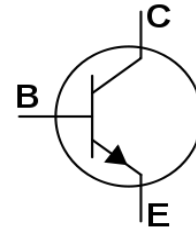


1. Che cos'è ?

È un componente con 3 terminali, chiamati **EMETTITORE**, **BASE**, **COLLETTORE**, che può funzionare in modi diversi a seconda di come è **configurato**, cioè a seconda di quale dei 3 terminali viene connesso a Massa.

Il BJT può essere configurato in 3 modi diversi :

- Emettitore a massa (CE : common emitter)
- Base “ “ (CB : “ base)
- Collettore “ “ (CC : “ collector)



BJT n-p-n

2. Che cosa fa il BJT ?

Nei circuiti **analogici** può amplificare :

- la corrente di IN (nella configurazione CC),
- la tensione di IN (CB)
- entrambe (CE)

sempre a spese della energia fornita dall'alimentazione.

Nei circuiti **logici** la sua funzione è quella di **interruttore elettronico**, cioè :

- se la $V_{in} = 0$, non passa corrente attraverso il BJT (stato di **INTERDIZIONE \equiv OFF**)
- se la $V_{in} = 5$ [V], in IN e in OUT c'è la max corrente possibile (**SATURAZIONE \equiv ON**).

Con riferimento alla configurazione CE, si può dire quindi che la Base (terminale di IN) ha la funzione (in termini ovviamente figurati) di una “**porta**” (**Gate**), che è :

- **chiusa e non** fa perciò passare gli elettroni, provenienti dall' Emittitore e diretti al Collettore (terminale di OUT), **se la tensione sulla Base è nulla.**

In questa situazione di INTERDIZIONE, la **corrente in OUT (I_C)** è nulla, mentre la **tensione in OUT (V_{CE})** è $\approx V_{cc}$

- “**spalancata**” completamente, se la tensione sulla Base vale circa 5 [V], per cui la corrente di elettroni dall'Emettitore al Collettore è massima.

In questa situazione di SATURAZIONE, in OUT si ha la max corrente possibile (I_{CSAT}) e la minima tensione ($V_{CESAT} \approx 0$)

3. Come si realizza un BJT ?

Questo componente è realizzato su un chip di semiconduttore (es : Silicio) tramite la tecnologia dei circuiti integrati. La fase più importante è quella del **drogaggio**.

Con il termine **drogaggio**, nell'ambito dei semiconduttori, si intende l'aggiunta al semiconduttore di piccole percentuali di atomi non facenti parte del semiconduttore stesso, allo scopo di modificare le proprietà elettriche del materiale.

Il drogaggio può essere di tipo n : l'atomo drogante ha un elettrone in più di quelli che servono per soddisfare i legami del reticolo cristallino e tale elettrone acquista libertà di movimento all'interno del semiconduttore.

Il drogaggio può essere di tipo p : l'atomo drogante ha un elettrone in meno di quelli che servono per soddisfare i legami del reticolo cristallino e tale mancanza di elettrone, indicata con il nome di lacuna, si comporta come una particella carica positivamente e si può spostare all'interno del semiconduttore.

Le quantità di elementi droganti utilizzate per effettuare il drogaggio sono, in termini percentuali, bassissime: si parla per l'appunto di impurità elettroniche in quanto tali impurità sono in grado di **modificare le proprietà elettriche del semiconduttore ma non le proprietà chimiche dello stesso**.

Si creano 3 zone diversamente drogate che sono, nel BJT n-p-n :

- una con eccesso di elettroni (drogaggio di tipo N⁺) : **EMETTITORE**
- una con eccesso di lacune (drogaggio di tipo P) : **BASE**
- un'altra con eccesso di elettroni (drogaggio di tipo N) : **COLLETTORE**

(Esistono anche i BJT p-n-p , con drogaggio opposto)

Fra le 3 zone vi sono 2 giunzioni : **J_{BE}** , **J_{BC}**

Giunzione p-n

Una giunzione p-n è un cristallo semiconduttore composto da due zone, una ad eccedenza di elettroni (strato n) ed una ad eccedenza di lacune (strato p).

Può essere pensata come la regione di confine tra le 2 zone di tipo P e di tipo N ed è priva di portatori liberi.

Ai due lati della giunzione vi è una differenza di potenziale costante, chiamata tensione di soglia .

Requisito essenziale è che lo strato di confine sia sottile (circa 1 [micrometro]) .

