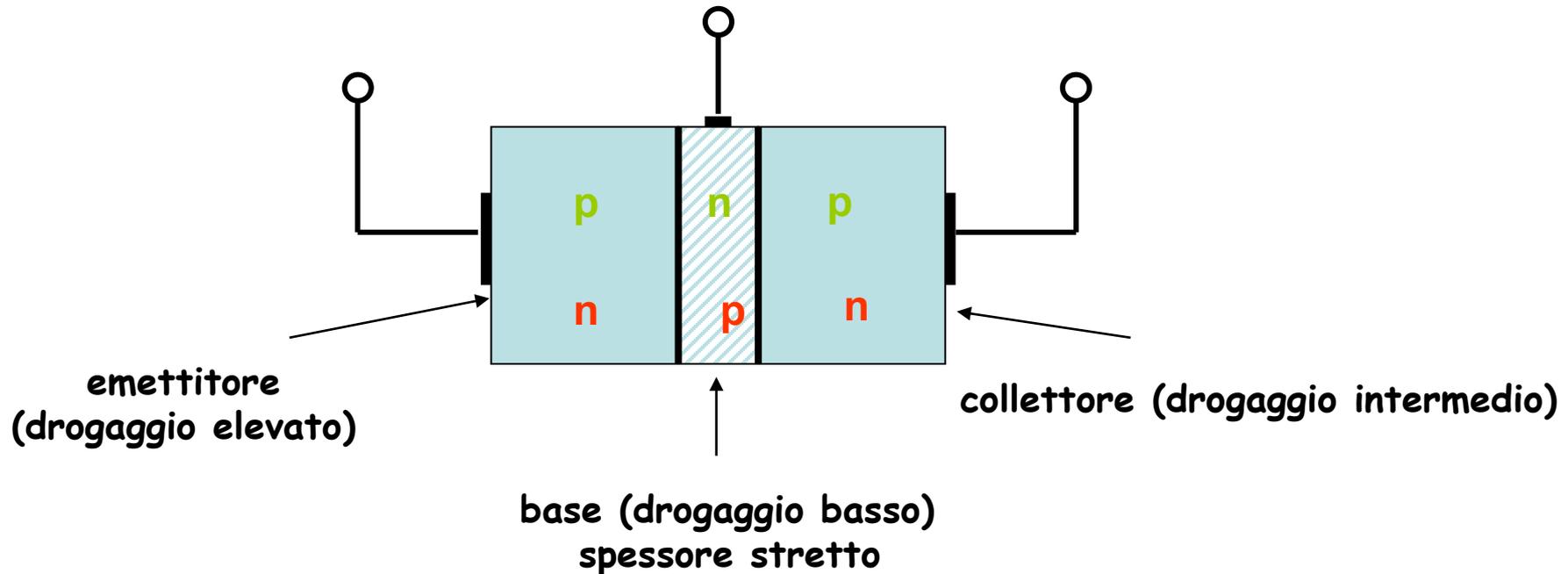


Il transistor

- dispositivo a semiconduttore con almeno 3 elettrodi che sfrutta le proprietà della giunzione p-n.
- inventato da Bardeen, Brattain and Shockley, ai Bell Laboratories, nel 1948 → Premio Nobel nel 1956
- strutture diverse per diverse applicazioni
- estrema miniaturizzazione → sviluppo di nuove applicazioni (memorie ad alta densità, computer veloci, computer sempre + piccoli)
- può essere schematizzato come un **regolatore** o **generatore di corrente o di tensione**
- può svolgere sia la funzione di **switch** (commutatore o interruttore) che quella di **amplificatore**
- esistono strutture diverse elaborate per diverse applicazioni
- si possono individuare 2 grandi categorie di transistor in base al verso di scorrimento della corrente rispetto alla giunzione:
  - **transistor bipolari a giunzione (BJT)** - corrente **perpendicolare** alla giunzione
  - **transistor ad effetto di campo (JFET o MOSFET)** - corrente **parallela** alla giunzione

