

# Il Transistori BJT

## Lezione 2

### Le Caratteristiche del BJT

Come già detto nella lezione precedente la configurazione più usata è quella ad emettitore comune, nello schema è stata utilizzato un transistor npn, per un transistor di tipo pnp bisognerà invertire i generatori, le correnti avranno il verso invertito.

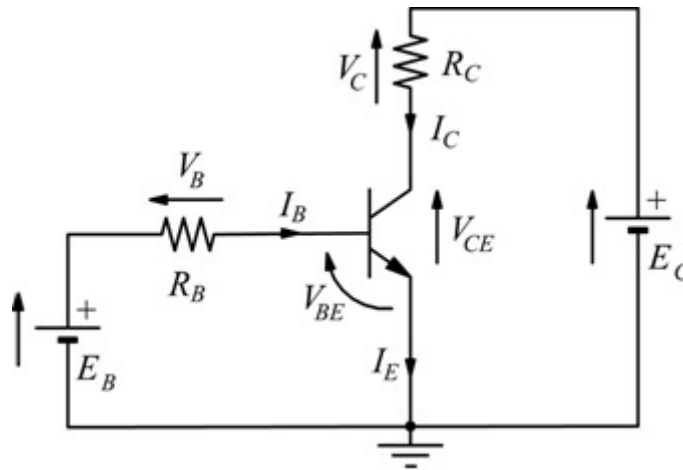


Fig 1

Il collegamento per il funzionamento di un transistor npn, è quello disegnato in fig 1.

Essendo in completa analogia col caso pnp (vedi fig 1 lezione 1) possiamo quantificare:

$$\begin{cases} I_C = \alpha I_E + I_{CBO} & \longrightarrow & I_C = \frac{\alpha I_B}{1 - \alpha} + I_{CBO} \\ I_B = (1 - \alpha) I_E \\ I_E = I_C + I_B \end{cases}$$

ricordando che  $\alpha \cong 0,9 \div 0,99$  si trascura  $I_{CBO}$  e si pone:

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad \text{da cui} \quad I_C = \beta I_B \quad \text{più propriamente si approssima} \quad I_C = h_{FE} I_B$$

$h_{FE}$  = guadagno di corrente continua con  $h_{FE} = 100 \div 1000$ .

Nella pratica è considerata lecita l'approssimazione  $\beta = h_{FE}$ .

Dal punto di vista circuitale, il dispositivo può essere diviso in due zone fig 2:

- la maglia di ingresso (zona verde) : caratterizzata dalle variabili  $V_{BE}$  ed  $I_B$ .
- la maglia di uscita (zona gialla): caratterizzata dalle variabili  $V_{CE}$  ed  $I_C$ .

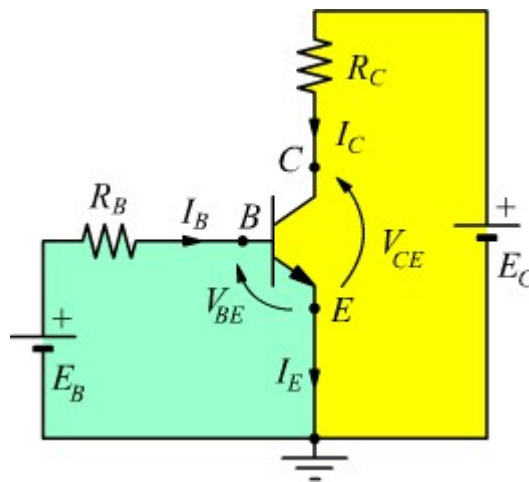


Fig 2

**La caratteristica di Ingresso**

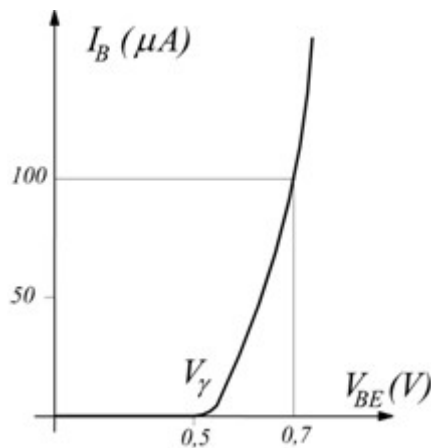
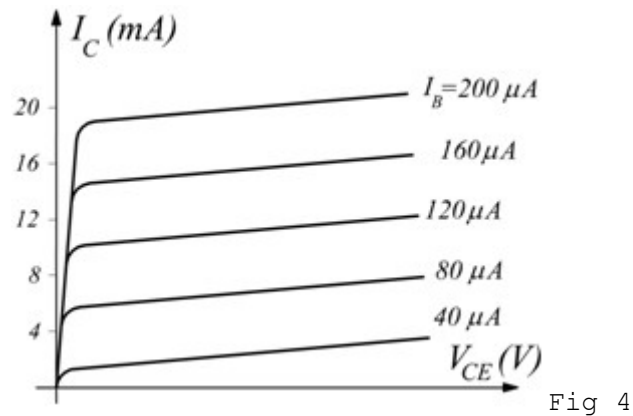


