

## Definizione di circuito, delle grandezze circuitali e classificazione dei bipoli

### Definizione di circuito elettrico

Da un punto di vista fisico un **circuito** si presenta come una connessione di elementi o componenti elettrici (o elettronici).

Ogni componente è collegato agli altri attraverso almeno due conduttori filiformi che chiamiamo **terminali** oppure **morsetti**.

Gli elementi possono essere attivi e passivi. Si dicono attivi gli elementi in grado di fornire energia alla rete, quali i generatori di tensione e di corrente. Gli elementi passivi sono invece caratterizzati dalla proprietà o di dissipare potenza sotto forma di calore per effetto joule, come le resistenze, o di accumulare energia elettrostatica o magnetica, rispettivamente come i condensatori e gli induttori.

Le **principali grandezze elettriche** la base del fenomeno elettrico risiede nella **carica elettrica**; questa può presentare polarità positiva o negativa. Ad esempio **l'atomo** è costituito da un **nucleo centrale** formato da cariche positive (**protoni**) e altri neutri (**neutroni**); intorno al nucleo **ruotano** particelle elettricamente negative (**elettroni**). L'elettrone ha una carica negativa di valore  $1,602 \times 10^{-19}$  [C] (coulomb). Strettamente legate alle cariche elettriche sono: le **intensità delle correnti elettriche** nei terminali dei componenti e le **tensioni elettriche** che si stabiliscono tra gli stessi. Tali grandezze sono variabili nel tempo.

### Corrente elettrica

La **corrente elettrica** è un qualsiasi moto ordinato di **cariche elettriche**  $\Delta Q$  (tipicamente elettroni), che attraversa una determinata superficie  $S$  nell'unità di tempo finito  $\Delta t$ .

L'**intensità di corrente elettrica**, indicata usualmente col **simbolo**  $I$ , è assunta come grandezza fondamentale nel sistema internazionale SI. La sua **unità di misura** è l'ampere [**A**].

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

In un tempo infinitesimo  $dt$ , durante il quale si transita una quantità di carica  $dq$ , si ottiene il valore istantaneo dell'intensità di corrente, dato dall'equazione:

$$i = \frac{dq}{dt}$$

La **densità di corrente**  $J = I/S$  ; misurata in [A/mm<sup>2</sup>].

### Tensione elettrica

si definisce tensione elettrica o differenza di potenziale (d.d.p) fra due punti di un conduttore è la grandezza fisica che provoca lo spostamento delle cariche elettriche e quindi il passaggio della corrente; essa è il rapporto tra l'energia (W) fornita alla carica elettrica (Q) durante il movimento tra i due punti considerati e la carica stessa.

$$V = W/Q$$

L'unità di misura della tensione elettrica è il volt, [V];  $1 \text{ V} = 1 \text{ J} / 1 \text{ C}$ .

### Forza elettromotrice (f.e.m)

La f.e.m è il lavoro (L) svolto dal generatore di tensione per spostare una carica Q da un punto ad un altro in un determinato circuito elettrico; oppure l'energia potenziale (W) fornita dal generatore per unità di carica.

$$E = L / Q$$

La **forza elettromotrice**, è la differenza di potenziale massima ai capi di un generatore elettrico sconnesso dal circuito elettrico.

### Potenza elettrica

È l'energia  $W$  da fornire alla carica  $Q$  in una unità di tempo  $t$ ; ed è corrisponde al lavoro  $L$  fatto dal generatore nel tempo:  $P = L/t = VQ/t = V \cdot I$ ; misurata in Watt [W]

### Unità di misura

In elettronica digitale le correnti sono normalmente molto piccole. Invece le resistenze possono raggiungere valori piuttosto elevati. Le tensioni sono espresse quasi in volt.

Alcuni multipli e sottomultipli decimali (definizione esatta: prefissi SI)

tera	T	$10^{12}$	1 000 000 000 000
giga	G	$10^9$	1 000 000 000
mega	M	$10^6$	1 000 000
kilo	k	$10^3$	1 000
etto	h	$10^2$	100
deca	da	$10^1$	10
deci	d	$10^{-1}$	0,1
centi	c	$10^{-2}$	0,01
milli	m	$10^{-3}$	0,001
micro	$\mu$	$10^{-6}$	0,000 001
nano	n	$10^{-9}$	0,000 000 001
pico	p	$10^{-12}$	0,000 000 000 001

### Bipoli elettrici

I più semplici elementi circuitali sono dispositivi *a due terminali*. Ogni bipolo elettrico pu' o essere descritto tramite una relazione tra le grandezze elettriche tensione ( $V$ ) e corrente ( $I$ ). Questa relazione si chiama *caratteristica tensione-corrente*, o più semplicemente *caratteristica del bipolo*.

