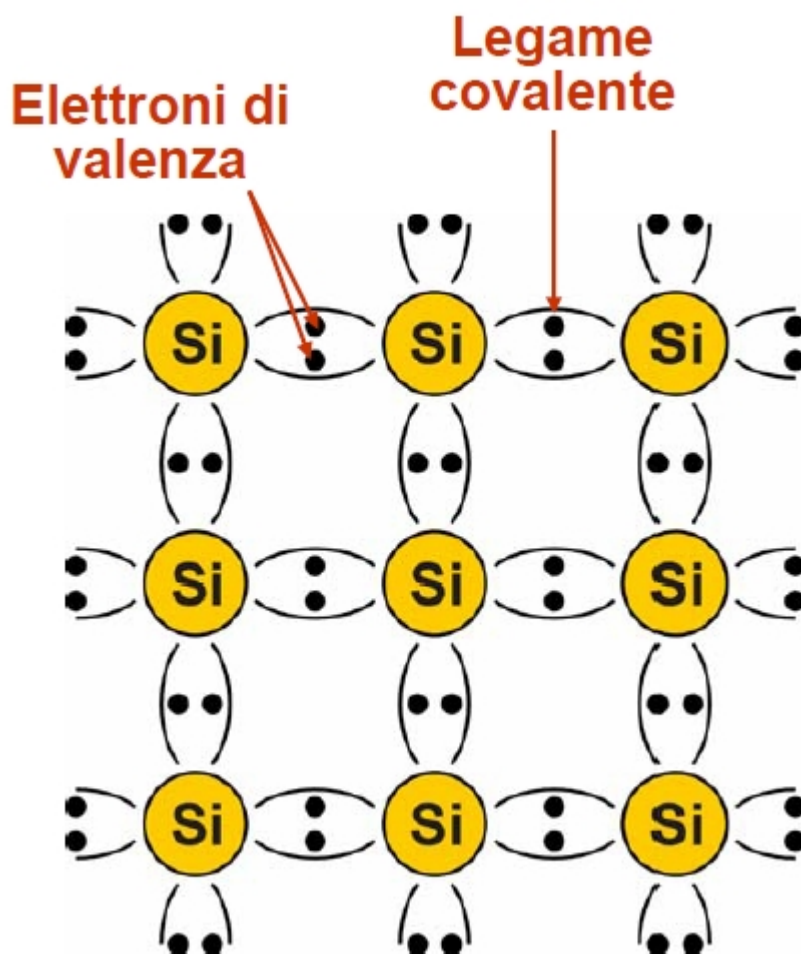


LA GIUNZIONE PN

SILICIO INTRINSECO

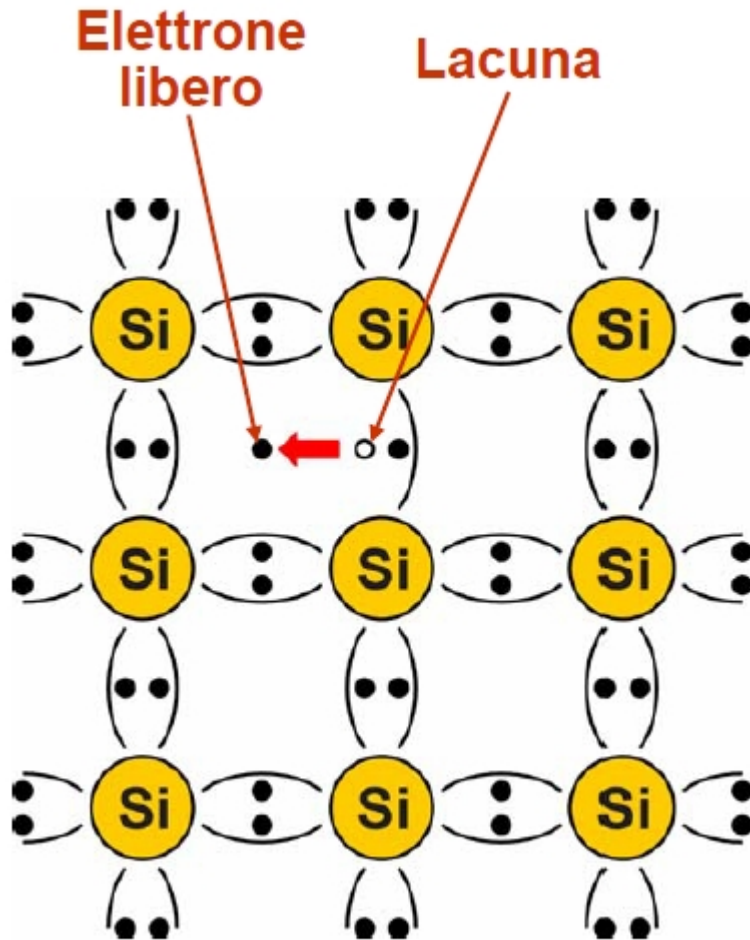
Un atomo di silicio ha 4 elettroni nello strato più esterno detti **elettroni di valenza**, quindi in un cristallo di silicio ciascuno di questi elettroni viene condiviso con uno degli atomi più vicini. Una coppia di elettroni condivisi dà origine a un **legame covalente**, in questo modo per ogni atomo viene riempito completamente lo strato più esterno, che può contenere 8 elettroni.



