oscilloscopio sono i medesimi del caso precedente. Il tasto del commutatore viene posto in DC e sullo schermo si visualizza una linea orizzontale, il tempo di carica del condensatore non viene visualizzato perché la traccia dell'oscilloscopio è più lenta. In un secondo tempo si posiziona il tasto del commutatore in AC e si amplifica l'ampiezza dell'onda visualizzata sullo schermo in modo da poter evidenziare lo scalino della curva.

In questo caso si determina **il ripple** detto anche **fattore di ondulazione** come si vede in figura 6. Il ripple è definito come il rapporto tra il valore efficace della componente alternata del segnale in uscita ed il suo valore medio. Si cerca di rendere minima questa ondulazione residua perché dà origine ad un segnale indesiderato. La differenza di tensione fra il punto massimo e la componente continua del segnale è messa in evidenza quando si pone il tasto dell'oscilloscopio in AC, in questo modo si toglie la componente continua e, sullo schermo, rimane visualizzata solo la componente variabile. La manopola della "amplitude" viene posta nella posizione di mV/div.



La frequenza di lavoro può essere variata per vedere come si modifica la curva e si possono effettuare più misure variando anche il condensatore.

Prima misura

D = (sigla del diodo utilizzato)

C = (valore del condensatore)

$$V_{1M} = \quad \text{Volt}$$

$$f = \quad \text{Hz}$$

$$V_{2M} = \quad \text{Volt}$$

Seconda misura

D = (sigla del diodo utilizzato)

C = (valore del condensatore)

$$V_{1M} = \quad \text{Volt}$$

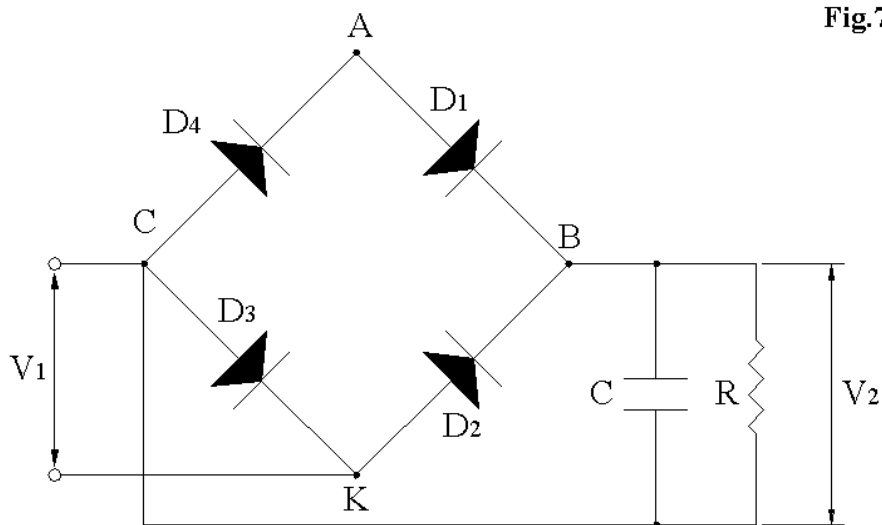
$$f = \quad \text{Hz}$$

$$V_{2M} = \quad \text{Volt}$$

Disegnare le forme d'onda in un foglio di carta millimetrata.

Spiegare **dettagliatamente** come sono state effettuate le misure con l'oscilloscopio mettendo in evidenza i (Volt/div) e i (Time/div) utilizzati per rilevare le grandezze richieste.

### *Ponte di diodi o ponte di Graetz*



Il ponte di Graetz si trova in commercio già integrato in un unico contenitore, oppure può essere realizzato su una bread-board con quattro diodi separati. In questo secondo caso la differenza fra la tensione massima di ingresso e di uscita sarà maggiore. Si verifichi se questa seconda ipotesi porta ad avere una differenza pari alla tensione di soglia di due diodi perché, come si sa dalla teoria, questi funzionano a due a due durante ciascuna semionda del segnale di ingresso.

I collegamenti del generatore di segnale e dei canali dell'oscilloscopio sono i medesimi del caso precedente anche se va prima visualizzato il segnale di ingresso, poi si collega il canale 2 all'uscita del ponte e si visualizza la tensione di uscita. Non possono essere visualizzati contemporaneamente in quanto la massa, essendo in comune tra l'ingresso e l'uscita dell'oscilloscopio, corto circuita uno dei due segnali.

Si possono effettuare due misure: una che abbia come carico solo la resistenza ed una con resistenza e condensatore.

Prima misura

D = (sigla dei diodi utilizzati sigla del ponte utilizzato)

R = (valore della resistenza)

$V_{1M} =$  Volt

f = Hz

$V_{2M} =$  Volt

Seconda misura

D = (sigla dei diodi utilizzati sigla del ponte utilizzato)

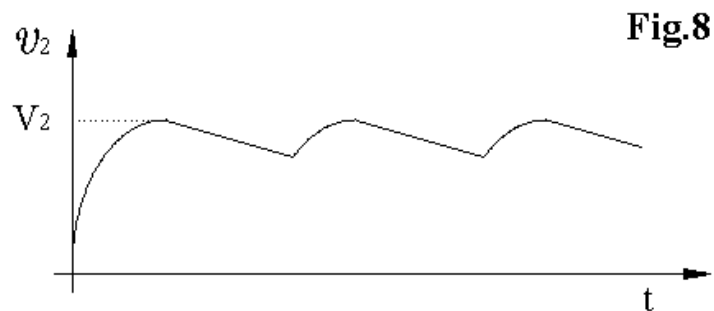
R = (valore della resistenza, tolleranza, potenza massima)

C = (valore del condensatore)

$V_{1M} =$  Volt

f = Hz

$V_{2M} =$  Volt



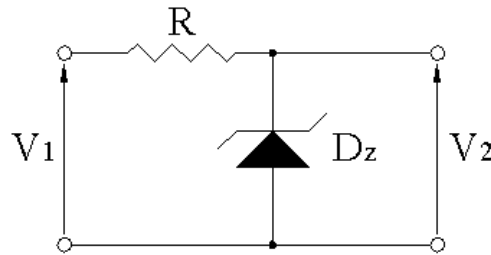
Il grafico che si ottiene è visualizzato in figura 8.

Disegnare le forme d'onda in un foglio di carta millimetrata.

Spiegare **dettagliatamente** come sono state effettuate le misure con l'oscilloscopio mettendo in evidenza i (Volt/div) e i (Time/div) utilizzati per rilevare le grandezze richieste.

*Diodo Zener come limitatore di tensione*

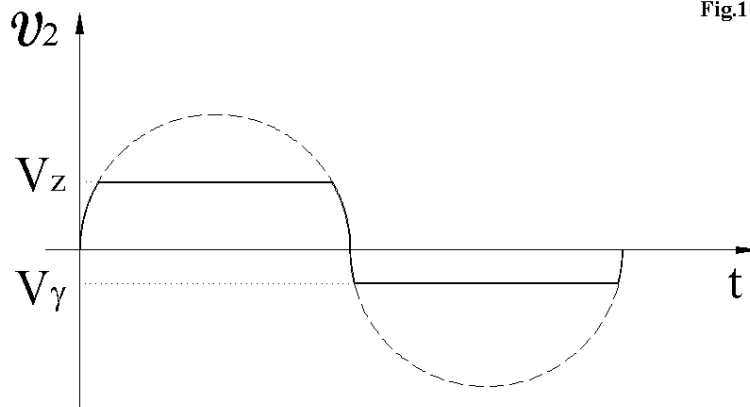
**Fig.9**



Si effettuano i collegamenti del generatore di segnale e dei canali dell'oscilloscopio come nei casi precedenti. Con questa misura si vuole verificare il funzionamento del diodo Zener come limitatore di tensione. A questo scopo si aumenta la tensione di ingresso fino ad avere valori maggiori della tensione di Zener, la semionda che polarizza inversamente il diodo viene tagliata alla tensione di Zener. Dopo avere effettuato la misura con il diodo inserito come in figura si possono invertire i morsetti e vedere che la semionda tagliata risulta opposta rispetto al caso precedente in quanto ora è la semionda negativa a polarizzare inversamente il diodo. Il tasto dell'oscilloscopio deve essere in posizione DC.

A differenza del diodo ideale quello reale ha una tensione di soglia  $V_\gamma \neq 0V$  per cui, durante la polarizzazione diretta, la tensione di uscita non è nulla ma ha un valore corrispondente alla tensione di soglia del diodo. Questa va determinata e il segnale di uscita si presenta come in figura 10.

**Fig.10**



D = (sigla, tensione di Zener, potenza massima)

R = (valore della resistenza, tolleranza, potenza massima)

$V_{1M} =$  Volt

$f =$  Hz

$V_{2M} =$  Volt

$V_Z =$  Volt

Disegnare le forme d'onda in un foglio di carta millimetrata.

