

# IL TRANSISTOR BJT

Il transistor inventato nel 1947, dai ricercatori **Bardeen** e **Brattain**, è il componente simbolo dell'elettronica. Ideato in un primo momento, come sostituto delle valvole a vuoto per amplificare segnali elettronici, è rapidamente diventato parte essenziale di qualsiasi progetto elettronico.

Qualsiasi circuito integrato è composto da un certo numero di transistori opportunamente collegati ed integrati su una piastrina di silicio, accompagnati di solito da altri componenti come diodi, resistori, condensatori, eccetera.

**Transistor** : fusione dei due termini inglesi **Transfer** + **Resistor** (cioè componente a resistenza variabile).

**Bipolar**: definisce quei transistor in cui la conduzione elettrica avviene tramite due portatori di carica (elettroni e lacune) a differenza dei transistori unipolari o ad effetto di campo in cui la conduzione avviene tramite solo elettroni o solo lacune. .

**BJT**: Bipolar Junction Transistor.

**JFET**: Junction Field Effect Transistor

**MOSFET**: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

# FUNZIONAMENTO DI UN BJT

La formazione di un transistor bipolare può essere rappresentata mediante la compenetrazione di due giunzioni P-N.

La giunzione P-N:

- a. se polarizzata direttamente, si comporta come una resistenza di basso valore permettendo il passaggio di una corrente elettrica (vedi diodo);
- b. se polarizzata inversamente, si comporta come un isolante, permettendo esclusivamente il passaggio di una piccola corrente di perdita.

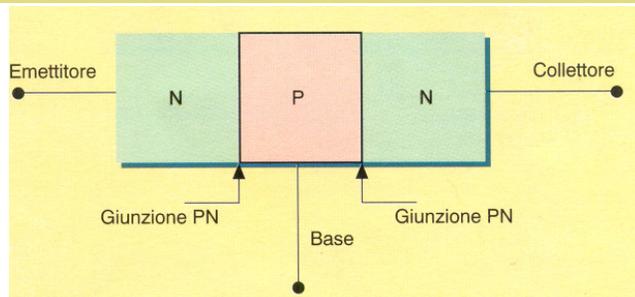
La giunzione P-N è caratterizzata, pertanto, da una tensione  $e$  e da una corrente  $i$  vale a dire da una potenza  $V \cdot I$  che dipende dalla polarizzazione applicata.

Se troviamo un modo per far passare la corrente da questa prima giunzione alla zona N della seconda, alla quale è applicata una tensione maggiore, la potenza disponibile all'uscita sarà molto più grande di quella applicata all'ingresso, pur riproducendo esattamente le variazioni del segnale.

In altre parole : **mediante piccole variazioni della tensione applicata alla giunzione centrale, possiamo controllare una corrente relativamente forte che attraversa la seconda giunzione, alla quale è applicata una tensione maggiore.**

L'effetto è quello di abbassare la resistenza della seconda giunzione, inizialmente molto elevata perché la giunzione è polarizzata inversamente.

# FUNZIONAMENTO DI UN BJT



Vi sono transistor NPN e PNP ; i 3 terminali prendono il nome di emettitore, base e collettore

Considerando un NPN :

- In condizioni di equilibrio, in ognuna delle zone di contatto, si formano le cosiddette zone di carica spaziale (dovute al fenomeno della ricombinazione).
- Se consideriamo le due giunzioni polarizzate:
  - la prima (base- emettitore) direttamente, sarà in grado di condurre corrente elettrica;
  - la seconda (base collettore) inversamente (positivo al collettore), non permetterà il passaggio di corrente.
- Polarizzando l'insieme dei tre blocchi (+ al collettore e – all'emettitore), gli elettroni liberi dell'emettitori vengono respinti dal polo negativo verso il collettore, mentre quelli del collettore vengono attratti dal polo positivo provocando uno spostamento di cariche negative dall'emettitore al collettore. Se poi polarizziamo direttamente la giunzione base–emettitore, mantenendo costante la tensione di collettore, il passaggio di corrente attraverso la prima barriera verrà più o meno facilitato. Solo una parte minima degli elettroni si

## **FUNZIONAMENTO DI UN BJT**

riesce a combinarsi con le lacune presenti in base, a causa del basso drogaggio della base stessa, dando luogo alla corrente  $I_b$ .

