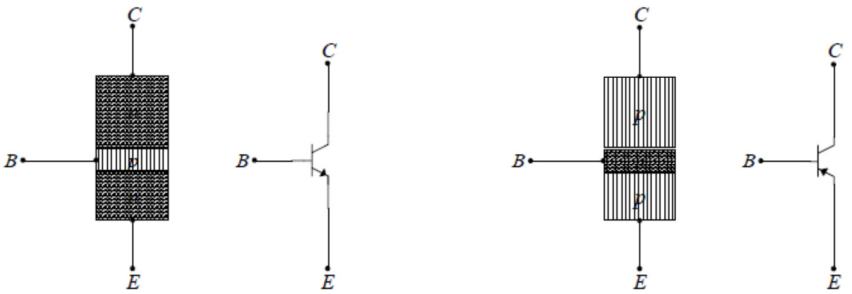
Transistor Bipolare a Giunzione

(Bipolar Junction Transistor ≡ *BJT*; Transistor ≡ Trans*fer Res*istor)

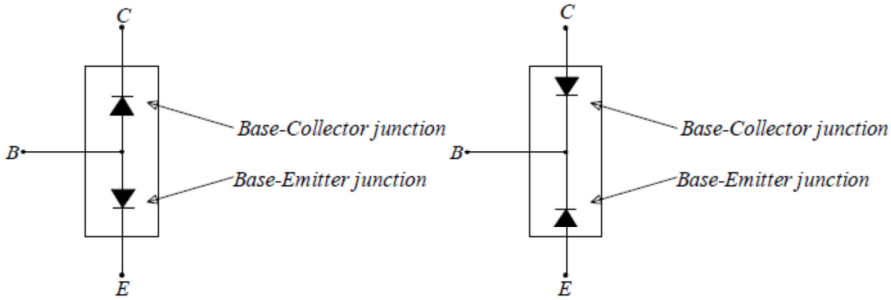
Dispositivo a 3 terminali (cfr. diodo: 2 terminali)

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

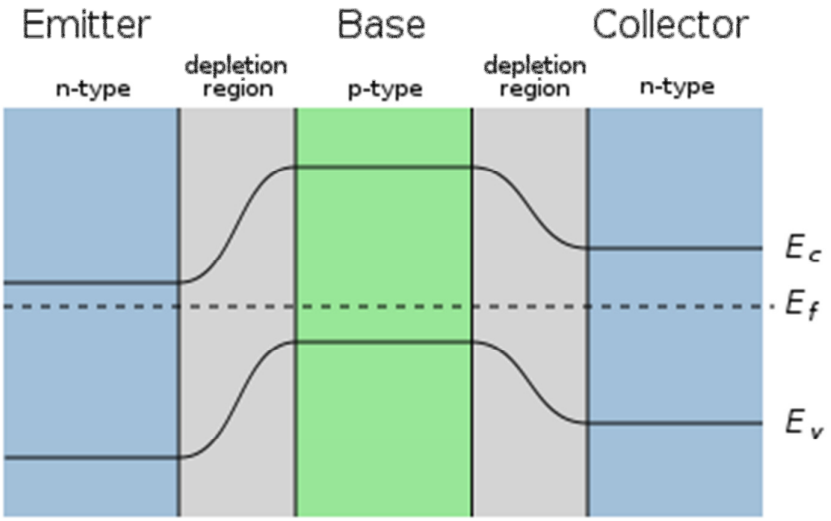
→ 4 possibili modi di funzionamento

BE On / *BC* Off	*BE* On / *BC* On
Zona lineare	*Saturazione*
BE Off / *BC* Off	*BE* Off / *BC* On
Interdizione	*Zona lineare inversa*

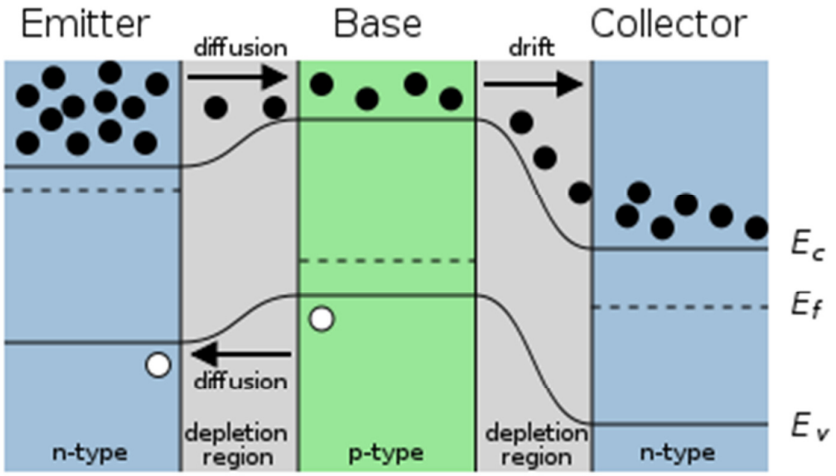
NB Zona lineare inversa: Ottenibile in principio per scambio $C \leftrightarrow E$