LACUNE - ELETTRONI

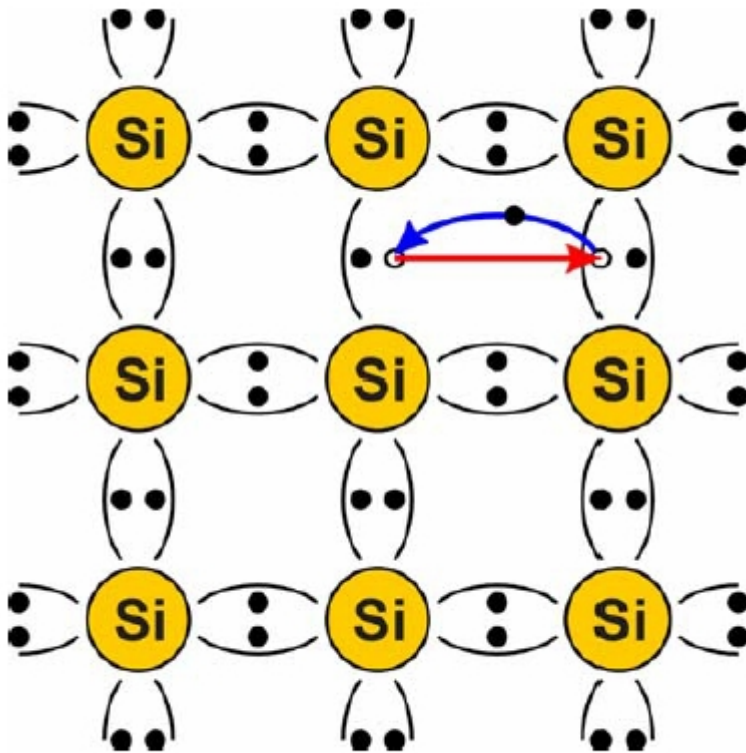
Tutti gli elettroni di valenza sono legati a coppie di atomi e quindi non ci sono elettroni disponibili per dare luogo a correnti elettriche (bisogna inoltre ricordare che in ogni atomo vi sono pari numero di elettroni e di protoni).

Se per un motivo qualsiasi (aumento di temperatura ecc.) un certo numero di elettroni acquista l'energia sufficiente per rompere il legame e quindi muoversi liberamente nel cristallo si ha che un legame rimane incompleto e viene quindi a formarsi una **lacuna**



MOVIMENTO DI UNA LACUNA

In presenza di un legame incompleto un elettrone di un atomo vicino può occupare la lacuna, in questo modo viene prodotta una nuova lacuna nell'atomo da cui proviene l'elettrone ciò innesca uno spostamento di elettroni di valenza che produce un movimento della lacuna attraverso il cristallo. La lacuna si comporta come una particella dotata di carica positiva, uguale in valore assoluto a quella dell'elettrone che è di carica negativa ed è libera di muoversi attraverso il cristallo.



GENERAZIONI E RICOMBINAZIONI

In un cristallo di silicio, per effetto dell'agitazione termica si ha una continua **generazione** di coppie elettrone-lacuna. All'aumentare delle concentrazioni di elettroni liberi e lacune aumenta la probabilità che un elettrone libero vada ad occupare una lacuna, questo processo è detto **ricombinazione** e determina la scomparsa di un elettrone libero e di una lacuna. Il tasso di ricombinazione dipende dalla temperatura e della concentrazione di elettroni e lacune, in condizioni di equilibrio termico le generazioni e le ricombinazioni si bilanciano

ACCETTORI E DONATORI

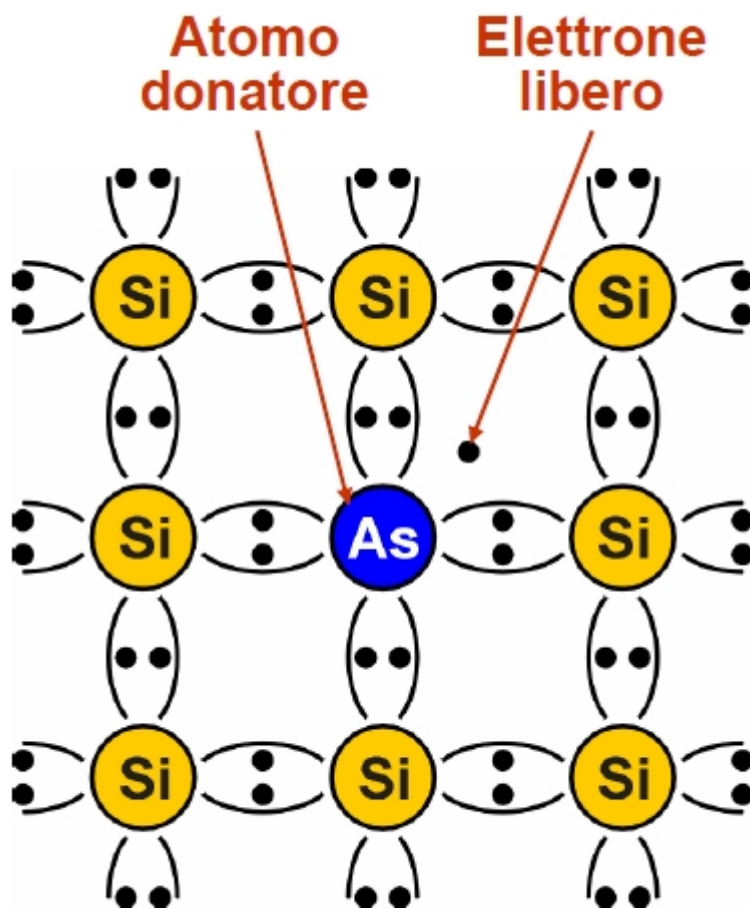
Le concentrazioni degli elettroni e delle lacune possono essere modificate con l'introduzione nel cristallo di impurità, cioè atomi di elementi diversi che si sostituiscono ad alcuni degli atomi di silicio. Questo procedimento è detto **drogaggio** Ci sono due categorie di elementi droganti:

- Gli elementi del gruppo IIIA (boro, alluminio, indio, gallio, ...), che hanno 3 elettroni di valenza e quindi sono trivalenti, sono detti **accettori** e determinano un incremento della concentrazione di lacune.
- Gli elementi del gruppo VA (fosforo, arsenico, antimonio ...), che hanno 5 elettroni di valenza e quindi sono pentavalenti, sono detti **donatori** e determinano un incremento della concentrazione di elettroni.

Il silicio drogato con elementi accettori è detto di **tipo p** mentre il silicio drogato con elementi donatori è detto di **tipo n**

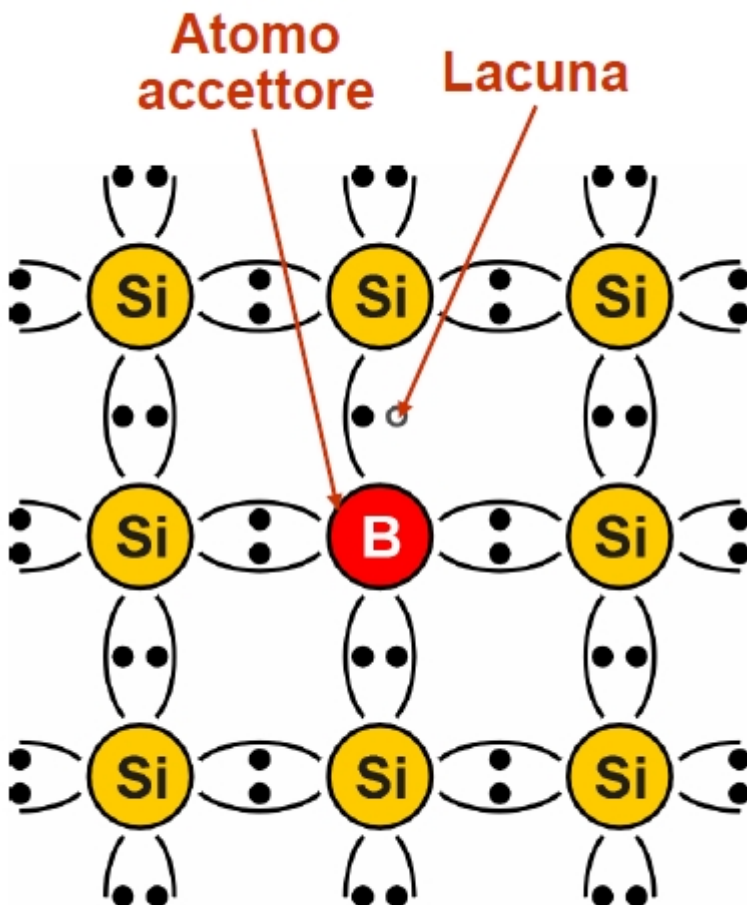
SILICIO DI TIPO N

Quindi si dice che il silicio è drogato di tipo N quando alcuni atomi di silicio sono sostituiti da atomi di un elemento pentavalente, 4 degli elettroni di valenza degli atomi donatori (elemento utilizzato per il drogaggio) formano legami covalenti, mentre il quinto elettrone risulta debolmente legato all'atomo donatore. Alle temperature ordinarie può acquistare energia sufficiente a renderlo libero, si ha quindi un incremento del numero di elettroni liberi senza generazione di lacune, l'atomo donatore cede un elettrone, quindi diviene uno ione positivo.



