

Conduttori, Isolanti e Semiconduttori

I materiali si possono classificare in base al loro comportamento elettrico in:

❖ ***CONDUTTORI:***

presenza di cariche elettriche “mobili” che possono spostarsi sotto l’azione di forze elettriche

❖ ***ISOLANTI (o dielettrici):***

cariche elettriche fortemente legate agli atomi e non disponibili per costituire una corrente

❖ ***SEMICONDUTTORI...***

I semiconduttori

I semiconduttori sono materiali dotati di una proprietà particolare:

- ☞ a **temperatura molto bassa** (vicina allo zero assoluto), si comportano come **isolanti**;
- ☞ **aumentando** la temperatura, il valore della **resistività diminuisce** e sono in grado di condurre una piccola corrente;
- ☞ a **temperatura ambiente** (27° C) i semiconduttori presentano un valore di **resistività compreso** tra quello dei **conduttori** e quello degli **isolanti**.

Ricordiamo che la **resistività** (o resistenza specifica) di un certo materiale è la resistenza di un pezzo di materiale di lunghezza 1 m e sezione 1 m^2 . Si misura generalmente in $\Omega \times \text{cm}$ o in $\Omega \times \text{mm}^2 / \text{m}$

La resistività nei conduttori, negli isolanti e nei semiconduttori a temperatura ambiente

Conduttori	Resistività ($\Omega \times \text{mm}^2 / \text{m}$)	Isolanti	Resistività ($\Omega \times \text{mm}^2 / \text{m}$)
Argento	$1,6 \times 10^{-2}$	Zolfo	10^{21}
Rame	$1,7 \times 10^{-2}$	Legno secco	10^{31}
Oro	$2,4 \times 10^{-2}$	Vetro	10^{36}
Alluminio	$2,8 \times 10^{-2}$	Mica	10^{38}
		Semiconduttori	Resistività ($\Omega \times \text{mm}^2 / \text{m}$)
		Germanio	$6,0 \times 10^3$
		Silicio	$2,3 \times 10^9$

Da cosa dipende la resistività?

La resistività dipende dal tipo di legame tra gli elettroni e gli atomi del materiale.

Nel caso dei **conduttori** il movimento delle cariche, sotto l'azione di un campo elettrico esterno (prodotto applicando una differenza di potenziale) produce il passaggio di una corrente (=cariche in moto).

Nei materiali **isolanti** gli elettroni sono **legati** agli atomi ed è necessaria una grande **quantità di energia** per rompere i legami.

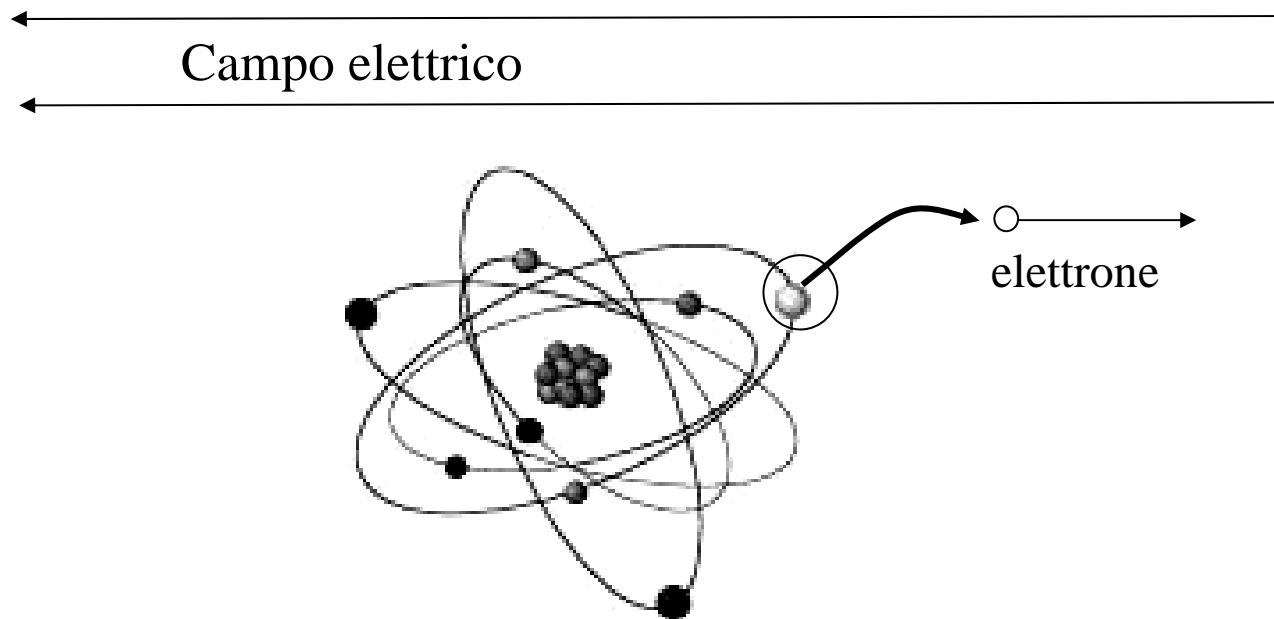
Cosa accade nei semiconduttori?

Gli elettroni nei semiconduttori

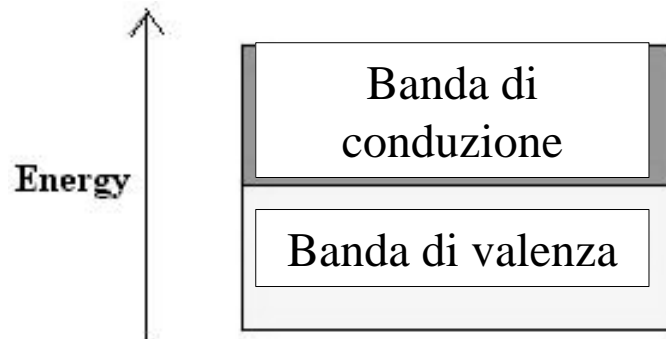
Gli elettroni, all'interno dei materiali semiconduttori, sono legati agli atomi.