Gli elettroni che non si ricombinano, vengono attratti dal potenziale positivo del collettore, malgrado la forte opposizione esercitata dalla giunzione base-collettore polarizzata inversamente, ed attraversandola danno luogo alla corrente  $I_c$ .

La piccola frazione che si presenta al terminale della base è in grado di comandare o modulare la corrente principale che sarà sempre un multiplo di quella di  $I_b$  (da 10 a 200).

L'azione amplificatrice dei transistor è dovuta al fatto che una piccola variazione nella corrente di base genera una grande variazione nella corrente di collettore.

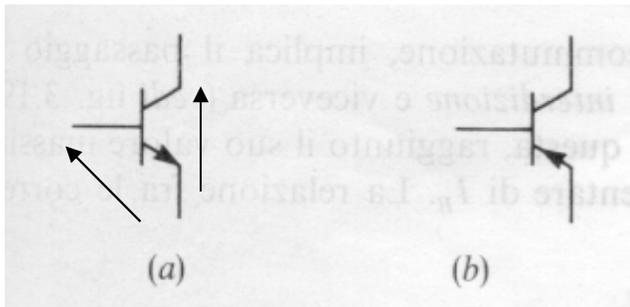
Il fattore di amplificazione  $h_{fe}$  può essere ottimizzato riducendo il più possibile lo spessore della base, in modo che quando l'elettrone supera la barriera base-emettitore possa venire attratto più facilmente dal collettore di maggiori dimensioni e quindi più ricco di cariche positive.

In fase di produzione si fa in modo che la superficie di contatto tra base e collettore risulti maggiore di quella tra base ed emettitore in quanto la potenza dissipata dalla giunzione b-e è parecchio inferiore a quella dissipata dalla giunzione base collettore.

# FUNZIONAMENTO DI UN BJT

La tensione  $V_{be}$  è dell'ordine di alcuni decimi di Volt, mentre quella  $V_{ce}$  è dell'ordine di qualche decina di Volt.

In un PNP sono le lacune i portatori di carica maggioritaria che attraversando la giunzione emettitore-base sono attratte in gran maggioranza dalla maggiore alimentazione negativa del collettore e solo una piccola parte vanno nella base negativa.



NPN

PNP

# FUNZIONAMENTO DI UN BJT

## 1. **Funzionamento normale o in zona attiva:**

giunzione base-emettitore polarizzata direttamente;

giunzione base collettore polarizzata inversamente;

E' caratterizzata da proprietà lineari e il transistor funziona da amplificatore.

Il collettore si comporta da generatore di corrente comandato dalla  $I_b$ , nel senso che una piccola variazione della  $I_b$  genera una grande variazione nella  $I_c$ . E' necessario che sia  $V_{ce} > V_{be}$

## 2. **Funzionamento inverso o in zona attiva inversa:**

giunzione base-emettitore polarizzata inversamente;

giunzione base collettore polarizzata direttamente;

Il transistor non viene mai utilizzato in questo modo, non ha alcuna utilità pratica

## 3. **Funzionamento in zona di saturazione:**

giunzione base-emettitore polarizzata direttamente;

giunzione base collettore polarizzata direttamente;

La  $I_b$  perde il controllo sulla  $I_c$  ed è la  $V_{ce}$  che controlla la corrente di collettore  $I_c$ . (La  $V_{ce}$  è bassa (0,2V) e il collettore e l'emettitore equivagano ad un interruttore chiuso). Per imporre le condizioni di saturazione si usa la relazione:  $I_b > I_{cmax} / h_{femin}$

# FUNZIONAMENTO DI UN BJT

Possiamo distinguere 4 modi di funzionamento a seconda delle polarizzazioni applicate alle giunzioni:

## 4. Funzionamento in **zona di interdizione**:

giunzione base-emettitore polarizzata inversamente;

giunzione base collettore polarizzata inversamente;

Se la  $V_{be}$  non supera la tensione di soglia, la  $I_c$  viene annullata e il BJT si comporta come un interruttore aperto. Per avere l'interdizione del BJT si impone  $V_{be} < 0$

Il transistor viene fatto funzionare in interdizione e in saturazione quando viene utilizzato come commutatore nelle elaborazioni dei segnali digitali (vedi Transistor Switching).