La giunzione p-n possiede alcune interessanti proprietà che vengono sfruttate nell'elettronica moderna.

In particolare, si forma un sottile strato neutro chiamato regione di svuotamento , laddove un drogaggio di tipo P si contrappone ad un drogaggio di tipo N.

I semiconduttori drogati (sia di tipo n che di tipo p) sono conduttori tanto migliori quanto più elevato è il drogaggio , mentre la regione di svuotamento ha le proprietà di un isolante.

Le giunzioni p-n sono comunemente usate come diodi: interruttori elettronici che permettono un flusso di corrente (convenzionale) in una direzione (da P a N) ma non in quella opposta.

In realtà sono elettroni che si spostano, sotto l'azione di un campo elettrico esterno, da zona N a zona P .

Questo risultato può essere ottenuto incrementando o riducendo l'estensione dello strato non conduttivo (la zona svuotata) grazie agli effetti della polarizzazione inversa e della polarizzazione diretta, dove il termine polarizzazione indica l'applicazione di una tensione elettrica alla giunzione P-N

Polarizzazione diretta

Si ha polarizzazione diretta quando la parte di *tipo P* è connessa al terminale *positivo* del generatore di tensione, mentre la parte di *tipo N* è connessa al terminale *negativo*.

In questa configurazione, le lacune nella regione di tipo P e gli elettroni nella regione di tipo N sono spinti verso la giunzione. Questo riduce l'ampiezza della zona svuotata.

La carica positiva applicata alla regione di tipo P respinge le lacune, mentre la carica negativa applicata alla regione di tipo N respinge gli elettroni.

Poiché elettroni e lacune sono spinti verso la giunzione, la distanza tra di loro decresce e si abbassa la **barriera di potenziale**.

Aumentando la tensione di polarizzazione, si arriva al punto in cui la zona svuotata diventa così sottile che i portatori di carica possono superare la barriera per effetto tunnel, e la resistenza elettrica si riduce a un valore molto basso.

Gli elettroni che superano la barriera alla giunzione entrano nella regione di tipo P (passando da una lacuna all'altra).

Questo rende possibile una corrente elettrica.

Un elettrone viaggia dal terminale negativo a quello positivo della batteria, passando attraverso la regione di tipo N. Si fa strada verso la giunzione P-N.

La barriera alla giunzione non può trattenere l'elettrone nella regione di tipo N a causa dell'effetto della polarizzazione diretta (in altre parole, una zona svuotata sottile offre una piccola resistenza elettrica contro il flusso di elettroni).

L'elettrone quindi attraverserà la giunzione e proseguirà nella regione di tipo P.

Una volta all'interno della regione di tipo P, l'elettrone salterà da una lacuna disponibile all'altra, facendosi strada verso il terminale positivo dell'alimentazione.

Polarizzazione inversa

La polarizzazione inversa si ottiene collegando la regione di *tipo P* al terminale *negativo* dell'alimentazione e la regione di *tipo N* al terminale *positivo*.

Poiché la regione di tipo P è connessa al terminale negativo dell'alimentazione, le lacune nella regione di tipo P vengono spinte lontano dalla giunzione, facendo crescere l'ampiezza della zona svuotata.

Lo stesso succede nella zona di tipo N, dove gli elettroni vengono spinti lontano dalla giunzione a causa dell'azione del terminale positivo dell'alimentazione.

Questo aumenta la barriera di potenziale e per questa ragione non passerà corrente attraverso la giunzione (o ne passerà molto poca, detta **corrente di saturazione inversa**).

CURVE CARATTERISTICHE DEI TRANSISTOR BJT

Caratteristiche d' ingresso

La (curva) caratteristica di ingresso di un transistor NPN - CE è sostanzialmente simile a quella di un diodo polarizzato direttamente, in cui sugli assi troviamo, in ascissa, la tensione V_{BE} e in ordinata, la corrente di ingresso (Base) I_B .

In realtà vi è una FAMIGLIA DI CURVE, molto vicine tra loro, aventi come PARAMETRO la tensione V_{CE} .