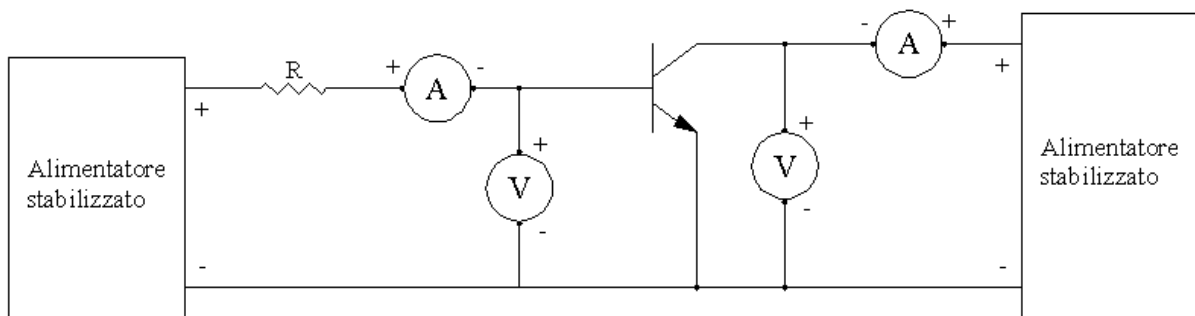
Spiegare **dettagliatamente** come sono state effettuate le misure con l'oscilloscopio mettendo in evidenza i (Volt/div) e i (Time/div) utilizzati per rilevare le grandezze richieste.

## Rilievo delle caratteristiche di ingresso e di uscita di un BJT con il metodo statico

### Generalità

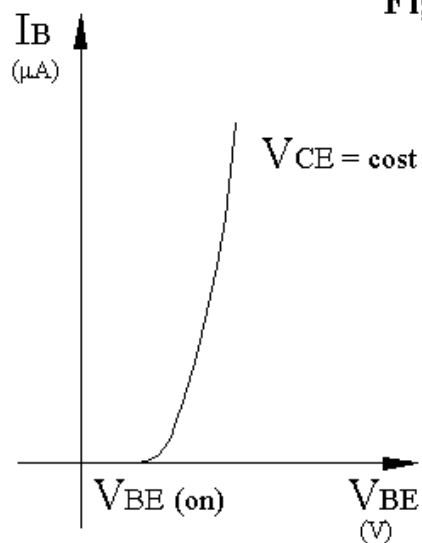
Questa misura viene effettuata mediante il rilievo per punti delle caratteristiche di un BJT tipo BC 301 che è un dispositivo di segnale alimentato a 12 Volt. Lo schema di figura 1 rappresenta il circuito per la determinazione delle caratteristiche di ingresso e di uscita, le caratteristiche sono rappresentate in figura 2 e in figura 3.

Fig.1



### Caratteristiche voltamperometriche di ingresso

Fig.2



Il BJT è alimentato, in ingresso e in uscita, da due alimentatori stabilizzati.

Nel circuito di ingresso è inserita una resistenza  $R = 33 K\Omega$  per limitare la corrente; sono inoltre inseriti due amperometri e due voltmetri per misurare la  $I_B$  e la  $V_{BE}$  in ingresso e la  $I_C$  e la  $V_{CE}$  in uscita, gli strumenti utilizzati sono di tipo analogico.

Per la determinazione della caratteristica di ingresso si porta la tensione  $V_{CE}$  di uscita al valore tipico di 5 Volt, poi si inizia ad aumentare la tensione in ingresso fino ad un valore di circa 700 mV. Dato che la tensione di ingresso è compresa tra un valore di 0 Volt e 700 mV, si pone **il voltmetro a valle dell'amperometro per ottenere la lettura della effettiva tensione  $V_{BE}$  di ingresso.**

I risultati vengono riportati in tabella.

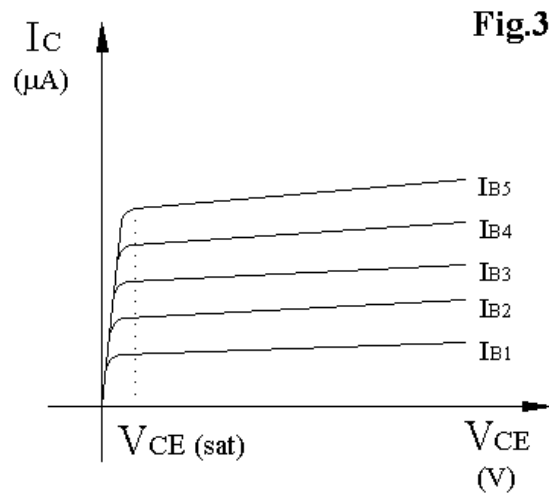
Tabella dei risultati

N	$V_{BE}$	$I_B$	$I_C$	Note
	Volt	$\mu A$	mA	

In tabella vengono inoltre riportati i valori della corrente di uscita  $I_C$ , in questo modo, una volta ricavata la caratteristica di uscita, si effettua un confronto con i dati di quest'ultima e si verifica se le misure sono state eseguite in modo corretto.

Il BJT BC 301 è un dispositivo al silicio per cui la sua tensione di soglia è compresa tra 0,6 V e 0,7 V. Si riportano i dati su carta millimetrata e si determina poi, attraverso una analisi grafica, se la tensione di soglia del dispositivo verifica le condizioni teoriche.

**Caratteristiche voltamperometriche di uscita**



La famiglia di caratteristiche di uscita si determinano per diversi valori della corrente di ingresso  $I_B$  come indicato in tabella dati.

Tabella dei risultati

N	$I_B$	50 $\mu A$	100 $\mu A$	150 $\mu A$	200 $\mu A$	Note
	$V_{CE}$	$I_C$	$I_C$	$I_C$	$I_C$	
	Volt	mA	mA	mA	mA	

Per la determinazione delle caratteristiche si varia la corrente di ingresso, attraverso l'alimentatore di ingresso, fino a quando sull'amperometro si legge il valore desiderato; si varia poi l'alimentatore di uscita per ricavare la caratteristica corrispondente leggendo sugli strumenti i valori della tensione  $V_{CE}$  e la corrente  $I_C$ . Si ripete poi il medesimo procedimento per ottenere le altre caratteristiche.

Si verifica, sul grafico, quale sia il reale valore della tensione di saturazione  $V_{CE(sat)}$ . Nella relazione tecnica si effettua un confronto tra i valori teorici e quelli ricavati sperimentalmente.

# Modulo 5

## Contenuti:

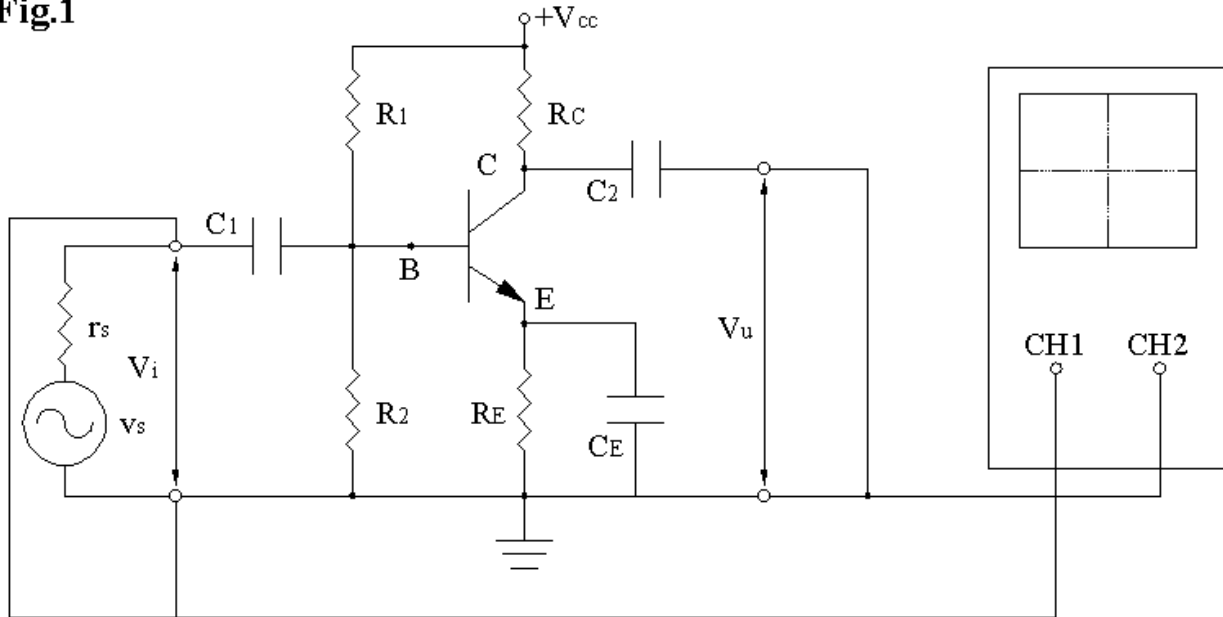
- *Misura del guadagno di tensione e rilievo della curva di risposta in frequenza di un amplificatore a emettitore comune*
- *Verifiche su un circuito non invertente con A.O.  $\mu A741$*
- *Verifiche su un circuito invertente con A.O.  $\mu A741$*
- *Verifica su un circuito derivatore con A.O.  $\mu A741$*

## Obiettivi:

*Mettere l'allievo in grado di effettuare misure di verifica sugli amplificatori a componenti discreti e amplificatori operazionali. L'allievo utilizza, per le misure, generatore di segnale in bassa frequenza e oscilloscopio.*