Nel transistor in zona attiva si ha  **$I_c = \alpha I_E + I_{cb0}$**

**Con  $I_{cb0}$**  corrente inversa di saturazione della giunzione base-collettore che, se trascurata, si avrà:

$$I_C = \alpha I_E = \alpha (I_C + I_B)$$

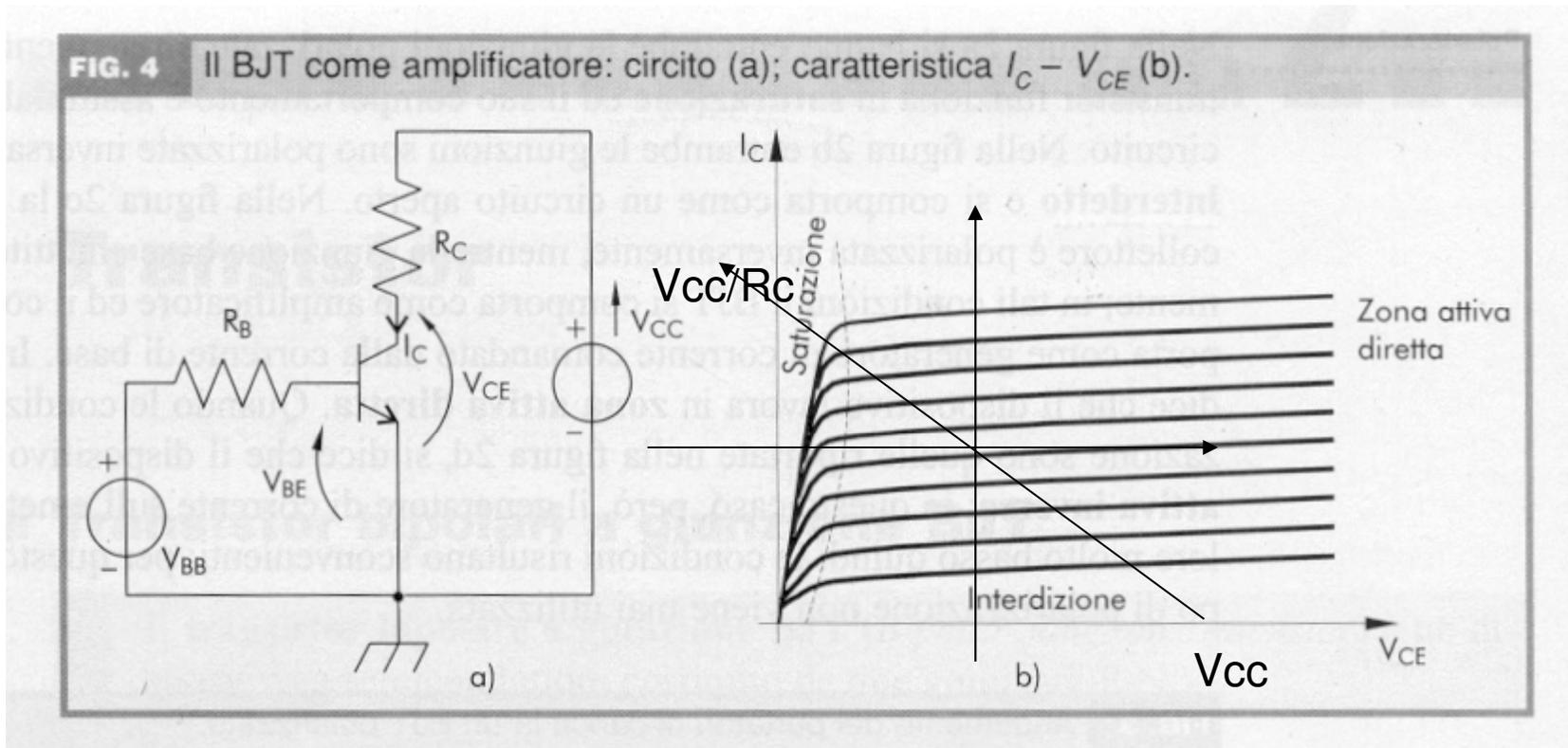
da cui

$$I_C = \frac{\alpha}{1 - \alpha} I_B = \beta I_B$$

(Con  $\beta$  = guadagno di corrente statico (con valori compresi tra 40 e 400))

# FUNZIONAMENTO DI UN BJT

Spesso al posto di  $\beta$  si usa  $h_{fe}$ .



