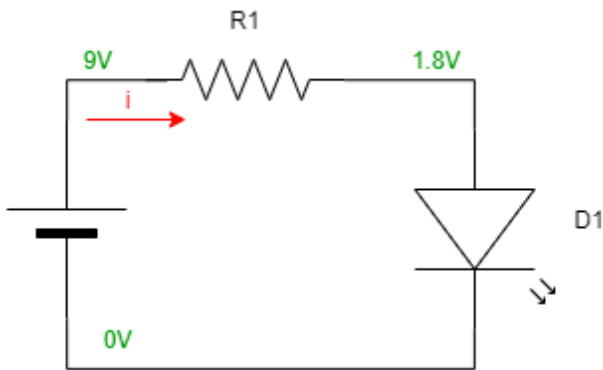


# 1.1 Elettronica di base I

Vediamo ora qualche concetto fondamentale: introdurremo i circuiti elettrici e alcuni dei componenti più usati nei circuiti elettronici.

## Circuiti elettrici

Diamo una prima definizione di circuito elettrico: un circuito elettrico è un percorso che permette il passaggio di corrente tra due punti a tensione diversa. Questo percorso generalmente è formato da un insieme di componenti collegati tra loro.



Esempio di circuito elettrico

Per ogni circuito elettrico possiamo considerare due grandezze fondamentali: la tensione (V), misurata in Volt [V] e l'intensità di corrente (i), misurata in Ampere [A].

Non daremo una definizione di tensione, ci limitiamo a dire che è una misura di *energia potenziale*: è quindi una misura relativa. Sarà dunque necessario scegliere un punto del circuito in cui vale  $V = 0$ , convenzionalmente questo coincide con il polo negativo della batteria o dell'alimentatore per circuiti in corrente continua.

Per indicare il punto scelto come riferimento ( $V = 0$ ) si usa nello schema del circuito il simbolo

Considerando un sistema idraulico come analogia la tensione è equivalente alla pressione e la corrente è equivalente alla portata. In un circuito elettrico c'è sempre una relazione tra la tensione applicata e la corrente che ci scorre attraverso, questa relazione dipende dal comportamento dei componenti presenti nel circuito.

## Corrente continua e corrente alternata

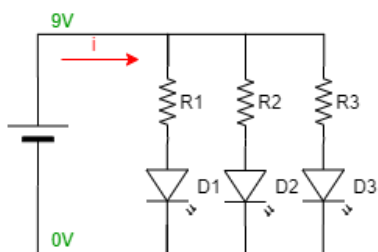
Per tutta la durata del corso considereremo solo circuiti a corrente continua, ovvero circuiti in cui la tensione di alimentazione rimane essenzialmente costante nel tempo. Questo è ad esempio il caso di un circuito alimentato da una batteria.

L'alimentazione a corrente alternata è invece caratterizzata da una tensione di alimentazione che varia con il tempo, tipicamente con andamento sinusoidale, e che periodicamente si inverte di polarità. Ad esempio, il sistema elettrico normale funziona con una tensione alternata di 230V efficaci e una frequenza di 50Hz (ovvero la polarità si inverte 50 volte al secondo).

## Potenza nei circuiti a corrente continua

Possiamo facilmente calcolare la potenza assorbita da un circuito elettrico facendo semplicemente il prodotto tra tensione e corrente:  $P = Vi$ .

## Circuiti serie e circuiti in parallelo



Il circuito che abbiamo visto sopra è un circuito in cui tutti i componenti sono collegati in serie tra loro. In un circuito in serie c'è solo un percorso tra il polo positivo e il polo negativo dell'alimentazione, mentre in un circuito in parallelo sono presenti più diramazioni.

A lato è raffigurato un esempio di circuito in cui sono presenti più rami in parallelo.

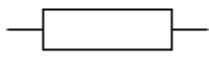
## Componenti passivi

Iniziamo ora a descrivere alcuni componenti di uso comune nei circuiti elettrici.