Fig 3

Rappresentano l'andamento della corrente  $I_B$  in funzione della  $V_{BE}$  quindi ci si riferisce alla giunzione  $J_e$  fra base ed emettitore, polarizzata direttamente; la caratteristica è inevitabilmente quella di un diodo con tensione di soglia  $V_\gamma = 0,5V$ , per un funzionamento normale si assume un valore  $V_{BE} = 0,7 V$  fig 3

**La caratteristica di uscita**



Rappresentano l'andamento della corrente  $I_C$  in funzione della  $V_{CE}$  per valori costanti di  $I_B$ , si tratta dunque, di una famiglia di curve. L'intersezione fra la retta di carico e la caratteristica di uscita (per un assegnato valore di  $I_B$ ) individua il punto di lavoro del transistor che raggiunto quello stato si dice polarizzato.

### La polarizzazione del transistor

La polarizzazione del transistor viene ottenuta dal circuito precedente andando ad individuare sulle caratteristiche di uscita l'intersezione fra la retta di carico e la curva di uscita corrispondente fig 5.

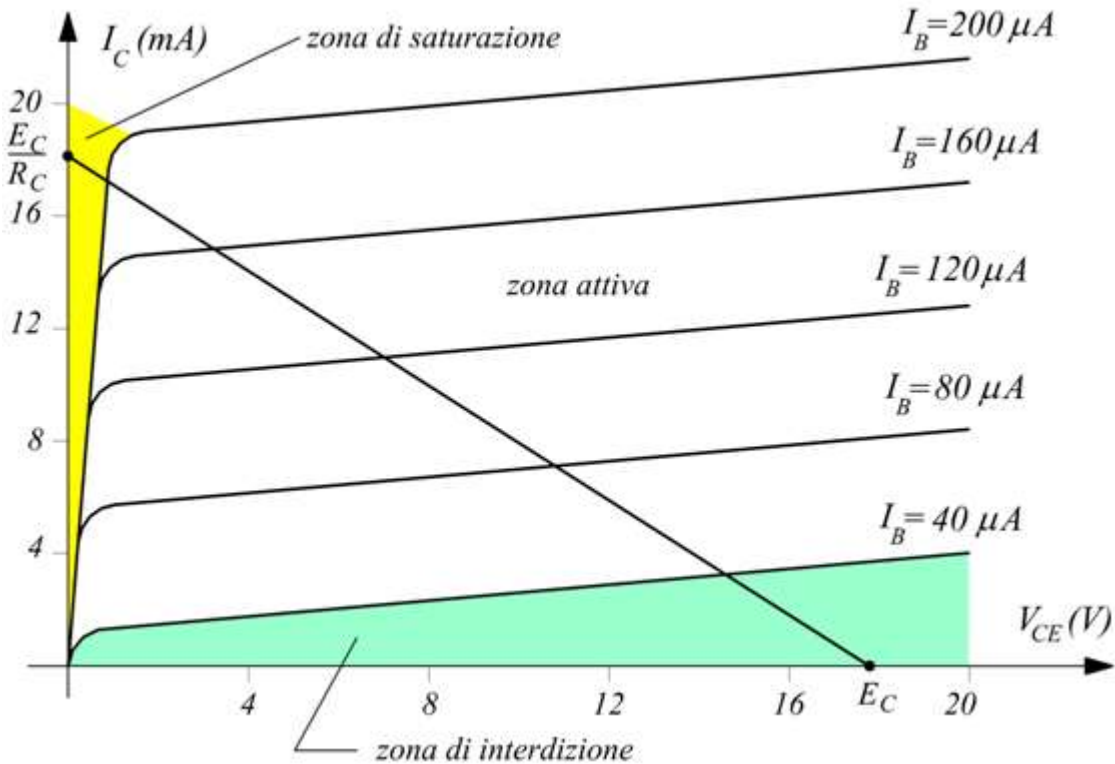


Fig 5

Nella figura 5 possiamo notare:

- zona attiva: è la zona centrale delle caratteristiche di uscita, detta anche di funzionamento lineare (utilizzata per amplificare un segnale)
- zona di saturazione: con bassi valori di VCE in cui l'insieme delle curve di uscita tendono a confondersi in un unico tratto quasi verticale.
- zona di interdizione: pressoché coincidente con l'asse delle ascisse in cui sia IB che IC hanno valori trascurabili.

Se si vuole usare il BJT come amplificatore quindi in modo lineare, il punto di lavoro deve essere scelto opportunamente all'interno della zona attiva, preferibilmente al centro e applicando un segnale che non deve superare la parte lineare o meglio non deve toccare la zona di interdizione e saturazione.

Se si vuole usare il BJT come interruttore il punto di lavoro può solo commutare fra la zona di interdizione e la zona di saturazione.

Approfondimento	
$E_C = V_C + V_{CE} \longrightarrow R_C I_C = -V_{CE} + E_C \longrightarrow V_C = E_C - V_{CE}$	
$I_C = -\frac{1}{R_C} V_{CE} + \frac{E_C}{R_C}$	$\begin{cases} V_{CE} = 0 \longrightarrow I_C = \frac{E_C}{R_C} \\ I_C = 0 \longrightarrow V_{CE} = E_C \end{cases}$

## Polarizzazione con partitore di base

Nel circuito di polarizzazione precedente si nota la presenza di due batterie di alimentazione (EB, EC). Volendo realizzare un circuito di polarizzazione con un solo terminale di alimentazione si può ricorrere allo schema di figura 6.

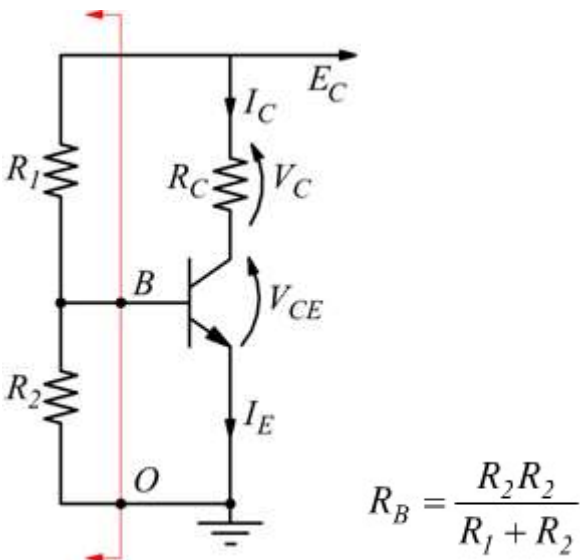


Fig 6

Nei circuiti di polarizzazione, al fine di ottenere una stabilizzazione del punto di lavoro viene introdotta una resistenza sull'emettitore, RE ha il compito di ridurre la dipendenza del punto di lavoro dalle variazioni di VBE con l'aumento della temperatura fig 7.