## Misura del guadagno di tensione e rilievo della curva di risposta in frequenza di un amplificatore a emettitore comune

Fig.1



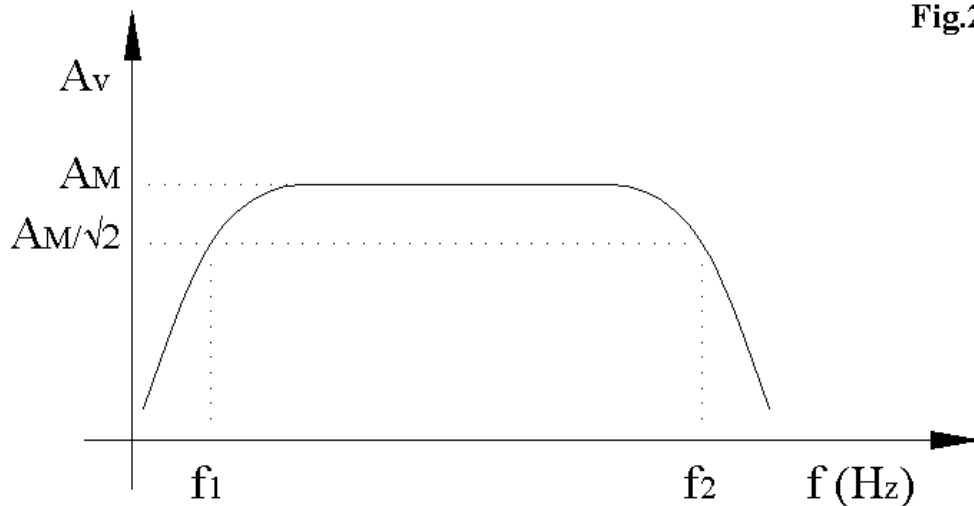
L'amplificatore ad emettitore comune è un dispositivo per piccoli segnali, le tensioni di ingresso possono arrivare al massimo, a valori picco-picco dell'ordine di qualche decina di millivolt prima che intervenga una distorsione dell'onda.

Nella misura, la prima verifica da eseguire è proprio quella della *sensibilità* dell'amplificatore e per la determinazione dei dati della misura si procede come segue:

- ✚ Si alimenta l'amplificatore con  $V_{CC}$  che può variare da 12 V a 18 V
- ✚ Si collega il generatore di segnale e i canali dell'oscilloscopio come mostrato nello schema di principio di figura 1, in modo da visualizzare sia il segnale di ingresso sia quello di uscita
- ✚ Si stabilisce una frequenza di lavoro in centro banda e si aumenta l'ampiezza del segnale di ingresso fino a quando si vede che il segnale di uscita inizia ad essere distorto; la distorsione ha inizio appena le due semionda diventano diverse fra loro
- ✚ La frequenza di lavoro si legge direttamente sul generatore di segnale o in modo indiretto in quanto, sull'oscilloscopio, si determina il periodo del segnale e da questo si risale alla frequenza attraverso la relazione:  $f = \frac{1}{T}$
- ✚ Si rileva il valore picco-picco della tensione di ingresso subito prima che inizi la distorsione e questo rappresenta il massimo valore di tensione applicabile in ingresso all'amplificatore, cioè la *sensibilità* dell'amplificatore. Questo rilevamento ci permette di lavorare in condizioni di linearità
- ✚ Si effettuano le misure successive ad un valore convenientemente basso di quello rilevato che viene mantenuto costante nelle misure successive



- ✚ Mantenendo la frequenza di lavoro stabilita in precedenza, si determina il **guadagno di tensione in centro banda** come rapporto del valore massimo della tensione di uscita con il valore massimo della tensione di ingresso; i due valori massimi si ricavano dal valore picco-picco letto sulle tracce dell'oscilloscopio cioè  $V_M = \frac{V_{pp}}{2}$
- ✚ Si ricava poi la **curva di risposta in frequenza** (mantenendo costante il valore della tensione di ingresso) diminuendo progressivamente i valori di frequenza fino a circa un centinaio di Hz, si riporta poi il valore della frequenza in centro banda e si aumenta la frequenza fino a circa qualche migliaio di Hz
- ✚ Si riportano i dati in tabella
- ✚ Si ricava il grafico di  $V = f(f)$  in scala semilogaritmica (vedi figura 2): **frequenza** sull'asse delle ascisse in **scala logaritmica** e **guadagno di tensione** sull'asse delle ordinate in **scala lineare**



- ✚ Si determina il valore del guadagno di tensione ridotto del 30% utilizzando la relazione seguente:  $\frac{V_M}{\sqrt{2}}$
- ✚ In corrispondenza al valore determinato si traccia, sul grafico, la retta parallela all'asse delle ascisse e l'intersezione di quest'ultima con la curva mette in evidenza i punti in corrispondenza ai quali si leggono i valori delle due frequenze: **frequenza di taglio superiore e inferiore**

I dati vengono riportati nella tabella e nella relazione tecnica si mettono in evidenza sia il procedimento usato per la misura sia i relativi calcoli.

Tabella dei risultati

N	f	V <sub>i</sub>	V <sub>u</sub>	A <sub>v</sub>	Note
	Hz	Volt	Volt		

## Verifiche su un circuito non invertente con amplificatore operazionale del tipo $\mu A741$

### Scopo della misura

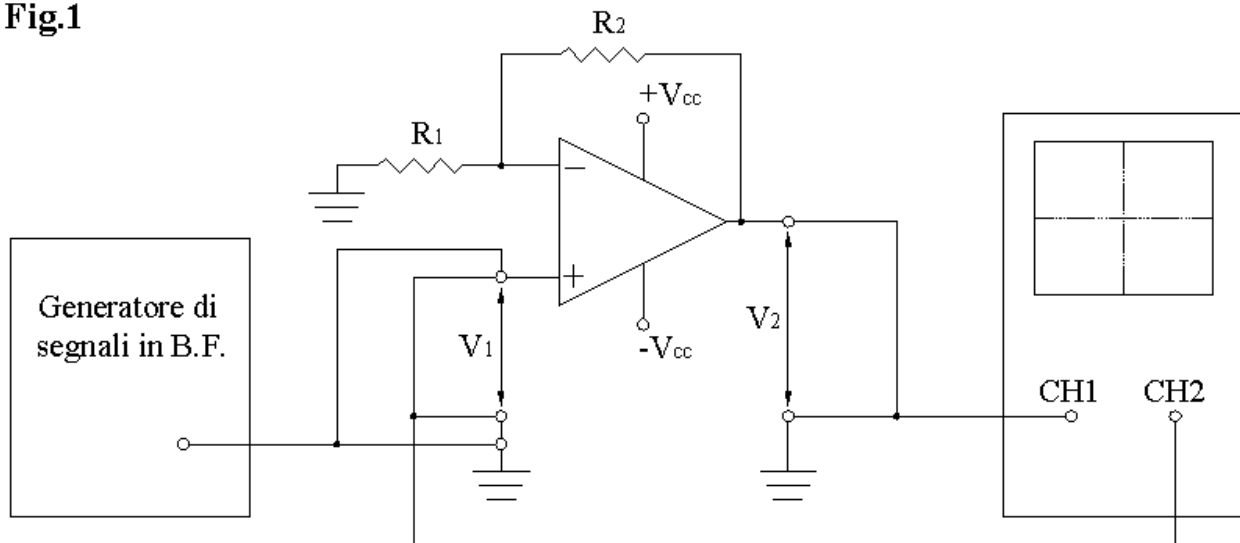
Con questa misura si verifica il funzionamento dell'amplificatore operazionale come dispositivo lineare nella configurazione del circuito non invertente.

Si determina la **sensibilità di ingresso** in funzione del **guadagno** e si determina quest'ultimo.

Si rileva inoltre, la **curva di risposta in frequenza** del circuito.

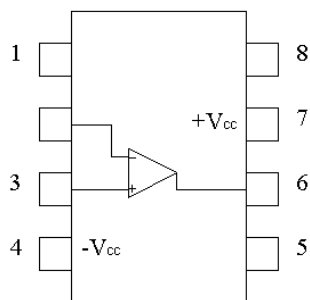
### Svolgimento della prova

Fig.1



Dello schema di figura sono noti, oltre al tipo di amplificatore utilizzato, i valori delle resistenze  $R_1$  e  $R_2$ . L'amplificatore operazionale è alimentato con alimentazione simmetrica a 15 V. In figura 2 è mostrata la piedinatura del  $\mu A741$ .

