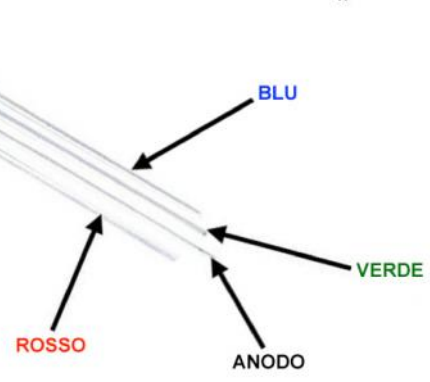
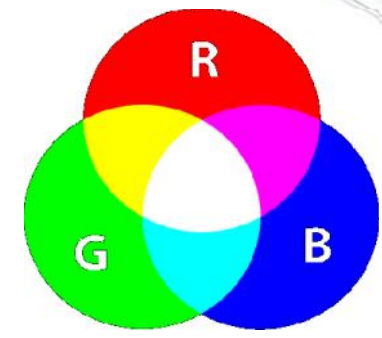
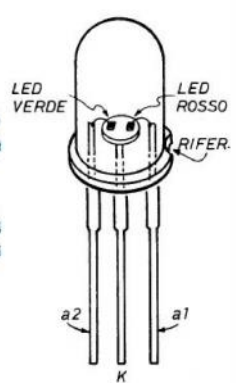
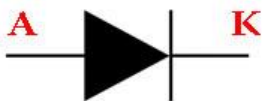


Classe :3A IPMM
A.S. : 2021-2022
Docenti :Tufoni Franco
Disciplina : Tecnologie elettriche-elettroniche e applicazioni

Diodi a semiconduttore

Diodi – Led – **Bicolore** – **RGB**

A: Anodo
K: Catodo

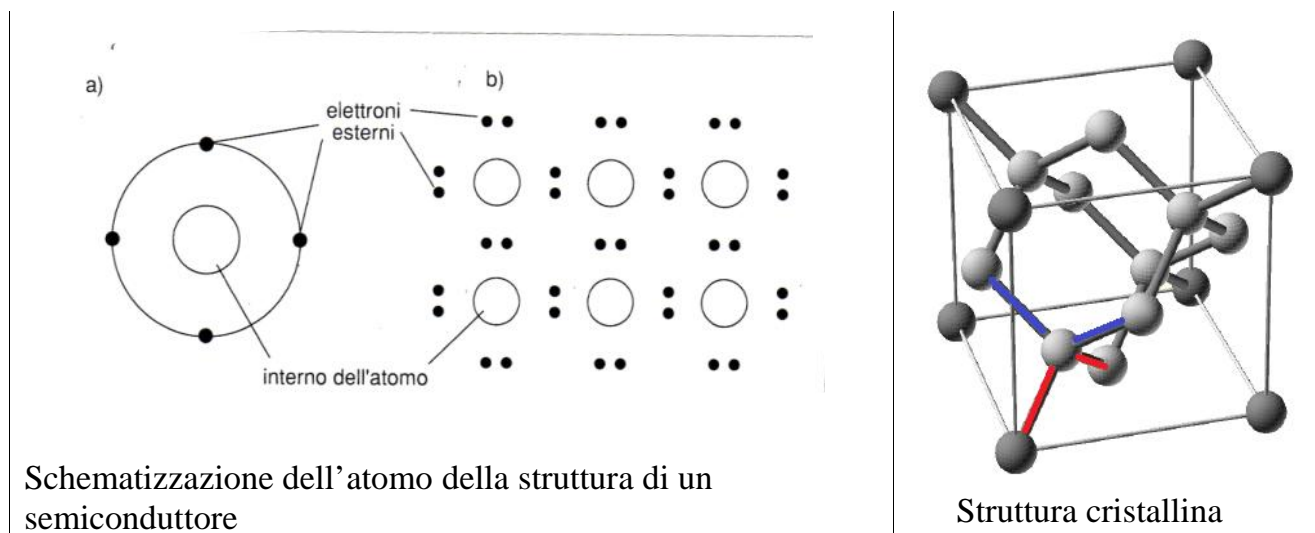


Indice	
1.1 Diodo a semiconduttore: generalità	2
1.2 Diodo LED	5
1.2.1 Colore della luce emessa	
1.2.2 Esempio di calcolo per il LED Rosso normale	
1.2.3 Esempio di calcolo per il LED Verde normale basso consumo	
1.3 Diodo LED Bicolore	8
1.3.1 LED bicolore bipolare	
1.3.2 LED bicolore a catodo comune	
1.4 Diodo LED RGB	10

1.1 Diodo a semiconduttore: generalità

I semiconduttori sono materiali che hanno una resistività (o anche una conducibilità) intermedia tra i conduttori e gli isolanti, la cui conducibilità dipende in modo diretto dalla temperatura. Essi sono alla base di tutti i principali dispositivi elettronici e microelettronici a stato solido quali i transistor, i diodi e i diodi ad emissione luminosa (LED).

Per spiegare le proprietà dei semiconduttori è necessario ricondursi alla struttura atomica dei materiali. Il silicio (Si) e il germanio (Ge), che sono i semiconduttori più utilizzati nelle applicazioni elettroniche, hanno i loro atomi con quattro elettroni sull'orbita esterna, la quale, per essere completa, dovrebbe contenerne otto.



Schematizzazione dell'atomo della struttura di un semiconduttore

Struttura cristallina

In questi elementi ogni atomo mette a disposizione dei quattro atomi circostanti i suoi quattro elettroni, ognuno dei quali si lega così con un atomo diverso. Si stabilisce quindi un legame molto stabile tra gli atomi costituenti la struttura del materiale, in quanto si completano a vicenda l'ultima orbita con otto elettroni. Nessun elettrone è disponibile per la conduzione elettrica.

Il silicio e il germanio allo stato puro si comportano di conseguenza come isolanti e questa proprietà aumenta con il diminuire della temperatura. Allo zero assoluto ($t = -273^{\circ}\text{C}$) diventano isolanti perfetti.

Quando la temperatura aumenta non è trascurabile la probabilità che gli elettroni dell'ultima orbita possano rompere il legame e passare alla banda di conduzione, per eccitazione termica (semiconduttori intrinseci). Il vuoto lasciato da un elettrone, che si è staccato dal suo atomo, prende il nome di lacuna.

