

Supervisore Prof. **Giancarlo Fionda**  
Insegnante di Elettronica

## CENNI DI OPTOELETTRONICA

Si definisce dispositivo optoelettronico, un dispositivo che può esercitare una delle seguenti azioni:

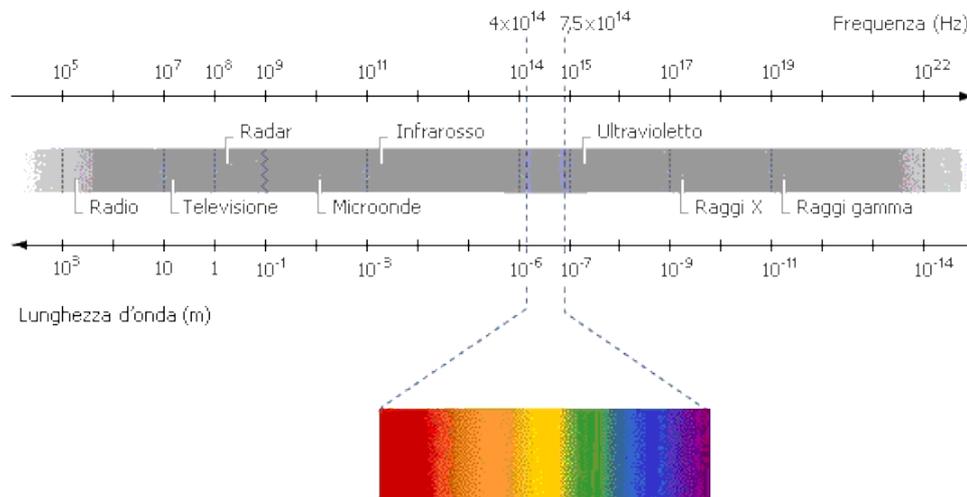
- Rivelare o comunque essere sensibile alla luce;
- emettere o modificare luce coerente o non coerente;
- utilizzare la luce per il proprio funzionamento interno. in altre parole, sono i dispositivi al cui funzionamento concorrono sia fenomeni ottici che fenomeni elettronici.

### La radiazione luminosa

La luce è un tipo di energia chiamata energia radiante, che viaggia nello spazio sotto forma di onda elettromagnetica.

Con il termine **radiazione** si indica il trasferimento di energia (il flusso di energia) da un radiatore (trasmettitore o emettitore) a un ricevitore (rivelatore o sensore).

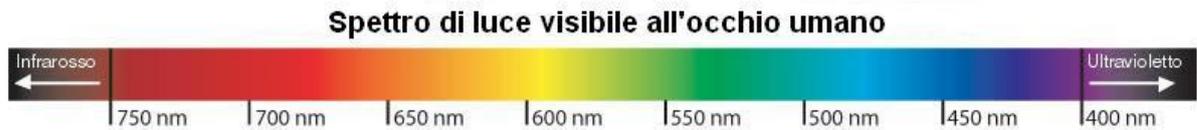
Lo **spettro elettromagnetico** contiene le varie sorgenti di energia radiante suddivise a seconda della frequenza.



Nella figura è rappresentato lo spettro elettromagnetico, in cui è indicata la posizione occupata dalle sorgenti luminose visibili e non visibili, dalle sorgenti radio e dalle sorgenti di microonde. Queste sorgenti si differenziano per la frequenza e per la lunghezza d'onda. Quando si parlerà di luce ci si riferirà non solo alla luce visibile ma anche alle radiazioni infrarosse e ultraviolette.

### Il colore della luce

L'occhio umano è sensibile solamente alle onde luminose la cui grandezza si trova in modo approssimato tra i 4000 e 7000 angstrom (simbolo Å, 1 angstrom =  $1 \times 10^{-10}$  m)



Se la luce osservata da un occhio contiene approssimativamente la medesima quantità di energia per tutte le lunghezze d'onda dello spettro si ha ciò che l'occhio percepisce come luce bianca. Se alcune delle lunghezze d'onda contengono una quantità di energia superiore alle altre l'occhio ha invece la percezione di uno o più colori.

Colore	Lunghezza d'onda
Violetto	Sotto 4500 Å
Blu	Tra 4500 e 5000 Å
Verde	Tra 5000 e 5700 Å
Giallo	Tra 5700 e 5900 Å
Arancio	Tra 5900 e 6100 Å
Rosso	Tra 6100 e 7000 Å
Bianco	È uguale alla combinazione di tutte le lunghezze d'onda
nero	È il totale assorbimento di tutte le lunghezze d'onda

Per colore si intende un set di nomi che vengono assegnati alle diverse percezioni che l'occhio umano ha delle differenti lunghezze d'onda luminose, che si trovano nell'intervallo visibile dello spettro. La scomposizione della luce nelle sue componenti dal rosso al violetto viene ottenuta artificialmente mediante un prisma di vetro e lo stesso fenomeno, seppur meno nitido, può essere osservato nel comune arcobaleno. L'intensità della luce è la misura dell'energia contenuta nell'onda luminosa irradiata da una sorgente.