Fig.2



Il circuito non invertente può essere realizzato su una bread-board oppure può essere già predisposto su una basetta, si effettuano poi i seguenti passi per rilevare i dati:

- ✚ Si collega il generatore di segnale in bassa frequenza all'ingresso del circuito invertente
- ✚ Si collega ciascun canale dell'oscilloscopio, uno in ingresso ed uno in uscita per visualizzare le due tensioni  $V_1$  e  $V_2$
- ✚ Si stabilisce una tensione di ingresso pari a  $V_1$  e si legge il valore picco-picco sul canale 1 dell'oscilloscopio
- ✚ Si legge il valore della tensione di uscita  $V_2$  sul canale 2 dell'oscilloscopio
- ✚ Si riportano i dati in tabella variando la frequenza del segnale di ingresso



## Verifiche su un circuito invertente con amplificatore operazionale del tipo $\mu A741$

### Scopo della misura

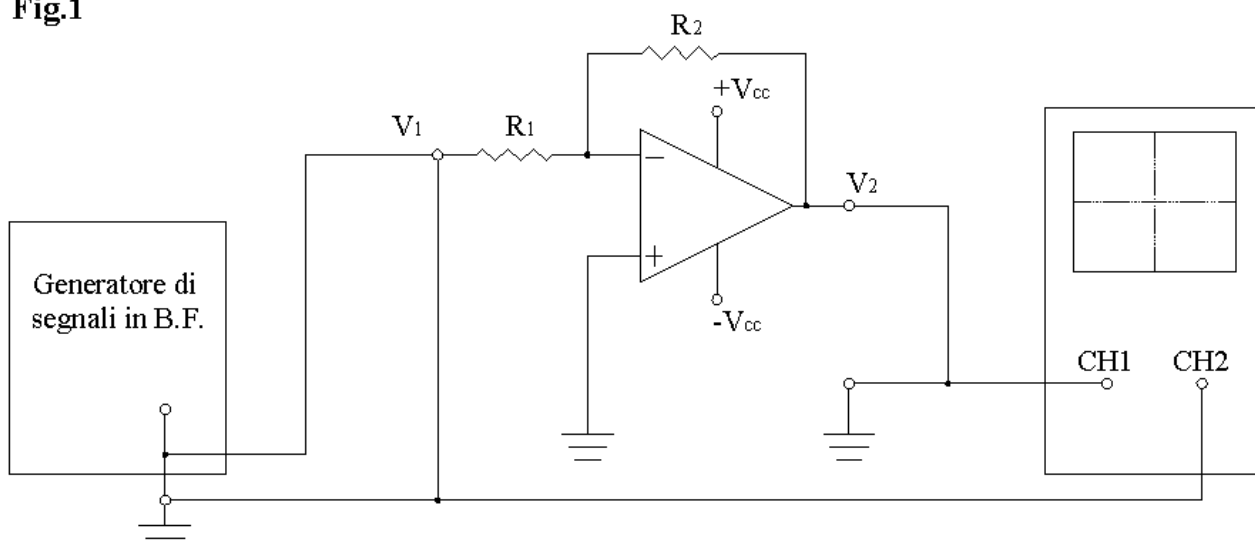
Con questa misura si verifica il funzionamento dell'amplificatore operazionale come dispositivo lineare e, in particolare, del circuito invertente.

Si determina la *sensibilità di ingresso* in funzione del *guadagno* e si determina quest'ultimo.

Si rileva inoltre, la *curva di risposta in frequenza* del circuito.

### Svolgimento della prova

Fig.1



Dello schema di figura sono noti, oltre al tipo di amplificatore utilizzato, i valori delle resistenze  $R_1$  e  $R_2$ . L'amplificatore operazionale è alimentato con alimentazione simmetrica a 15 V.

Il circuito invertente può essere realizzato su una bread-board oppure può essere già predisposto su una basetta, si effettuano poi i seguenti passi per rilevare i dati:

- ✚ Si collega il generatore di segnale in bassa frequenza all'ingresso del circuito invertente
- ✚ Si collega ciascun canale dell'oscilloscopio: uno in ingresso ed uno in uscita per visualizzare le due tensioni  $V_1$  e  $V_2$
- ✚ Si stabilisce una tensione di ingresso pari a  $V_1 =$  e si legge il valore sul canale 1 dell'oscilloscopio
- ✚ Si legge il valore della tensione di uscita  $V_2$  sul canale 2 dell'oscilloscopio
- ✚ Si riportano i dati in tabella variando la frequenza del segnale di ingresso
- ✚ Si eseguono i calcoli teorici secondo la relazione  $A_V = \frac{V_2}{V_1} = -\frac{R_2}{R_1}$
- ✚ Lo sfasamento del segnale di uscita, rispetto a quello di ingresso, si visualizza dalla misura sullo schermo dell'oscilloscopio



## Verifiche su un circuito derivatore con amplificatore operazionale del tipo $\mu A741$

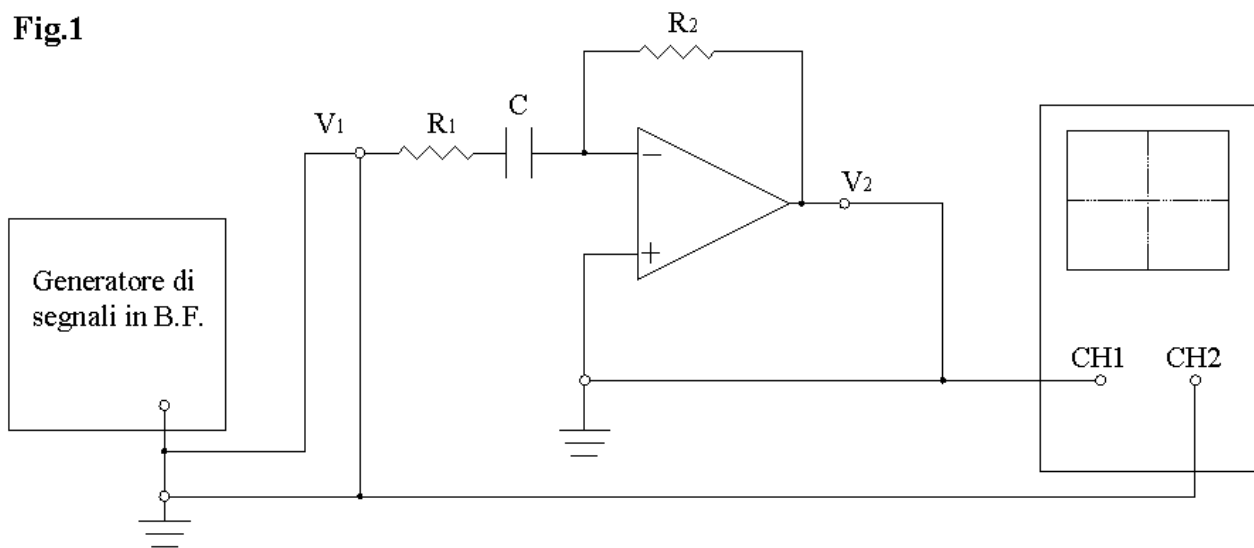
### Scopo della misura

Con questa misura si verifica il comportamento del circuito come *derivatore* al variare della *frequenza del segnale di ingresso*.

Si rileva inoltre, la *curva di risposta in frequenza* del circuito

### Svolgimento della prova

Fig.1



Dello schema di principio di figura sono noti, oltre al tipo di amplificatore utilizzato, i valori delle resistenze  $R_1$  e  $R_2$ , del condensatore. L'amplificatore operazionale è alimentato con alimentazione simmetrica a 15 V.

Il circuito può essere realizzato su una bread-board oppure può essere già predisposto su una basetta, si effettuano poi i seguenti passi per rilevare i dati:

- ✚ Si collega il generatore di segnale in bassa frequenza all'ingresso del circuito invertente
- ✚ Si collega ciascun canale dell'oscilloscopio: uno in ingresso ed uno in uscita per visualizzare le due tensioni  $V_1$  e  $V_2$
- ✚ Si stabilisce una tensione di ingresso sinusoidale pari a  $V_1$  e si legge il valore sul canale 1 dell'oscilloscopio
- ✚ Si legge il valore della tensione di uscita  $V_2$  sul canale 2 dell'oscilloscopio

✚ Si eseguono i calcoli teorici secondo la relazione:

$$V_2 = -R_2 C \frac{dV_1}{dt}$$

✚ Si effettua un confronto fra i dati misurati e quelli calcolati

Dato che la misura viene effettuata in bassa frequenza si ha che

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C}$$

Se la frequenza del segnale di ingresso è minore di  $f_c$  il circuito funziona da derivatore, se invece la frequenza del segnale di ingresso supera  $f_c$  allora il circuito si comporta come se fosse un circuito invertente di guadagno  $A_v = -\frac{R_2}{R_1}$ . La resistenza  $R_1$  viene inserita proprio per ridurre il guadagno in alta frequenza ad un valore pari al rapporto delle due resistenze.

La misura può essere effettuata inserendo, all'ingresso del circuito, un segnale sinusoidale e successivamente un segnale triangolare ed analizzare la forma d'onda in uscita.



# Modulo 6

## Contenuti:

- *Misura sul grado di modulazione con il metodo oscillografico*
- *Misura di verifica della tabella di verità di una porta logica AND, di una porta logica OR e di una porta logica NOT*
- *Misura di verifica della tabella di verità di un FLIP-FLOP RS realizzato con porte NOR*
- *Misura di verifica della visualizzazione delle dieci cifre decimali mediante decoder e display a sette segmenti*

## Obiettivi:

*Mettere l'allievo in grado di rilevare una modulazione in AM e relativa distorsione attraverso l'uso dell'oscilloscopio.*

*Fare verificare, all'allievo, le tabelle di verità di alcuni circuiti combinatori e sequenziali e identificarne le differenze.*

## Misura sul grado di modulazione con il metodo oscillografico

### Generalità

Le misure di modulazione vengono eseguite per determinare il *grado di modulazione* dei trasmettitori, per determinare la *distorsione dell'involuppo di modulazione* e per mettere in evidenza la sovr modulazione nei dispositivi di controllo.