# Transistor Bipolare a giunzione (BJT)



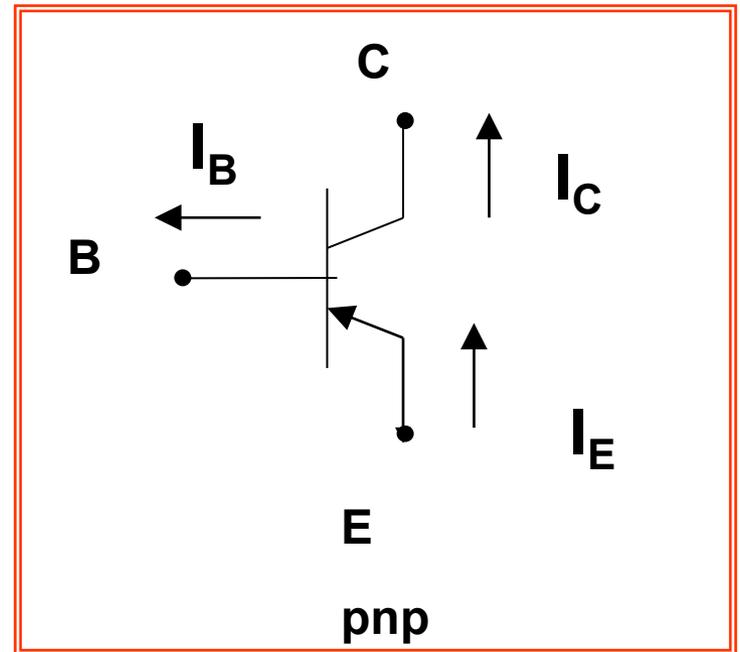
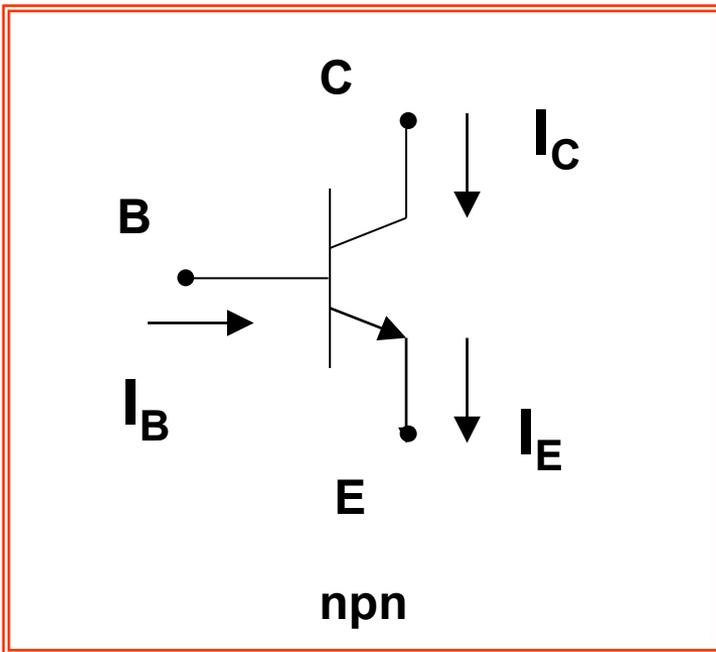
due diverse configurazioni: **pn**p oppure **np**n

base = elettrodo di controllo (switch)

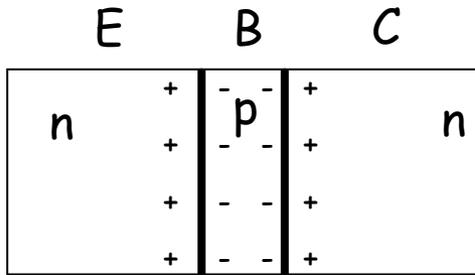
piccola variazione della corrente di base → rapido cambiamento nell'apparato

Il verso della corrente (convenzionalmente la direzione dei portatori di carica positivi) è indicato dalla freccia nel terminale dell'emettitore.