### Resistenze



Simbolo ANSI



Simbolo IEC

Simbolo di una resistenza

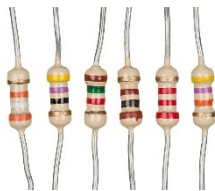
I componenti più semplici e quelli più utilizzati sono le resistenze. Classifichiamo come resistenze tutti i componenti che rispettano la Legge di Ohm che è  $i = \Delta V/R$ .

La relazione tra la tensione applicata al componente (la differenza tra la tensione dei due terminali) e la corrente è quindi molto semplice (c'è una proporzionalità diretta).

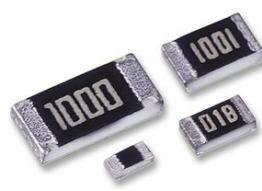
$R$  è il parametro che caratterizza la resistenza, si misura in Ohm  $[\Omega]$  ed esprime la difficoltà con cui la corrente scorre nel componente (più è basso più la corrente scorre con facilità).

Le resistenze sono componenti che assorbono energia elettrica e generano calore. Un parametro importante è quindi la potenza massima. Le resistenze che useremo avranno potenza massima di 1/4 W o 1/8 W. Per calcolare la potenza dissipata da una resistenza si può usare la formula  $P = Ri^2$  ottenuta combinando la formula della potenza in un circuito con la legge di Ohm.

### Caratteristiche fisiche



Resistenze a foro passante



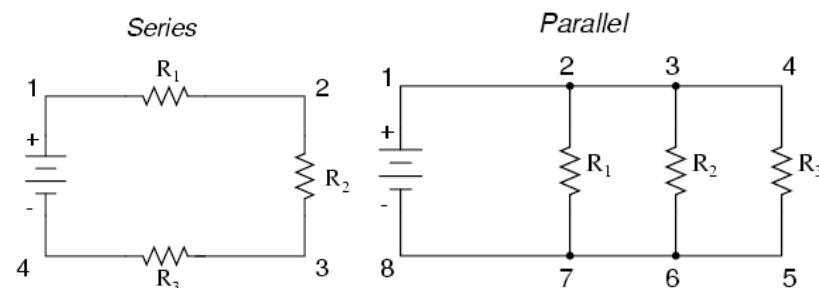
Resistenze a montaggio superficiale (a chip)

A lato vediamo degli esempi dei due tipi di resistenze più comunemente utilizzate in elettronica. Le resistenze a foro passante sono utilizzate principalmente per realizzare prototipi o se è necessario dissipare potenze elevate, quelle a montaggio superficiale sono molto più piccole e sono adatte all'assemblaggio automatico quindi usate per la produzione di oggetti in larga scala.

Le resistenze disponibili in commercio come prodotti standard hanno valori determinati da particolari serie di numeri, dette serie E. La serie più comune è la serie E12 che garantisce che qualsiasi valore voluto sia approssimabile con un valore della serie con un errore minore del 10%. I valori della serie E12 sono: 1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2, e sono disponibili moltiplicati per ogni potenza di 10 (ad esempio 0.1  $\Omega$ , 1.0  $\Omega$ , 10  $\Omega$ , 100  $\Omega$ , 1k  $\Omega$ , 10k  $\Omega$ ). Le bande colorate sulle resistenze a foro passante indicano il valore della resistenza assieme alla sua tolleranza.

### Resistenze in serie e in parallelo

Se in un circuito sono presenti resistenze in serie o resistenze in parallelo è possibile sostituirle con una singola resistenza equivalente calcolabile nel modo seguente:



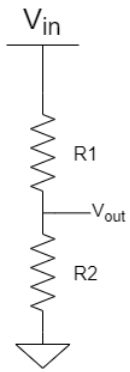
Per le resistenze in serie vale:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

Per le resistenze in parallelo vale:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

## Partitore di tensione



Introduciamo ora un circuito che fa uso di resistenze e che risulterà molto utile in seguito: il partitore di tensione. È formato da due resistenze in serie a cui viene applicata una certa tensione  $V_{in}$  e l'uscita è data dalla tensione sulla seconda resistenza  $V_{out}$ . Usando la legge di Ohm si può dimostrare che

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in}$$

Quindi l'uscita è una tensione inferiore a quella in entrata il cui valore è determinato dal rapporto delle resistenze  $R_1$  e  $R_2$ . Se le resistenze hanno lo stesso valore otteniamo in uscita metà della tensione in ingresso.