# COMPORAMENTO DEL BJT

Sul comportamento del transistor influiscono tutti i componenti esterni ad esso collegati i quali lo forzano a lavorare in determinate condizioni e che, soprattutto ne stabiliscono il “**punto di lavoro**” dal quale dipende appunto il modo di funzionamento del componente.

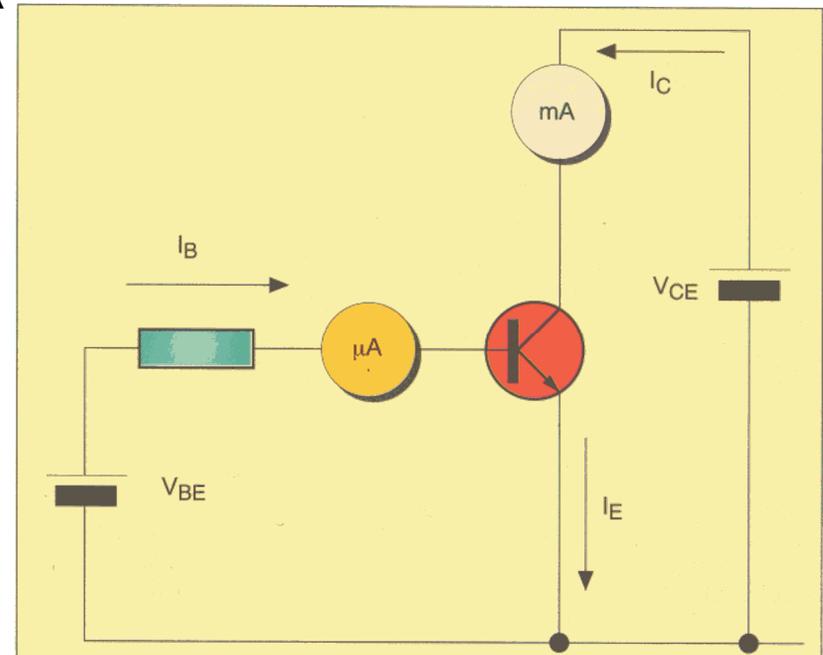
Per analizzare il funzionamento del transistor in continua ed in alternata, è necessario applicare una serie di tensioni continue tra i suoi terminali, cioè, è necessario polarizzarlo adeguatamente in zona attiva. Si passa, pertanto, allo studio del suo **comportamento in continua**:

Considerando un NPN occorrerà fornire:

- Una prima tensione tra base e massa (che coincide in questo caso con l'emettitore):  $V_{be}$
- Una seconda tensione tra collettore ed emettitore:  $V_{ce}$ .

Tra la prima alimentazione  $V_{be}$  e la base del transistor inseriamo un resistore per limitare la corrente  $I_b$  e proteggere la giunzione base-emett.

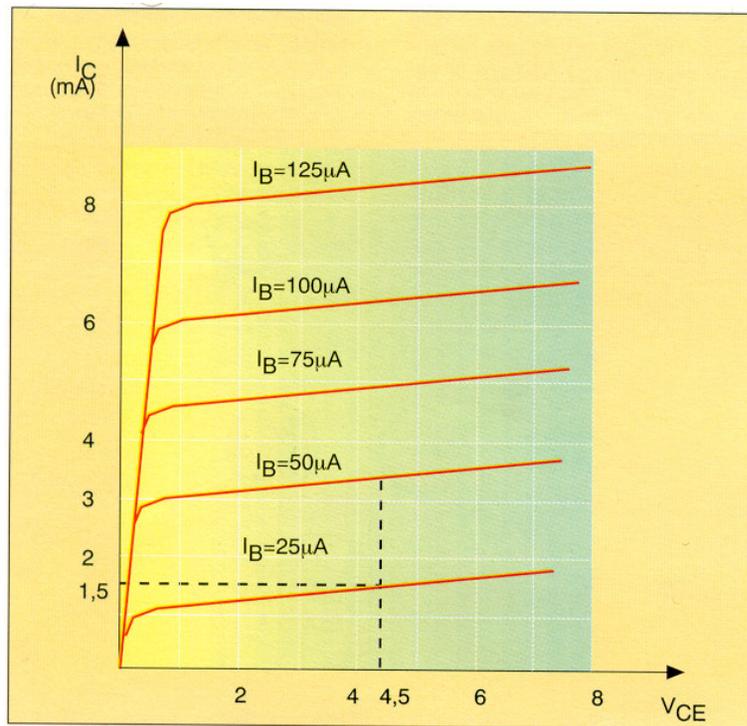
Lo stesso discorso vale per il collettore.