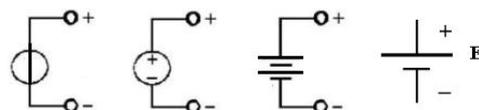
Un *bipolo è lineare* se è descritto da una relazione di proporzionalità diretta tra le grandezze elettriche (tensione e corrente). In forma grafica, la caratteristica di un bipolo lineare è *rettilenea*.

### Generatori ideali di tensione continua

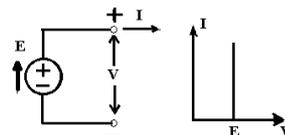
Le pile e le batterie sono classici generatori di tensione continua. Nelle apparecchiature fisse la tensione continua viene generalmente fornita dagli alimentatori stabilizzati, che la ottengono partendo dalla tensione alternata distribuita dalla rete elettrica civile di corrente alternata.

Un *generatore di tensione ideale* è un bipolo che produce ai suoi capi una differenza di tensione di valore definito, indipendentemente dal resto del circuito in cui il generatore è inserito.

Il simbolo illustrato nella figura si utilizza per indicare un generatore di tensione costante (come, ad esempio, una *pila* o una *batteria*)

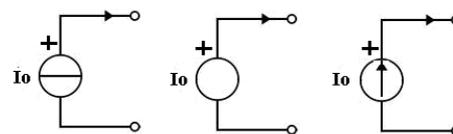


Le caratteristiche di un generatore di tensione costante  $E$  è mostrata nella seguente figura

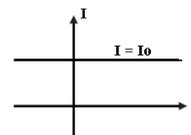


### Generatori ideali di corrente continua

Il simbolo illustrato nella figura si utilizza per indicare un generatore di corrente costante.



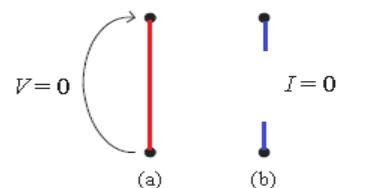
Le caratteristiche di un generatore di corrente costante  $I_0$  è mostrata nella seguente figura



### Cortocircuiti e circuiti aperti

Un *cortocircuito* può essere considerato come un generatore di tensione nulla; la sua caratteristica tensione-corrente coincide con l'asse verticale ( $V = 0$ ).

Un *circuito aperto* può essere considerato come un generatore di corrente nulla; la sua caratteristica tensione-corrente coincide con l'asse orizzontale ( $I = 0$ ).



(a) cortocircuito, (b) circuito aperto.

### Generatore reale di tensione

I generatori considerati finora, che forniscono ai propri morsetti tensione o corrente rigorosamente costanti al variare del carico, sono generatori ideali, difficilmente realizzabili in pratica. La maggior parte dei generatori presenta, invece, una diminuzione della tensione ai morsetti (o della corrente) all'aumentare del carico. Per tener conto di tali variazioni occorre definire una nuova categoria di generatori, detti generatori reali.

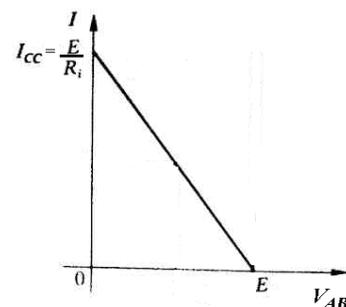
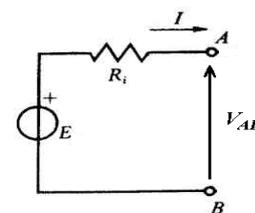
$E$ : la f.e.m del generatore;

$R_i$ : resistenza interna è di valore molto piccolo.

La curva caratteristica ( $V, I$ ) è rappresentata dalla retta della seguente equazione

$$V_{AB} = E - R_i I$$

La tensione  $V_{AB}$  ai suoi capi è pari ad  $E$  in un solo punto, dove la corrente erogata è nulla (morsetti aperti, cioè funzionamento a vuoto); la tensione diminuisce linearmente all'aumentare della corrente, fino ad annullarsi quando la corrente erogata raggiunge il valore  $I_{cc}$  (corrente di corto circuito)



### Generatore reale di corrente

La maggior parte dei generatori di energia elettrica sono meglio schematizzati da generatori di tensione.

