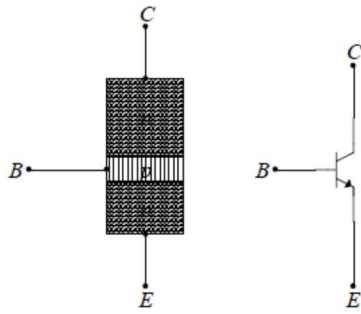


15 - Transistor Bipolare

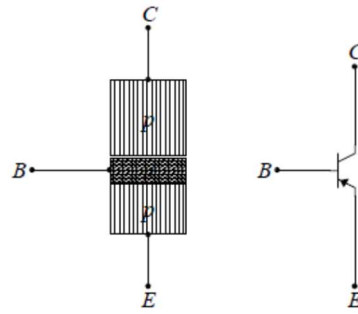
Bipolar Junction Transistor \equiv *BJT*; Transistor \equiv *Transfer Resistor*

Dispositivo a 3 terminali (cfr. diodo: 2 terminali)

2 tipi: NPN , PNP

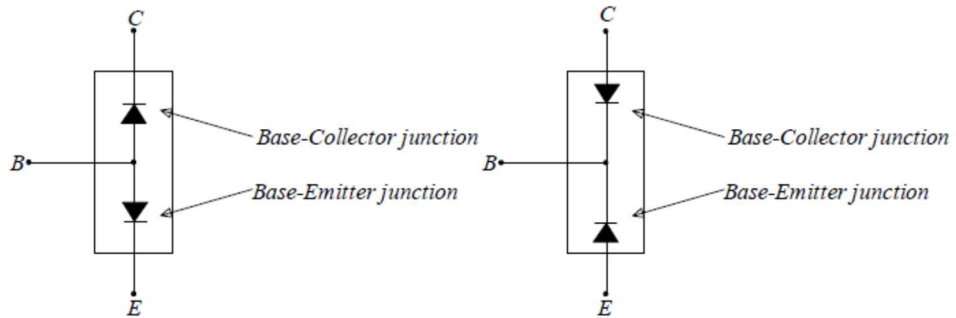


(a) *npn* transistor



(b) *pnp* transistor

2 giunzioni *pn*, 'back to back':



Tuttavia: Non equivalente a 2 diodi collegati insieme!

Utile come modello circuitale per alcuni scopi,
 ma con 2 diodi non si fa un transistor..

2 giunzioni, BE e BC: ognuna in polarizzazione diretta/inversa

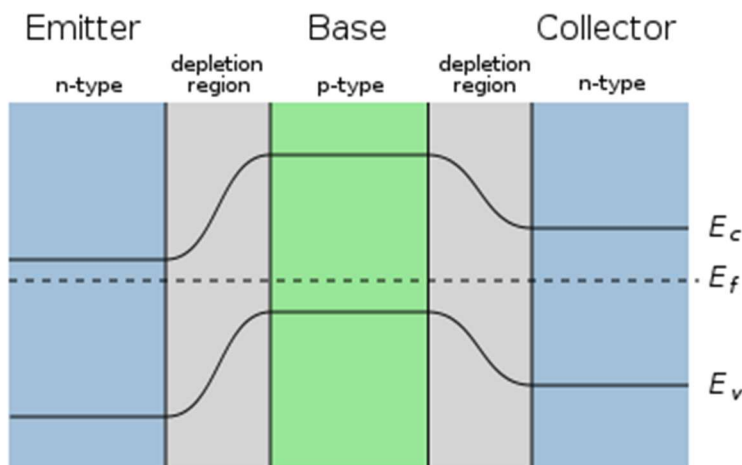
→ 4 possibili modi di funzionamento

| | |
|------------------------|-----------------------------|
| <i>BE On / BC Off</i> | <i>BE On / BC On</i> |
| <i>Zona lineare</i> | <i>Saturazione</i> |
| <i>BE Off / BC Off</i> | <i>BE Off / BC On</i> |
| <i>Interdizione</i> | <i>Zona lineare inversa</i> |