# COMPORAMENTO DEL BJT

Fornendo alimentazione, pertanto, nascono, attorno al transistor, delle tensioni e delle correnti, che sono quelle che utilizzeremo per studiarne il comportamento:  $V_{be}$ ,  $V_{ce}$ ,  $V_{cb}$ ,  $I_b$ ,  $I_c$ ,  $I_e$ .

Tra tutte le relazioni possibili con queste variabili ci interessa soprattutto quella che stabilisce la variazione della  $I_c$  in funzione della  $V_{ce}$ , mantenendo costante la  $I_b$  (**caratteristica d'uscita**).



Per determinati valori di  $I_b$ , si possono tracciare curve di risposta parallele, il che rivela che l'amplificazione in corrente si mantiene pressoché lineare. Il gomito delle varie curve, le ricongiunge tutte nel punto di origine, e corrisponde alla zona di  **saturazione**, vale a dire quando il collettore si trova in condizioni di ricevere tutti (o quasi) gli elettroni inviati dall'emettitore.

In questa zona si ha  $V_{ce} = 0,2V$ .

Ricordiamo che  $h_{fe} = I_c / I_b$

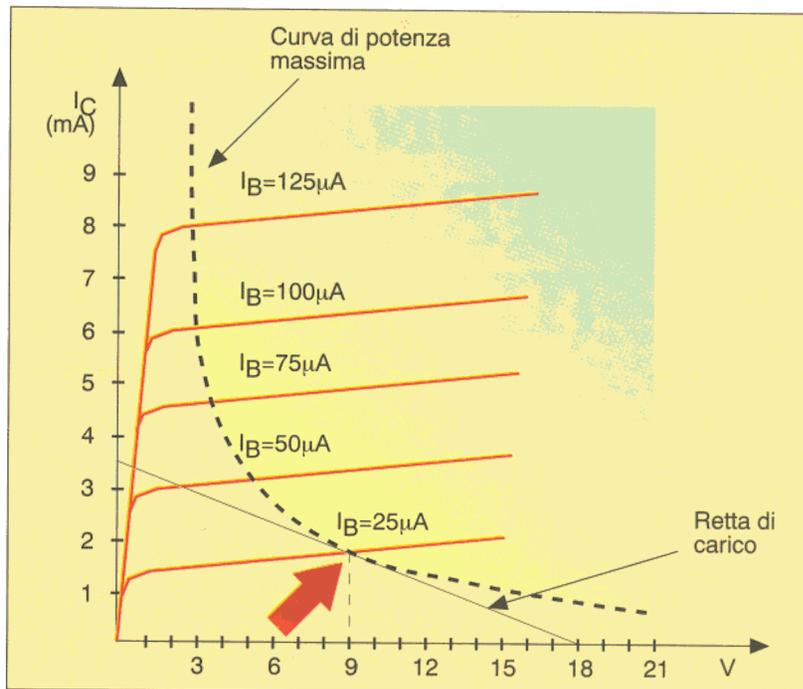
# COMPORTAMENTO DEL BJT

Il transistor come qualsiasi altro componente al quale si applica una tensione e attraverso il quale passa una certa corrente, consuma o meglio dissipa una certa potenza, data da  $V_{ce} \cdot I_c$ .

La corrente che circola nel transistor è anche funzione della resistenza di collettore  $R_c$ .

In figura notiamo la retta di carico in funzione di una  $R_c$  e ricavata per una determinata tensione di alimentazione (9V), che risulta tangente alla curva di potenza massima.