### **Diodo ad emissione di luce: LED**

Tra le sorgenti a semiconduttore l'elemento più usato è il led. Elettricamente è un dispositivo a due terminali che conduce, come tutti i diodi, in una sola direzione, ed è realizzato con materiale semiconduttore, che emette luce quando viene percorso da una certa corrente. Un LED può essere realizzato per emettere sia luce visibile sia luce non visibile.

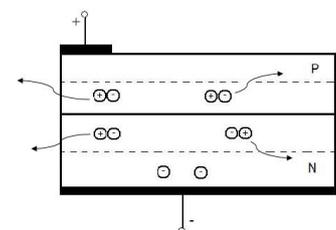
Il diodo LED nel campo visibile viene in generale, indicato come VLED e viene spesso usato come indicatore.

### **Produzione della luce**

Il fenomeno è conseguenza diretta della ricombinazione tra lacune ed elettroni che avviene in prossimità di una giunzione PN, polarizzata direttamente.

Quando gli elettroni vengono immessi nella regione N di un diodo di tipo PN e giungono in prossimità delle giunzione, si ricombinano con delle lacune. Questa ricombinazione è simile a quello che avviene a un elettrone di un livello energetico alto che ricade ad un livello energetico inferiore. Ogni volta che un elettrone interagisce in questo modo con un atomo, viene generata della luce con una frequenza determinata dalla differenza dei livelli energetici.

Affinché questa ricombinazione dia origine ad una luminescenza del materiale si deve avere una variazione netta dei livelli energetici.



## Caratteristiche dei LED

I LED hanno ormai rimpiazzato le lampadine a incandescenza miniaturizzate nelle applicazioni di luce visibile che richiedono una elevata affidabilità, bassi costi, basso consumo di potenza, resistenza alle variazioni, veloce risposta e piccole dimensioni. I LED sono facili da usare sia con i dispositivi digitali sia con quelli analogici. Le caratteristiche per una loro migliore comprensione vengono divise in tre parti : eletto-ottiche, ottiche ed elettriche.

**Caratteristiche elettro-ottiche:** Le caratteristiche elettro-ottiche forniscono una informazione sulla luce ottenibile in funzione della corrente che attraversa il dispositivo. Nel data sheet del TIL209A sono riportate nella tabella: operating characteristic at 25°C etc.. In essa vengono indicate l'intensità e la lunghezza d'onda della luce emessa per una fissata corrente, la tensione diretta per una fissata corrente, la corrente inversa per una fissata tensione.

Viene fornita graficamente l'intensità luminosa relativa e la corrente diretta che circola nel diodo. L'intensità luminosa è data in termini relativi per consentire l'utilizzo di data sheet riguardanti LED di diverse sigle.

Viene fornita, anche graficamente, la diminuzione dell'intensità luminosa all'aumentare della temperatura. Anche la lunghezza d onda può spostarsi con la temperatura. Comunque, nella maggior parte delle applicazioni dei VLED lo spostamento non è rilevabile dall'occhio umano.

**Caratteristiche ottiche:** Le caratteristiche ottiche del LED includono il colore (lunghezza d'onda), l'angolo di propagazione e il tipo di lente usato dal dispositivo. Viene anche fornita la curva dell'intensità luminosa in funzione della lunghezza d'onda, lo spettro è stretto con un massimo di intensità a 6500Å e solamente il 10 % dell'intensità massima a 6300Å ed a 6700Å.

**Caratteristiche elettriche:** Le caratteristiche elettriche di un LED sono simili a quelle di un qualsiasi diodo a semiconduttore. I valori di tensione inversa, di corrente inversa, di tensione diretta e della corrente diretta massima sono in generale forniti a 25°C. Viene anche fornita la caratteristica diretta del diodo.