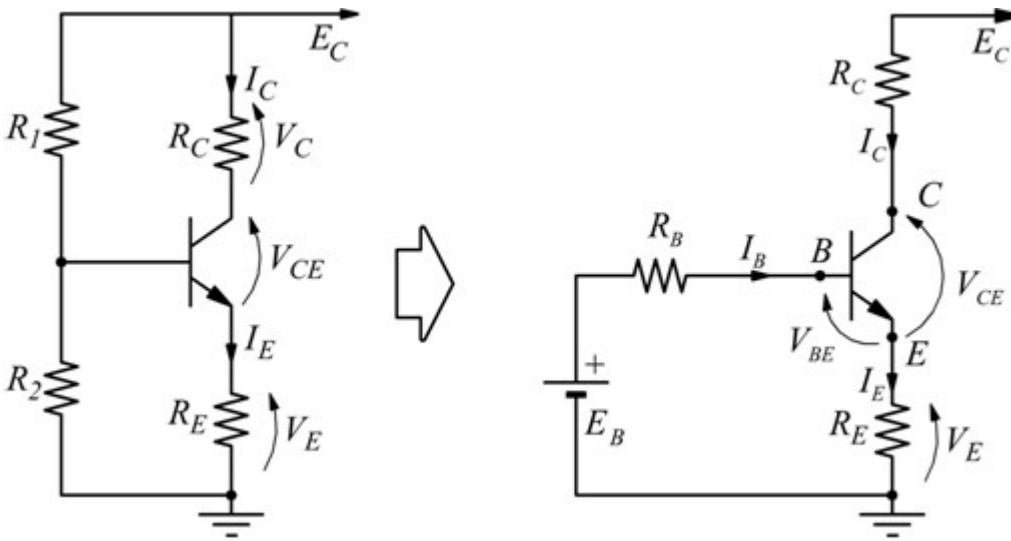


Fig 7

Per ottenere la retta di carico dovremo tener conto anche della RE fig 8

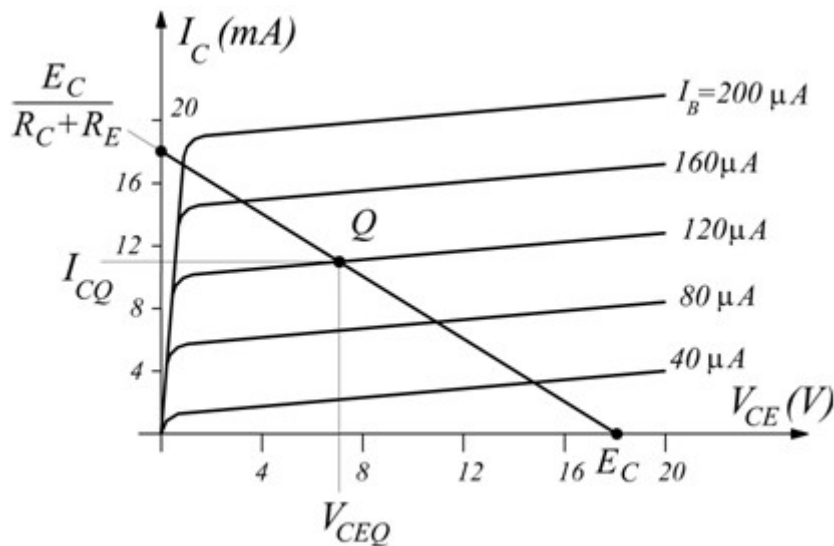


Fig 8

### Il transistor come interruttore (ON OFF)

Come precedentemente accennato osservando le caratteristiche di uscita di un transistor si riconoscono tre zone di funzionamento:

- la zona di attiva, dove il transistor viene usato come amplificatore
- la zona di saturazione dove il valore della VCE è molto basso
- la zona di interdizione, prossimo all'asse delle ascisse, in cui sia IB che IC sono trascurabili

Vedi fig 9

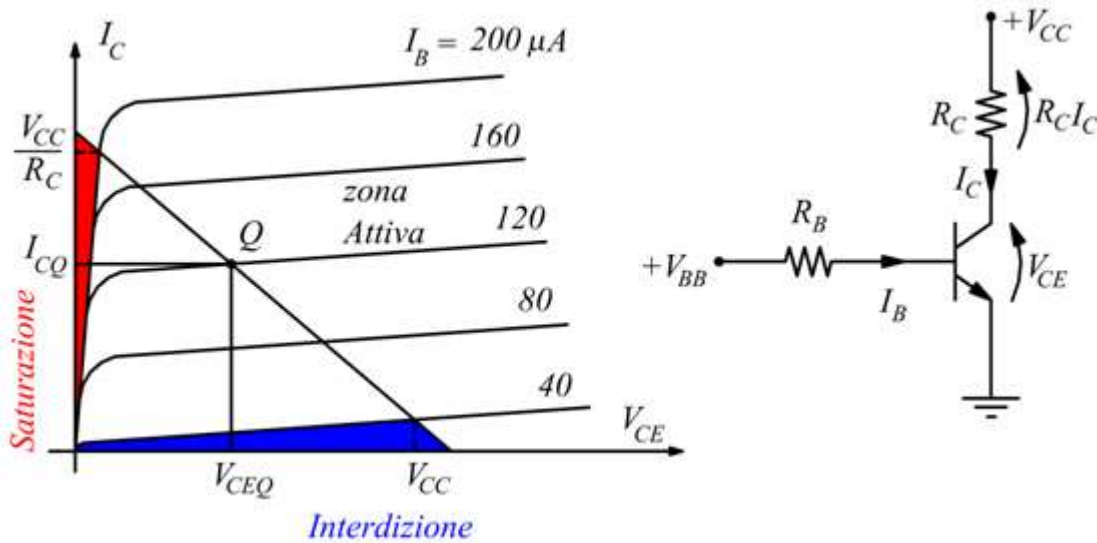


Fig 9

A seconda del tipo di applicazione che si vuole costruire possiamo portare il transistor nella zona che vogliamo, semplicemente modificando il valore di  $I_B$ .