E poiché quest' ultima curva ci delimita la zona di lavoro del transistor, quella sottostante se vogliamo evitare la sua distruzione, la retta di carico



mi fornisce la resistenza minima di collettore che possiamo montare per non portare il transistor a lavorare nella zona di sovraccarico.

Volendo impiegare il transistor come amplificatore di segnale, la zona di saturazione non viene presa in considerazione perché introduce distorsioni. Risulta indispensabile se viene usato come circuito di commutazione.

# COMPORTAMENTO DEL BJT

Uno degli inconvenienti che si presentano quando si lavora con i transistor è dato dal fatto che il transistor risulta sensibile alle variazioni di temperatura le quali possono spostare il punto di lavoro portando il transistor a lavorare in zone proibite e spesso alla sua distruzione.

Per evitare questo sono stati studiati vari circuiti di compensazione a base di termistori (resistori il cui valore varia in funzione della temperatura), diodi ed altri componenti.

Quando il transistor è chiamato ad operare con **segnali alternati**, dobbiamo tenere conto che la zona di funzionamento non è più un unico punto di lavoro, in quanto questo si sposta attorno al punto di riposo in base al segnale applicato esternamente. Pertanto, nel progettare il circuito, dovremo fare in modo che il transistor si trovi a funzionare all'interno della sua zona sicura anche nelle condizioni più sfavorevoli ed in presenza della tensione istantanea più critica.

Se ciò avverrà, il segnale di uscita risulterà la copia ingrandita di quello applicato all'ingresso, viceversa sarà affetto da un certo tasso di distorsione.

A seconda di come vengono collegati i suoi terminali rispetto a quelli di ingresso e di uscita del circuito stesso, il transistor viene usato in 3 tipi di configurazioni:

# CONFIGURAZIONI DEL BJT

La **configurazione ad emettitore comune** prevede la base come terminale di ingresso e il collettore come uscita.

La **configurazione a collettore comune** prevede la base come ingresso e l'emettitore come uscita.

La **configurazione a base comune** prevede l'emettitore come ingresso e il collettore come uscita.

Ognuna di queste configurazioni presenta particolari caratteristiche, favorevoli o sfavorevoli a seconda dell'uso a cui sono destinati e quindi utilizzeremo quella richiesta dalle necessità specifiche di progettazione.

# CONFIGURAZIONI DEL BJT

Ogni circuito è caratterizzato dai seguenti parametri fondamentali:

1. **L'impedenza d'ingresso** data dal rapporto tra tensione e corrente d'ingresso  $Z_i$ ;
2. **L'impedenza d'uscita** data dal rapporto tra tensione e corrente di uscita,  $Z_u$ ;
3. **Guadagno in tensione** dato dal rapporto tra tensione di uscita e tensione d'ingresso  $A_v = V_o/V_i$
4. **Guadagno in corrente** dato dal rapporto tra corrente di uscita e corrente d'ingresso  $A_i = I_o/I_i$
5. **Guadagno in potenza**

I primi due sono molto importanti al momento di interfacciare i vari stadi di un circuito, in quanto il trasferimento del segnale da uno stadio all'altro risulta massimo quando la  $Z_u$  dello stadio precedente è uguale alla  $Z_i$  dello stadio successivo. Più la differenza tra le due impedenze aumenta, più si perde segnale nel trasferimento da uno stadio al successivo.

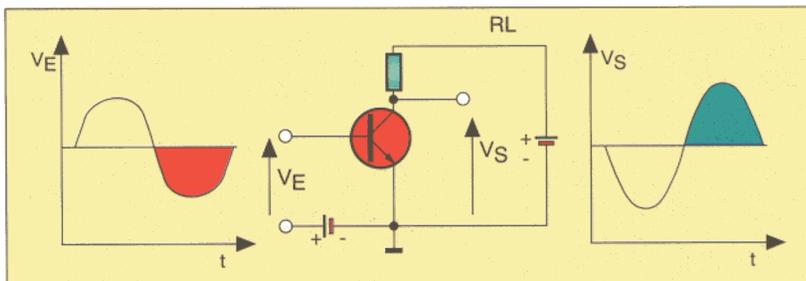
# CONFIGURAZIONI DEL BJT

Il circuito ad emettitore comune è quello più utilizzato, in quanto presenta alti valori di guadagno in tensione e in corrente, e il più alto valore di guadagno in potenza.