Il moto di agitazione termica degli atomi è però sufficiente a rompere alcuni legami.

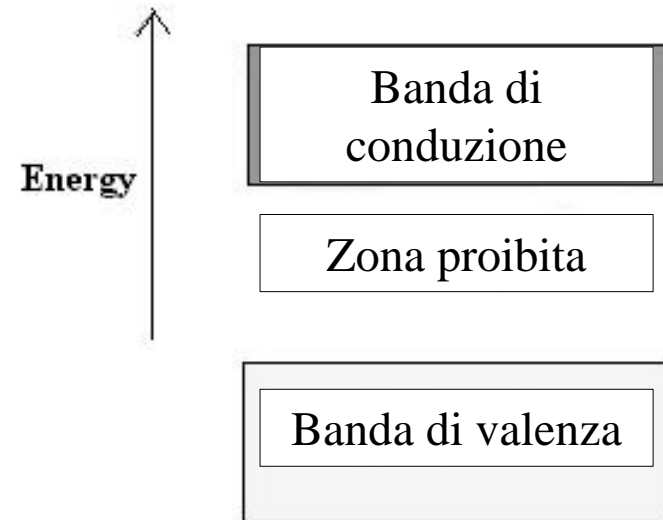
Alcuni elettroni, rimasti liberi, possono quindi muoversi sotto l'effetto del campo elettrico.