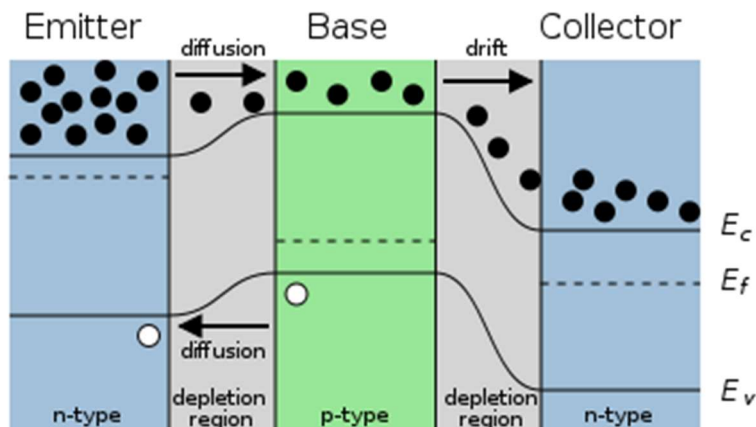
NB Zona lineare inversa: Ottenibile in principio per scambio $C \leftrightarrow E$

Costruzione del *BJT* non simmetrica → Non utilizzabile/usata

No polarizzazione → Equilibrio:



Zona attiva:



Effetto transistor: Zona lineare

→ Giunzione di emettitore On / Giunzione di collettore Off

Giunzione BE :

$$I = I_S \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

Contributi alla corrente, es npn : $I = I_e + I_h$

Se drogaggio di $E \gg$ drogaggio di $B, C \rightarrow I_e \gg I_h$

→ Movimento di e da E a B dominante

→ B dinamicamente ricca di e

Se geometria di B adatta ($\leftarrow B$ sottile, ben circondata da C)

→ Diffusione di e da B a strato di svuotamento di giunzione BC facile

Giunzione BC :

polarizzata inversamente per h provenienti da B (normali = maggioritari)

'polarizzata direttamente' (\leftarrow come se) per e provenienti da E tramite B (minoritari)

Sistema di 2 giunzioni (opportunamente costruite, in zona lineare):

Frazione elevata ($>90\%$, vicina al 100% tipicamente) della corrente

'maggioritaria' di e nella giunzione BE scorre come corrente 'minoritaria'

nella giunzione BC

Quindi:

$$\left. \begin{array}{l} I_E = I_B + I_C \\ I_B \ll I_E, I_C \end{array} \right\} I_C = \alpha I_E \approx I_E$$

→ Corrente di collettore \sim Corrente di emettitore

D'altra parte:

I_B controlla iniezione di e da E a $B \rightarrow$ Concentrazione di e in $B \rightarrow I_C$

Fissati geometria e drogaggio:

$$I_C = \alpha I_E \rightarrow I_B = (1 - \alpha) I_E \rightarrow I_E = \frac{1}{1 - \alpha} I_B \rightarrow I_C = \alpha I_E = \frac{\alpha}{1 - \alpha} I_B$$

$$\beta \equiv \frac{\alpha}{1 - \alpha}, \alpha \geq 0.9 (\text{tipico}) \rightarrow \beta \geq 10$$

$$\beta_{\text{tipico}} \sim 100$$

$\rightarrow I_C = \beta I_B$ (Forte) Amplificazione di corrente

Morale:

Sistema di 2 giunzioni opportunamente realizzate > Somma delle sue parti

Nuova proprietà utilizzabile per amplificazione di segnali (es da antenne Radio, TV)

$\underbrace{\text{Variazione della corrente di base: } \delta_{IB}}_{\text{Input}} \rightarrow \underbrace{\text{Variazione della corrente di collettore: } \delta_{IB} \times \beta}_{\text{Output}}$

β parametro caratteristico di ogni tipo di BJT:

Guadagno di corrente a emettitore comune

Dipende da geometria e concentrazioni

Tradizionalmente (tempo dei componenti discreti):

Controllo del processo limitato

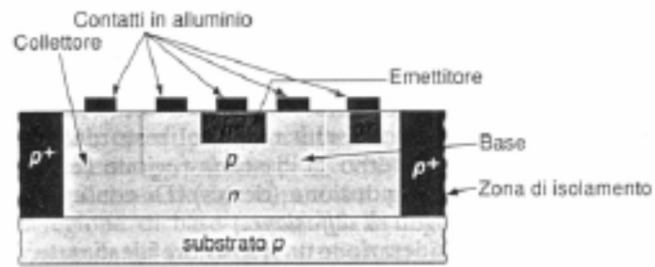
\rightarrow Forti fluttuazioni in geometria, concentrazioni