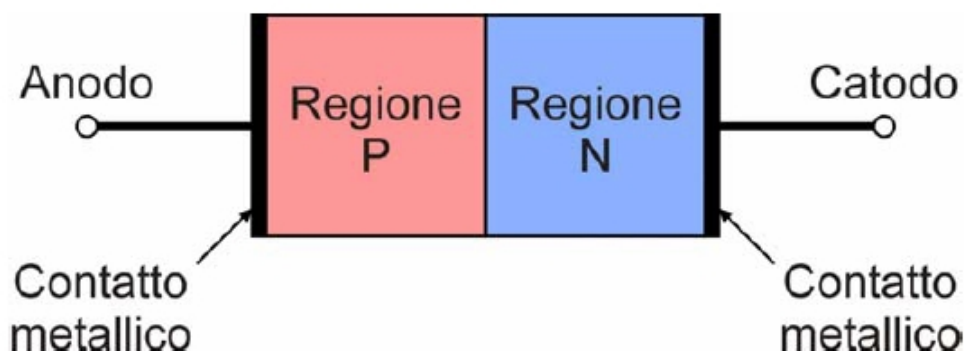
SILICIO DI TIPO P

Questo tipo di drogaggio è detto p in quanto atomi di silicio sono sostituiti da atomi di un elemento trivalente. I tre elettroni di valenza degli atomi accettori formano altrettanti legami covalenti, ma viene a mancare un elettrone per completare il quarto legame, quindi si ha una lacuna che può essere occupata da un elettrone di valenza di un atomo vicino, abbiamo quindi un incremento del numero di lacune senza generazione di elettroni liberi, l'atomo accettore acquista un elettrone, quindi diviene uno ione negativo .



GIUNZIONE PN

Una **giunzione pn** viene realizzata creando all'interno di un cristallo semiconduttore una regione drogata di tipo p e una di tipo n. (esempio silicio) se colleghiamo alle estremità due terminali quello collegato alla zona o regione p viene detto **anodo**, mentre quello collegato alla zona o regione n è detto **catodo** il tutto viene chiamato **DIODO**



Appena viene realizzata la giunzione avendo le due regioni le densità dei portatori di carica diverse, nasce una **corrente di diffusione** I_D costituita da lacune che si diffondono dalla regione p alla regione n ed elettroni che si diffondono dalla regione n alla regione p, le lacune transitate nella regione n si ricombinano rapidamente con gli elettroni che in questa regione rappresentano le cariche maggioritarie, allo stesso modo gli elettroni che attraversano la giunzione si ricombinano con le lacune della regione p. Questo movimento determina una ricombinazione e di conseguenza una diminuzione delle cariche libere in prossimità della superficie di giunzione, questa piccola regione viene chiamata **regione svuotata o zona di svuotamento oppure depletion line**