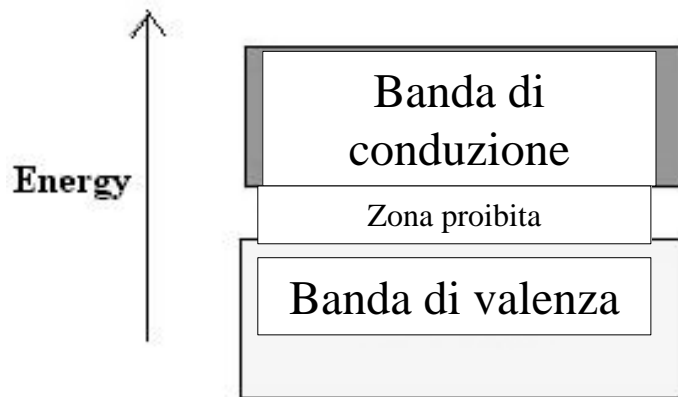
Le bande di energia



Conduttori metallici



Isolanti



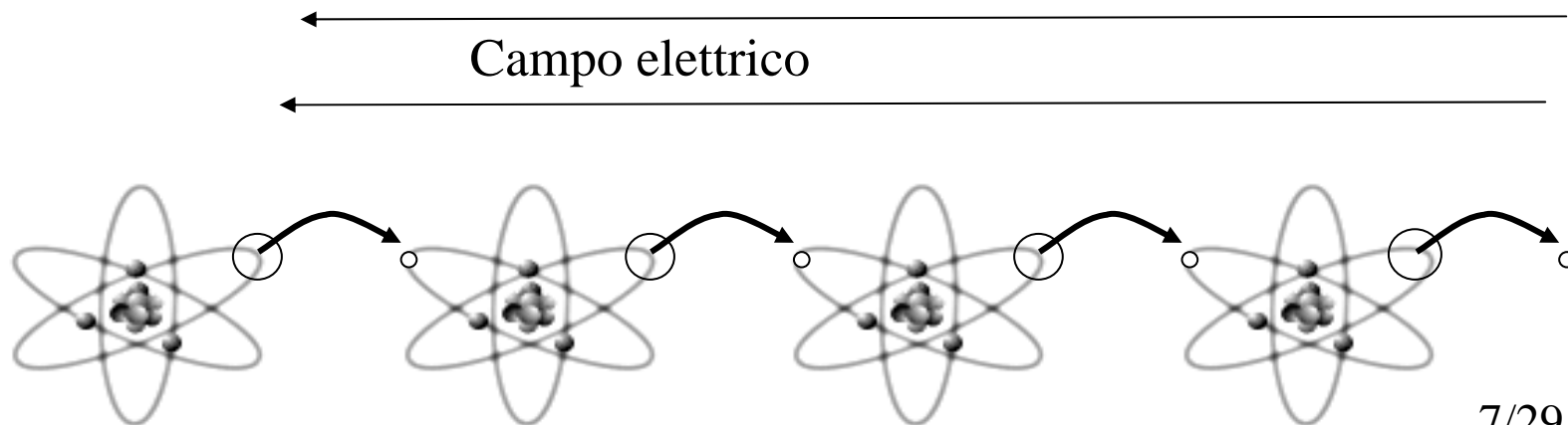
Semiconduttori

Le lacune

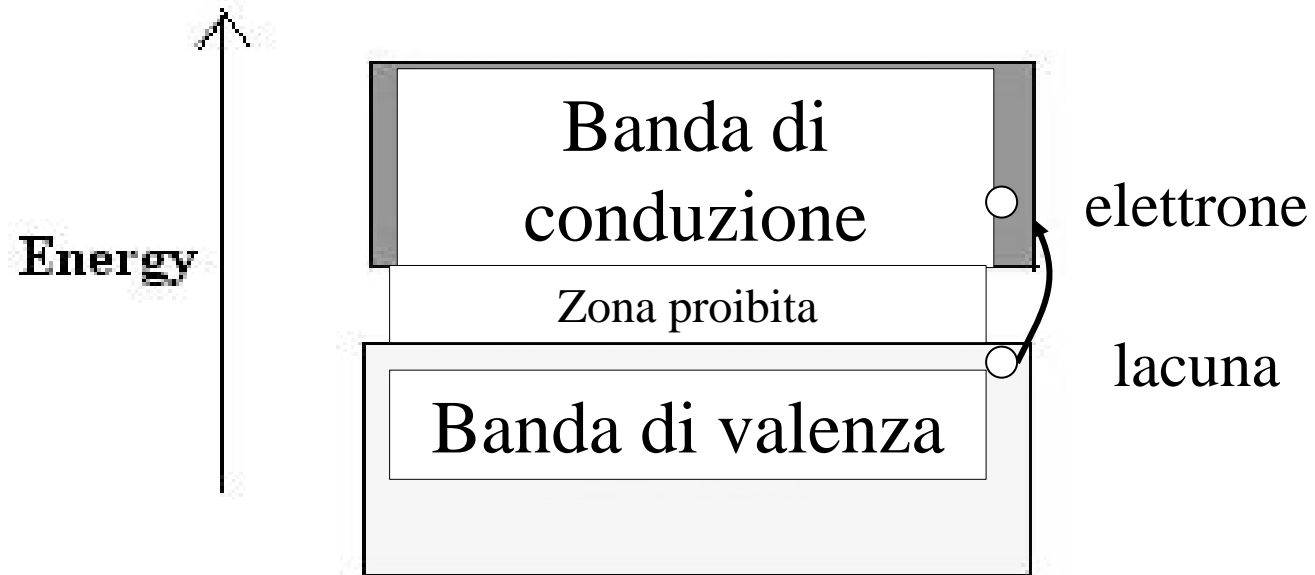
Ogni elettrone libero lascia un posto vuoto (una “**lacuna**”) che può essere occupato da un altro elettrone vicino, il quale lascia a sua volta un posto vacante.

Questo spostamento di elettroni, che saltano da un atomo all’altro, è a tutti gli effetti una **corrente** (cioè un movimento di cariche).

I posti vuoti, cioè le **lacune**, possono essere considerate come **cariche elettriche positive**; il loro movimento è opposto rispetto agli elettroni (che hanno carica negativa).



Lacune ed elettroni



Per ogni elettrone che salta nella banda di conduzione (cioè che acquista l'energia necessaria a rompere il legame atomico) si genera una lacuna nella banda di valenza

Drogaggio

Il numero di cariche che possono liberarsi dal legame atomico può essere aumentato, inserendo nel materiale delle quantità piccolissime di altri elementi (meno di un atomo ogni milione di atomi di semiconduttore), chiamati **droganti**. Con processi tecnologici possono quindi essere variate le proprietà elettriche del semiconduttore.

I droganti che forniscono elettroni si definiscono “**donatori**”, quelli che forniscono lacune si dicono “**accettori**”.

☞ Elementi donatori: **arsenico (As), fosforo (P), antimonio (Sb)**.

☞ Elementi accettori: **boro (B), gallio (Ga), indio (In)**.

Il Silicio

Il semiconduttore impiegato nei componenti elettronici commerciali è il **Silicio**.

È un elemento molto diffuso in natura: è presente nella sabbia e in molti minerali (i silicati).

Per ottenere il materiale adatto alle applicazioni elettroniche è indispensabile sottoporre i silicati ad un processo di purificazione, in modo da eliminare tutte le impurità normalmente presenti.

Semiconduttori intrinseci e drogati

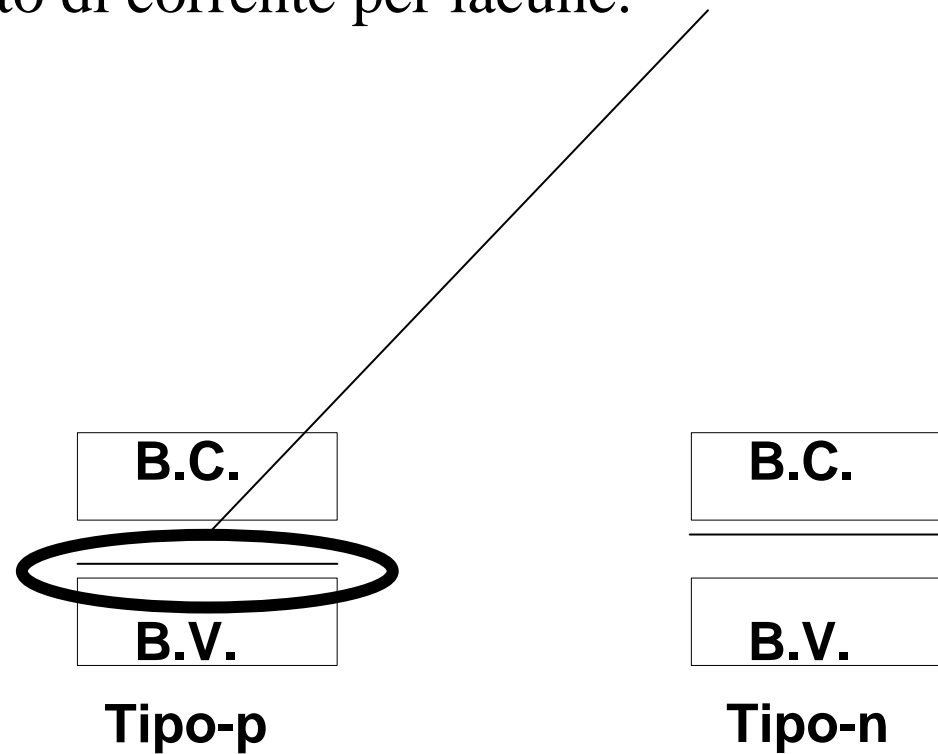
Il silicio **puro** è un esempio di **semiconduttore intrinseco**.