$\rightarrow \beta$ non costante da un esemplare all'altro

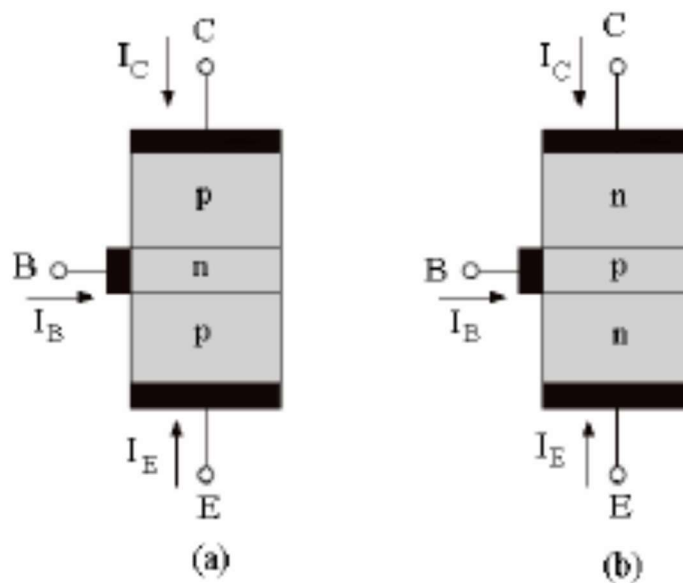
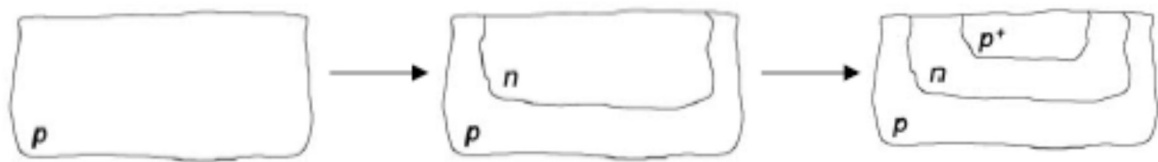
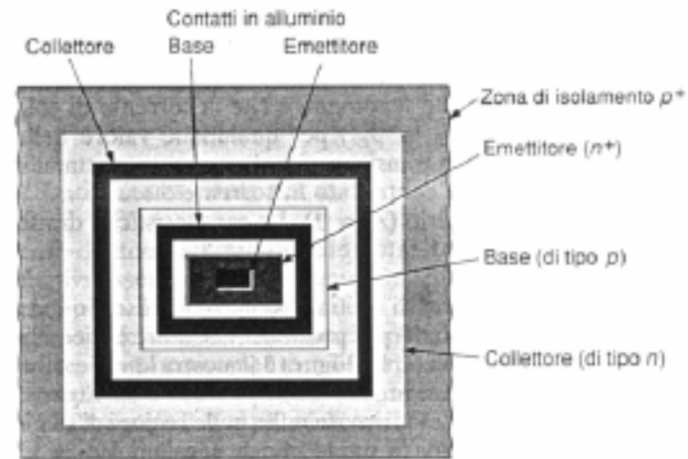
\rightarrow *Non usare β come parametro di progetto*

Principio salutare, anche se oggi meno vero

(costruzione BJT sui circuiti integrati meglio controllata)



(a)

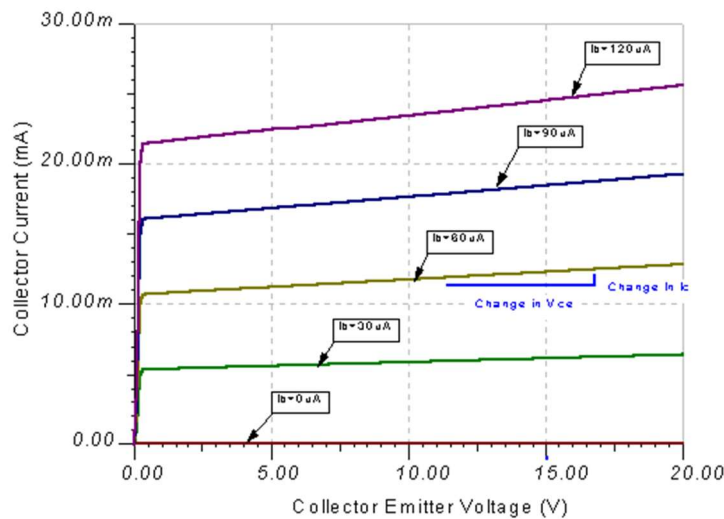
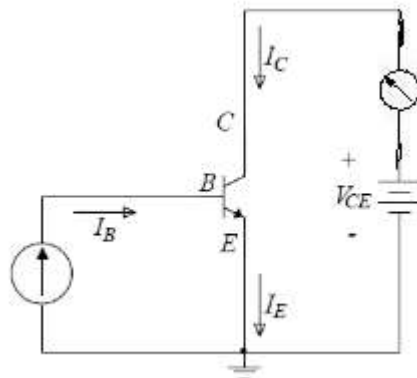