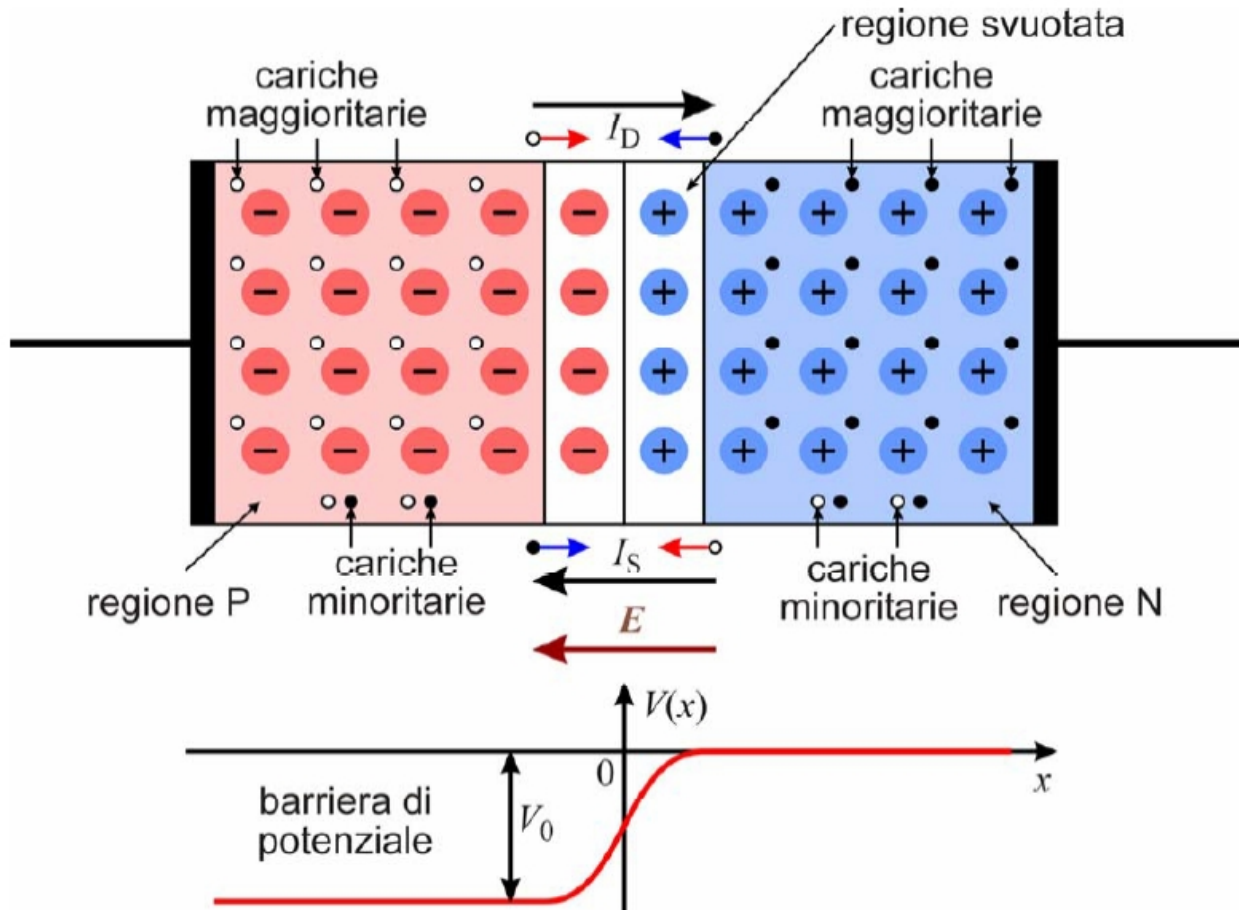
GIUNZIONE PN IN EQUILIBRIO

Come si vede dalla figura che segue, nella regione svuotata sono presenti cariche fisse non bilanciate da cariche mobili (atomi donatori e atomi accettori)

Per questo motivo questa regione è detta anche **regione di carica Spaziale, le quali** danno origine ad un campo elettrico E che si oppone alla corrente di diffusione, quindi all'estremità della regione svuotata si ha una differenza di potenziale V_0 detta **barriera di potenziale** che ostacola il moto delle lacune verso la regione n e degli elettroni verso la regione p. La V_0 (in alcuni casi chiamata V_s o V_y) dipende dalla concentrazione dei droganti e dalla temperatura per tal motivo esso varia, nel silicio a temperatura ambiente i valori tipici di V_0 sono inferiori al volt, circa 0.1 - 0.7 V.

Nelle due regioni sono presenti anche cariche minoritarie prodotte per generazione termica (elettroni nella regione p e lacune nella regione n)

Il verso del campo elettrico è tale da spingere le cariche minoritarie ad attraversare la giunzione dando origine ad una corrente di deriva I_S diretta in senso opposto alla corrente di diffusione. In condizioni di equilibrio le correnti I_D e I_S si bilanciano e quindi la corrente totale attraverso la giunzione è nulla.



GIUNZIONE POLARIZZATA

Polarizzare la giunzione significa applicare una differenza di potenziale ai terminali (spesso viene detto alle sue estremità). Quando il potenziale applicato al lato p (anodo) è minore di quello applicato al lato n (catodo) si dice che la giunzione è polarizzata inversamente, (in questo caso la differenza di potenziale applicata ha polarità concorde con la barriera di potenziale).

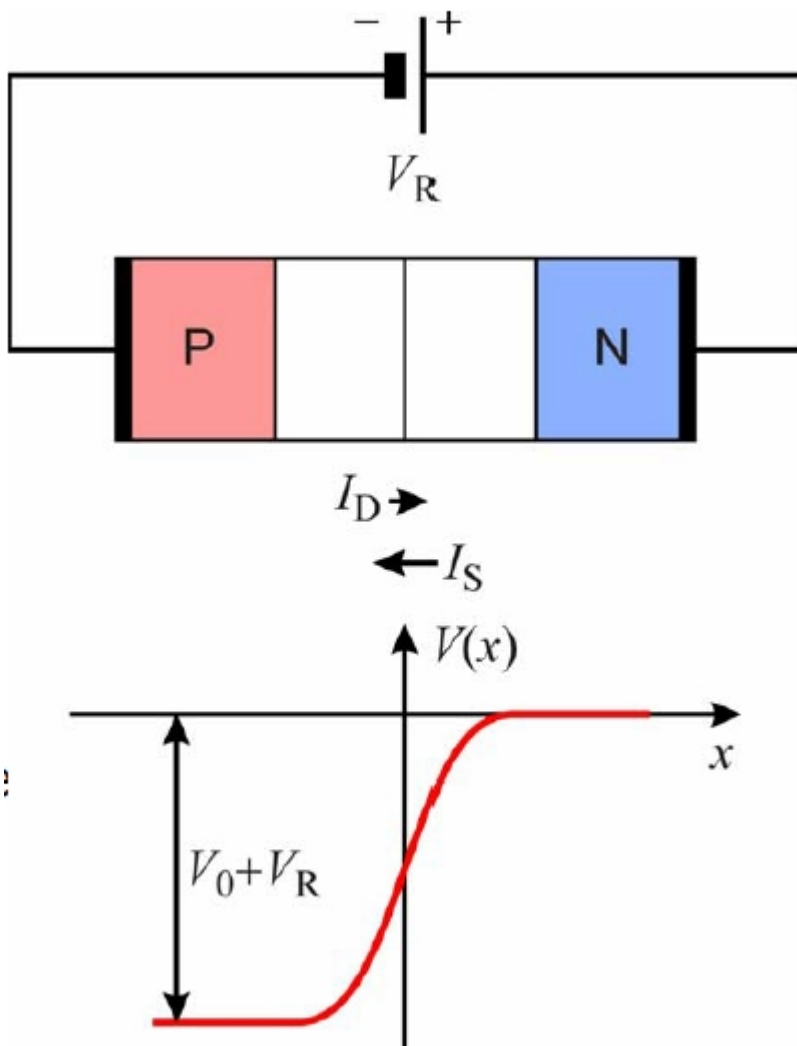
Quando il potenziale applicato al lato p è maggiore di quello applicato al lato n si dice che la giunzione è polarizzata direttamente, in questo caso la differenza di potenziale applicata ha polarità discorde con la barriera di potenziale.