- ☞ Se introduciamo degli **accettori**, quindi aumentiamo il livello delle cariche positive, il silicio viene detto di **tipo p**.
- ☞ Se introduciamo dei **donatori**, il silicio viene detto di **tipo n**.

Droganti	Tipo di semiconduttore
nessuno	intrinseco
accettori	Tipo p
donatori	Tipo n

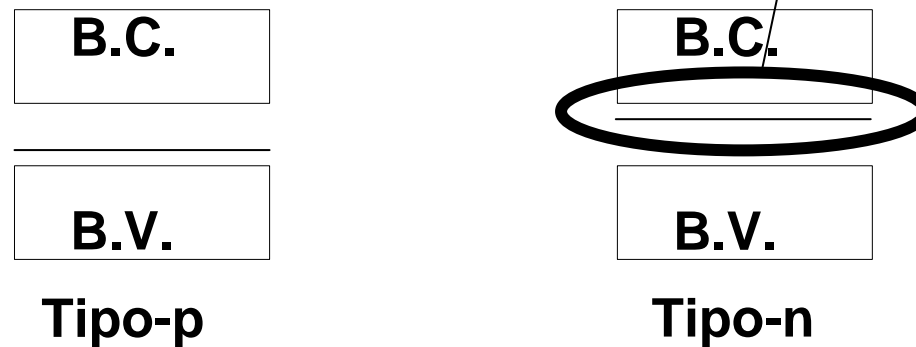
Tipo-p

Impurezze che introducono livelli vicini alla banda di valenza danno luogo a un materiale in cui domina il trasporto di corrente per lacune.



Tipo-n

Impurezze che introducono livelli vicini alla banda di conduzione danno luogo a un materiale in cui domina il trasporto di corrente per elettroni.

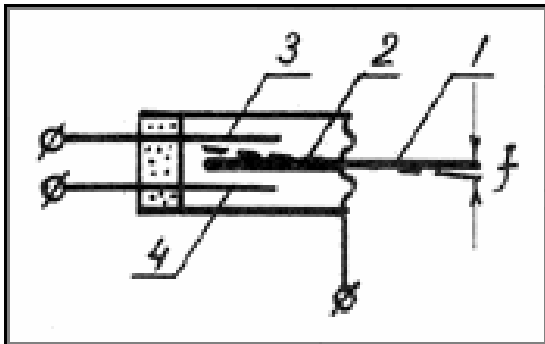


Il diodo (1)

L'invenzione dei diodi è avvenuta prima della seconda guerra mondiale.

I primi diodi erano realizzati con le valvole termoioniche, e sono stati usati per costruire le prime radio (le cosiddette “radio a valvole”).

Il diodo è un componente elettronico che può essere realizzato mediante i semiconduttori.



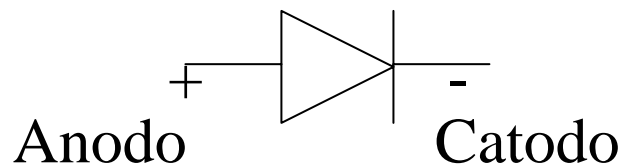
Il diodo (2)

È un componente a due terminali, chiamati:

- ☞ **anodo** (dal greco “salita”);
- ☞ **catodo** (dal greco “discesa”).

La proprietà fondamentale del diodo è che si lascia attraversare dalla **corrente** solo quando questa scorre **dall’anodo verso il catodo**. Quando la corrente proviene dal verso opposto, il diodo ne impedisce il passaggio e si comporta come un **interruttore aperto**.

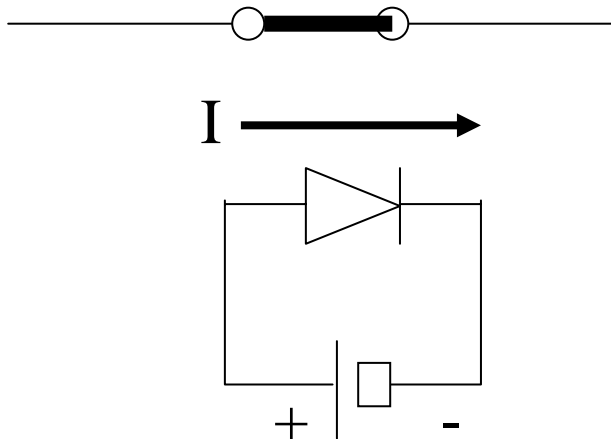
Simbolo circuitale del diodo



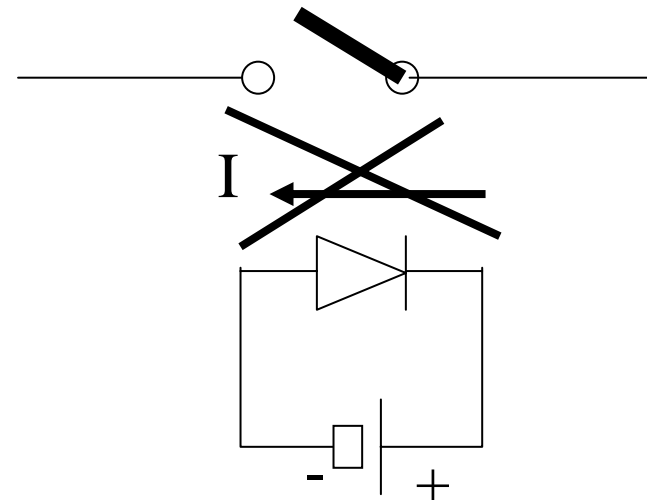
Come funziona un diodo

Se colleghiamo l'anodo al polo positivo di una batteria ed il catodo al polo negativo, si nota il **passaggio della corrente nel circuito**.