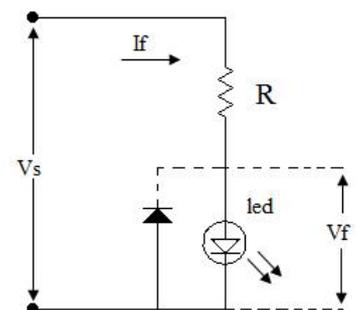
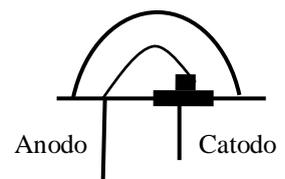
## Modalità di impiego dei LED

Un tipico LED rosso consiste in una piccola piastrina di semiconduttore montata elettricamente su di una base metallica , mentre un sottile filo metallico è collegato con la superficie della piastrina. L'insieme viene ricoperto con resina epossidica (epoxy) trasparente, in modo tale che l'area emittente luce appare all'occhio ingrandita.

In altre parole, si usa una lente di epoxy per aumentare l'effetto luminoso approssimativamente di 2,5 volte. Se il LED viene polarizzato direttamente, con l'anodo a potenziale maggiore del catodo, è attraversato dalla corrente ed emette luce; se, invece, l'anodo è a potenziale inferiore rispetto al catodo, polarizzazione inversa, non verrà attraversato da corrente e non emetterà luce. Il circuito di polarizzazione di un LED è quello della figura successiva. Il valore della resistenza limitatrice di corrente R si calcola con la formula:

$$R = \frac{V_S - V_F}{I_F}$$

dove  $V_S$  è il valore della tensione diretta applicata al LED e  $I_F$  è la corrente diretta del diodo. I valori di  $V_F$  e  $I_F$  sono normalmente di 2 ÷ 2,5V e 5 ÷ 25mA per i diodi rossi, 2,5 ÷ 3,5V e 10 ÷ 40mA per i diodi verdi e gialli. I valori di R per il VLED rosso TIL209A

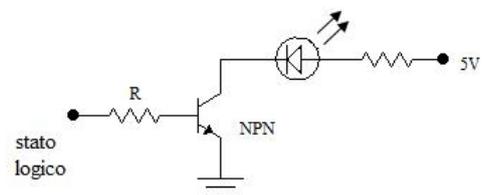


alimentato a 5 V che assorbe 20mA e 1,6V è dato da

$$R = \frac{V_S - V_F}{I_F} = \frac{5 - 1,6}{20 \cdot 10^{-3}} = 170\Omega$$

La tensione di rottura dei LED è molto piccola, normalmente  $3 \div 10$  V. Alimentando un LED con tensione alternata, è a volte necessario inserire in parallelo ad esso un diodo semiconduttore convenzionale collegato in modo discorde. I dispositivi noti come LED a resistore contengono nel loro involucro un resistore integrato con funzione di limitatore di corrente. Alimentando questi LED a tensione nominale, non è necessario aggiungere un resistore esterno di limitazione della corrente. Un LED può essere utilizzato come indicatore di stato logico, ma non può essere pilotato direttamente da un circuito integrato TTL o CMOS data l'elevata corrente che assorbe. In alcune situazioni, quindi, è importante ridurre la corrente d'ingresso del circuito. Ciò può essere realizzato utilizzando un transistor NPN e una resistenza di limitazione sulla base del transistor.

Nel primo circuito di polarizzazione occorre una sola resistenza da  $170\Omega$ , ma il LED assorbe una corrente di 20mA, per lo stato logico 1. Il secondo circuito richiede un transistor NPN, una resistenza R dell'ordine delle decine di  $K\Omega$  ed assorbe una corrente intorno al centinaio di micro Ampere.



## Fonorielatori. Fotodiodi

Per rivelatore di luce si intende qualsiasi dispositivo che reagisce, in modo fisicamente osservabile, alla presenza di energia luminosa; in modo cioè che l'energia luminosa sia convertita in un'altra forma di energia.

### Fotodiodi a giunzione normale.

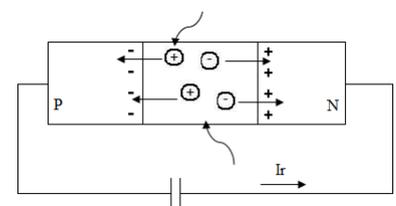
Un fotodiodo è un dispositivo a giunzione PN polarizzata inversamente, in cui la corrente inversa è proporzionale alla quantità di luce che colpisce la giunzione. Nelle giunzioni polarizzate inversamente si forma una regione di carica spaziale delimitata ad un campo elettrico, in queste condizioni circola nel semiconduttore una debole corrente di saturazione inversa  $I_r$ . Se la giunzione viene investita da energia radiante si generano delle coppie elettrone-lacuna che vanno ad incrementare il numero di portatori minoritari costituenti la corrente  $I_r$ . Le cariche generate in questo modo contribuiscono ad aumentare la corrente di saturazione inversa; dunque esiste un legame di proporzionalità tra l'energia che colpisce una giunzione e la corrente di saturazione che vi circola.