**Zona attiva**

In questa zona, la giunzione base-emettitore, risulta polarizzata direttamente con una tensione tipica di 0,7V, mentre la giunzione base-collettore è polarizzata inversamente.

**Zona di saturazione**

Aumentando il valore di  $I_B$  si vede come il punto P si sposta verso l'alto, il valore di  $I_C$  aumenta, mentre  $V_{CE}$  diminuisce fino a raggiungere la zona di saturazione indicata.

**Zona di interdizione**

Diminuendo il valore di  $I_B$  il punto di funzionamento P si sposta verso valori di  $I_C$  sempre più bassi, finché non giunge nella zona di interdizione. Per ottenere ciò si deve avere  $I_B \cong 0$ . In pratica  $V_{BE} < V_\gamma$  la giunzione base-emettitore deve essere polarizzata negativamente. Quindi per interdire un transistor, si porta  $V_{BE}$  a 0 o ad un valore leggermente negativo.

Quando il transistor viene usato come interruttore, il dispositivo viene usato facendolo commutare fra la zona di saturazione e la zona di interdizione.

**Stato ON**

Quando viene portato in zona di saturazione, il transistor presenta una  $V_{CE}$  molto bassa, esso viene considerato un interruttore chiuso (ON) fig 10.

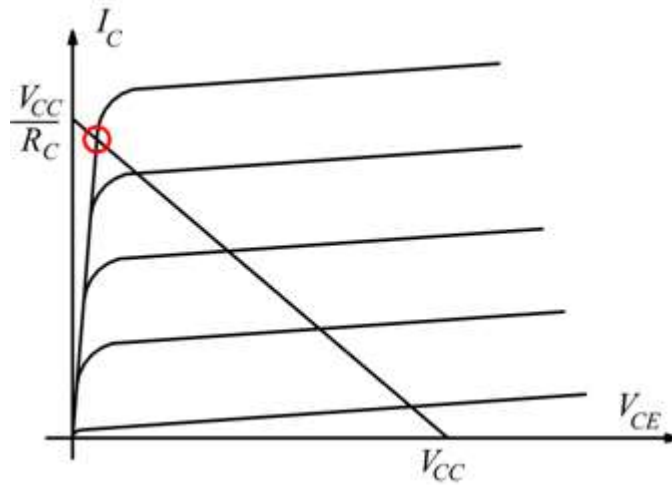


Fig 10

**Stato OFF**

si ottiene portando il transistor in interdizione, in questo caso infatti  $I_C$  come pure  $I_B$ , sono

considerate nulle. Per ottenere ciò è necessario  $V_{BE} < V_\gamma$  o più semplicemente  $V_{BE} \leq 0$  Fig 11

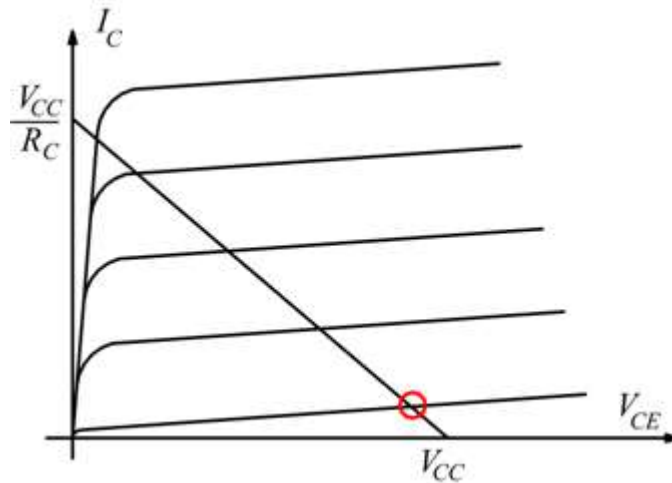


Fig 11

**Il Transistor come amplificatore**

Un amplificatore a transistor rientra nella categoria dei circuiti analogici caratterizzati dal fatto che il segnale di uscita deve poter variare in modo continuo, legato alle variazioni del segnale di ingresso.