Questo circuito molto semplice ha però dei limiti. Per prima cosa assorbe sempre una certa corrente, determinata dalla serie  $R_1 + R_2$  ovvero  $I = V_{in}/(R_1 + R_2)$ ; si può ridurre la corrente assorbita aumentando il valore di entrambe le resistenze. Inoltre, è un circuito molto sensibile ai carichi applicati sull'uscita: la formula illustrata vale solo se l'uscita non è collegata ad un circuito che assorbe corrente, se collego il partitore ad un circuito che assorbe corrente la tensione di uscita si abbassa. Posso contrastare questo effetto abbassando il valore di  $R_1$  ed  $R_2$  ma così facendo aumento il consumo di corrente del partitore. Vedremo in seguito che questo problema sarà risolto con l'uso di opportuni amplificatori.

## Diodi e LED



Diodo normale



Diodo Schottky



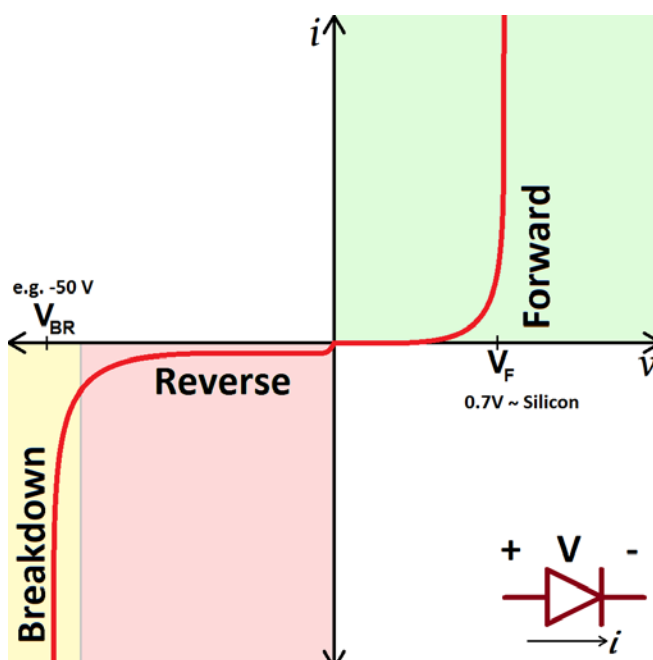
Diodo Zener



LED

Sono i primi dispositivi a semiconduttore che vediamo che servono a far passare la corrente solo in un determinato verso. Purtroppo, i diodi reali si allontanano da questo comportamento ideale assorbendo una certa potenza quando conducono corrente e consentendo il passaggio anche di una piccola quantità di corrente nel verso opposto. Esistono vari tipi di diodi i cui simboli sono riportati a lato, ognuno con caratteristiche diverse.

Iniziamo dal più tradizionale diodo al silicio: questo diodo lascia passare solo corrente nel verso della freccia, da anodo [A] a catodo [K], ma per funzionare hanno bisogno di una tensione applicata di circa  $V_F = 0.7V$ . Vediamo la caratteristica tensione – corrente di un diodo standard:



Vediamo tre regimi di funzionamento: la regione di *forward bias* in cui il diodo conduce corrente se la tensione applicata è maggiore di  $V_F$ ; la regione di *reverse bias* in cui il diodo non conduce corrente e la regione di *breakdown* in cui la tensione inversa è maggiore della tensione massima bloccabile dal diodo  $V_{BR}$ . Utilizzare il diodo in maniera prolungata in quest'ultima regione porta spesso al danneggiamento del diodo.