La differenza tra le impedenze d'ingresso e di uscita non è troppo elevata il che facilita l'interconnessione di più stadi in cascata, senza ricorrere a reti adattatrici di impedenze, semplificando non di poco il circuito.

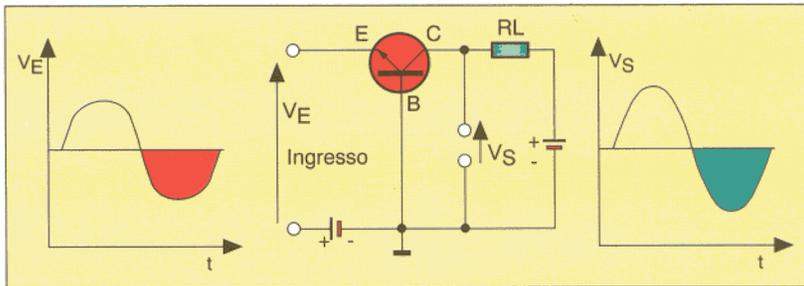
Un esempio sono i circuiti di amplificazione in cui ogni stadio si prende carico di amplificare solo di un certo tasso il livello del segnale di ingresso fino ad ottenere la potenza d'uscita desiderata.

*Configurazione ad emettitore comune. E' quella che assicura un maggior guadagno.*



# CONFIGURAZIONI DEL BJT

*Configurazione a base comune. L'amplificazione non è notevole.*

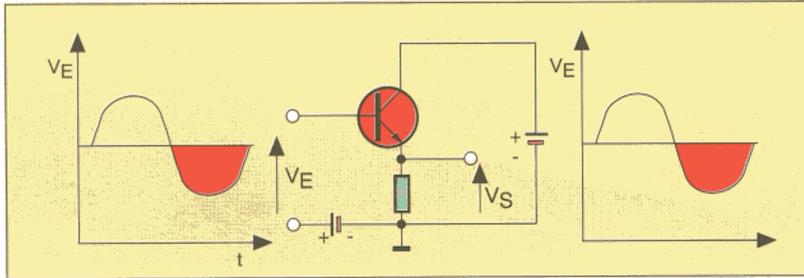


Presenta una bassa  $Z_i$  e un'alta  $Z_u$ . E' dotato di un alto guadagno in tensione mentre quello in corrente è inferiore all'unità, ne consegue che anche il guadagno in potenza risulta piuttosto basso.

Viene utilizzato ad alte frequenze dove le capacità parassite interne ad ogni transistor giocano un ruolo importante. L'influenza della temperatura è minima in quanto così montato sopporta alte temperature.

# CONFIGURAZIONI DEL BJT

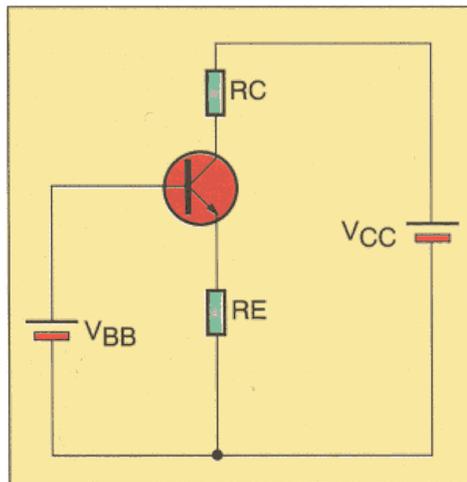
*Configurazione a collettore comune. L'amplificazione non è notevole.*