Se si inverte il collegamento e si unisce l'anodo con il polo negativo ed il catodo con il polo positivo, il diodo **non conduce la corrente** ed il suo comportamento è praticamente uguale a quello di un **circuito aperto**.



C'è passaggio di corrente



Non c'è passaggio di corrente

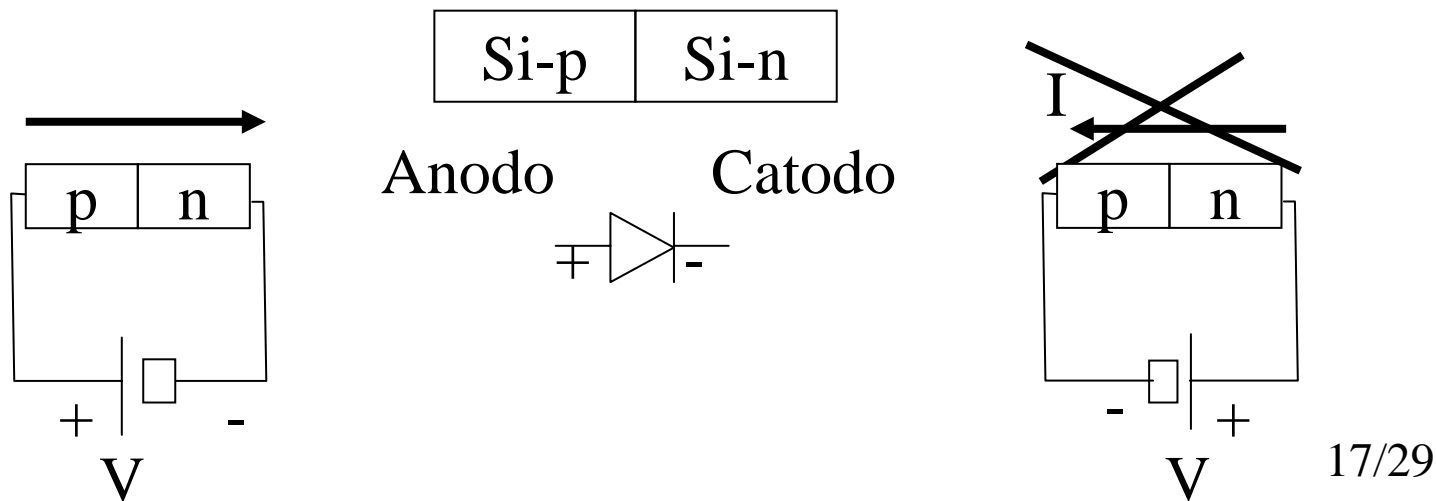
La giunzione p-n

I diodi usati nei circuiti elettronici sono realizzati usando i semiconduttori.

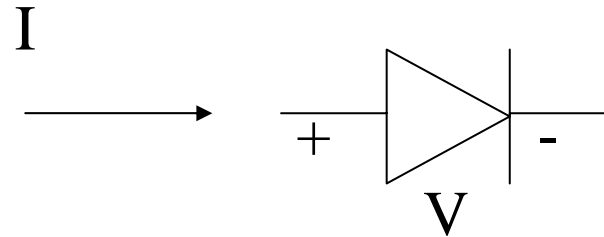
Se uniamo un semiconduttore di tipo n ad un altro di tipo p si realizza una **giunzione p-n**.

Applicando la fisica dei semiconduttori, si dimostra che **la giunzione p-n si può usare come un diodo:**

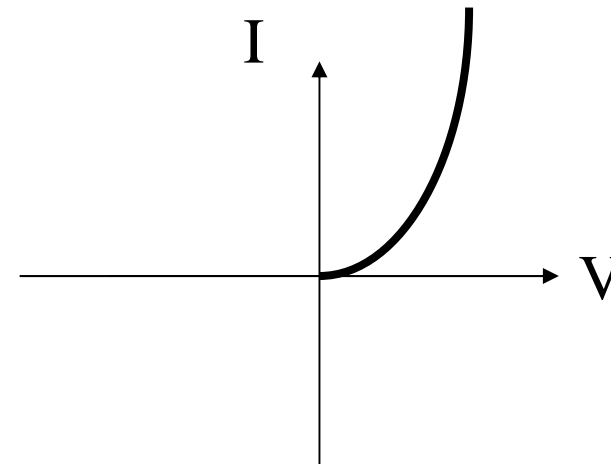
- ☞ la parte di silicio di tipo p (**accettori**) costituisce l'**anodo**,
- ☞ la parte di silicio di tipo n (**donatori**) costituisce il **catodo**.



Caratteristica della giunzione p-n



$$I = I_0 \left(e^{V/V_T} - 1 \right)$$



V_T è un termine che tiene conto delle variazioni del comportamento del semiconduttore in funzione della temperatura; viene definita “tensione termica” e vale 0,026 V a 27 °C