Questo significa che la tensione in OUT (V_{CE}) influenza un poco la corrente in IN (I_B); viceversa una variazione della I_B modifica **molto** la situazione in OUT (I_C, V_{CE})

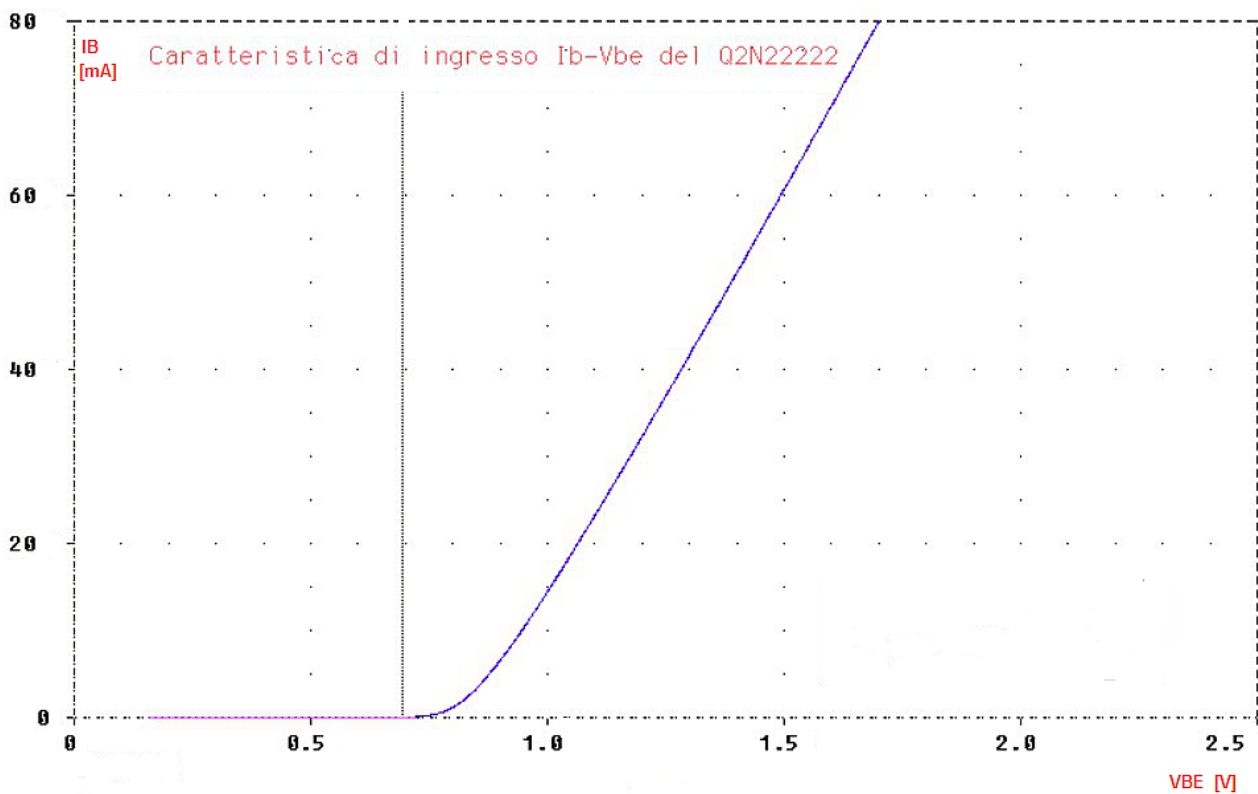
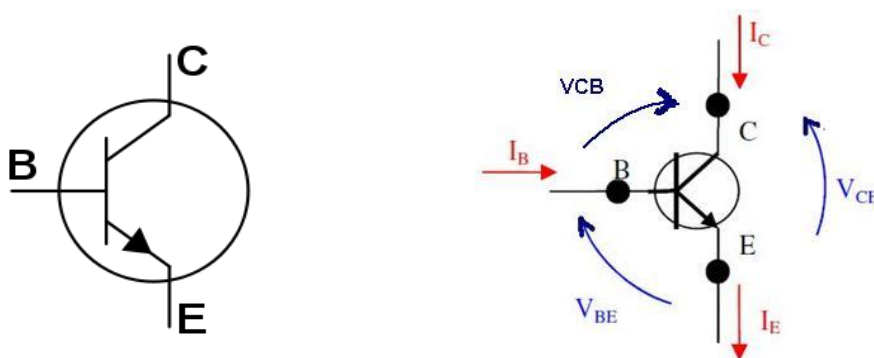


Fig. 1 - Caratteristica di ingresso del transistor



Caratteristiche di uscita

Le caratteristiche di uscita di un transistor bipolare NPN - CE sono descritte in fig.2.