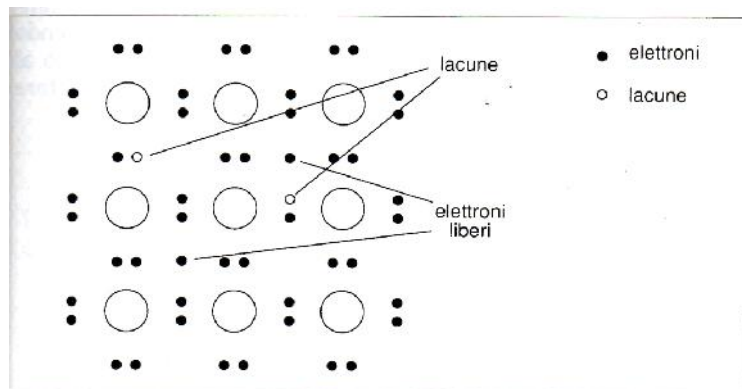


Fig. 13.2.
Struttura di un semiconduttore con elettroni liberi e lacune.

A questo punto, se si applica una tensione ai capi del semiconduttore si osserva il passaggio di una corrente dovuta a questi elettroni liberi. Aumentando la temperatura, aumenta il numero di elettroni liberi e di conseguenza la corrente elettrica.

Quindi all'aumentare della temperatura diminuisce la resistenza elettrica al contrario di quanto avviene nei conduttori.

Drogaggio dei semiconduttori

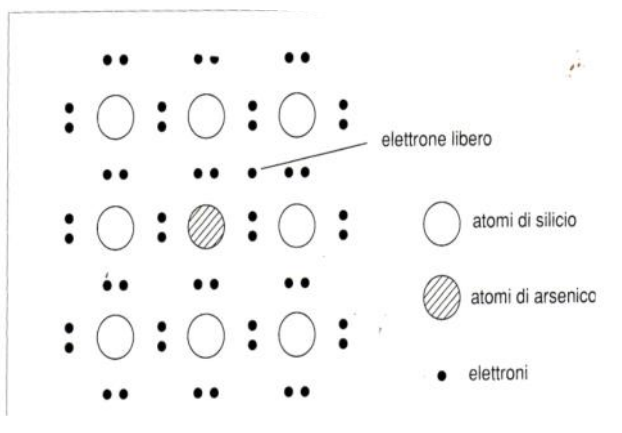
Nell'uso dei semiconduttori si pongono 2 problemi:

- Migliorare la conduzione;
- Rendere le caratteristiche elettriche meno dipendenti dalla temperatura.

Questi problemi vengono risolti introducendo atomi diversi nella struttura del semiconduttore (drogaggio)

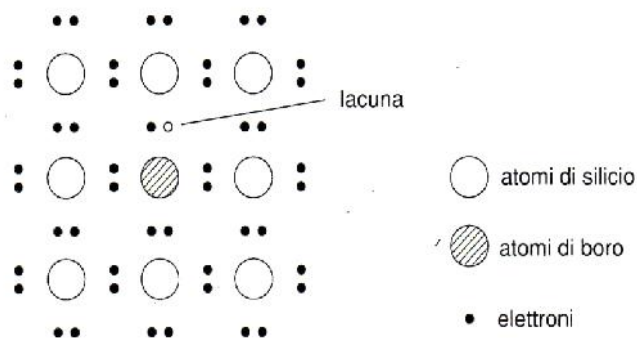
Drogaggio di tipo N

Al semiconduttore, ad es. silicio, si aggiungono impurità costituite da atomi pentavalenti, cioè con 5 elettroni nello strato esterno (es.arsenico). Si trova così un elettrone in più che è libero di muoversi e in grado di dar vita ad una corrente elettrica.



Drogaggio di tipo P

Al semiconduttore si aggiungono impurità costituite da atomi con 3 elettroni nello strato esterno (es.boro). Il boro non può combinarsi in modo perfetto con il silicio, perché ha un elettrone in meno nello strato esterno. In questo caso si determina una mancanza di elettroni, detta lacuna, in grado di catturare elettroni e per questo si assimila ad una carica positiva. Un elettrone catturato da una lacuna determina un'altra lacuna perché lascia vuoto il posto occupato in precedenza. E' come se la lacuna si spostasse in direzione opposta al movimento dell'elettrone.

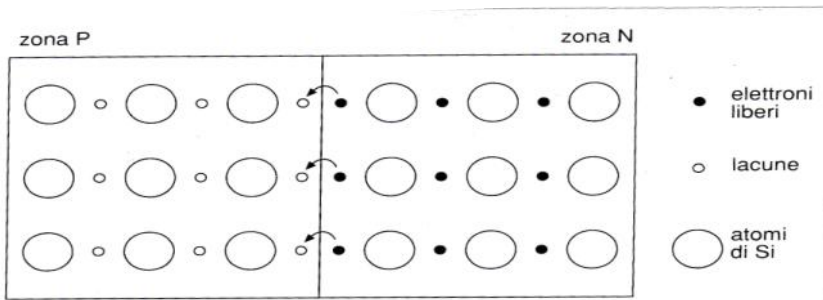


LA GIUNZIONE PN

Unendo un semiconduttore drogato N con un semiconduttore drogato P si ottiene una giunzione PN.

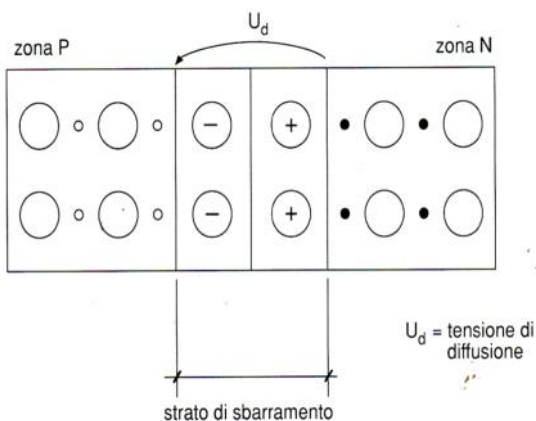
Comportamento della giunzione PN

- All'atto dell'unione si ha un passaggio di elettroni dal semiconduttore N al semiconduttore P.
- Dopo pochi istanti, in corrispondenza della giunzione, nella zona P si forma una regione con prevalenza di cariche negative, cioè gli elettroni provenienti dalla zona N.
- Nel contempo nella zona N si forma una regione con prevalenza di cariche positive dovuta all'assenza degli elettroni diffusi nella zona P della giunzione.