Il segnale utilizzato è sinusoidale e la misura viene eseguita mediante l'osservazione diretta di un segnale modulato in ampiezza visualizzato sullo schermo dell'oscilloscopio. In figura 1 è mostrato un segnale modulato in ampiezza in assenza di distorsione dove  $V_0$  rappresenta il valore massimo del segnale portante e  $V_m$  è il valore massimo del segnale modulante, l'espressione del valore istantaneo del segnale modulato è dato da:

$$v_{0m} = V_0 \cos \omega_0 t + m V_0 \cos \omega_m t \cos \omega_0 t$$

dove le notazioni hanno il seguente significato:

$V_0$  valore massimo del segnale portante

$\omega_0$  pulsazione del segnale portante,  $\omega_0 = 2\pi f_0$

$\omega_m$  pulsazione del segnale modulante,  $\omega_m = 2\pi f_m$

$v_{0m}$  valore istantaneo del segnale modulato

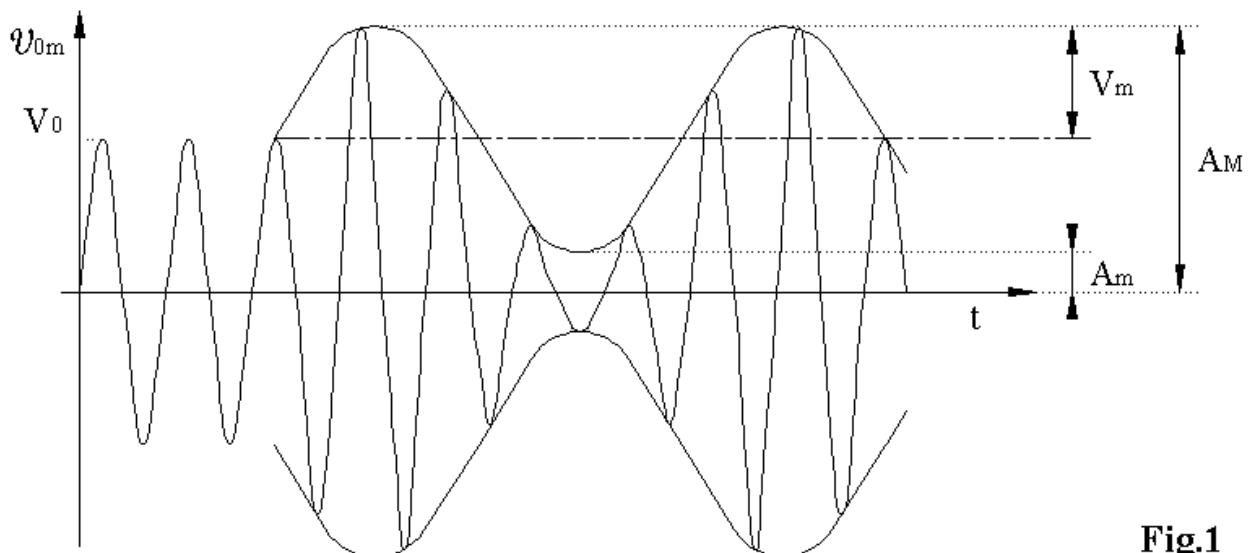


Fig.1

*Il grado di modulazione è dato da:*

$$m = \frac{V_m}{V_0}$$

*e può essere ricavato dall'analisi all'oscilloscopio.*

Consideriamo la figura 1 e indichiamo le grandezze come segue:

- ✚  $V_0$  è il valore medio dell'involuppo di modulazione e coincide con il valore massimo del segnale portante
- ✚  $V_m$  è l'ampiezza massima della modulante

Definiamo inoltre, la seguenti grandezze:

- ✚  $A_M = V_0 + V_m$  è il valore massimo del segnale modulato
- ✚  $A_m = V_0 - V_m$  è il valore minimo del segnale modulato

Il segnale modulato viene applicato ad un canale dell'oscilloscopio, la base dei tempi dell'oscilloscopio viene sincronizzata dall'esterno mediante il segnale modulante in modo che la sua frequenza sia  $f_m/n$ , dove  $n$  può valere 1, 2, 3, ...; in questo modo ***l'involuppo del segnale modulato che appare sull'oscilloscopio contiene un numero intero  $n$  di cicli del segnale modulante.*** La figura che compare sullo schermo dell'oscilloscopio è come quella di figura 1 per cui si può determinare il valore del ***grado di modulazione  $m$  risolvendo il sistema seguente:***

$$\begin{cases} A_M = V_0 + V_m \\ A_m = V_0 - V_m \end{cases}$$

ricaviamo  $V_0$  dalla prima relazione e la sostituiamo nella seconda

$$\begin{cases} V_0 = A_M - V_m \\ A_m = A_M - V_m - V_m \end{cases}$$

da cui

$$\begin{cases} V_0 = A_M - V_m \\ A_m - A_M = -2V_m \end{cases}$$

ricaviamo  $V_m$  dalla seconda relazione

$$\begin{cases} V_0 = A_M - V_m \\ V_m = \frac{A_M - A_m}{2} \end{cases}$$

sostituiamo  $V_m$  nella prima equazione

$$\begin{cases} V_0 = A_M - \frac{A_M - A_m}{2} \\ V_m = \frac{A_M - A_m}{2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_0 = \frac{2A_M - A_M + A_m}{2} = \frac{A_M + A_m}{2} \\ V_m = \frac{A_M - A_m}{2} \end{cases}$$

sostituiamo al grado di modulazione  $m$  le espressioni determinate e otteniamo:

$$m = \frac{V_m}{V_0} = \frac{A_M - A_m}{2} \frac{2}{A_M + A_m}$$

da cui

$$m = \frac{A_M - A_m}{A_M + A_m} \quad (1)$$

infatti:

$$m = \frac{2V_0 + 2V_m - (2V_0 - 2V_m)}{2V_0 + 2V_m + 2V_0 - 2V_m} = \frac{4V_m}{4V_0} = \frac{V_m}{V_0}$$

i valori di  $A_M$  e di  $A_m$  vengono letti direttamente sullo schermo dell'oscilloscopio, si esegue il calcolo della espressione (1) ed è così ottenuto il **grado di modulazione**.

Un metodo più pratico per ottenere il grado di modulazione di un segnale modulato in ampiezza è quello di applicare all'asse dei tempi la tensione modulante. In questo modo si visualizza l'ampiezza del segnale modulato in funzione dell'ampiezza del segnale modulante. Quando le due grandezze sono in fase si ottiene una figura trapezoidale come quella di figura 2.

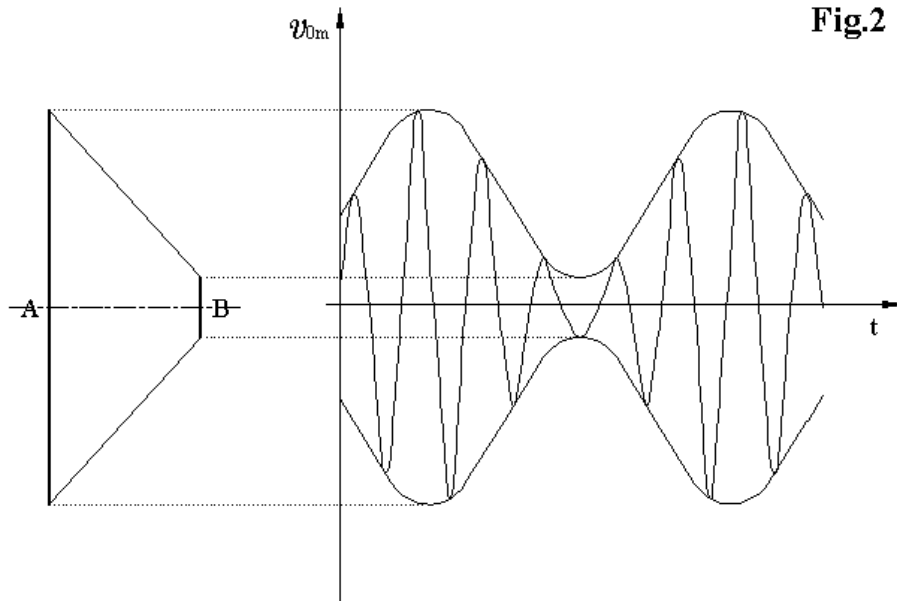


Fig.2

In essa sono indicate con  $A$  e  $B$  rispettivamente la *base maggiore* e la *base minore* del trapezio che possono essere misurate sullo schermo dell'oscilloscopio e, da queste, si determina *il grado di modulazione* utilizzando la relazione che segue:

$$m = \frac{A - B}{A + B}$$

dove i parametri indicati rappresentano rispettivamente:

$A$  è l'ampiezza tra i due valori massimi del segnale modulato in ampiezza

$B$  è l'ampiezza tra i due valori minimi del segnale modulato in ampiezza

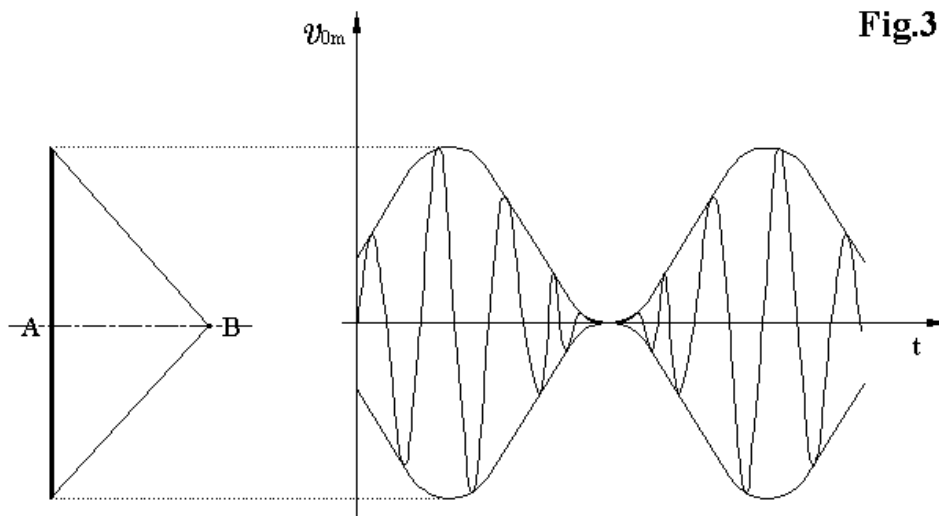
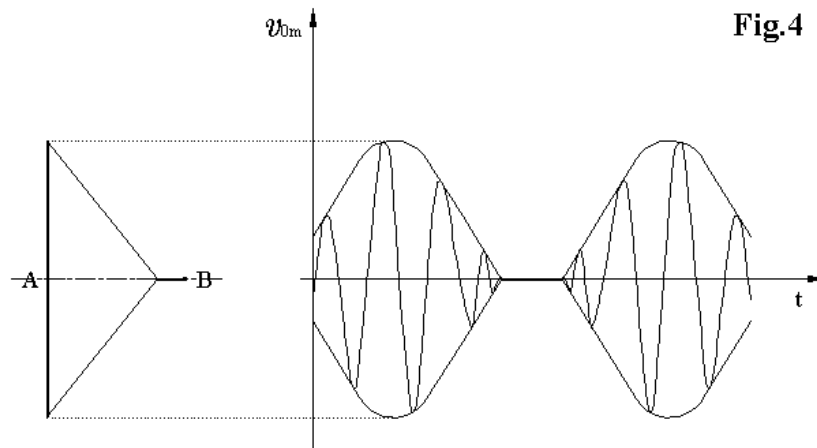
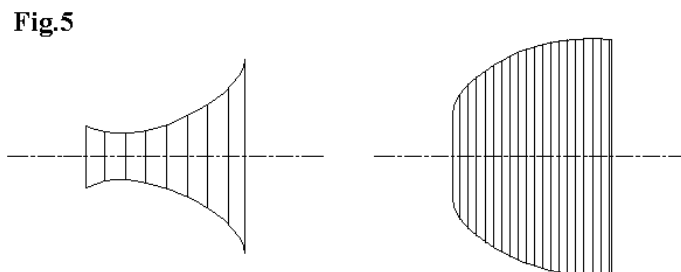


Fig.3

Nel caso precedente  $m = 0,5$  mentre in figura 3 è mostrato come, in corrispondenza ad un diverso indice di modulazione  $m$ , si ottenga una forma geometrica diversa. Nel caso di un valore  $m = 1$  si annulla la base minore per cui la figura diventa un triangolo. Quando si ha un grado di modulazione superiore al 100%, cioè  $m > 1$ , si ottiene un triangolo con una linea orizzontale luminosa al vertice; quest'ultimo tratto rappresenta la porzione di segnale che si annulla proprio a causa della *sovramodulazione*. (figura 4)

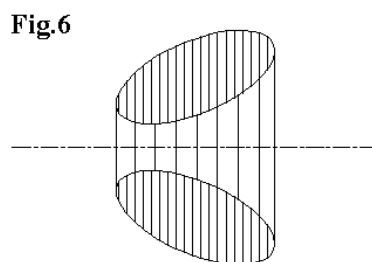


Con questo metodo detto “*metodo del trapezio*”, si può osservare la presenza della *distorsione nella modulazione*; infatti, se questa è presente, l’involuppo del segnale modulato non è sinusoidale, per cui i contorni del trapezio risultano deformati.



In figura 5 si vedono due casi in cui i lati obliqui del trapezio sono deformati ma *il segnale modulato e il segnale modulante* sono sempre *in fase* fra loro. Nella prima figura la semionda positiva risulta maggiore di quella negativa, mentre nella seconda figura la semionda positiva risulta minore di quella negativa.

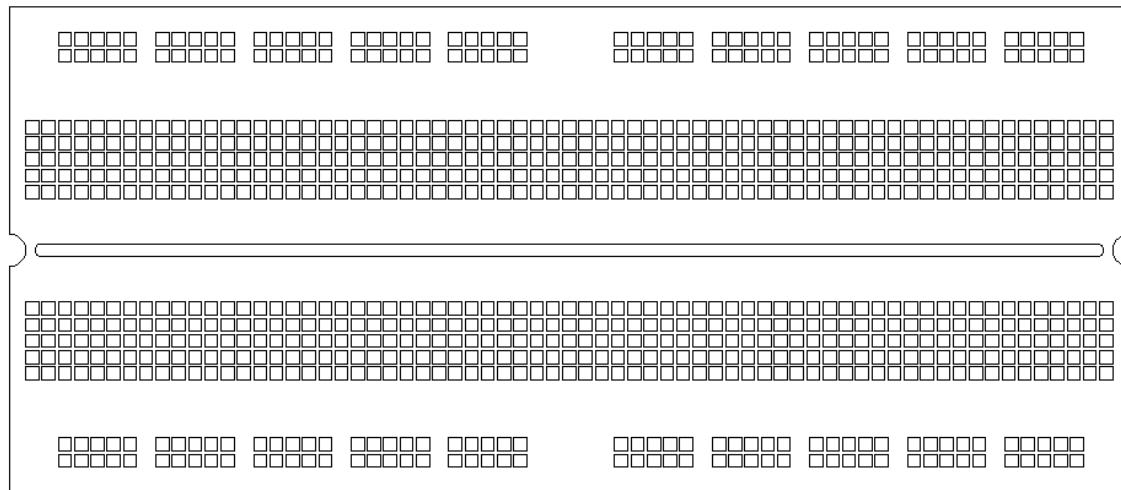
Quando l’involuppo di modulazione e la modulante non sono esattamente in fase la figura trapezoidale si visualizza come nel caso di figura 6.



## Misura di verifica della tabella di verità di una porta logica AND, di una porta logica OR e di una porta logica NOT

Per effettuare questo tipo di misure risulta particolarmente adatto l'uso delle basette denominate *Bread – board* come quella disegnata in figura 1.

Fig.1



Mediante questa basetta si possono agevolmente montare e smontare i circuiti elettronici e questo permette di rendere più agevoli le misure.

La bread – board è costituita da un materiale conduttore di supporto su cui viene inserita una piastra in materiale plastico munita di opportuni fori entro i quali inserire i componenti elettronici. I fori che si individuano in figura non sono tutti collegati fra loro, la suddivisione delle connessioni è la seguente:

- ✚ I fori che si trovano allineati nelle due file all'estremità superiore ed inferiore della basetta sono fra loro collegati in serie, fila per fila, ma non connessi fra loro
- ✚ I fori che si trovano allineati, in verticale, nella zona centrale della basetta sono collegati fra loro in verticale ma ciascuna colonna è indipendente da quella a fianco e le colonne superiori sono indipendenti da quelle inferiori

Quando si montano i componenti elettronici si deve tenere presente che i circuiti integrati utilizzati per le verifiche di elettronica digitale vanno inseriti al centro della basetta per un corretto funzionamento, cioè per non avere dei corto circuiti e in modo da avere tutti i piedini dell'integrato in colonne diverse per effettuare i collegamenti necessari.

I circuiti integrati utilizzati nelle diverse misure hanno una struttura come quella indicata in figura 2.