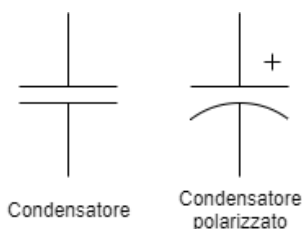
I diodi sono caratterizzati anche da una corrente massima che può transitare  $I_F$ . Utilizzeremo principalmente due diodi: l'1N4148 ( $V_{BR} = 75V$  e  $I_F = 200mA$ ) e l'1N4007 ( $V_{BR} = 1000V$  e  $I_F = 1A$ )

È possibile calcolare la potenza dissipata in un diodo prendendo in conto la caduta di tensione  $V_F$ :  
 $P = V_F i$

Gli altri tipi di diodi hanno una curva caratteristica molto simile sono con punti di lavoro diversi. I diodi Schottky sono caratterizzati da avere una minore  $V_F$  rispetto ai diodi normali  $V_F = 0.3 \sim 0.4$  e tensione di breakdown  $V_{BR}$  minore. I diodi Zener sono progettati per lavorare continuamente nella regione di *breakdown*: la tensione di breakdown viene indicata con  $V_Z$  (tensione di Zener) e in commercio si trovano diodi con tensioni di Zener che vanno da 1.0V a 200V. L'ultimo tipo di diodo che vediamo sono i LED che sono diodi che durante il passaggio di corrente emettono luce (l'intensità luminosa è proporzionale alla corrente); hanno una  $V_F$  che dipende dal colore dai 1.8V per i LED rossi ai 3.2V per i LED bianchi.

I diodi trovano impiego come dispositivi di protezione dei circuiti, ad esempio per proteggere da polarità inversa e da sovratensioni, come rettificatori per trasformare la corrente alternata in continua e come regolatori di tensione per i diodi Zener.

## Condensatori



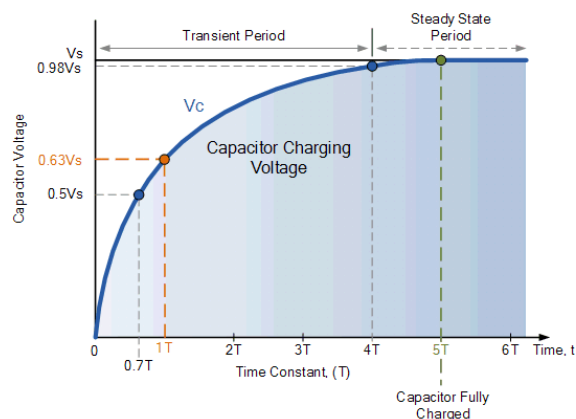
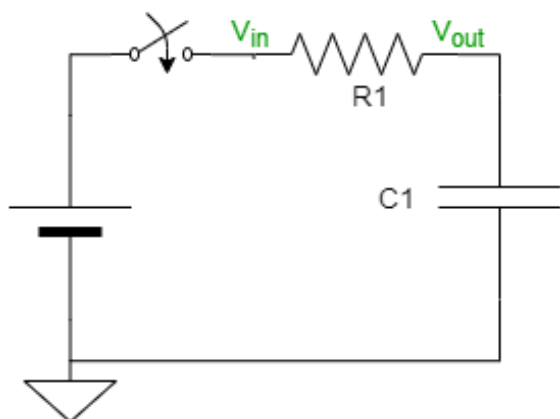
Introduciamo ora un componente molto utile ma dal comportamento abbastanza complesso: il condensatore. È un componente che immagazzina energia elettrica al suo interno quando ha una tensione applicata. Per ora ci limiteremo ad elencare qualche uso comune e le caratteristiche fisiche.

I condensatori sono caratterizzati dalla quantità di energia che riescono ad immagazzinare che si misura in Farad [F]. Siccome il Farad è un'unità di misura molto grande normalmente utilizzeremo condensatori nell'ordine dei pF o  $\mu F$ . Oltre alla capacità sono caratterizzati, come tutti i componenti, da una tensione massima applicabile che può essere anche molto bassa per alcuni tipi di condensatore.