Si ha pertanto un accumulo di cariche negative nella zona drogata P e uno di cariche positive in quella drogata N. Il processo termina dopo un tempo molto breve, poiché le cariche positive e negative che si stabiliscono nelle due zone della giunzione si oppongono al passaggio di altre cariche.

La zona interessata alla diffusione prende il nome di strato di sbarramento o di svuotamento e il suo spessore ha dimensioni molto ridotte, equivalente ad alcuni micron (millesimi di millimetro).



Formazione dello strato di sbarramento e della tensione di diffusione o barriera di potenziale U_d .

U_d assume valori di circa 0,4V per il germanio e di 0,7V per il silicio.

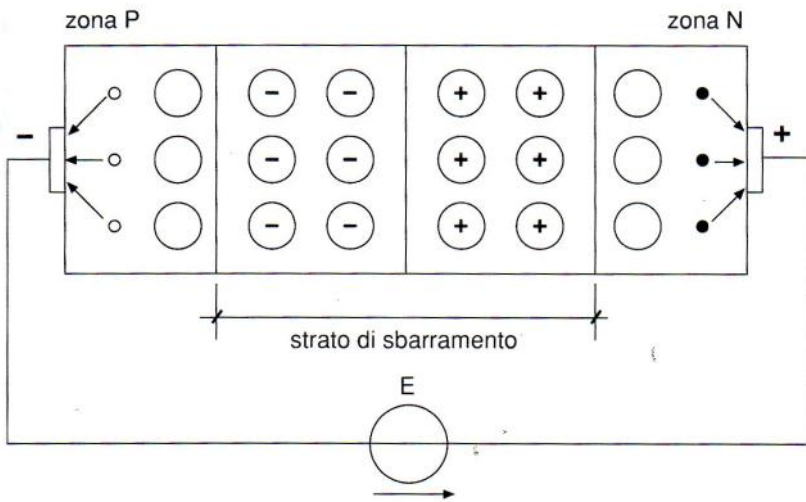
Polarizzazione della giunzione PN

Con il termine di polarizzazione si intende l'applicazione di una tensione alla giunzione PN; essa può avvenire in due diversi modi:

- a) polarizzazione inversa;**
- b) polarizzazione diretta.**

Polarizzazione inversa

Consiste nel collegamento del polo positivo di un generatore con la zona N della giunzione e del polo negativo con la zona P.

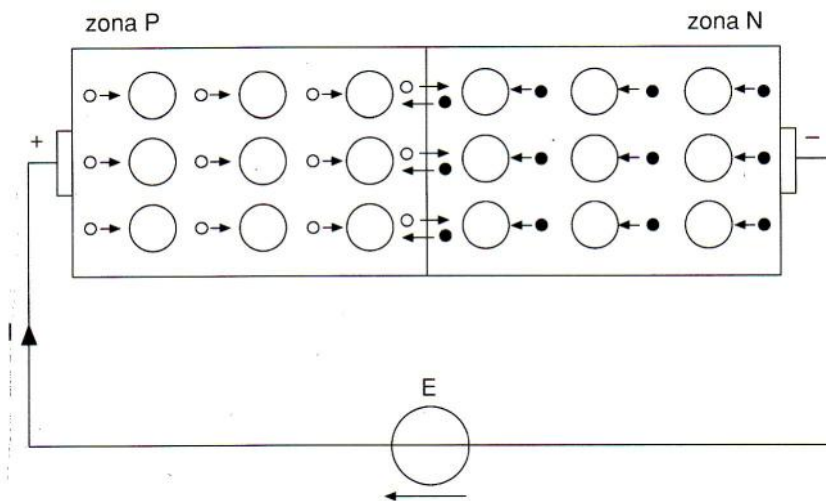


Il verso della freccia indica il polo positivo.

Si verifica in questo caso un aumento dello strato di sbarramento in quanto elettroni e lacune sono dai poli del generatore i segno opposto. In tali condizioni la corrente circolante è praticamente nulla e la giunzione si comporta come un circuito aperto.

Polarizzazione diretta

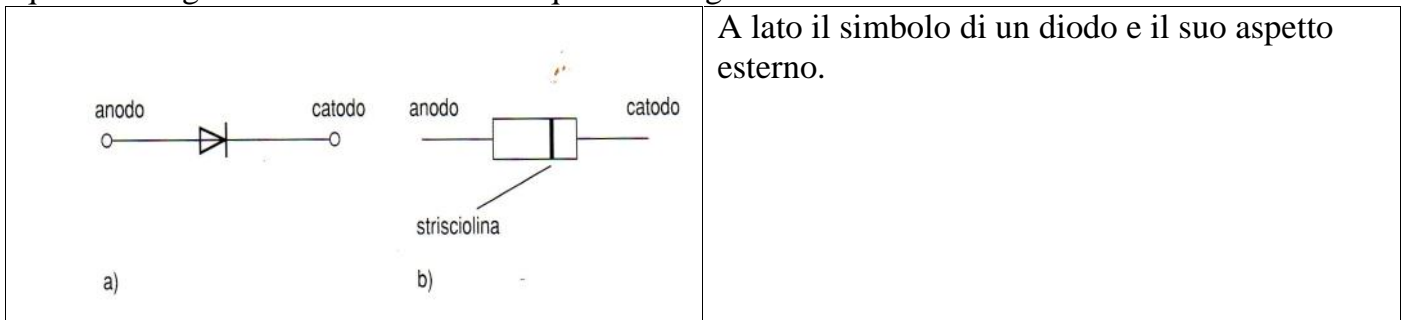
Se invece si collega il polo positivo del generatore alla zona P della giunzione e quello negativo alla zona N, lo strato di sbarramento diminuisce e, se la tensione del generatore è superiore a U_d , viene annullato permettendo la circolazione della corrente attraverso la giunzione PN.



Il verso della freccia indica il polo positivo.