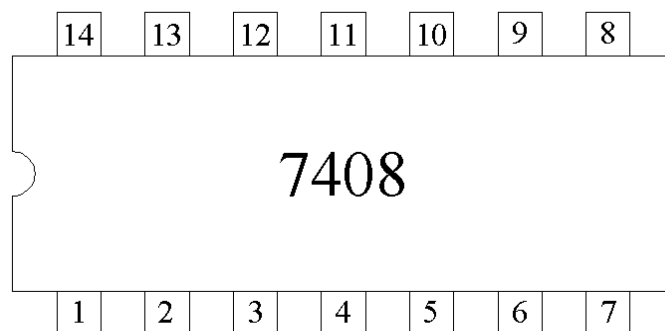


Fig.2

Per sapere quale morsetto rappresenta l'ingresso o l'uscita di una porta si procede come segue:

- ✚ posizionare l'integrato in modo da potere leggere la sigla stampata sopra
- ✚ osservare la tacca di riferimento sulla sinistra (scanalatura o punto bianco in basso a sinistra)
- ✚ Iniziare a numerare i piedini, in senso antiorario, partendo dal primo piedino in basso a sinistra

Terminata la numerazione dei piedini verificare sui data-book come sono posizionate le porte all'interno del circuito integrato per poi effettuare i collegamenti. A titolo di esempio in figura 3 è rappresentata la piedinatura e la struttura interna di un integrato a transistor (TTL) 7408 che contiene quattro porte logiche AND.

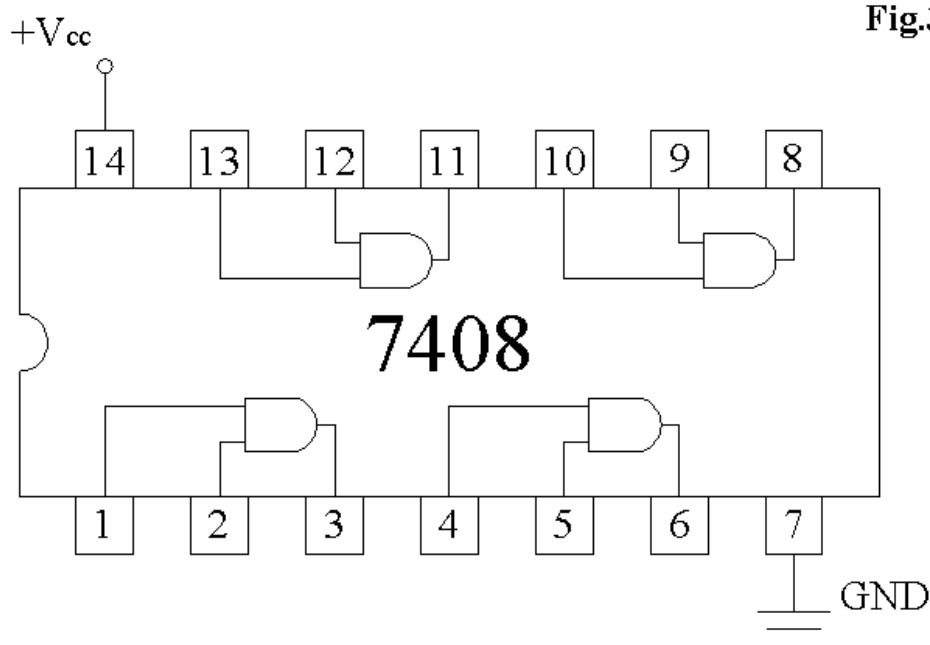


Fig.3

***Tutti i circuiti integrati, per poter funzionare, devono essere alimentati in c.c.  
In particolare gli integrati TTL vengono alimentati con una tensione di 5 Volt.***



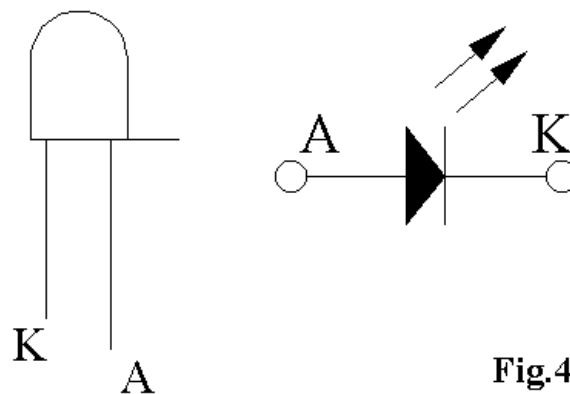
Prendendo in esame l'integrato di figura 3, si fa presente che i due morsetti dell'alimentazione sono il n 14 per il polo positivo e il numero n 7 per il polo negativo.

Per poter verificare la tabella di verità della porta AND si devono avere le condizioni di bit 1 e bit 0 agli ingressi. Questo si ottiene inserendo un filo nella basetta in corrispondenza alla colonna di ciascun morsetto di ingresso di una porta, ad esempio il n1 e il n 2 e le condizioni logiche richieste si ottengono come segue:

- ✚ *Il bit uguale a 0 si ottiene collegando, attraverso il filo, l'ingresso della porta logica al polo negativo della alimentazione*
- ✚ *Il bit uguale a 1 si ottiene lasciando non connesso il filo del morsetto corrispondente, in quanto essendo l'integrato alimentato, l'ingresso si trova già sotto tensione ad un valore sufficiente a farlo corrispondere ad una condizione pari a 1*

Per quello che riguarda la visualizzazione della condizione logica di uscita si collega al morsetto di uscita una resistenza (generalmente di un valore pari a  $220 \Omega$  e  $P \frac{1}{2} W$ ) e ad essa si collega l'anodo di un diodo LED.

Il **diodo LED** (figura 4) è un dispositivo che, attraversato dalla corrente, si illumina; è costituito da due morsetti e l'identificazione del catodo si ha attraverso l'osservazione della tacca di riferimento che lo indica.



Dato che noi abbiamo adottato la logica positiva si ha che

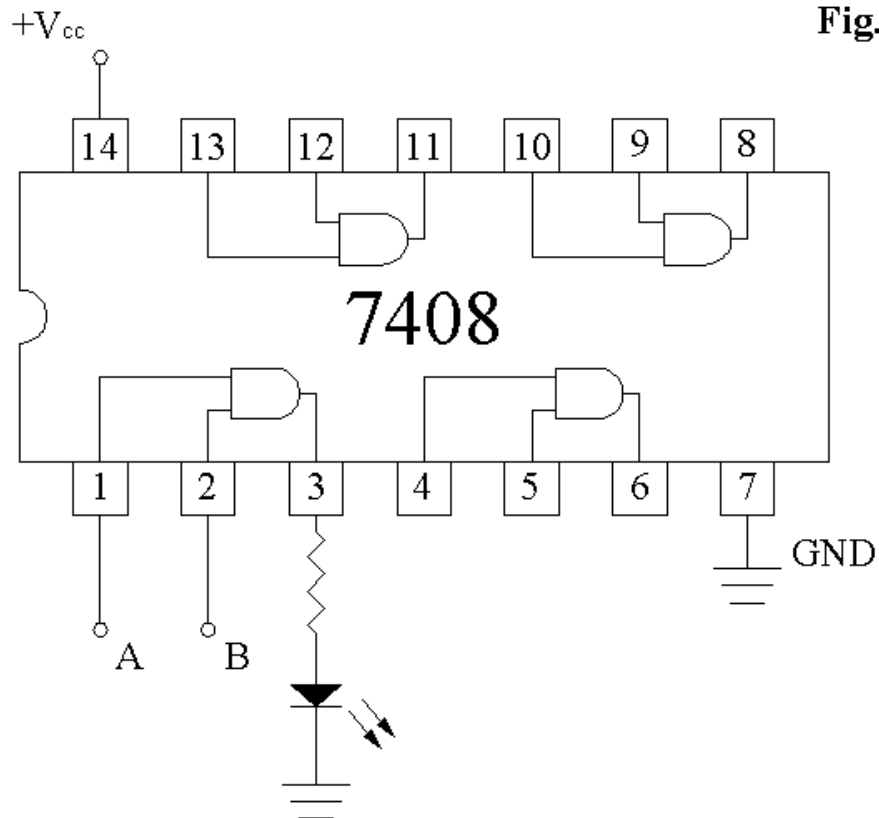
- ✚ al bit 1 corrisponde il diodo illuminato
- ✚ al bit 0 corrisponde il diodo spento

In questo modo si può visualizzare la tabella di verità delle tre porte logiche fondamentali.

Lo schema di montaggio, da effettuare sulla basetta, è visualizzato in figura 5.

Il procedimento descritto è valido per tutte le verifiche.

Fig.5



Gli integrati utilizzati sono:

✚ Porta AND TTL 7408

✚ Porta OR TTL 7432

✚ Porta NOT TTL 7404

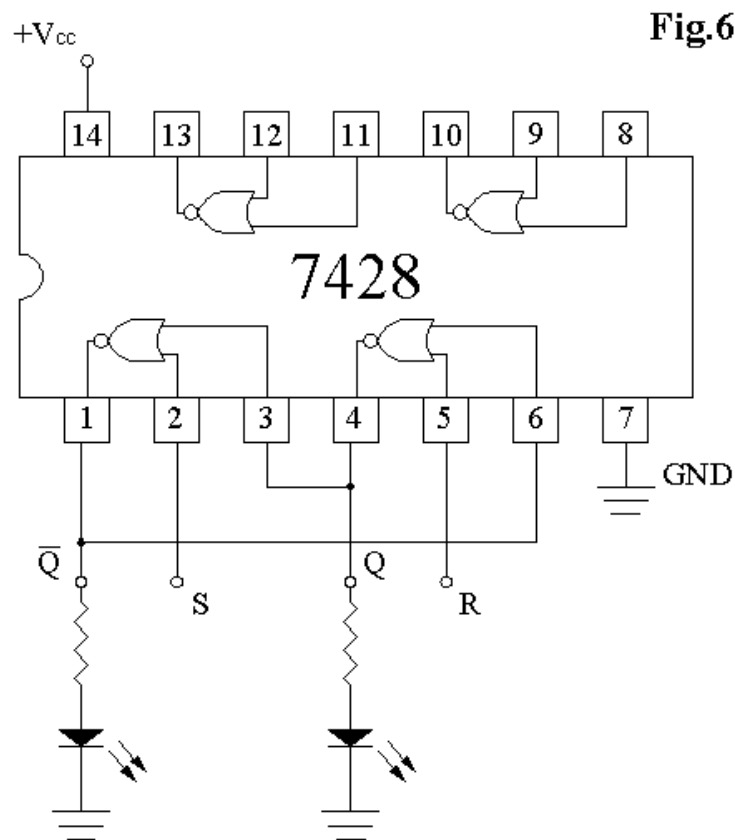
Utilizzare i data-book per individuare la posizione delle porte logiche all'interno degli integrati.