Come precedentemente accennato il buon funzionamento del circuito nei confronti del segnale dipende dalla scelta del punto di polarizzazione (punto di riposo) della sua stabilità. Il circuito che andiamo ad esaminare è quello di fig 2

Il punto di funzionamento sulla caratteristica di uscita è determinato dall'intersezione tra la retta di carico e il valore della corrente di base.

Quando il transistor è polarizzato in zona attiva Fig 9 (cioè il suo punto di lavoro si trova in zona attiva) esso può funzionare da amplificatore; cioè diventa un dispositivo in grado di trasformare un segnale di ingresso a basso livello, proveniente da un trasduttore, in uno ad alto livello su un generico utilizzatore di uscita .



Supponendo di sovrapporre al punto di lavoro in continua la variazione dinamica in ingresso  $\Delta I_B$ , provocata dalla presenza di un generatore di segnale vi produrremo in uscita una variazione di corrente  $\Delta I_C$  e di tensione  $\Delta V_{CE}$ . In ragione delle caratteristiche del transistor la tensione dinamica di uscita risulterà amplificata (in ampiezza) rispetto alla forma d'onda della tensione di ingresso Fig 12.

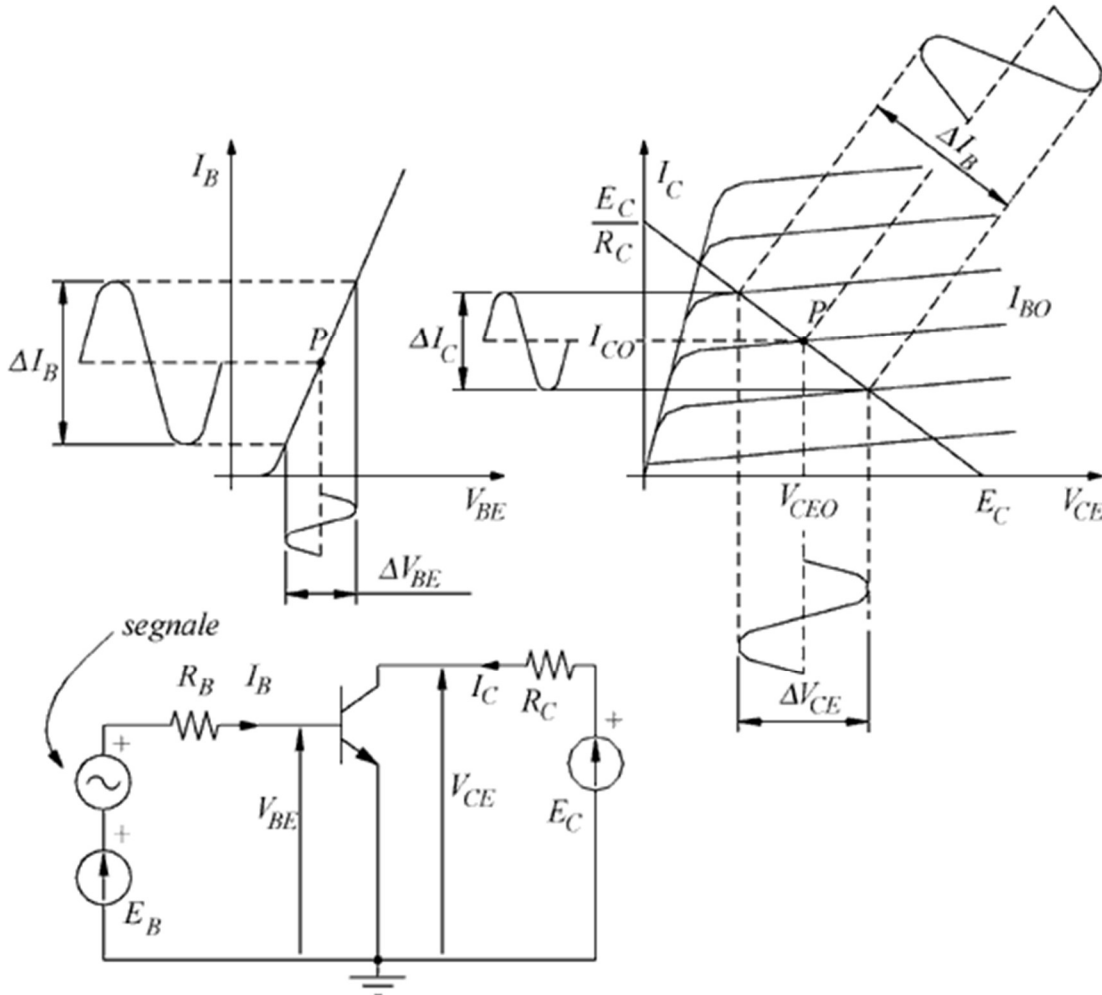


Fig 12

Dal punto di vista pratico il transistor ci permette di manipolare un segnale dinamico in ingresso (ad esempio una forma d'onda alternata sinusoidale) e di trasferirlo in uscita opportunamente amplificato (alla stessa frequenza, ma non sempre con la stessa fase).

Il funzionamento del transistor deve essere studiato anche dal punto di vista dinamico (regime dinamico).

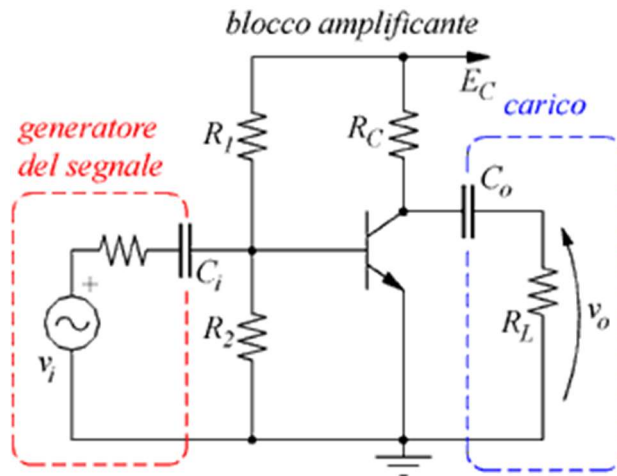