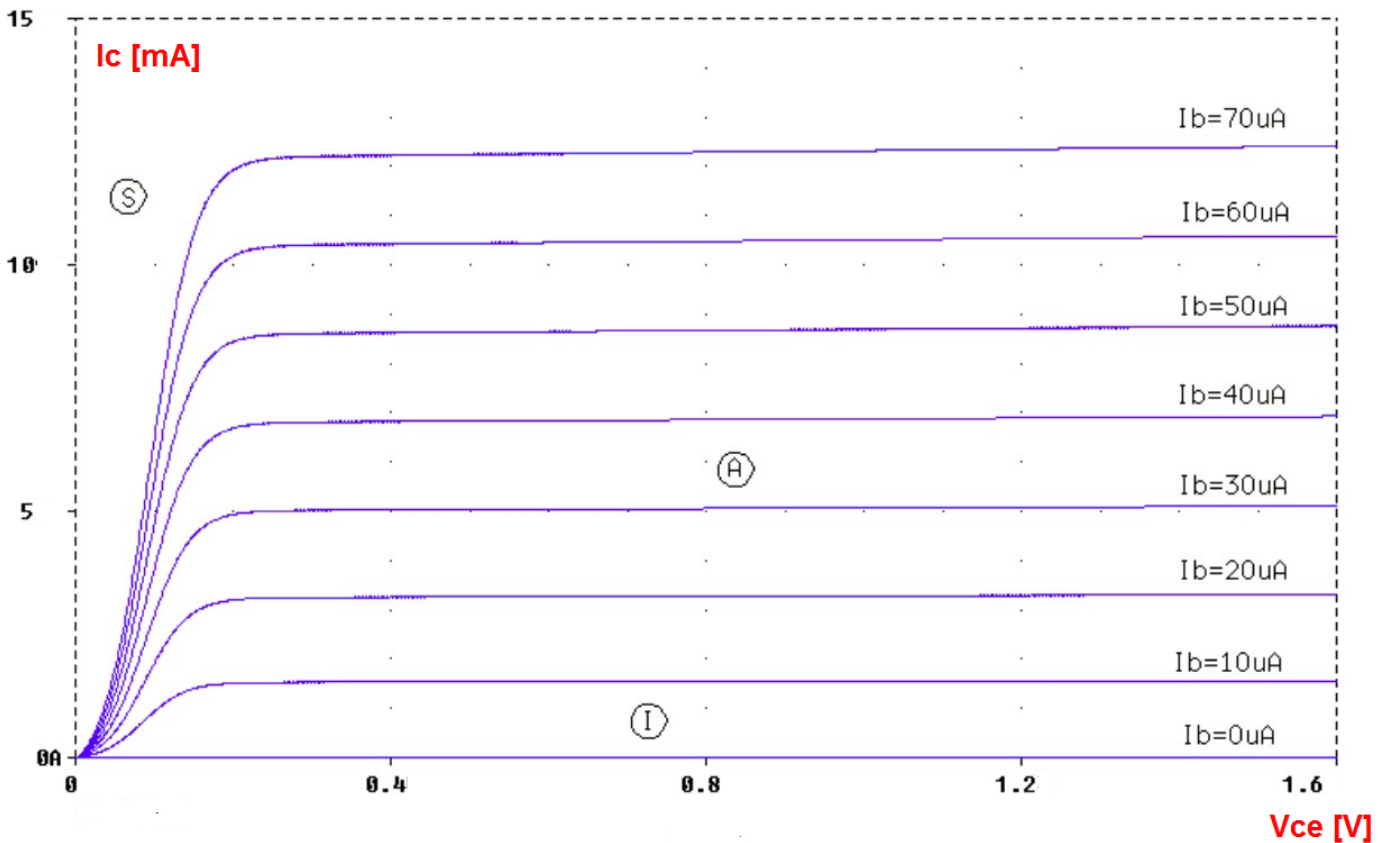


Fig. 2

Si individuano tre zone di funzionamento : **A**, **S** ed **I**.

A - zona attiva : è la zona più importante di funzionamento, in cui il transistor lavora come **amplificatore**, cioè corrente e tensione in OUT hanno la stessa forma, ma ampiezza molto maggiore delle corrispondenti grandezze in IN.

I_C e V_{CE} sono comunque comprese tra i rispettivi Valori max e Valori min.