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:

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

→ Corrente di collettore ~ 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:

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

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

$\beta_{tipico} \sim 100$

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

Morale:

Sistema di 2 giunzioni opportunamente realizzate > Somma delle sue parti

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

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

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

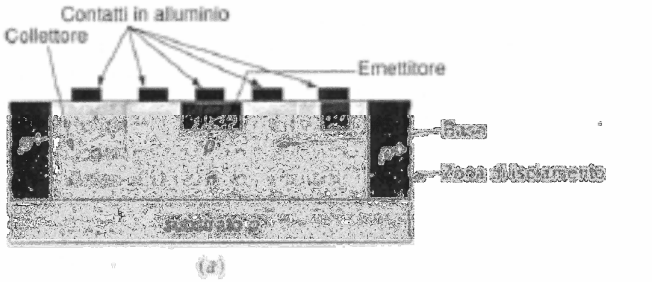
$\rightarrow$ Forti fluttuazioni in geometria, concentrazioni

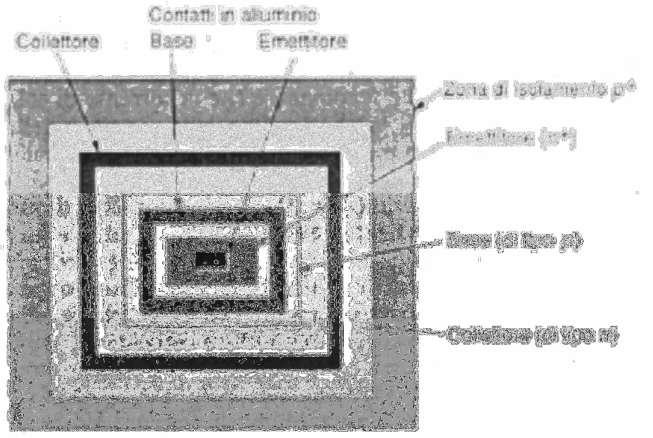
$\rightarrow \beta$ non costante da un esemplare all'altro

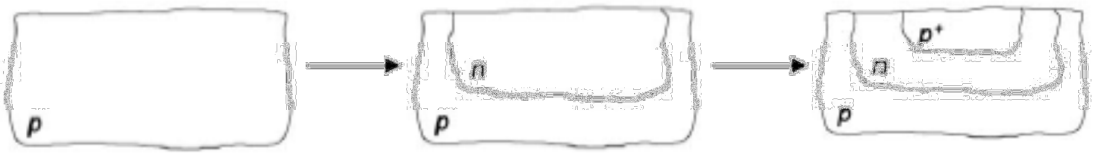
$\rightarrow$ *Non usare* β come parametro di progetto

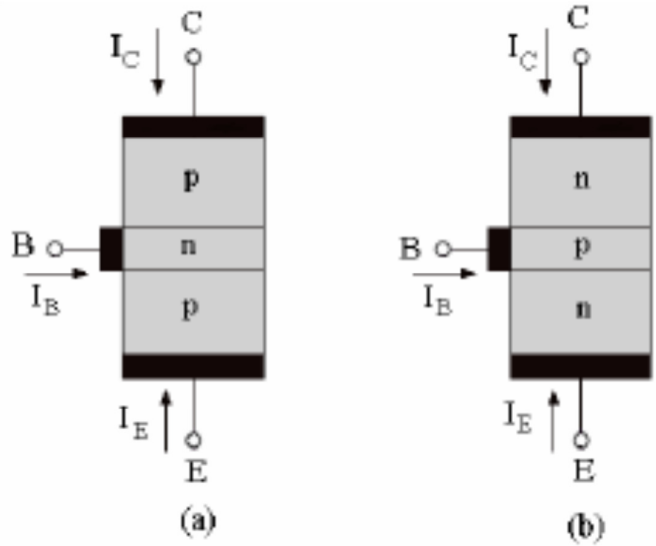
Principio salutare, anche se oggi meno vero

(costruzione BJT sui circuiti integrati meglio controllata)