I_0 è una caratteristica del componente

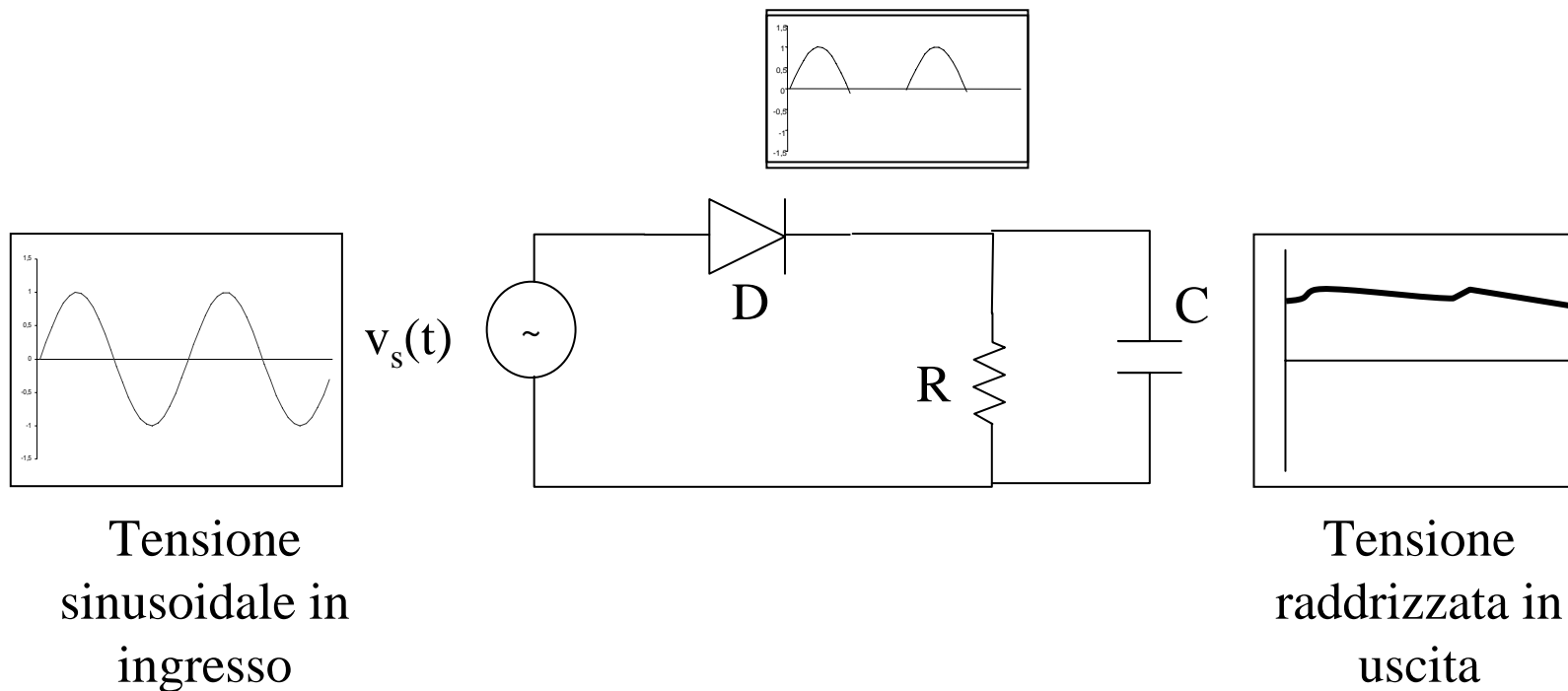
V è la tensione applicata

Il raddrizzatore

Sfruttando la proprietà dei diodi di lasciarsi attraversare dalla corrente solo in un verso, si possono realizzare i **raddrizzatori**.

Un raddrizzatore serve per ottenere un **valore praticamente continuo di tensione** a partire da una tensione alternata.

Schema di un raddrizzatore



Un nuovo componente: il transistor

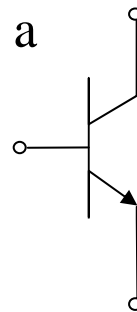
Il diodo a giunzione può raddrizzare una tensione sinusoidale, ma non la può amplificare.

Per poter amplificare una variazione di tensione bisogna usare i **transistor**.

Esistono tipi diversi di transistor.

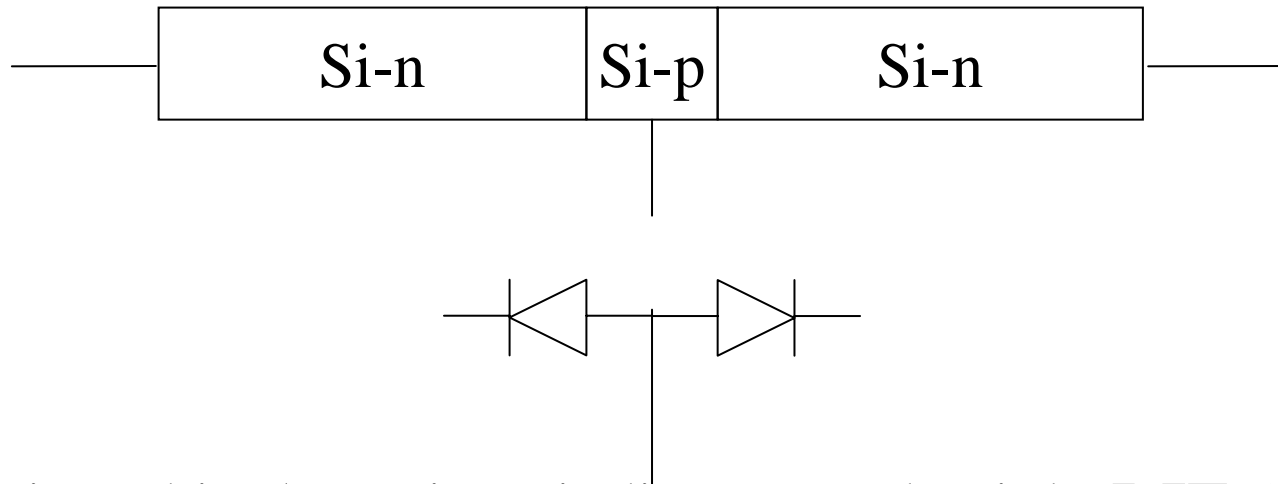
Un particolare tipo di transistor (i transistor bipolari a giunzione) può essere realizzato unendo tra loro due diodi a giunzione.