In questa regione la giunzione J_{BE} è polarizzata **direttamente**, mentre la giunzione J_{BC} è polarizzata **inversamente**.

S - zona di saturazione : è una zona di funzionamento utilizzata per il transistor soprattutto nelle applicazioni digitali, corrisponde allo stato digitale **ON**.

La I_C è massima (**I_{csat}**), mentre la V_{CE} è minima (**V_{cesat}**)

Le due giunzioni sono entrambe polarizzate **direttamente**.

I - zona d'interdizione : è la zona di non funzionamento corrispondente allo stato digitale OFF.

Le due giunzioni sono entrambe polarizzate **inversamente**, quindi I_B ed I_C sono nulle, $V_{BE} = 0[V]$, $V_{CE} = V_{CC}$

IL TRANSISTOR COME AMPLIFICATORE DI TENSIONE

Polarizzazione del transistor (NPN – CE)

Per funzionare come amplificatore di tensione, il transistor deve essere polarizzato **in zona ATTIVA**.

Se, oltre all'alimentazione continua, si collega in ingresso (BASE) un generatore di segnali variabili di piccola ampiezza, è necessario posizionare **il punto di lavoro** al centro di tale zona, in modo che il segnale di uscita abbia un'escursione ragionevole, senza finire in zona di INTERDIZIONE o SATURAZIONE.

Polarizziamo il transistor in zona attiva.

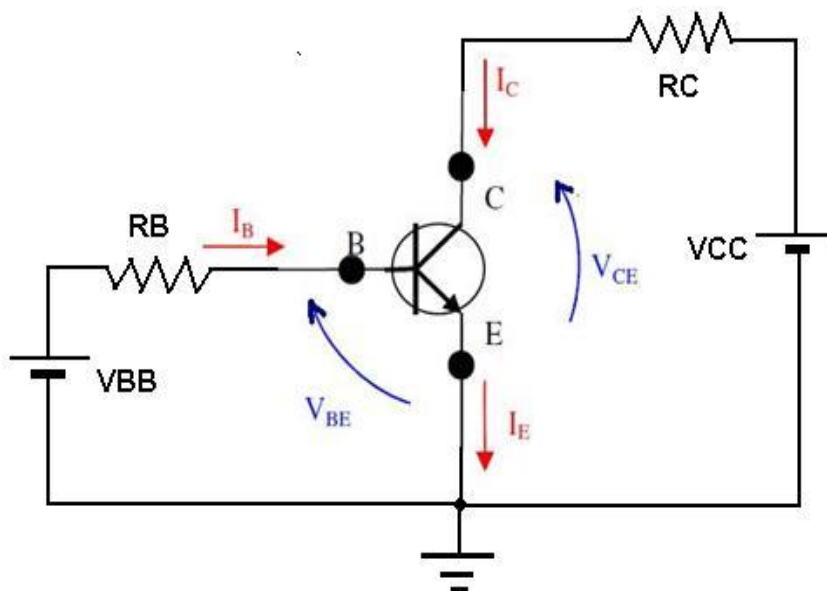


Fig.3 - Polarizzazione del BJT

Le equazioni di Kirchoff alle due maglie sono le seguenti :

$$\text{IN) } V_{BB} = R_B * I_B + V_{BE}$$

$$\text{OUT) } V_{CC} = R_C * I_C + V_{CE}$$

V_{BE} è nota poiché è circa pari alla tensione di soglia $V_s \approx 0,6 \text{ [V]}$).

V_{BB} , V_{CC} , R_B e R_C sono anch'esse note poiché stabilite in fase di progetto;

I_B , I_C e V_{CE} sono i valori incogniti che devono essere determinati.

METODO GRAFICO PER DETERMINARE IL PUNTO DI LAVORO.