DIODO A SEMICONDUCTORE

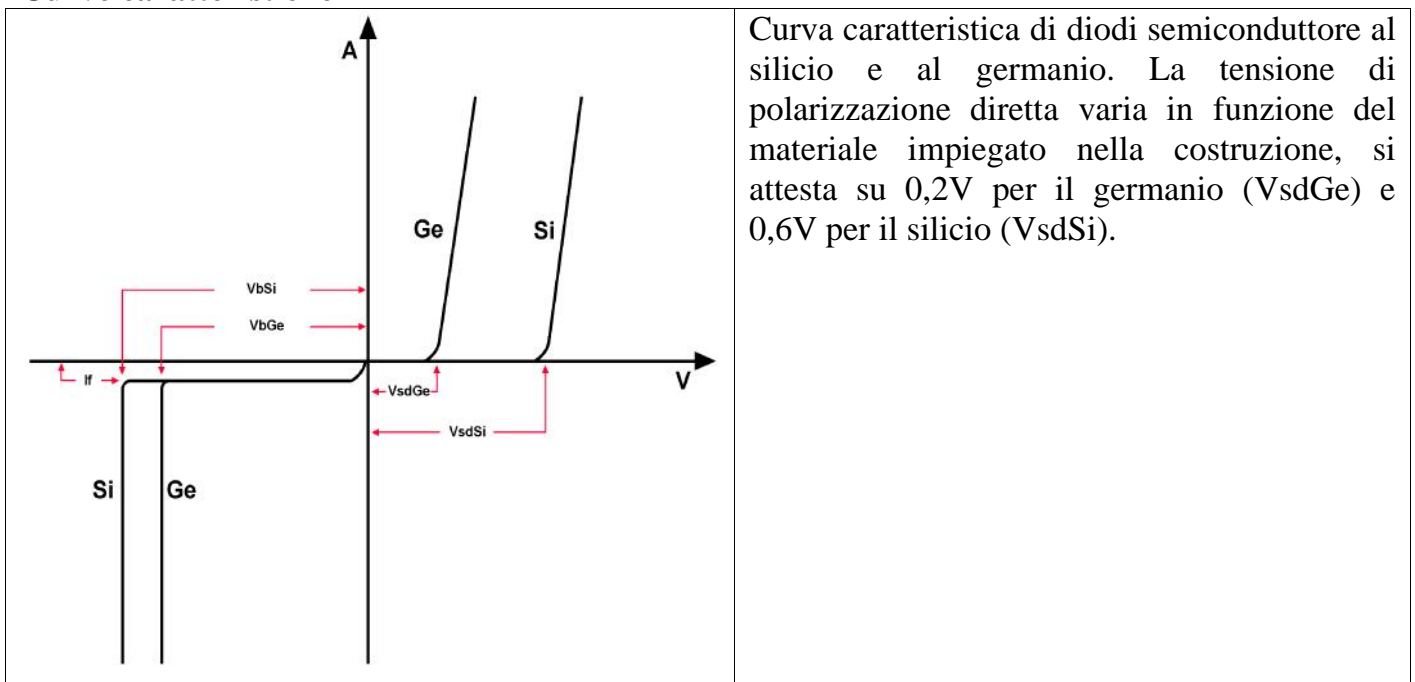
Un diodo a semiconduttore è costituito da una giunzione PN aventi due terminali, chiamati **anodo** quello collegato alla zona P e **catodo** quello collegato alla zona N.



Il diodo è un componente elettronico passivo non-lineare a due terminali (bipolo), la cui funzione ideale è quella di permettere il flusso di corrente elettrica in un verso e di bloccarla quasi totalmente nell'altro. La tensione di polarizzazione V_d è considerata positiva all'anodo e negativa al catodo. Quindi il diodo è polarizzato direttamente quando l'anodo è positivo e il catodo negativo rispetto all'anodo. In caso inverso si dice polarizzato inversamente.

La corrente che scorre nel diodo (I_d) viene detta diretta se scorre dall'anodo al catodo (verso convenzionale della corrente). Se il diodo viene polarizzato inversamente non conduce a meno che la tensione non sia abbastanza alta da superare quella di rottura. La rottura non è un fenomeno distruttivo se la corrente è mantenuta entro certi valori e viene utilizzato nei diodi zener. Se il diodo viene polarizzato inversamente al di sotto della tensione di rottura, passa una corrente detta corrente inversa normalmente di valore molto basso. La tensione di polarizzazione diretta necessaria per portare in conduzione il diodo è dipendente dal materiale con cui è costruito il medesimo, ad esempio 0,2V per il diodo al germanio e 0,6 Volt per il diodo al silicio.

Curve caratteristiche

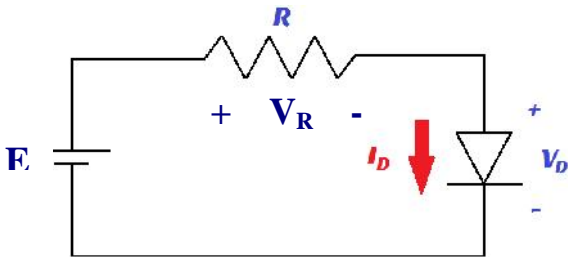


Procedura per lo studio di reti con diodi

Il funzionamento di un diodo inserito in una rete elettrica è perfettamente conosciuto quando si conosce la coppia di valori tensione-corrente che lo interessano.

Detta coppia di valori è denominata **punto di funzionamento (punto li lavoro)** del diodo, termine che viene utilizzato poiché la coppia di valori tensione-corrente può essere rappresentata nel piano $i-v$ con un punto.

Ricaviamo quindi il punto di funzionamento del diodo D inserito nella rete di figura.



Per il primo principio di Kirchhoff alle maglie possiamo scrivere:

$$E = V_R + V_D \quad \text{dove } V_R = R \cdot I_D$$

(la resistenza e il diodo sono in serie per cui su di essi passa la stessa corrente (I_D), mentre alla V_D non possiamo sostituire un'espressione dello stesso tipo, il diodo infatti non è un componente lineare.

Lo studio può essere fatto in modo grafico a patto di avere a disposizione la caratteristica del diodo. Possiamo riportare sullo stesso piano del grafico le relazione che abbiamo scritto alla maglia: $E = V_R + V_D \implies E = R \cdot I_D + V_D$ anche in questa equazione compaiono infatti V_D e I_D .

La rappresentazione grafica dell'equazione è una retta e viene chiamata **retta di carico.**

L'espressione $E = R \cdot I_D + V_D$ nel piano $i-v$ rappresenta l'equazione di una retta del tipo $y=mx+q$

$$I_D = -\frac{V_D}{R} + \frac{E}{R}$$

$$m = -\frac{1}{R} \quad (\text{Coefficiente angolare o pendenza della retta})$$

$$q = \frac{E}{R} \quad (\text{Termine noto})$$

Per ricavare la retta di carico bastano due punti.