Transistor bipolare a
giunzione



Il transistor bipolare a giunzione: l'unione di due diodi

Se congiungiamo l'anodo (la parte di tipo p) di due giunzioni p-n otteniamo un **transistor bipolare a giunzione** (tipo NPN)



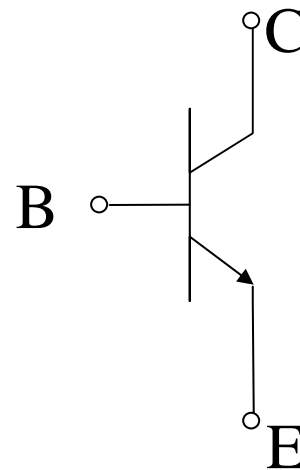
Il transistor bipolare viene indicato con la sigla **BJT** (Bipolar Junction Transistor).

Il transistor bipolare (BJT)

È un dispositivo con **tre** terminali, chiamati:

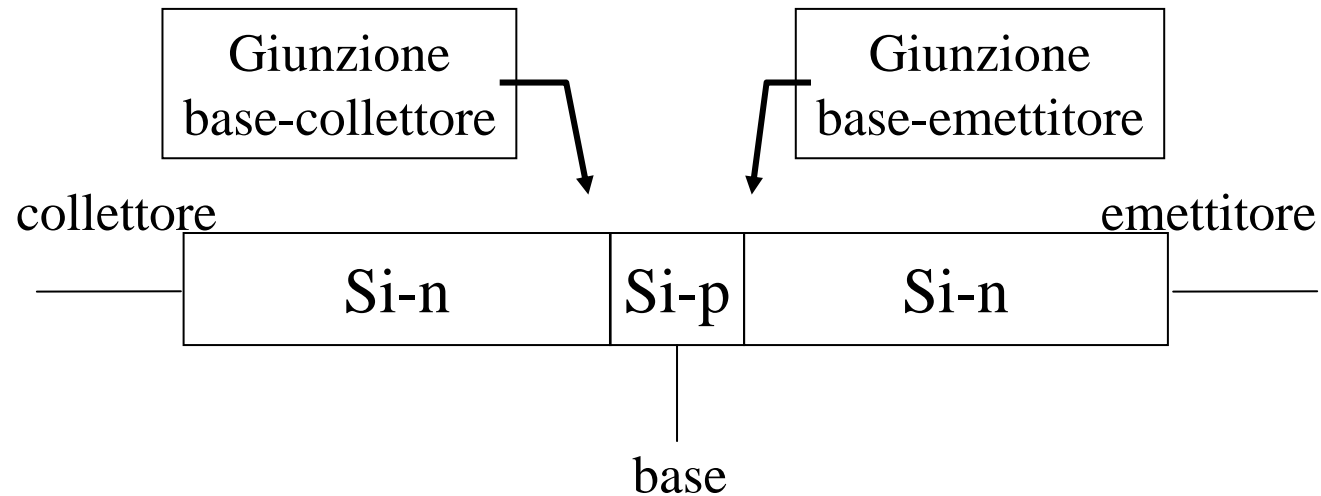
- ☞ Emettitore (E);
- ☞ Base (B);
- ☞ Collettore (C).

Simbolo circuitale del
transistor bipolare



Il BJT ha un comportamento che varia a seconda della tensione applicata alle due giunzioni che lo compongono (la giunzione Base-Emettitore e la giunzione Base-Collettore).

Struttura del BJT



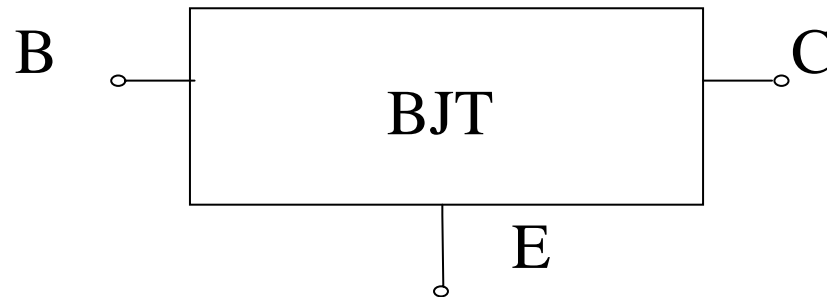
Esistono diverse possibilità di utilizzo del transistor bipolare.

Sfruttando le sue caratteristiche, si può usare:

- ☞ nel campo digitale come interruttore;
- ☞ nel campo analogico come amplificatore.

Un modello per il BJT

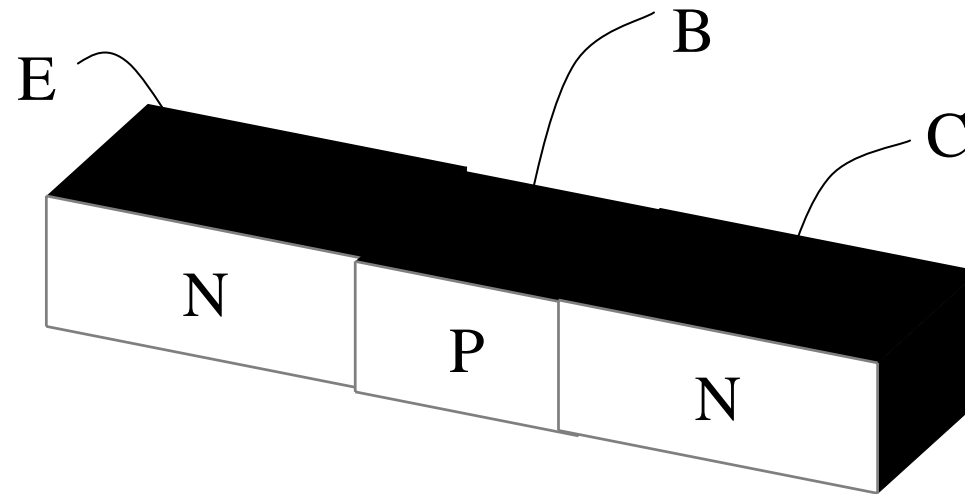
Pensiamo il BJT come una scatola (Black Box), da cui fuoriescono i tre terminali di Base, Emettitore e Collettore.