POLARIZZAZIONE INVERSA

Appunti Elettronica

Prof. Antonio Marrazzo

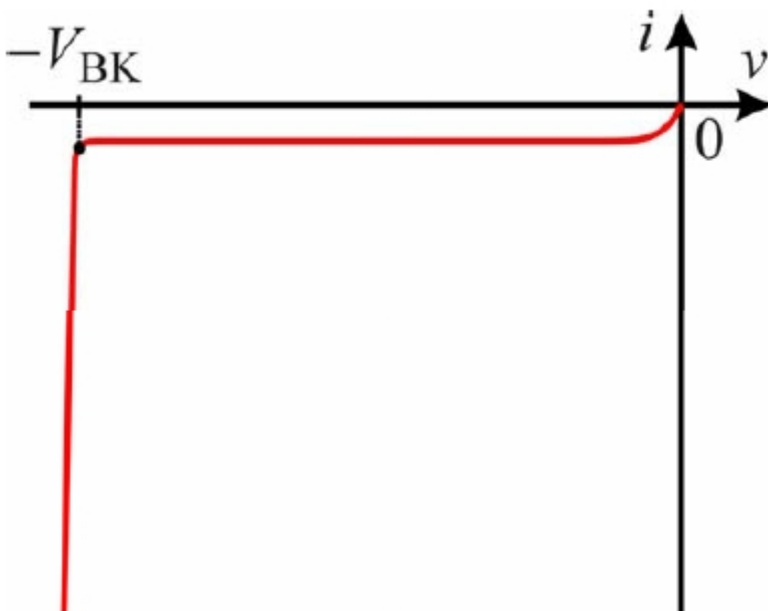
Se applichiamo alla giunzione un generatore V_R come in figura (+ collegato alla zona n e - collegato alla zona p), la tensione di polarizzazione V_R richiama le lacune verso il terminale negativo gli elettroni verso il positivo, la regione svuotata si allarga, aumenta il numero di cariche fisse non neutralizzate e quindi di conseguenza anche l'ampiezza della barriera di potenziale, che diviene pari a $V_0 + V_R$., con l' aumentare di V_R la corrente di diffusione si riduce fino ad annullarsi, rimane però una corrente di deriva molto piccola e praticamente indipendente da V_R (mentre varia sensibilmente con la temperatura).



CARATTERISTICA POLARIZZAZIONE INVERSA



Aumentando la tensione di polarizzazione inversa la corrente rimane costante il suo valore è piccolissimo, fino a quando non viene raggiunto un valore detto **tensione di breakdown**, oltre il quale la corrente aumenta molto rapidamente a tensione praticamente costante, questo valore dipende dal drogaggio ed è dovuto all'effetto valanga. Quando le cariche che costituiscono la corrente di deriva acquistano energia cinetica sufficiente a rompere i legami covalenti degli atomi ciò determina un effetto che si moltiplica come una valanga, ciò determina il danneggiamento della giunzione. Se con opportuno drogaggio questo fenomeno viene opportunamente controllato tanto da non avere il danneggiamento della giunzione, abbiamo l'effetto zener che come vedremo in seguito, viene sfruttato in alcune applicazioni.