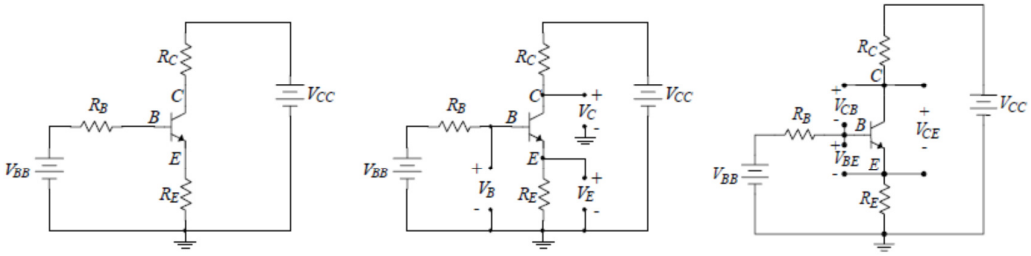

Contatti in alluminio
Collettore
Emettitore
Base
Zona di isolamento
(a)


Contatti in alluminio
Collettore
Base
Emettitore
Zona di isolamento p+
Base (di tipo p)
(a)


p
n
p
n
p+
p

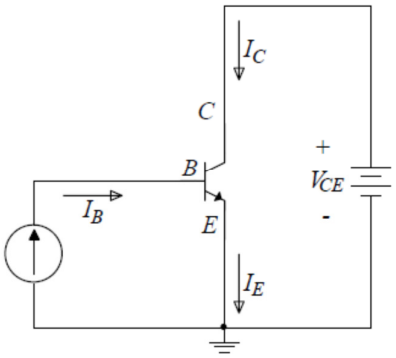

C
I_C
p
n
p
B
I_B
I_E
E
(a)
C
I_C
n
p
n
B
I_B
I_E
E
(b)

Definizione di correnti e tensioni rilevanti:



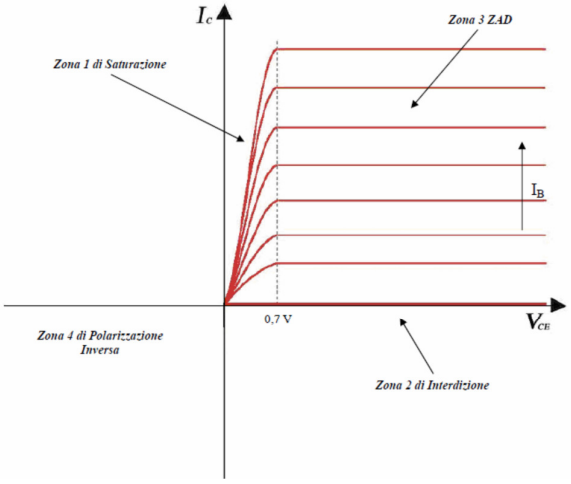
Caratteristiche di collettore: I_C vs V_{CE}, a step di I_B

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



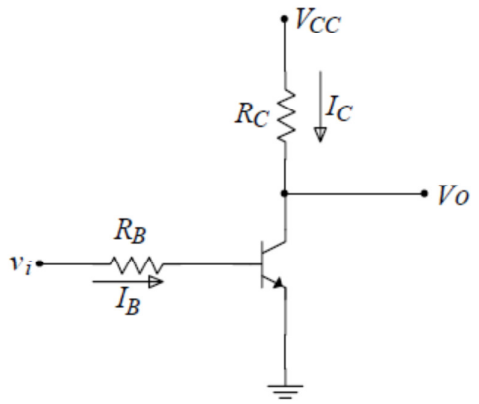
Tipicamente (ma con forti variazioni):

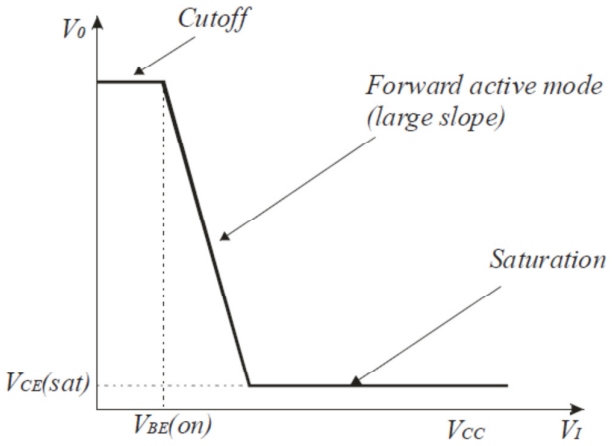
$\Delta I_B = 100\ \mu A \rightarrow \Delta I_C = 10\ mA$