Se prolunghiamo il terminale di emettitore sia dalla parte della Base che da quella del Collettore, possiamo identificare un **ingresso** e una **uscita** del dispositivo.



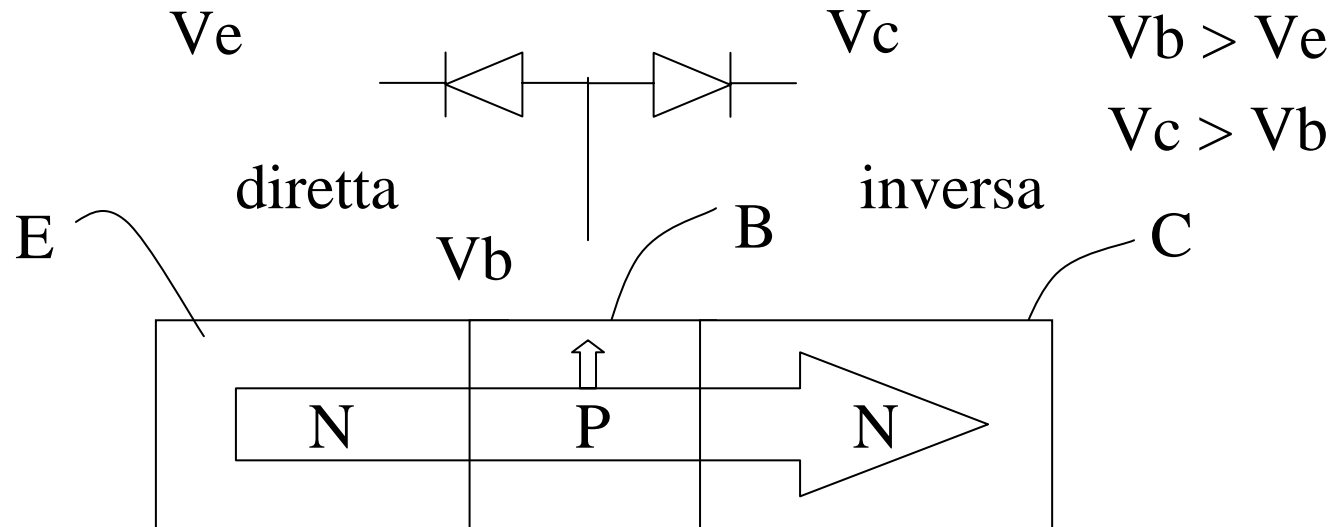
Polarizzazione del BJT



La zona intermedia, sottile, costituisce il terminale di controllo della corrente di uscita nel dispositivo.

Una giunzione viene polarizzata direttamente mentre l'altra inversamente. Se la zona intermedia è sufficientemente sottile, le cariche provenienti dalla prima zona possono essere iniettate nella terza.

Funzionamento del BJT come amplificatore



Movimento delle cariche

A differenza di un normale circuito serie, in tale dispositivo si ha un trasporto di carica agli estremi (corrente) che è determinato dalla polarizzazione della zona di base:
Effetto TRANSISTOR (TRANSfer reSISTOR)

Il transistor bipolare come amplificatore (1)

Quindi polarizzando opportunamente il BJT, la corrente alla porta di uscita (collettore - I_C) risulta essere una copia amplificata della corrente alla porta d'ingresso (base - I_B).

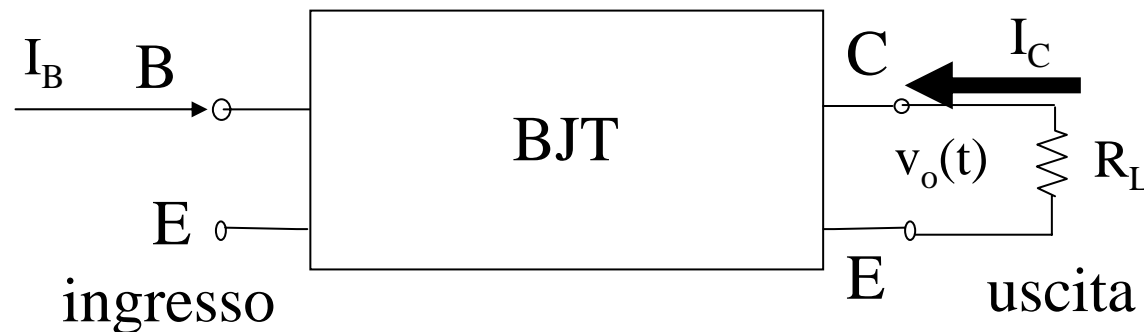


Il rapporto tra la corrente in uscita e la corrente in ingresso prende il nome di **guadagno di corrente del transistor**.

Il transistor bipolare come amplificatore (2)

Sfruttando il guadagno di corrente del transistor, si riesce ad ottenere **un segnale di tensione amplificato**.

Per ottenere l'amplificazione di tensione è sufficiente far passare la corrente della porta d'uscita attraverso un resistore.



Sfruttando la legge di Ohm, si ottiene che il segnale di tensione in uscita $v_o(t)$ è proporzionale alla corrente I_C , che è la copia amplificata della corrente d'ingresso I_B :

$$v_o(t) = R_L * I_C$$