Fig 13

Noi ci limiteremo guardando solo il lato pratico fig 13, connettendo il blocco amplificante, alla sorgente del segnale è necessario che la polarizzazione del transistor non influenzi il generatore, questo avviene interponendo il condensatore di accoppiamento  $C_i$ .

Allo stesso modo il carico RL verrà connesso all'uscita del transistor tramite il condensatore  $C_o$ . L'uso dei condensatori di accoppiamento è fondamentale; alle medie frequenza essi costituiscono un corto circuito per il segnale variabile, mentre sono permanentemente un circuito aperto per la continua, che non riesce ad attraversarli e che quindi condiziona solo il blocco amplificante assicurandone la polarizzazione.

Il segnale, invece, superando i condensatori, raggiunge il blocco amplificante, sovrapponendosi al punto di lavoro (in continua) del transistor, esso si presenta amplificato in uscita sulla resistenza di carico RL.

Lo studio del funzionamento dinamico, prescinde, ovviamente dalla tensione continua, essa dal punto di vista dinamico viene assimilata alla massa. Applicando questo principio, otteniamo il circuito dinamico alle medie frequenze fig 14:

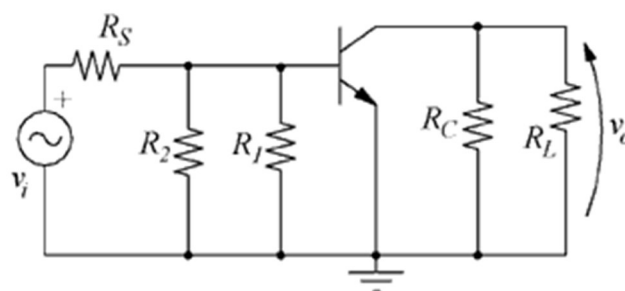


Fig 14

Precedentemente abbiamo visto che per ottenere una sufficiente stabilizzazione del punto di lavoro, occorre ridurre la sua dipendenza dalle variazioni di  $V_{BE}$  con l'aumento della temperatura, per tale motivo viene inserita  $R_E$ , per fare in modo che non influenzi lo studio dinamico, in parallelo vien collegato un condensatore  $C_E$  per il quale valgono le stesse considerazioni di  $C_i$  e  $C_o$ .