Configurazione a emettitore comune:

E contatto in comune fra *in* e *out*



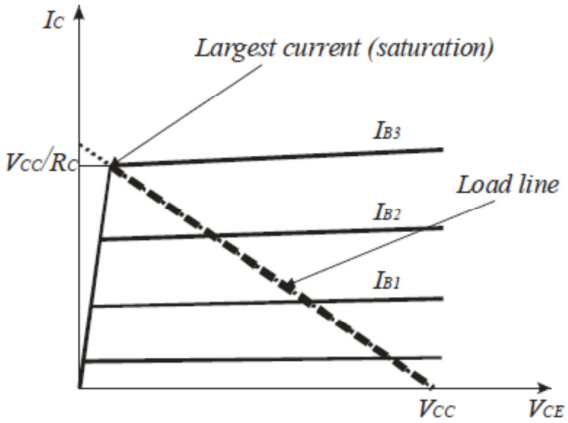


$$I_B = \frac{v_i - V_{BE}}{R_B}$$

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

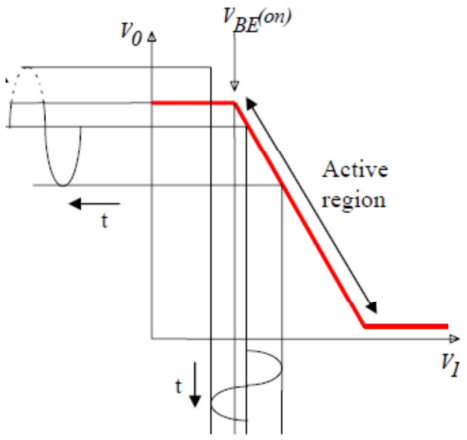
$$I_C = \beta I_B = \beta \frac{v_i - V_{BE}}{R_B}$$

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

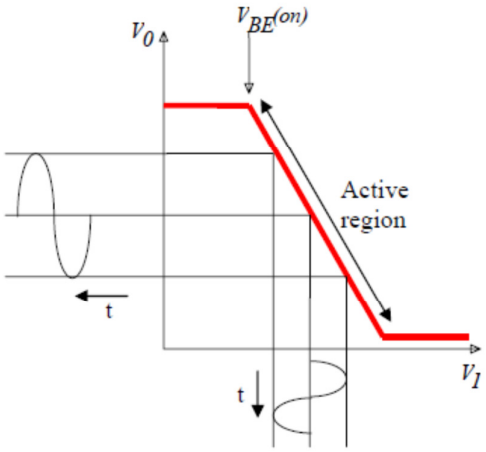


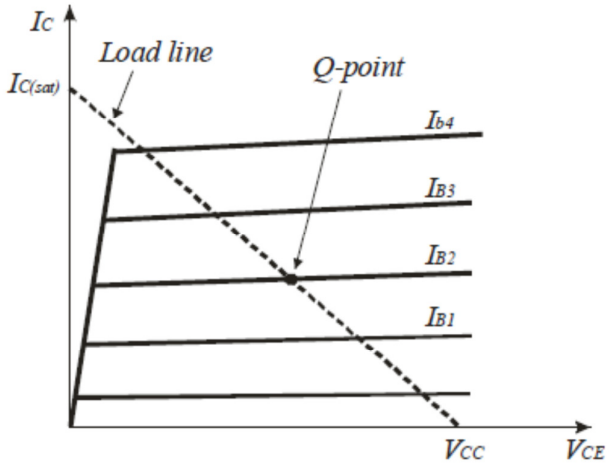
Insoddisfacente quando usato per applicazioni lineari perche':

Guadagno β dipendente
Facile finire in saturazione



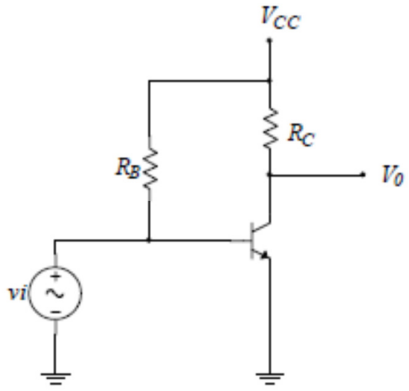
Soluzione: Centraggio su punto medio della retta di carico





$\rightarrow$ Transistor deve essere polarizzato (bias)

Schema piu' semplice:



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

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

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

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

Insoddisfacente perche' fissato da β:

Variabile da esemplare a esemplare

T-dipendente