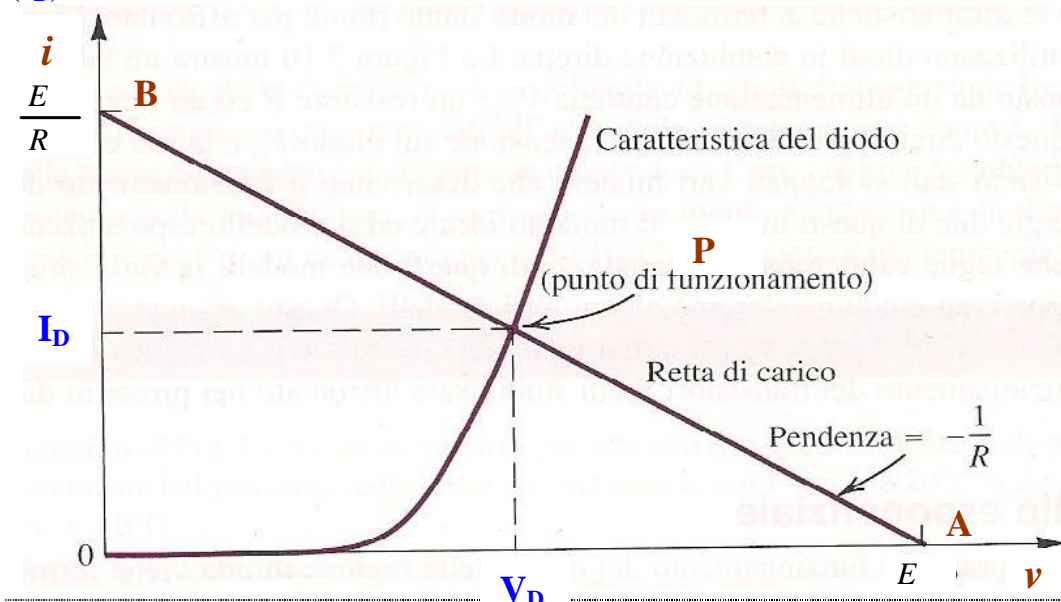
1) Ponendo $I_D = 0$ si ricava l'intersezione con l'asse v $V_D = E$ Punto **A** sul grafico

2) Ponendo $V_D = 0$ si ricava l'intersezione con l'asse i $I_D = \frac{E}{R}$ Punto **B** sul grafico

Individuati i due punti (**A** e **B**) sugli assi si traccia la retta.

Intersezione della retta con la curva del diodo determina il punto di lavoro del diodo (**P**).

Le coordinate del punto **P** (V_D , I_D) corrispondono alla tensione (V_D) ai capi del diodo e la corrente (I_D) che circola in esso.



1.2 Diodo LED

La maggioranza degli indicatori luminosi che si vedono nei dispositivi elettronici sono chiamati diodi emettitori di luce indicato nei testi con le lettere LED (**L**ight **E**mitting **D**iode).



Un diodo è un dispositivo che fa passare la corrente solo in un verso (si chiama per questo componente unidirezionale), un diodo emettitore di luce (LED) emette luce quando la corrente lo attraversa. Il colore di un LED normalmente indica di quale colore s'illuminerà quando la corrente lo attraversa.

Come in molti altri tipi di diodo, il principio di funzionamento del LED si basa sulle proprietà delle giunzioni, le superfici di contatto tra due zone di un cristallo semiconduttore (zona P e zona N) con caratteristiche diverse.

Quando è percorsa da una debole corrente elettrica (valori tipici da 10 a 20 mA), la giunzione emette spontaneamente fotoni di una determinata lunghezza d'onda, e quindi di un determinato colore. Questo fenomeno viene chiamato "elettroluminescenza", ed è reso possibile dall'emissione di fotoni che vengono prodotti dalla riconiugazione degli elettroni e delle lacune solo quando il diodo viene polarizzato direttamente.

La corrente elettrica che attraversa un LED deve avere un'intensità controllata, per evitare che arrechi danni al componente.

Molto usati come indicatori elettronici, i LED sono reperibili in varie forme e dimensioni.

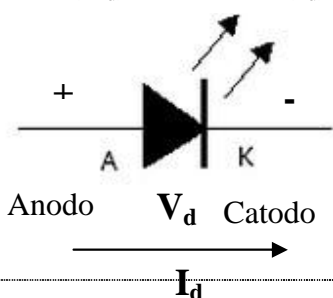
Anche se e cosa poco nota, i LED sono "macchine reversibili": infatti, se la loro giunzione viene esposta direttamente ad una forte fonte luminosa o ai raggi solari, ai terminali appare una tensione, dipendente dall'intensità della radiazione e dal colore del led in esame (massima per il blu). Questa caratteristica viene abitualmente sfruttata nella realizzazione di sensori, per sistemi di puntamento (inseguitori solari) di piccoli impianti fotovoltaici o a concentratore e per molti altri scopi.

1.2.1 Colore della luce emessa

A seconda del drogante utilizzato, i LED producono i seguenti colori:

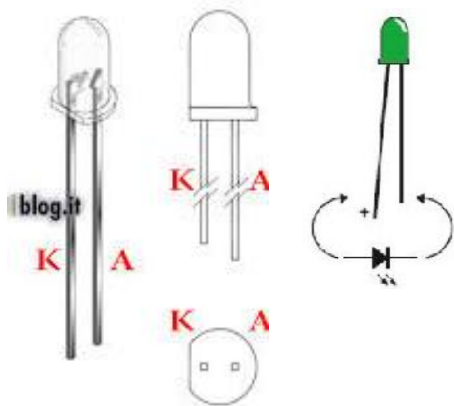
- **AlGaAs** - rosso ed infrarosso
- **GaAlP** - verde
- **GaAsP** - rosso, rosso-arancione, arancione, e giallo
- **GaN** - verde e blu
- **GaP** - rosso, giallo e verde
- **ZnSe** - blu
- **InGaN** - blu-verde, blu
- **InGaAlP** - rosso-arancione, arancione, giallo e verde
- **SiC come substrato** - blu
- **Diamante (C)** - ultravioletto
- **Silicio (Si) come substrato** - blu (in sviluppo)
- **Zaffiro (Al₂O₃)** come substrato – blu

Per ogni diodo LED (colore) affinché emetta luce si devono rispettare due parametri tensione diretta (V_d) e corrente (I_d).



In figura è rappresentato il suo simbolo elettrico, identico a quello del diodo classico, ma con l'aggiunta di due frecce rivolte verso l'esterno, che stanno appunto ad indicare la "fuoriuscita" di luce.