(a)

(b)

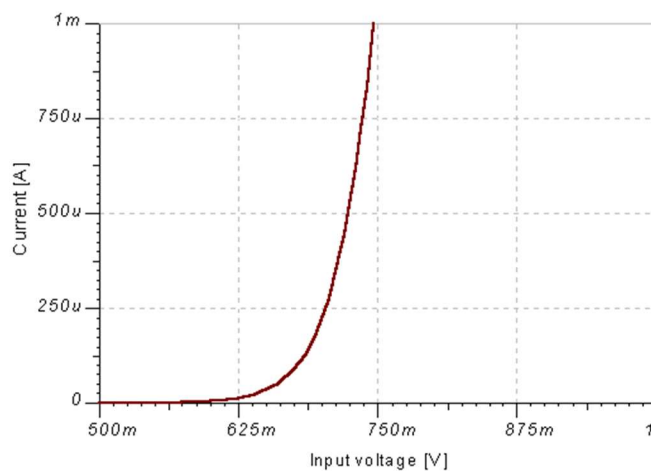
Caratteristiche di uscita: I_C vs V_{CE} , a step di I_B

Circuito 'teorico' per la misura delle caratteristiche di collettore:



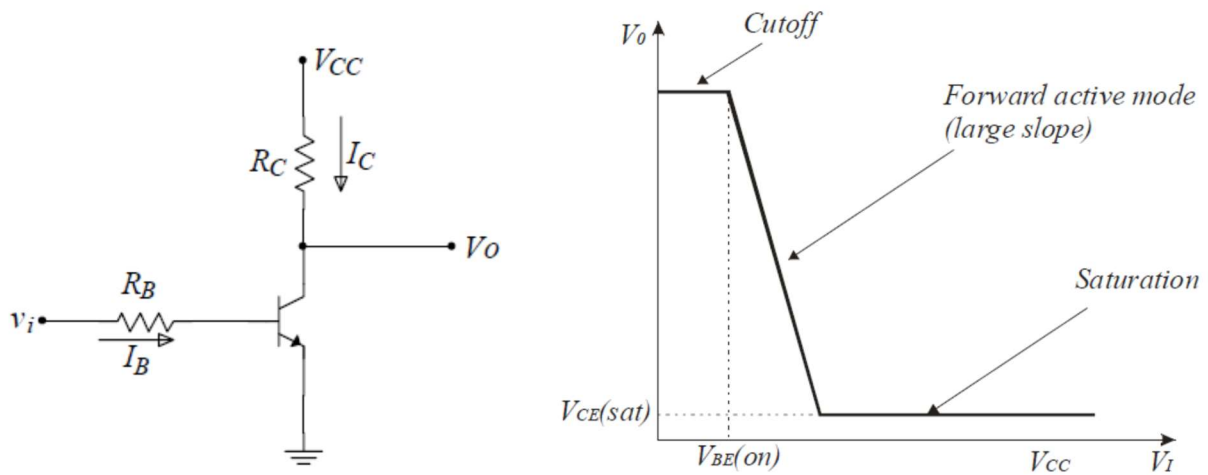
Caratteristiche di ingresso: I_B vs. V_{BE}

Pochissimo dipendente da V_{CE}



Configurazione a emettitore comune:

E contatto in comune fra in e out

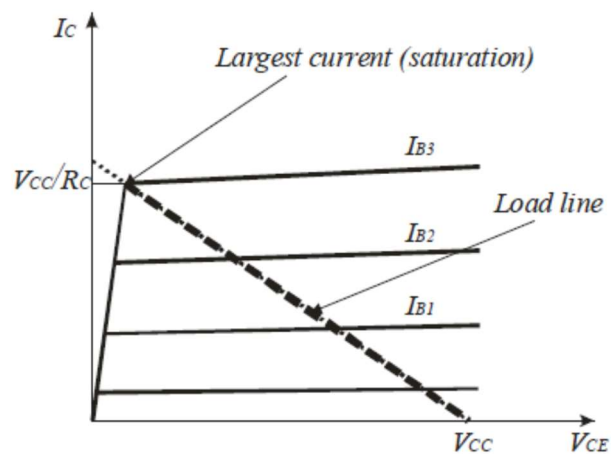


$$I_B = \frac{v_i - V_{BE}}{R_B}$$

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE}$$

$$I_C = \beta I_B = \beta \frac{v_i - V_{BE}}{R_B}$$

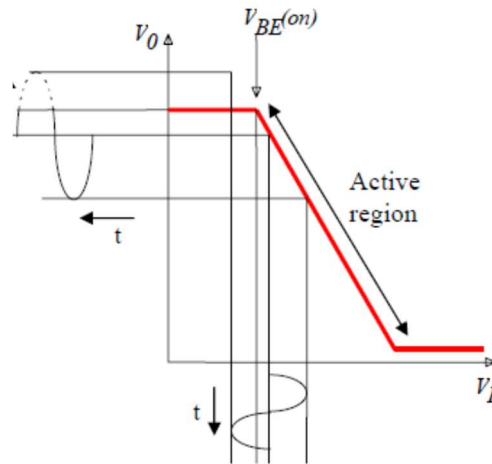
$$\rightarrow V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = V_{CC} - \beta \frac{R_C}{R_B} (v_i - V_{BE}), v_i > V_{BE}, V_{CE} < V_{CC}$$



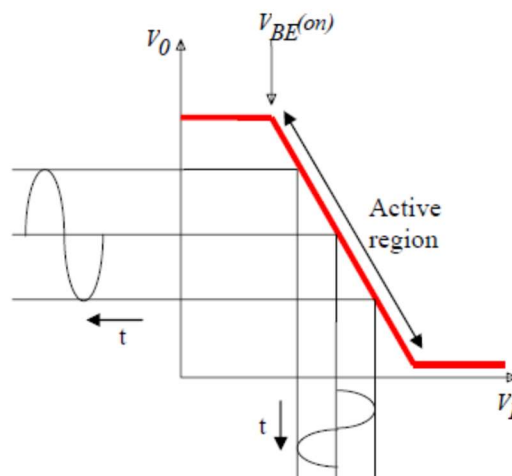
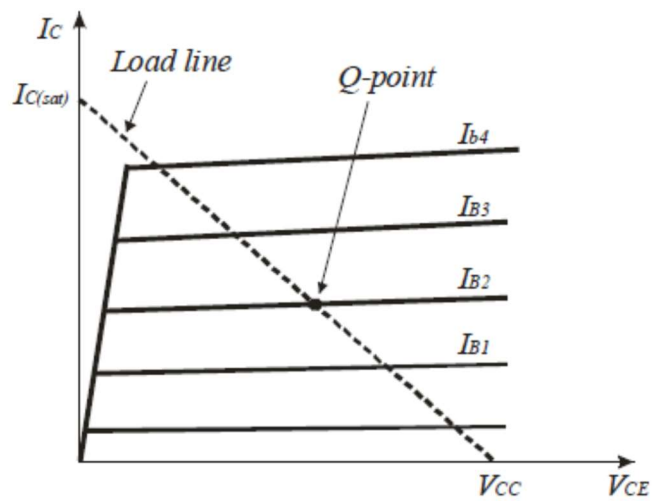
Insoddisfacente quando usato per applicazioni lineari perche':

Guadagno β dipendente

Facile finire in saturazione

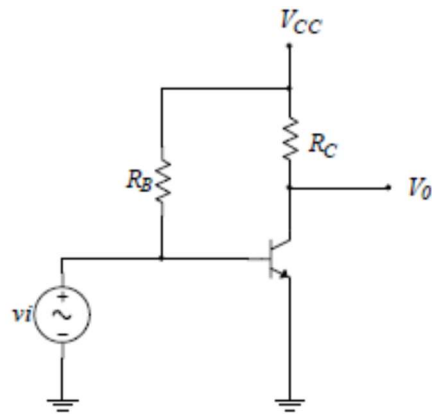


Soluzione: Centraggio su punto medio della retta di carico



→ Transistor deve essere polarizzato (bias)

Schema piu' semplice:



$$V_{CC} = I_B R_B + V_{BE} \rightarrow I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

$$\rightarrow I_C = \beta I_B = \beta \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE} \rightarrow I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} \quad \text{retta di carico}$$

$$\rightarrow \beta I_B = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} \quad \text{punto di lavoro (quiescente)}$$

Insoddisfacente perche' fissato da β :

Variabile da esemplare a esemplare

T -dipendente