**Tabella di verità della porta logica AND**

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

## Misura di verifica della tabella di verità di un FLIP-FLOP RS realizzato con porte NOR

Il circuito da realizzare è quello relativo alla figura 5 e le modalità di realizzazione sono analoghe a quelle presentate nella precedente misura.



L'integrato utilizzato è il TTL 7428.

La **tabella di verità** da verificare è la seguente:

S	R	Q	$\bar{Q}$
0	0	Q	$\bar{Q}$
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	situazione di indifferenza	

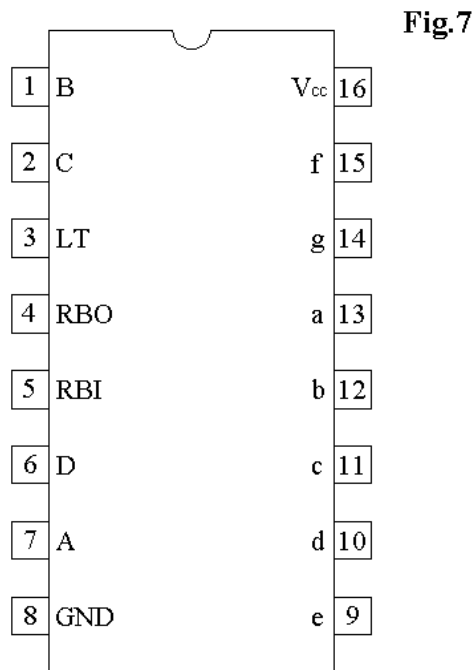
## Misura di verifica della visualizzazione delle dieci cifre decimali mediante decoder e display a sette segmenti

### Scopo della misura

Visualizzare le dieci cifre decimali su un display a sette segmenti utilizzando un decoder. Per questa misura viene utilizzato un *circuito combinatorio* denominato *decoder*.

*Il decoder è un dispositivo in grado, in base alla combinazione degli ingressi, di attivare una o alcune delle sue uscite.*

Il decoder utilizzato per questa misura è un TTL 7447 del tipi di figura 6.

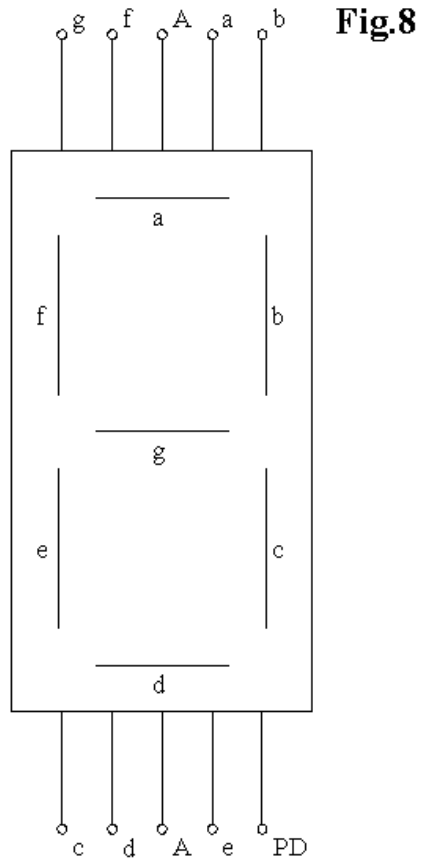


I piedini sono 16 ed hanno le seguenti funzioni:

- ✚ 1, 2, 6, 7 sono i morsetti di ingresso
- ✚ 3 è il morsetto che permette di vedere se l'integrato funziona correttamente
- ✚ 4 e 5 sono morsetti utilizzati per controlli speciali che vanno tenuti al bit uguale a 1 quando il 7447 funziona come decoder
- ✚ 8 e 16 sono i morsetti dell'alimentazione
- ✚ 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 sono i morsetti di uscita. Essi vanno collegati, attraverso le resistenze, ai catodi del display e sono attivi a livello zero

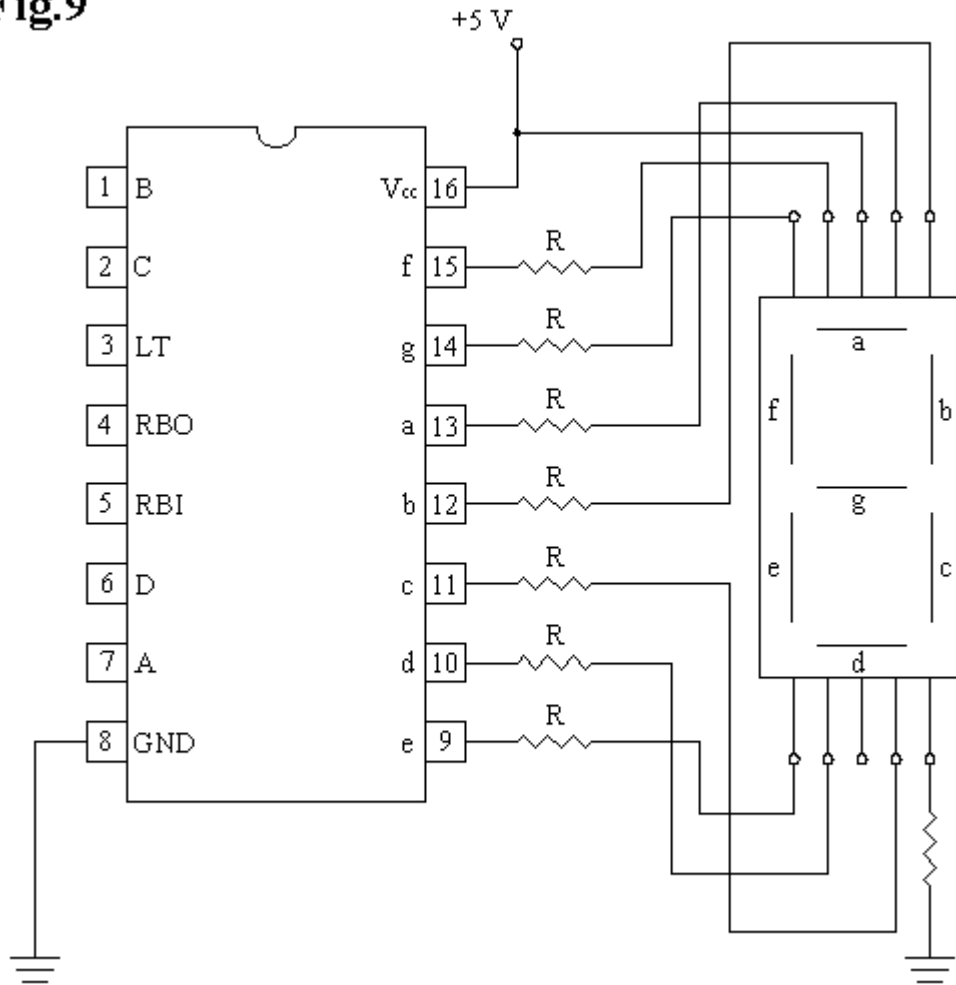
**Il display a sette segmenti** è costituito da sette diodi LED opportunamente collegati. Il tipo impiegato in questa misura è compatibile con il decoder 7447 ed è ad **anodo comune**.

Il morsetto dell'anodo viene collegato direttamente al polo positivo dell'alimentazione, mentre tutti gli altri morsetti sono collegati alle rispettive uscite del decoder. Per la corrispondenza fra i diodi e i morsetti corrispondenti osserva la figura 8.



Lo schema da realizzare sulla bread-board è quello di figura 9. Tra il decoder e il display sono interposte, in corrispondenza di ciascuna uscita, delle resistenze di valore  $150 \Omega$ ,  $P \frac{1}{2} W$ .

**Fig.9**



Come si vede dalla tabella, ad una combinazione degli ingressi corrisponde, in uscita, l'accensione dei segmenti che contribuiscono a formare il numero richiesto.

Tabella

Numero Decimale	codice BCD				Segmenti attivati						
	A	B	C	D	a	b	c	d	e	f	g
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1
3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
4	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1
5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
6	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1
7	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
8	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
9	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1