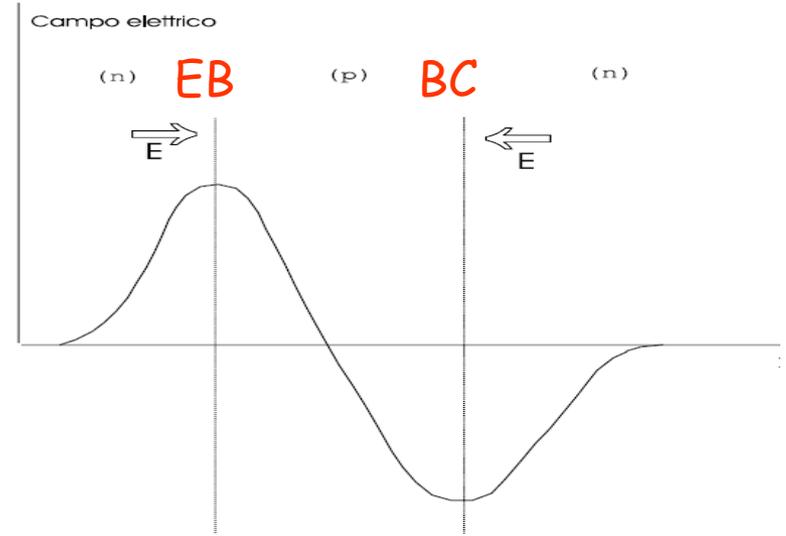
### Simboli convenzionali per i BJT



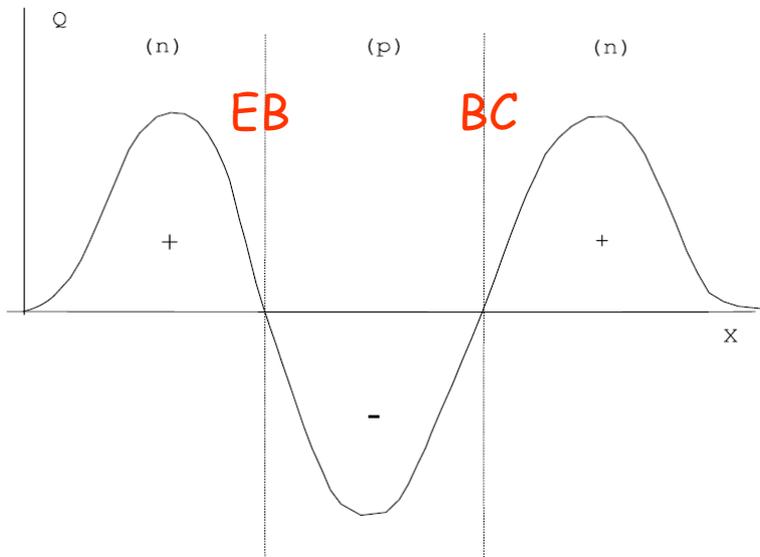
due giunzioni p-n che condividono uno strato di semiconduttore intermedio drogato  
 due diodi contrapposti: **emettitore-base** **base-collettore**



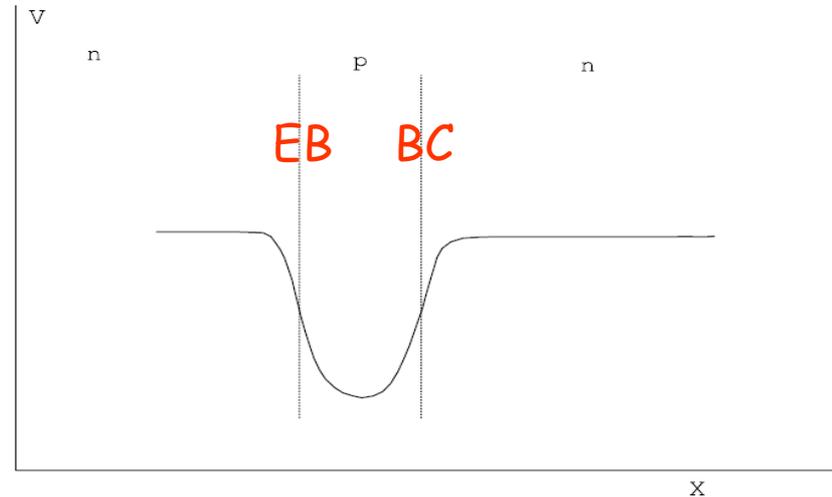
**in assenza di polarizzazione esterna**