Un uso molto comune dei condensatori sono i condensatori di *bypass* (o *decoupling*): sono piazzati vicino a dispositivi che hanno bisogno di picchi di corrente in modo da avere una riserva di energia per l'erogazione di questi impulsi. Si usano ad esempio su tutte le alimentazioni dei circuiti integrati digitali.

## Circuiti RC: risposta al transitorio ed oscillatori

La combinazione di una resistenza permette di realizzare circuiti molto importanti: iniziamo ad analizzare il comportamento di un circuito RC.



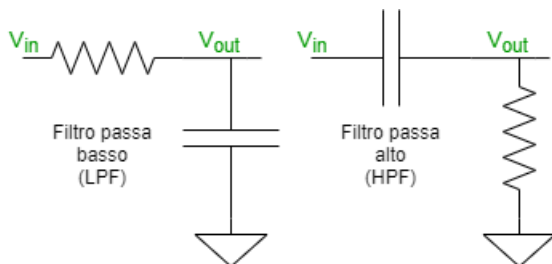
Partiamo dalla seguente condizione: l'interruttore è aperto e il condensatore  $C1$  è scarico. Quando chiudiamo l'interruttore nel circuito scorre una corrente che va a caricare il condensatore  $C1$ . Siccome la corrente è limitata dalla resistenza  $R1$  il condensatore non si carica istantaneamente<sup>1</sup> e la tensione sul condensatore ha un andamento illustrato dal grafico. Il tempo di carica dipende dalla capacità del

<sup>1</sup> Non è mai possibile caricare un condensatore istantaneamente: ciò richiederebbe una corrente infinita che nessuna sorgente è in grado di erogare. Inoltre, i cavi utilizzati per connettere i componenti hanno sempre una certa resistenza ed una certa induttanza. Non ci dovremmo preoccupare molto di questi problemi in questo corso ma la non idealità dei cavi diventa molto rilevante ad alte frequenze o per cavi lunghi.

condensatore e dal valore della resistenza: la tensione arriva al 63% del valore iniziale dopo un certo periodo di tempo detto *costante di tempo* ( $\tau$ ); e si considera che il condensatore sia carico dopo un tempo di  $5\tau$ . Possiamo calcolare la *costante di tempo* come  $\tau = RC$ , e l'andamento della tensione come  $V_{out} = V_{in}(1 - e^{-t/RC})$ .

Questo andamento di tensione viene utilizzato per costruire oscillatori, ovvero circuiti che creano riferimenti di frequenza dato che è possibile scegliere la costante di tempo modificando i valori del condensatore e/o della resistenza.

#### Circuiti RC: filtri



Lo stesso circuito RC può essere utilizzato come filtro: vedremo i filtri passa alto e i filtri passa basso.

I filtri agiscono come selettori di frequenza: un filtro passa basso blocca tutti i segnali a frequenza superiore alla sua *frequenza caratteristica*, mentre un filtro passa alto blocca i segnali a frequenza inferiore alla sua *frequenza caratteristica*.

È possibile calcolare la *frequenza caratteristica* di un filtro RC con la formula  $f_c = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi RC}$ .

I filtri RC sono i filtri più semplici e hanno prestazioni abbastanza scarse, tuttavia sono largamente utilizzati per via della loro semplicità e del basso costo.

#### Caratteristiche fisiche



Condensatori elettrolitici a foro passante



Condensatori ceramici a montaggio superficiale e a foro passante

I condensatori sono caratterizzati principalmente dal tipo di materiale dielettrico utilizzato. Esistono molti tipi di dielettrico, qui considereremo solo i condensatori ceramici e quelli elettrolitici.

I condensatori ceramici sono i più utilizzati. Sono caratterizzati da capacità piccole-medie (dai pF fino a 10uF), non sono polarizzati (possono tollerare sia tensioni

positive che negative) e hanno buone prestazioni. I condensatori elettrolitici permettono di raggiungere capacità molto elevate anche a tensioni massime elevate ma sono polarizzati e hanno prestazioni inferiori.