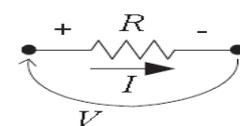
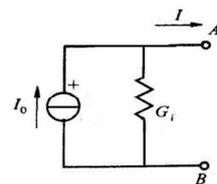
Nei circuiti elettrici si può sostituire un generatore reale di tensione con un generatore reale di corrente (e viceversa), rispettando le seguenti relazioni:  $G_i =$

$$1/R_i \quad E = R_i I_0$$

### Resistore

Il *resistore* è un componente fisico, il cui simbolo elettrico è illustrato in figura, è il più semplice bipolo lineare, caratterizzato da una relazione di proporzionalità diretta tra tensione  $V$  e corrente  $I$ , attraverso la **prima legge di Ohm**:  $V = RI$

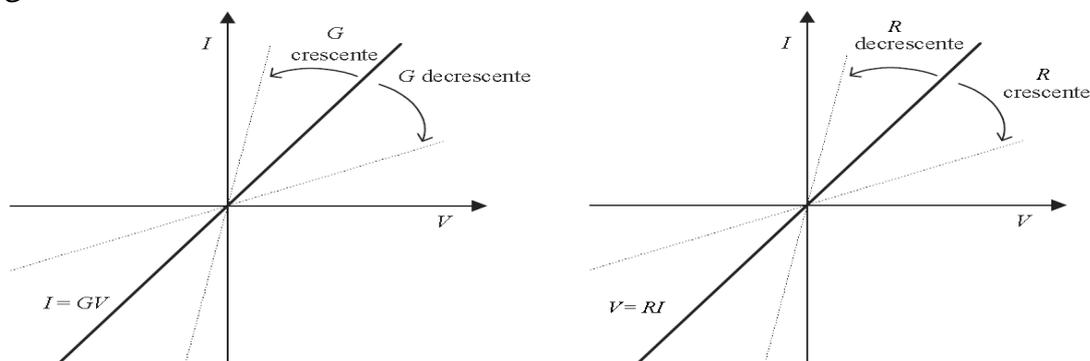
La costante di proporzionalità  $R$  rappresenta il valore resistivo cioè, la *resistenza* del resistore, che si misura in ohm  $[\Omega]$ ;  $1 \Omega = 1 V/A$ .



La resistenza esprime l'attitudine di un conduttore ad opporsi al passaggio della corrente elettrica. L'inverso della resistenza è la **conduttanza**  $G$ , e si misura in siemens [S]  $1 \text{ S} = 1 \Omega^{-1} = 1 \text{ A/V}$   
*Georg Ohm, 1787–1854. Fisico tedesco.*

$$G = \frac{1}{R}$$

In forma grafica, la caratteristica tensione-corrente di un resistore è una retta la cui pendenza è la conduttanza  $G$



### Codice dei colori

Il codice dei colori consente di indicare il valore nominale e la tolleranza di un resistore mediante quattro fasce colorate. La prima fascia indica la prima cifra del valore resistivo, riconoscibile perché è la più vicina ad una delle estremità del resistore, la seconda indica la seconda cifra del valore nominale, invece la terza fascia specifica il fattore moltiplicativo mentre la quarta fascia indica la tolleranza (oro:  $\pm 5\%$ ; argento:  $\pm 10\%$ ; marrone:  $\pm 1\%$ ; rosso:  $\pm 2\%$ ; nessuno:  $\pm 20\%$ )

1ª CIFRA		2ª CIFRA		3ª CIFRA		TOLLERANZA	
NERO	0	NERO	1	NERO	X 1	GRIGIO	10% ARGENTO
MARRONE	1	MARRONE	2	MARRONE	X 10	GIALLO	5% ORO
ROSSO	2	ROSSO	3	ROSSO	X 100	MARRONE	1% MARRONE
ARANCIONE	3	ARANCIONE	4	ARANCIONE	X 1.000	ROSSO	2% ROSSO
GIALLO	4	GIALLO	5	GIALLO	X 10.000		
VERDE	5	VERDE	6	VERDE	X 100.000		
BLU	6	BLU	7	BLU	X 1.000.000		
VIOLA	7	VIOLA	8	VIOLA	ORO :10		
GRIGIO	8	GRIGIO	9	GRIGIO			
BIANCO	9	BIANCO		BIANCO			