**campo elettrico**



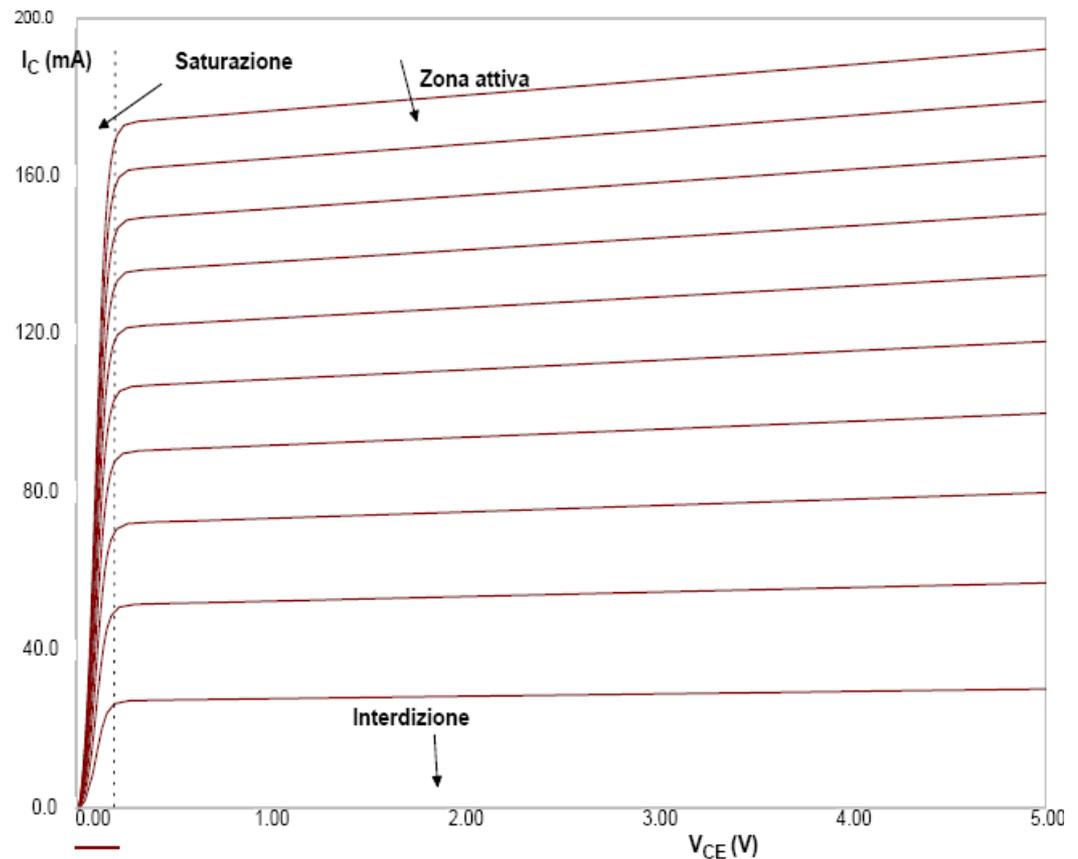
**distribuzione della carica elettrica**



**potenziale elettrico**

## Caratteristiche di uscita del transistor

descrivono la dipendenza della corrente di collettore dalla differenza di potenziale tra collettore ed emettitore  $V_{CE}$   
famiglia di curve corrispondenti a diversi valori della  $I_B$

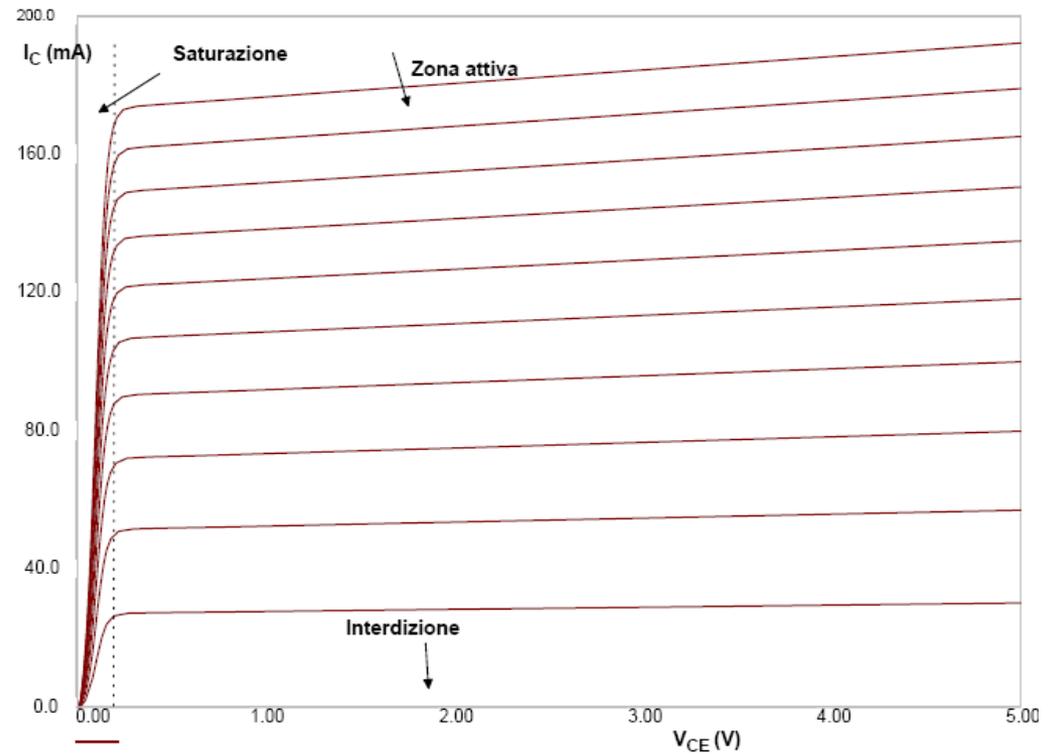
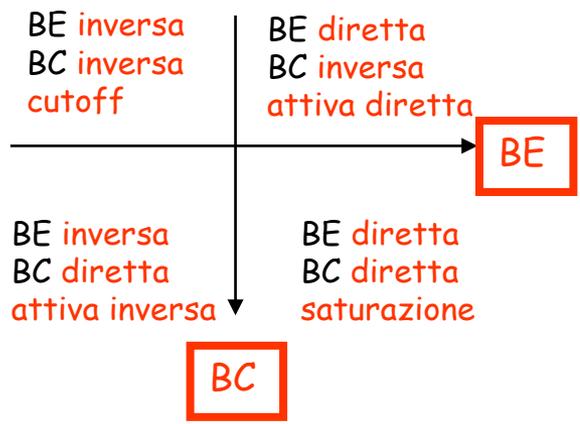