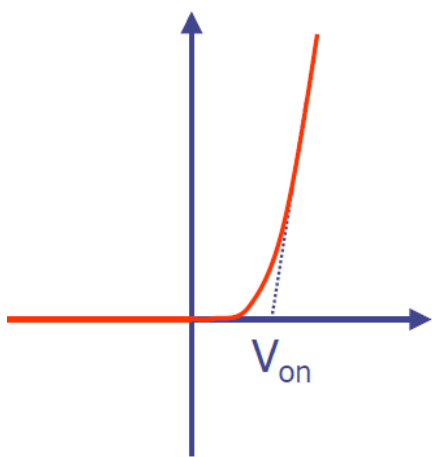
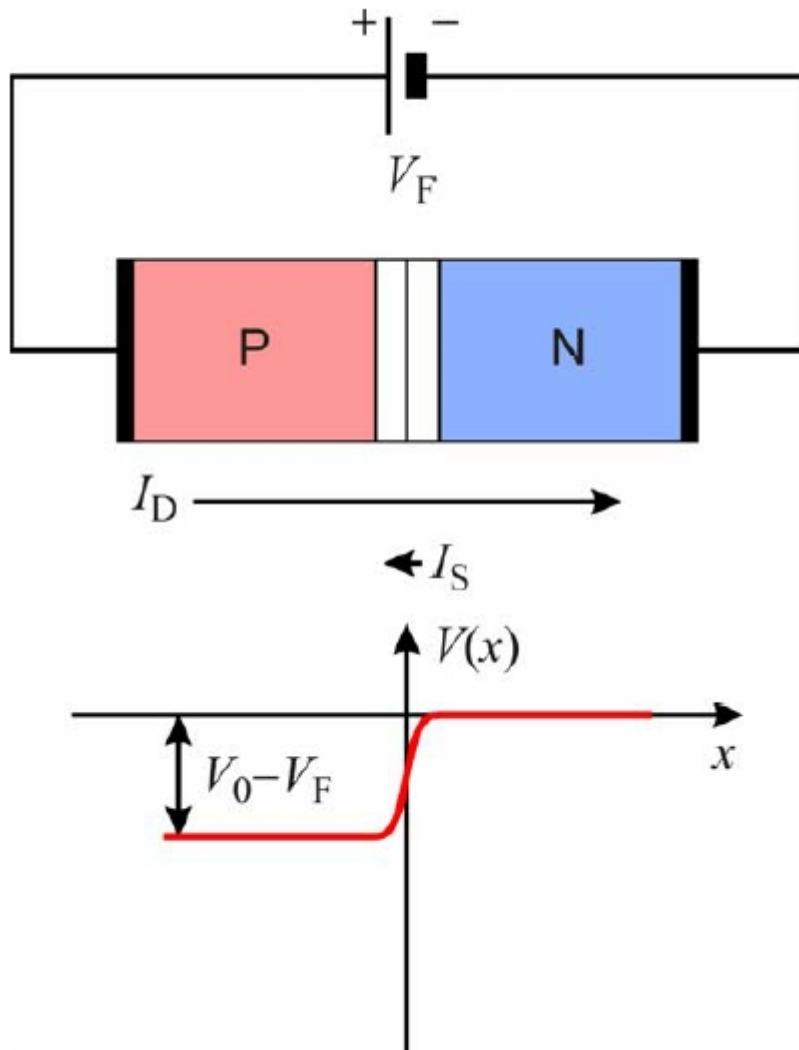


POLARIZZAZIONE DIRETTA

La tensione di polarizzazione V_F determina una riduzione della barriera di potenziale, a questo corrisponde una riduzione della larghezza della regione svuotata e quindi del numero di cariche fisse non compensate. Aumentando V_F , la riduzione della barriera di potenziale consente ad un numero sempre maggiore di elettroni e di lacune di attraversare la giunzione per diffusione. Cosa importante la corrente di diffusione I_D diviene rapidamente molto maggiore rispetto alla I_S (**corrente di deriva**), le lacune iniettate nella regione n si ricombinano con gli elettroni, che in questa regione sono le cariche maggioritarie. la loro concentrazione decresce rapidamente (con legge esponenziale) allontanandosi dalla regione svuotata. Le ricombinazioni determinano la scomparsa di elettroni, quindi nuovi elettroni vengono richiamati dal circuito esterno verso la regione n, analogamente, gli elettroni iniettati nella regione p si ricombinano con le lacune e quindi la loro concentrazione si riduce allontanandosi dalla regione svuotata, questo richiede che nuove lacune vengano immesse nella regione p dal circuito esterno per compensare quelle scomparse a causa delle ricombinazioni, di conseguenza si deve avere un'immissione di elettroni nel circuito esterno dalla regione p. Al fine quando V_F supera la tensione V_0 (in alcuni casi chiamata V_s o V_y , in figura indicata con V_{on}) si ha un passaggio di corrente I_D .