### Seconda legge di Ohm

Misurando la resistenza di diversi conduttori, Ohm stabilì che essa è direttamente proporzionale alla lunghezza ( $L$ ) del conduttore, inversamente proporzionale all'area ( $A$ ) della sezione e dipende dal materiale di cui è costituito il conduttore; ciò si esprime matematicamente mediante la relazione:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

$\rho$ : resistività e resistenza specifica del materiale e rappresenta una misura della difficoltà che gli elettroni incontrano nel loro movimento all'interno del conduttore. Misurata in  $[\Omega/m]$ .

La resistività in funzione della temperatura si può esprimere così:

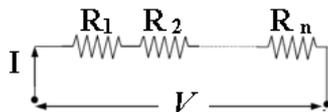
$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha \cdot (T - T_0)]$$

$\rho$  e  $\rho_0$  sono rispettivamente le resistività alle temperature  $T$  e  $T_0$ . Il fattore ( $\alpha$ ) ha le dimensioni dell'inverso di una temperatura, detto coefficiente di temperatura della resistività.

### Reti resistenze

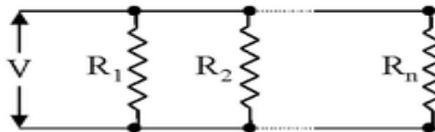
Le resistenze possono essere variamente collegate fra di loro in modo da formare reti elettriche di diversa forma. In particolare possono essere collegate in serie e in parallelo.

**Serie:** due o più resistenze sono collegate in serie quando sono percorse dalla stessa corrente. La resistenza ad essi equivalente (resistenza totale) è di valore pari alla somma delle resistenze stesse.



$$R_{eq} = R_{Tot} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Parallelo: due o più resistenze sono collegate in parallelo quando sono sottoposte alla stessa tensione. La resistenza ad essi equivalente è fornita dalla relazione:

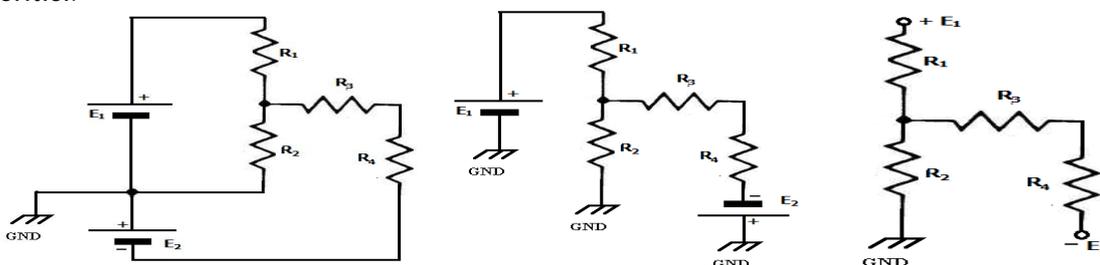


$$1/R_{eq} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$$

Nel caso di due sole resistenze in parallelo, si riduce a:  $R_{eq} = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$

### Semplificazioni grafiche

Nei circuiti elettronici è sempre presente un nodo di riferimento, la cosiddetta massa (ground: GND) di tensione nulla, rispetto al quale sono misurate le tensioni dei vari nodi della rete elettrica. gli schemi in figura sono tutti identici.



### Il funzionamento di un circuito dipende da due aspetti:

- la natura di ogni componente costituente il circuito e le proprie relazioni caratteristiche;
- il modo in cui sono connessi tra loro tutti i componenti e le leggi di Kirchhoff.

### Teoremi delle reti elettriche

Per risolvere le reti elettriche, ossia per calcolare i valori delle tensioni e delle correnti presenti in rete, si dispone di tutta una serie di teoremi adatti per le varie configurazioni circuitali.