La sua forma più comune può essere rappresentata dalla figura a sinistra, anche se i diodi led si differiscono tra di loro per colori e forme, dimensioni e potenze, a seconda del loro campo di utilizzo.



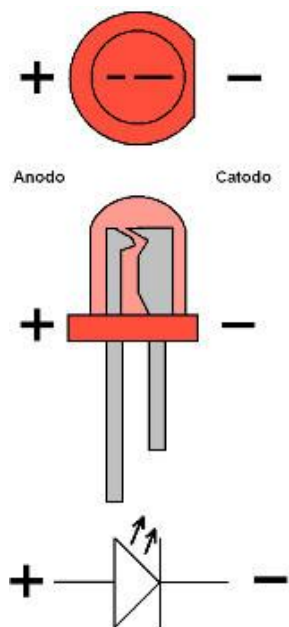
Si può ben notare che hanno un terminale più lungo (solitamente è il positivo- Anodo) ed uno più corto (negativo- catodo), e per funzionare in un circuito elettrico, devono essere obbligatoriamente rispettate le polarità.

Per l'utilizzo di un diodo LED, è sempre necessario collegare una resistenza in serie ad esso, per il semplice motivo di limitare la corrente che passa e non distruggere la giunzione interna..

In tabella sono riportati i valori di V_d e I_d per i principali tipi di diodi led

Tipologia LED	tensione di giunzione V_d (V)
Colore infrarosso	1,3
Colore rosso	1,8
Colore giallo	1,9
Colore verde	2,0
Colore arancio	2,0
Flash blu/bianco	3,0
Colore Blu	3,5 V
Colore Ultravioletto	4 ÷ 4,5 V

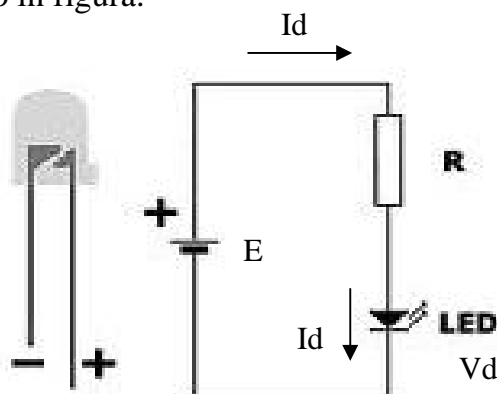
Tipologia LED	Assorbimento I_d (mA)
LED basso consumo	3 - 10
LED normali	10 - 15
LED flash	20 - 40
LED di potenza	100 - 20000



La polarità del LED è contenuta nella sua forma.

Dal momento che un LED è un dispositivo polarizzato (+, -) per il corretto funzionamento si deve rispettare la polarità e i valori di tensione e corrente delle tabelle. In generale le tensioni continue a disposizione nei circuiti sono 5 Volt o 12 Volt, come si può notare valori superiori a quelli indicati in tabella.

Per corretto funzionamento si deve inserire in serie al LED una resistenza (R) come indicato in figura.



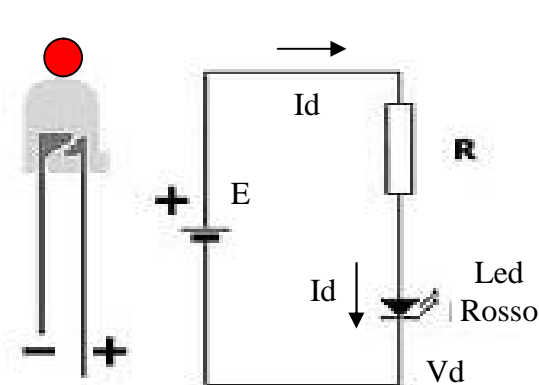
Il valore della resistenza in serie R è calcolato mediante la legge di Ohm e la legge di Kirchhoff conoscendo la corrente di lavoro richiesta I_d , la tensione di alimentazione E e la tensione di giunzione del LED V_d .

Nel dettaglio, la formula per calcolare la resistenza in serie: $R = \frac{E - V_d}{I_d}$

1.2.2 Esempio di calcolo per il LED Rosso normale

Determinare la resistenza (R) da inserire in serie a un diodo LED Rosso normale

Dati: $V_d = 1,8 \text{ V}$, $I_d = 15 \text{ mA}$, $E = 5 \text{ V}$



$$R = \frac{E - V_d}{I_d}$$

$$R = \frac{5 - 1,8}{15 \cdot 10^{-3}} = \frac{3,2}{15 \cdot 10^{-3}} = \frac{3,2 \cdot 10^3}{15} = \frac{3200}{15} = 213 \Omega$$

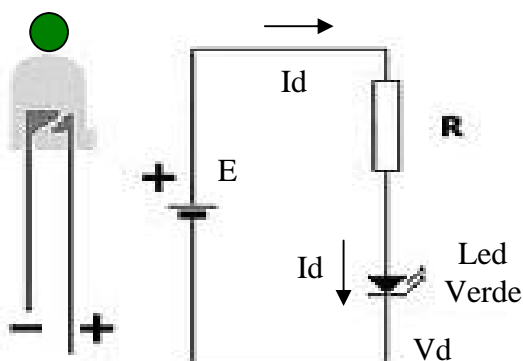
Valore commerciale: **R=220 h**



1.2.3 Esempio di calcolo per il LED Verde normale basso consumo

Determinare la resistenza (R) da inserire in serie a un diodo LED di colore verde a basso consumo con tensione di alimentazione $E=12 \text{ V}$

Dati LED Verde a basso consumo: $V_d=2 \text{ V}$, $I_d=10 \text{ mA}$



$$R = \frac{E - V_d}{I_d}$$

$$R = \frac{12 - 2,0}{10 \cdot 10^{-3}} = \frac{10}{10 \cdot 10^{-3}} = \frac{10 \cdot 10^3}{10} = \frac{10000}{10} = 1000 \Omega = 1 \text{ K}\Omega$$

R=1Kh



I LED visti fino adesso sono tutti a un solo colore in commercio esistono LED in grado di emettere più colori:

1.3 Diodo LED Bicolore

Il LED bicolore è formato da due Led (Es. Rosso/Verde) disposti sullo stesso involucro



Esistono due tipi di led bicolore:

- Led bicolore bipolare (2 terminali)
- Led bicolore a 3 terminali (catodo comune oppure anodo comune)