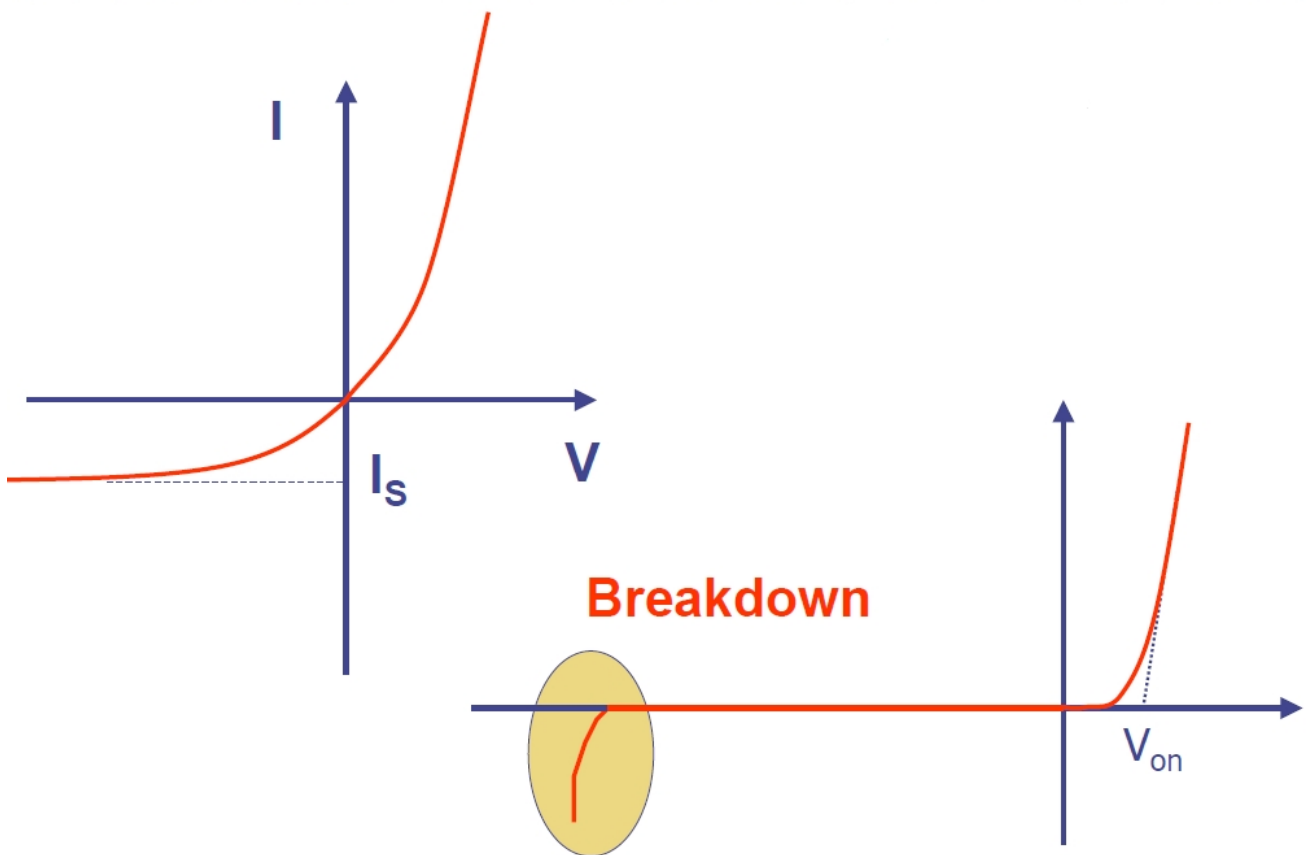
Appunti Elettronica

Prof. Antonio Marrazzo

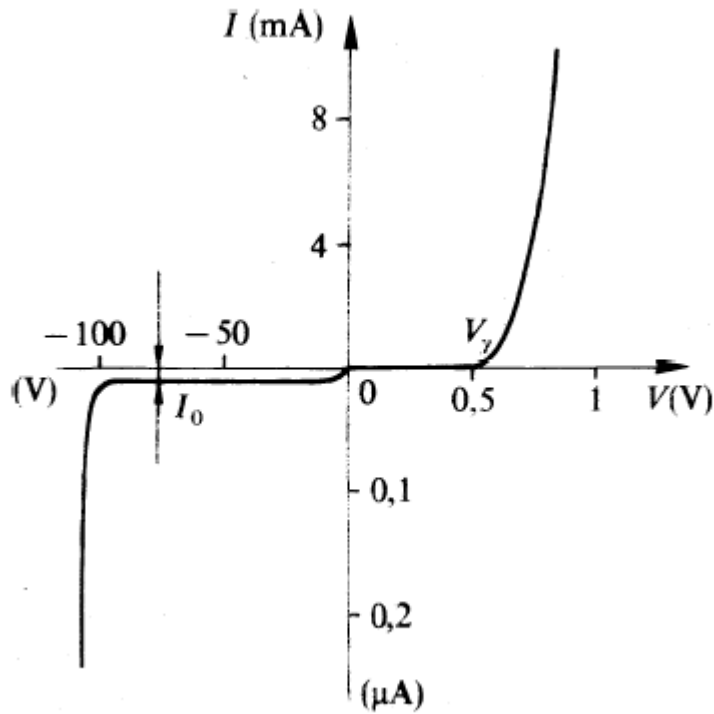


CARATTERISTICA DELLA GIUNZIONE PN

Volendo disegnare la caratteristica diretta e inversa della giunzione con l'uso delle opportune scale potremo notare che quando polarizzato direttamente, superata la tensione di soglia indicata con V_{on} o V_{γ} , la giunzione incomincia a condurre, mentre se polarizzata inversamente la corrente ha un valore piccolissimo fino a quando non si raggiunge la tensione di Breakdown.



(Nel grafico I è la corrente I_d e V è la V_{ak})



IL DIODO o giunzione PN si presenta come nella figura sottostante.

Il diodo è sostanzialmente costituito da una giunzione *pn* opportunamente contattata verso l'esterno da giunzioni ohmiche. Il lato *p* del diodo è detto *anodo*, mentre quello *n* è detto *catodo*. La figura mostra la simbologia che si adotta per questo dispositivo.



figura 1

La caratteristica saliente del diodo è, in prima approssimazione, data dalla proprietà di permettere il passaggio di corrente in una direzione ma non nella direzione opposta. Tale caratteristica viene detta *capacità raddrizzante* del diodo.