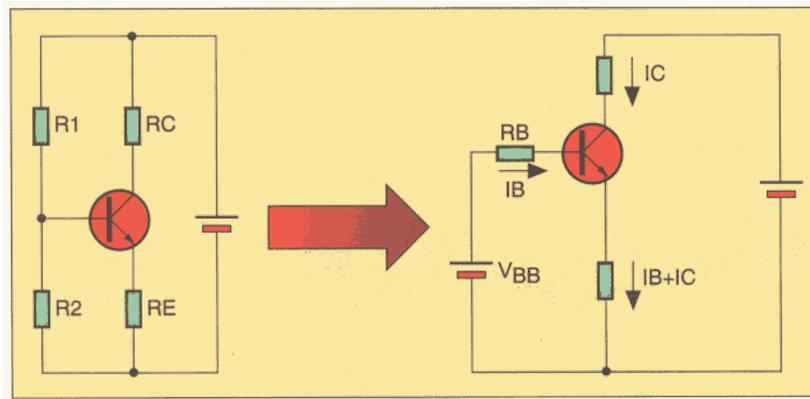
Possiede un'alta  $Z_i$  e una bassa  $Z_u$ , il che lo fa preferire come adattatore di impedenza, passando sotto il nome di emitter follower. Tali circuiti si trovano negli stadifinali audio onde permettere l'accoppiamento del resto dell'amplificatore all'altoparlante la cui impedenza è notoriamente bassa. (Così facendo l'impedenza d'uscita e d'ingresso grossomodo si equivalgono).

La configurazione presenta un certo guadagno in corrente mentre quello in tensione è inferiore all'unità, per cui anche il guadagno in potenza risulta essere piuttosto basso.

# CONFIGURAZIONI DEL BJT



*Circuito di compensazione in temperatura. La resistenza di emettitore, rende più stabile il funzionamento del transistor in presenza di variazioni di temperatura.*



*Circuito di compensazione di temperatura autopolarizzato e suo circuito equivalente.*

# CONFIGURAZIONI DEL BJT

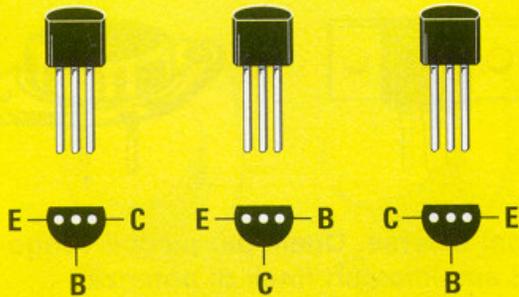


Fig.416 I tre terminali che fuoriescono dal corpo del transistor possono essere disposti E.B.C oppure E.C.B o anche C.B.E.

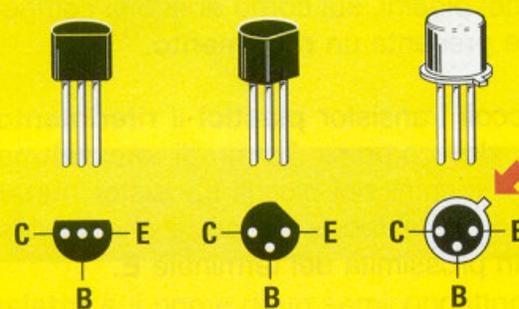


Fig.417 Per individuare i terminali E.B.C si prende come riferimento la forma a mezzaluna del corpo o la tacca metallica.

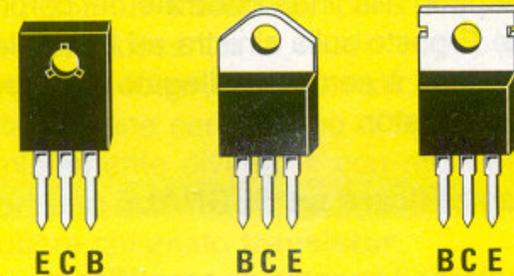


Fig.418 Nei transistor di media potenza si prende come riferimento la parte metallica posta sempre dietro al loro corpo.

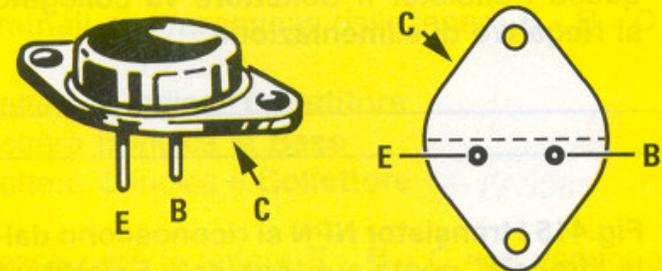


Fig.419 Nei transistor di potenza i terminali E-B sono collocati sotto alla linea centrale e il C sul metallo del corpo.