1.3.1 LED bicolore bipolare

In Fig.1 è riportato il LED bicolore Bipolare (due LED in antiparallelo sullo stesso involucro)

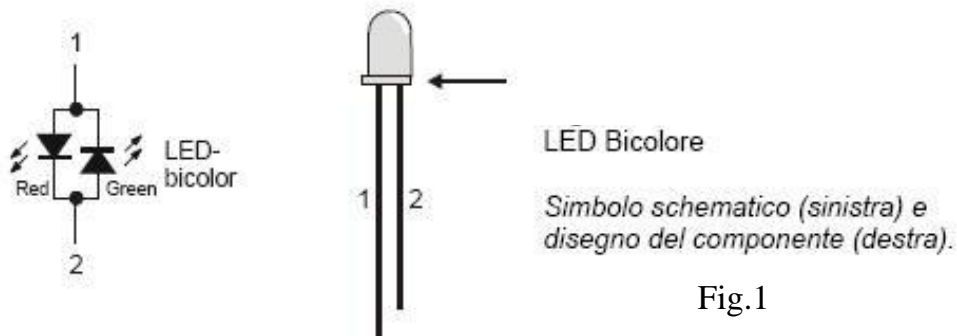


Fig.1

In Fig. 2 sono riportate le modalità di alimentazione

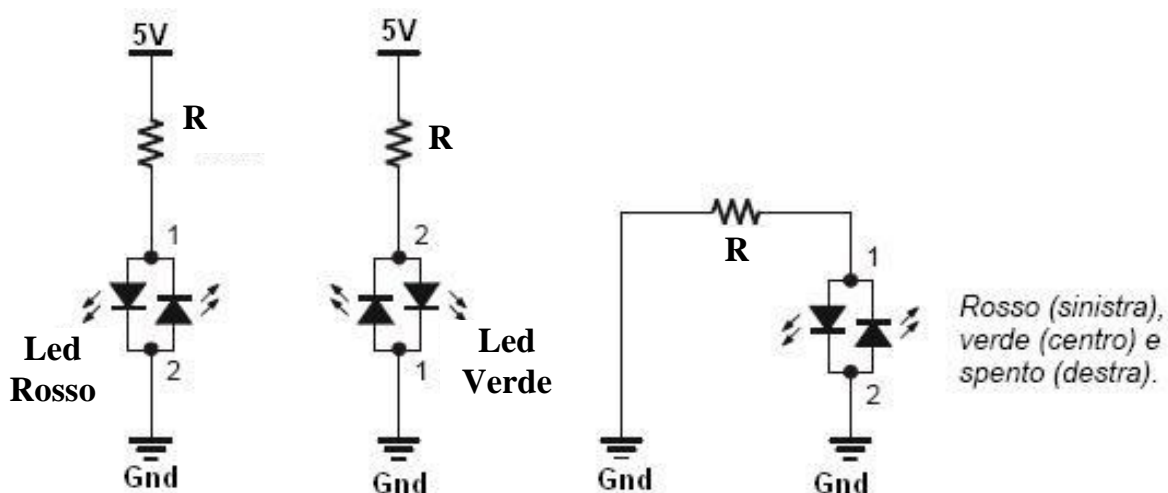


Fig. 2: Modalità di alimentazione

1.3.2 LED bicolore a catodo comune

Il LED bicolore a catodo comune è formato da due led (Es. Rosso-Verde) disposti con il catodo comune sullo stesso involucro

In serie ad ogni LED deve essere inserita una resistenza che consentirà di regolare la corrente circolante nel diodo, per il calcolo si utilizza lo stesso metodo seguito per i diodi ad un solo colore. La tensione di polarizzazione diretta (V_d) a parità di corrente ($I_d=15\text{ mA}$) è diversa per ogni Led, in genere:

- V_d Rosso = 1,8 V
- V_d Verde = 2 V

In Figura 1 è riportato lo schema elettrico per la verifica del funzionamento di un LED Bicolore a catodo comune.

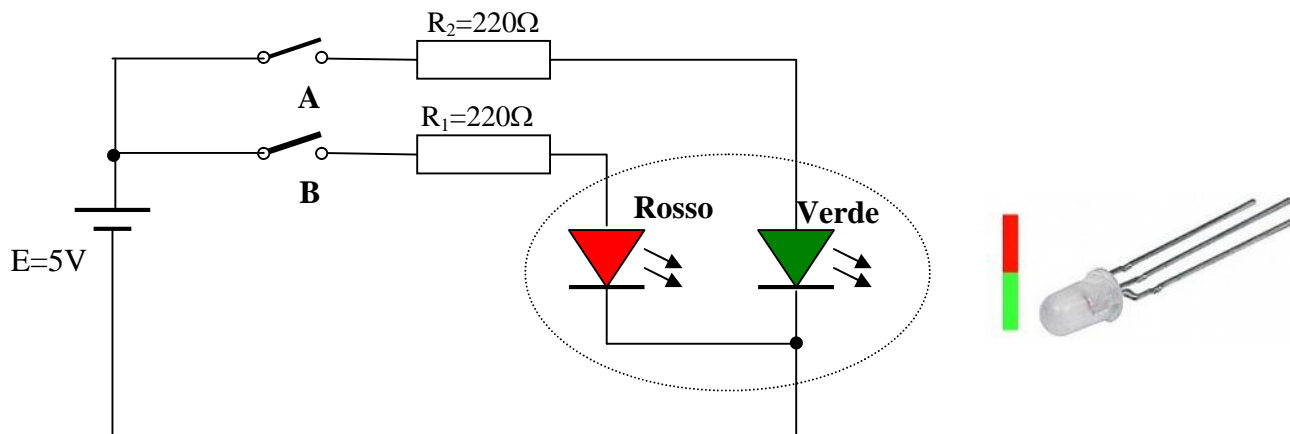


Fig. 1: Schema elettrico

Calcolo valore delle Resistenze (R_1 , R_2)

$$R_1 = \frac{E - V_{drosso}}{I_d} = \frac{5 - 1,8}{15 \cdot 10^{-3}} = 213\Omega \quad \text{Valore commerciale: } \mathbf{R=220 \Omega}$$

$$R_2 = \frac{E - V_{dverde}}{I_d} = \frac{5 - 2}{15 \cdot 10^{-3}} = 200\Omega \quad \text{Valore commerciale: } \mathbf{R=220 \Omega}$$

In tabella sono riportate le combinazioni possibili con i rispettivi colori.