### Principi di Kirchhoff

Con questi principi è possibile risolvere qualsiasi tipo di rete elettrica anche a prezzo di una certa pesantezza di calcolo. Essi sono:

Primo principio di Kirchhoff o delle correnti: la somma algebrica delle correnti entranti in un nodo è uguale a zero; oppure si può dire che in un nodo, la somma delle correnti entranti è uguale alla somma delle correnti uscenti.

$$\sum I = 0 \text{ oppure } \sum I_e = \sum I_u$$

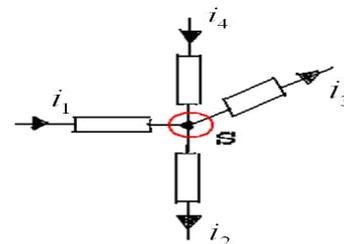
**Un nodo** è un punto di collegamento fra più di due elementi.

Secondo principio di Kirchhoff o delle tensioni: la somma algebrica delle tensioni in una maglia è uguale a zero.

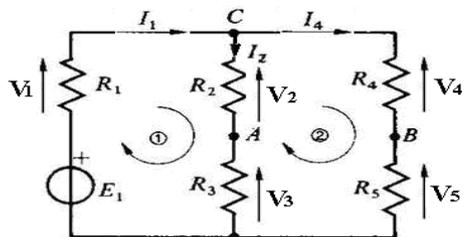
$$\sum V = 0$$

**Una maglia** è un insieme di rami che forma un percorso chiuso.

**Un ramo** è un tratto di circuito che collega due nodi.



$$i_1 - i_2 - i_3 + i_4 = 0$$



Maglia 1:

$$E_1 - V_1 - V_2 - V_3 = 0$$

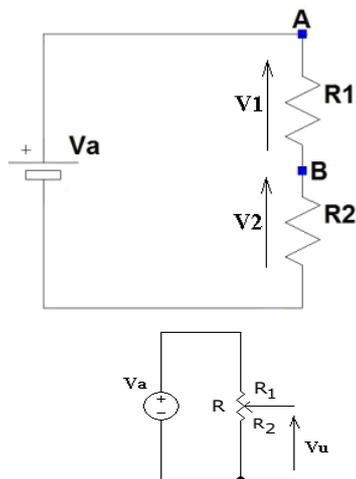
$$E_1 - R_1 I_1 - (R_2 + R_3) I_2 = 0$$

Maglia 2:

$$V_2 + V_3 - V_4 - V_5 = 0$$

$$R_2 I_2 + R_3 I_2 - R_5 I_4 - R_4 I_4 = 0$$

**Partitore di tensione:** Il circuito viene utilizzato per ripartire mediante due o più resistenze connesse in serie, una tensione ( $V_a$ ) in due ( $V_1$  e  $V_2$ ) o più tensioni di valore più basso. L'esempio di figura fa riferimento a solo due resistenze.



$$I = I_1 = I_2$$

$$R_t = R_1 + R_2$$

$$I = \frac{V_a}{R_t} = \frac{V_a}{R_1 + R_2}$$

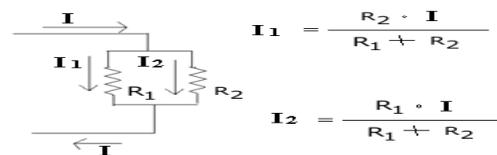
$$V_1 = I_1 R_1 = \frac{V_a}{R_1 + R_2} R_1 = V_a \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)$$

$$V_2 = I_2 R_2 = \frac{V_a}{R_1 + R_2} R_2 = V_a \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

Il partitore di tensione può essere anche impiegato per ottenere una tensione variabile da una tensione fissa, dove le due resistenze vengono sostituiti da un potenziometro oppure trimmer.

### Partitore di corrente

Il circuito viene utilizzato per ripartire mediante due o più resistenze connesse in parallelo, una corrente totale ( $I$ ) in due ( $I_1$  e  $I_2$ ) o più correnti di valore più basso. L'esempio di figura fa riferimento a solo due resistenze.



$$I_1 = \frac{R_2 \cdot I}{R_1 + R_2}$$

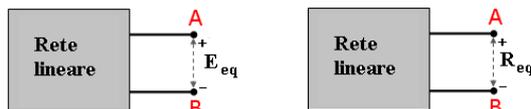
$$I_2 = \frac{R_1 \cdot I}{R_1 + R_2}$$

**Teorema di Thevenin:** esso afferma che, una qualunque rete lineare, vista da due nodi (A-B), può essere sostituita con un generatore di tensione equivalente  $E_{eq}$  posto in serie ad una resistenza equivalente  $R_{eq}$ .