In IN, tracciamo la retta di carico e dall'equazione $V_{BB} = R_B * I_B + V_{BE}$ ricaviamo le intersezioni con gli assi. (Fig. 4)

Per $I_B = 0$ ricavo $V_{BE} = V_{BB}$

Per $V_{BE} = 0$ ricavo $I_B = V_{BB} / R_B$

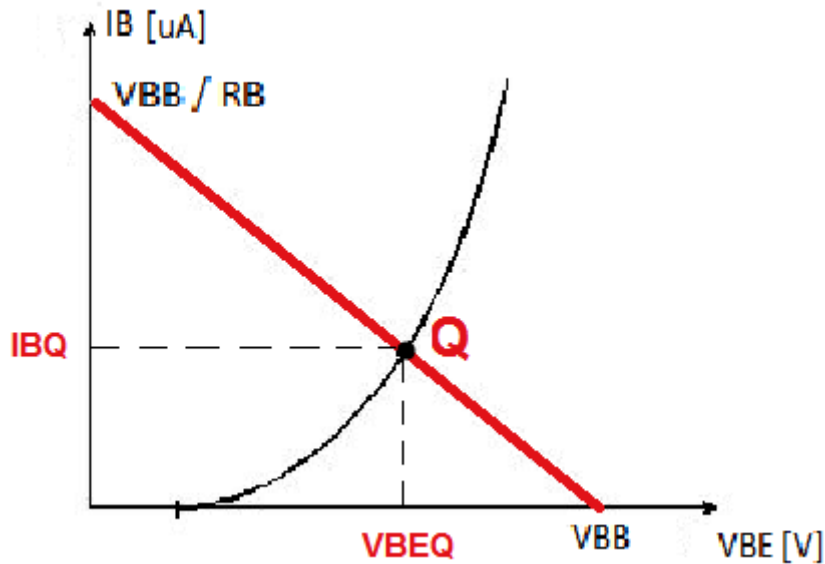


Fig.4 - Caratteristica di ingresso del BJT e **retta di carico**

Come è evidente dalla fig. 4, siamo in grado di determinare graficamente la I_{BQ} relativa al punto di lavoro Q.

Si procede analogamente per le caratteristiche di uscita : OUT) $V_{CC} = R_C * I_C + V_{CE}$

Per $I_C = 0$ ricavo $V_{CE} = V_{CC}$ Per $V_{CE} = 0$ ricavo $I_C = V_{CC} / R_C$

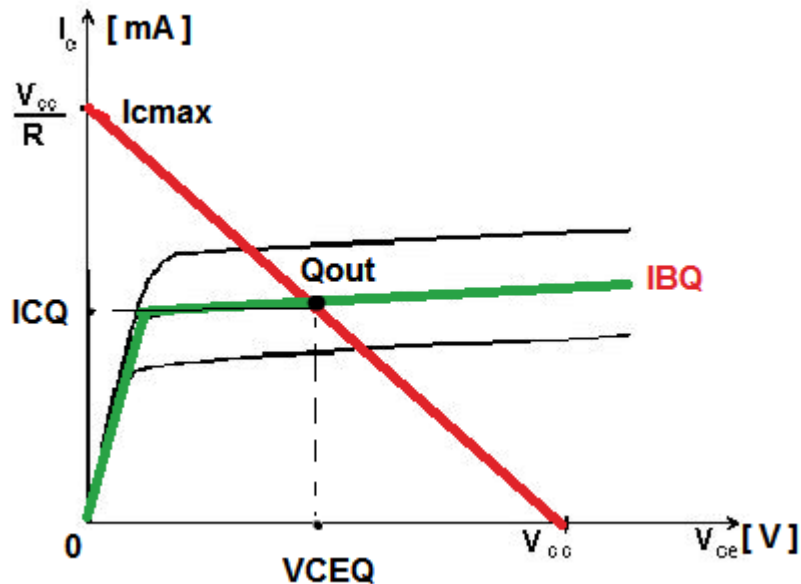


Fig.5 - Caratteristica di uscita del BJT e **retta di carico**

Dal momento che I_{BQ} è nota, sappiamo su quale curva dovrà trovarsi Q e quindi, dalla caratteristica del transistor scelto, possiamo determinare I_{CQ} e V_{CEQ} .

Fissato il punto di lavoro al centro della regione attiva, in modo che V_{CEQ} sia $< V_{CC} / 2$, e I_{CQ} sia circa $I_{Cmax} / 2$, se si fornisce un segnale variabile, OLTRE ALLA CONTINUA DI ALIMENTAZIONE, il punto di lavoro si sposterà lungo la retta di carico, andando verso la saturazione o l' interdizione : precisamente, un aumento della tensione sulla base farà aumentare la corrente di base, quindi anche la corrente di collettore e farà diminuire la tensione tra collettore ed emettitore, spostando Q verso la saturazione. Viceversa, una diminuzione della V_{BE} farà spostare Q verso l' interdizione.