### Fotodiodo PIN

Il fotodiodo PIN differisce da quello a giunzione normale PN perché tra la zona P e quella N vi è una ulteriore zona intrinseca, costituita cioè da semiconduttore puro.

Un conduttore non drogato presenta una resistenza elevatissima (dovuta alla relativa carenza di coppie elettrone-lacuna). I vantaggi del PIN rispetto al fotodiodo a giunzione normale sono:

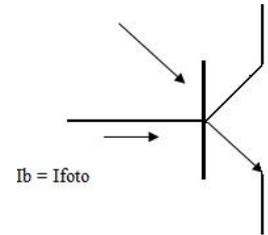
- si riduce la capacità tra la zona P e quella N (aumenta lo spessore del dielettrico) consentendo al dispositivo di funzionare anche per elevate frequenze di segnale;
- aumentando la zona isolata tra le superfici del campo di giunzione, aumenta la possibilità di formazione delle coppie elettrone-lacuna, ciò implica che la sensibilità del diodo PIN alla radiazione luminosa è migliore di quella della normale giunzione PN.



## Fototransistor.

In molte applicazioni sono usati i fotodiodi accoppiati ad amplificatori per aumentare l'effetto della foto corrente. Poiché un transistor contiene una giunzione PN inversamente polarizzata (la giunzione base collettore) e può ampliare una corrente applicata alla base, presenta in un unico contenitore tutto ciò che è necessario per un fotodiodo ed un amplificatore.

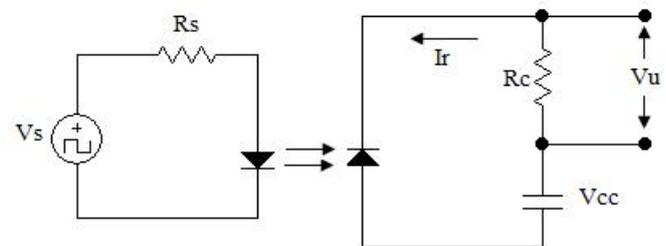
In un fototransistor la luce incidente sulla giunzione base-collettore provoca una foto corrente nella base. Questa foto corrente è moltiplicata dal rapporto di trasferimento di corrente diretta  $H_{fe}$  del fototransistor per produrre la corrente di collettore.



## Accoppiatori ottici

Sono accoppiatori ottici quegli apparati nei quali l'informazione viene trasformata in radiazione mediante un diodo LED ed inviata ad un circuito contenente un fotodiodo, che la riconverte in segnale elettrico.

Ad esempio, un opto accoppiatore può essere costituito da un diodo LED infrarosso e da un fotodiodo. La variazione di radiazione provoca una corrispondente variazione di corrente inversa nel fotodiodo. La corrente che circola nel dispositivo viene trasformata in caduta di tensione sulla  $R_C$ . Gli accoppiatori ottici



hanno attualmente ampia applicazione in quanto consentono la totale separazione, dal punto di vista elettrico, tra il circuito di comando e quello comandato. Questa peculiarità fa sì che i foto accoppiatori trovino impiego nei sistemi di interfacciamento tra i circuiti elettronici di comando e quelli elettromeccanici comandati nell'elettronica industriale. Un'ulteriore applicazione di questi dispositivi riguarda le alte frequenze di segnale, soprattutto nel campo digitale dove è possibile realizzare con essi degli accoppiamenti privi di disturbi. I foto accoppiatori sono reperibili in commercio in forma integrata a più coppie LED-fotodiodo in un unico contenitore. In questi casi il LED è a infrarosso ed è direttamente affacciato al fotodiodo. Largo uso dei foto accoppiatori viene fatto anche nei sistemi a fibre ottiche, ove la fibra è il mezzo che accoppia tra loro il LED ed il fotodiodo. L'impegno di questa soluzione di collegamento è ottimale, in sostituzione del normale cavo schermato, nei sistemi in cui occorre trasferire segnale con il minimo effetto di disturbo. In effetti, anche il cavo schermato non è del tutto insensibile a radiazioni spurie ad alta frequenza, che non hanno invece alcun effetto nella fibra ottica.

Questo è un tipico sistema di trasmissione di informazione elettrica utilizzando una fibra ottica. Il segnale è rappresentato da una corrente  $I_i$ . Il LED trasforma l'informazione elettrica in radiazione luminosa. La fibra ottica trasporta la radiazione luminosa al ricevitore, costituito da un fotodiodo



che trasforma l'informazione luminosa nel segnale elettrico  $I_u$ . Una fibra ottica è costituita da un filo molto sottile di quarzo o di epoxy, che può trasmettere da una estremità all'altra un fascio luminoso, con perdita minima anche a notevole distanza.