Il generatore  $E_{eq}$  rappresenta la tensione a vuoto fra i due nodi (cioè dopo aver distaccato il ramo interessato esistente tra i morsetti **A** e **B**).

La resistenza  $R_{eq}$  a sua volta rappresenta la resistenza equivalente della porzione di rete considerata, vista sempre dai due nodi, annullando tutti i generatori.



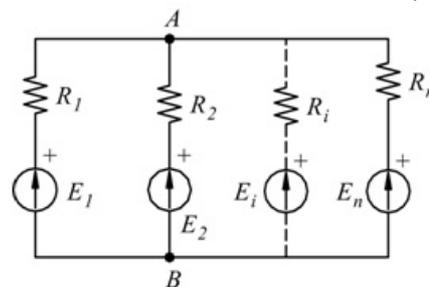
### Teorema di Millman

Esso si applica su una rete formata da soli rami in parallelo, e per calcolare la tensione in un determinato ramo.

Ipotizzando che A e B siano i morsetti in comune fra gli n rami.

La tensione  $V_{AB}$  risulta uguale:

$$V_{AB} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{E_i}{R_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}}$$



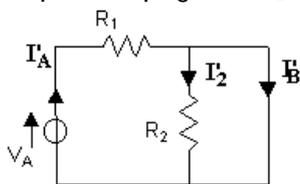
**Principio di sovrapposizione degli effetti:** E' un principio applicabile non solo ai sistemi elettrici, ma anche ad altri tipi di sistemi (idraulici, meccanici) purchè siano di tipo lineare cioè la caratteristica ingresso-uscita deve essere rettilinea.

Per risolvere un circuito col metodo di sovrapposizione degli effetti bisogna seguire i seguenti punti:

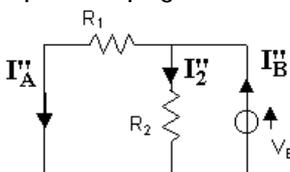
- ☑ Considerare un generatore per volta, spegnendo gli altri generatori; se essi di corrente sono da considerare come un circuito aperto  $I = 0$  A (paragonati a resistenza infinita); mentre se risultano di tensione sono da considerare come un corto circuito  $V = 0$  V (paragonati a resistenza nulla);
- ☑ Trovare la corrente o la tensione del ramo del circuito considerato;
- ☑ Ripetere i due procedimenti appena descritti per ogni generatore;
- ☑ Sommare i risultati parziali trovate;

esempio, calcolare  $I_2$  nel seguente circuito di Fig. 1

1° passo: spegnere  $V_B=0$  e calcolare  $I'_2$ .

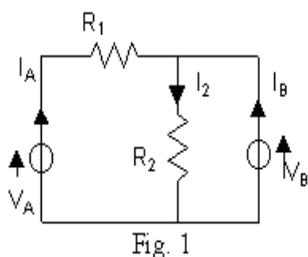


2° passo: spegnere  $V_A=0$  e calcolare  $I''_2$ .



Il valore totale è la somma dei valori parziali.

$$I_2 = I'_2 + I''_2$$



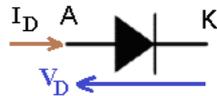
## Il diodo

Diodi e transistor sono componenti elettronici non lineari a semiconduttore (germanio: Ge oppure silicio: Si). I semiconduttori hanno caratteristiche elettriche intermedie fra quelle dei conduttori e quelle degli isolanti.

Un semiconduttore puro viene detto intrinseco e per renderlo maggiormente conduttore esso subisce un trattamento di **drogaggio**, iniettando nel semiconduttore una sostanza chimica pentavalente per arricchirlo di portatori di cariche negative, gli elettroni e si ottiene silicio di tipo N; se invece viene iniettata una sostanza trivalente il semiconduttore viene arricchito con portatori di cariche positive, le lacune e si ottiene un silicio di tipo P. dall'intersezione fra zone drogate di tipo N e di tipo P trae origine il funzionamento dei diodi e dei transistori.

### Struttura e funzionamento del diodo

Il diodo è costituito da due zone di semiconduttore, una di tipo P, a cui è collegato il terminale positivo di anodo (A), e una di tipo N, collegata al terminale negativo di catodo (K). La regione di transizione fra le due zone costituisce la giunzione.