A	B	Colore
0	0	Led spenti
0	1	Rosso
1	0	Verde
1	1	Rosso - Verde

1.4 Led RGB

I Led RGB sono Led capaci di produrre 3 differenti lunghezze d'onda:



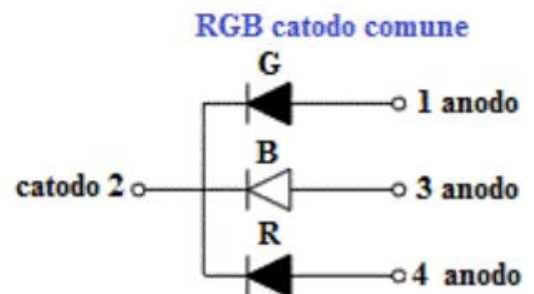
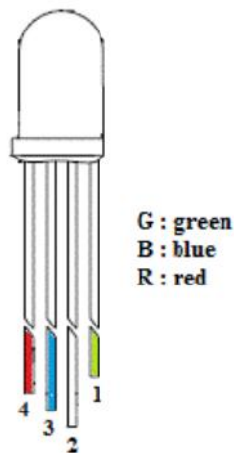
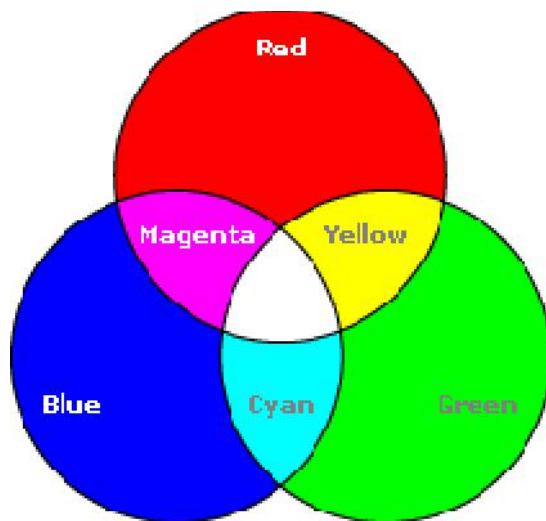
- Rosso (**R**, red)
- Verde (**G**, green)
- Blu (**B**, blue)

Posseggono 4 terminali e si possono presentare in due tipi di configurazione:

- RGB ad anodo comune (1 anodo e 3 catodi)
- RGB a catodo comune (1 catodo e 3 anodi)

La mescolanza dei tre colori dà luogo ad una luce di un determinato colore che dipende dall'intensità di ciascuno dei tre colori originari (si veda la composizione RGB).

- (Rosso + Blu = Magenta)
- (Blu + Verde = Ciano)
- (Rosso + Verde = Giallo)
- L' accensione di tutti i led produce una luce bianca



In serie ad ogni LED deve essere inserita una resistenza che consentirà di regolare la corrente circolante nel diodo, per il calcolo si utilizza lo stesso metodo seguito per i diodi ad un solo colore. La tensione di polarizzazione diretta (V_d) a parità di corrente ($I=20$ mA) è diversa per ogni Led, in genere:

- V_d Rosso = 2 V
- V_d Verde = 3,2 V
- V_d Blu = 3,2 V

In Figura 1 è riportato lo schema elettrico per la verifica del funzionamento di un LED RGB a catodo comune.

Calcolo valore delle Resistenze (R_1, R_2, R_3)

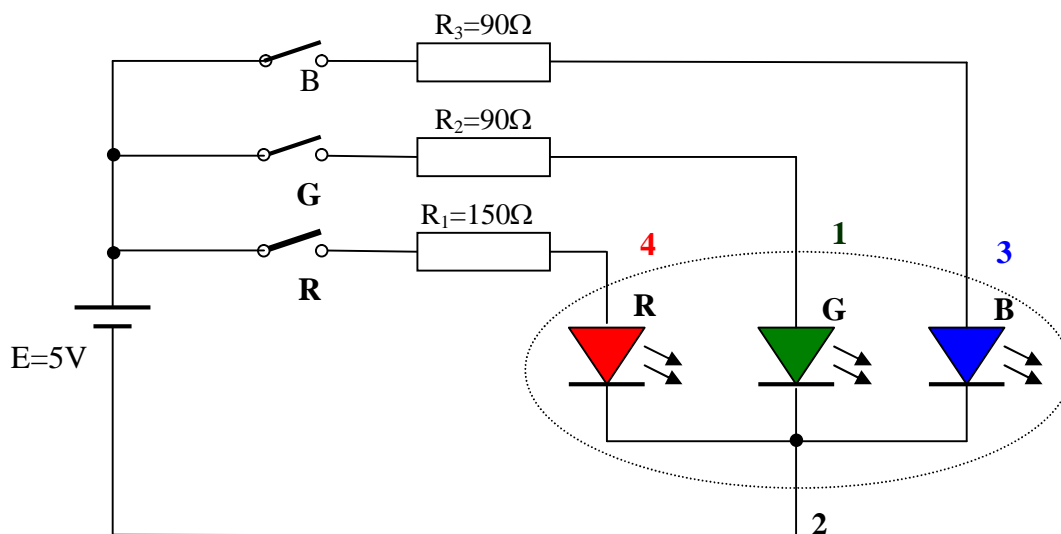


Fig. 1: Schema elettrico

$$R_1 = \frac{E - V_{L\text{rosso}}}{I} = \frac{5 - 2}{20 \cdot 10^{-3}} = \frac{3}{20 \cdot 10^{-3}} = 150 \Omega$$

$$R_2 = \frac{E - V_{L\text{verde}}}{I} = \frac{5 - 3,2}{20 \cdot 10^{-3}} = \frac{1,8}{20 \cdot 10^{-3}} = 90 \Omega$$

$$R_3 = \frac{E - V_{L\text{blu}}}{I} = \frac{5 - 3,2}{20 \cdot 10^{-3}} = \frac{1,8}{20 \cdot 10^{-3}} = 90 \Omega$$

La chiusura di un solo interruttore (R, G, B) permette l'attivazione di un LED (un solo colore), mentre la chiusura di più interruttori permette l'attivazione della combinazione di colori. In tabella sono riportate le combinazioni possibili con i rispettivi colori.

R	G	B	Colore
0	0	0	Led spenti
0	0	1	Blu
0	1	0	Verde
0	1	1	Ciano
1	0	0	Rosso
1	0	1	Magenta
1	1	0	Giallo
1	1	1	Bianco