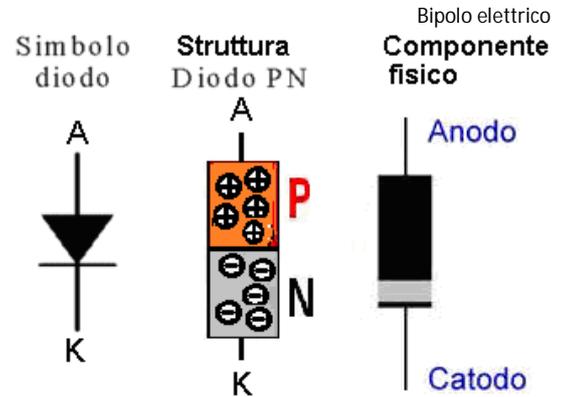


La corrente diretta ( $I_D$ ) nel diodo può scorrere soltanto nel verso dall'anodo al catodo e questo

corrisponde allo stato di conduzione (**ON**) si verifica solo quando la tensione diretta ( $V_D$ ) fra anodo negativo e catodo positivo (**polarizzazione diretta**) è superiore alla tensione di soglia ( $V_x$ ) che caratterizza il diodo stesso (in genere da 0,5 a 0,9), tipicamente  $V_x = 0,6V$ . per ottenere forti variazioni di corrente di  $I_D$  fra 10mA e 20mA, si può considerare la tensione del diodo in conduzione sostanzialmente costante e pari all'incirca  $V_D=0,7V$ . ma **idealmente** viene considerato il diodo nello stato ON come un interruttore chiuso con  $V_D=0V$ .

Al contrario per tensioni negative (**polarizzazione inversa**) o inferiori a ( $V_x$ ) il diodo risulta interdetto (**stato OFF**), **idealmente** un circuito aperto e la corrente praticamente nulla.

I diodi vengono utilizzati negli alimentatori in corrente continua, i comuni diodi vengono impiegati come raddrizzatori di tensione; invece, il diodo Zener viene utilizzato come regolatore o stabilizzatore di tensione.

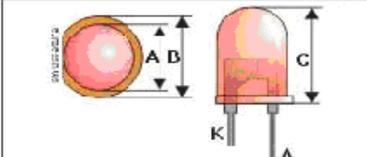
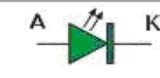


### Il diodo LED (Light-Emitting Diode, diodo che emette luce):

usando altri materiali semiconduttori come l'arsenico e il fosforo di gallio al posto del silicio, è possibile ottenere diodi che, in conduzione, sono in grado di emettere radiazioni luminose. Possono emettere radiazioni rosse, gialle, verd, blu, infrarosse ed altri colori, dipende dalle concentrazioni delle sostanze chimiche utilizzate.

Per ottenere una buona luminosità occorre che la corrente diretta  $I_D$  sia compresa tra 5 e 20mA; la tensione diretta  $V_D$  viene assumere valori di circa 2V.

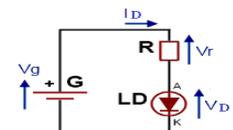
Nella polarizzazione inversa (tensione negativa) i comuni diodi possono sopportare tensione di decine e centinaia di volt, i LED vengono danneggiati quando la tensione inversa supera alcuni volt ( da 5 a 7 V).

	Simbolo	Misure in mm.	Colore	Note
	 A = Anodo K = Catodo	A = 5    B = 5,8 C = 9  A = 3    B = 4 C = 5,5	Rosso Giallo Verde	Monocolore. La smussatura e la dimensione (più corto) indica il Catodo

### Calcolo della resistenza limitatrice e di protezione del diodo LED

La formula utilizzata per il calcolo della resistenza **R** è:

$$R = (V_g - V_D) / I_D$$



**Il BJT:** Il transistor bipolare o BJT (Bipolar Junction Transistor) è un dispositivo elettronico provvisto di tre terminali. L'emettitore (E), la base (B) e il collettore (C), collegati internamente a tre zone di semiconduttore drogate alternativamente di tipo NPN o PNP.

Il simbolo del BJT – NPN viene illustrato nella figura e sono indicate le correnti che interessano i terminali ( $I_B$ ,  $I_E$ ,  $I_C$ ), insieme con le tensioni riferite all'emettitore ( $V_{BE}$  e  $V_{CE}$ ). Nel transistor il passaggio da una zona di drogaggio all'altra individua due giunzioni: base-emettitore e base-collettore.