3 regioni distinte:

- zona attiva
- zona di saturazione
- zona di interdizione

- a) **zona attiva**: rette **quasi** orizzontali.  $I_B$  e  $I_C$  approx proporzionali.  
BJT utilizzato come amplificatore
- b) **zona di interdizione**:  $I_C=0$ .  $V_{BE} \ll V_\gamma \rightarrow$  diodo BE polarizzato invers.  
**ATTENZIONE: diodo BC inverso.**
- c) **zona di saturazione**:  $I_C \ll \beta I_B$ ; in questa zona  $V_{CE} \sim 0 \div 0.2$  V e le giunzioni sono entrambe polarizzate direttamente  
Se diodo BC diretto  $\rightarrow$  c'è uno scambio dei ruoli tra E e C  $\rightarrow$
- d) **zona attiva inversa**  $\rightarrow I_E = \beta_R I_B$  dove  $\beta_R \ll \beta$  definito per il transistor in zona attiva diretta

polarizzazione delle due giunzioni:  
Base - Emettitore  
Base - Collettore

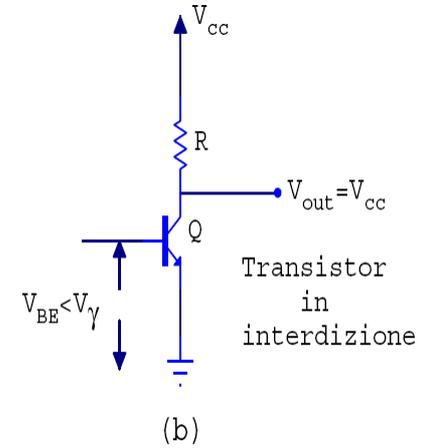
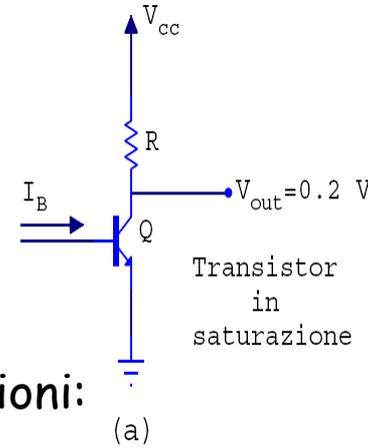


**RIASSUMENDO:** un transistor può essere adoperato

- come **elemento di un circuito logico**

facendolo lavorare nello stato di

**saturazione** ( $V_{CE} = 0$ ) o di  **interdizione**.



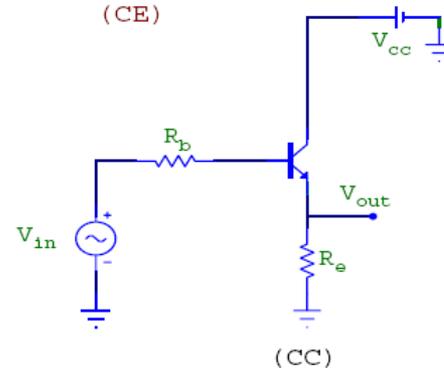
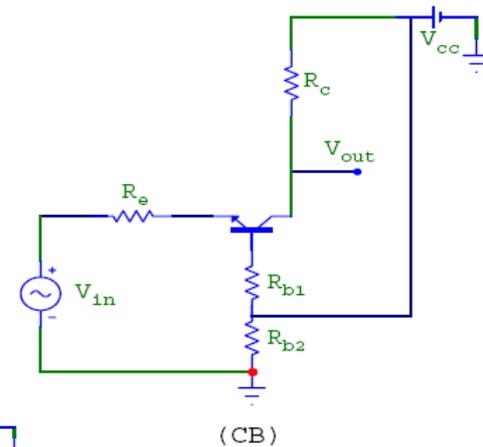
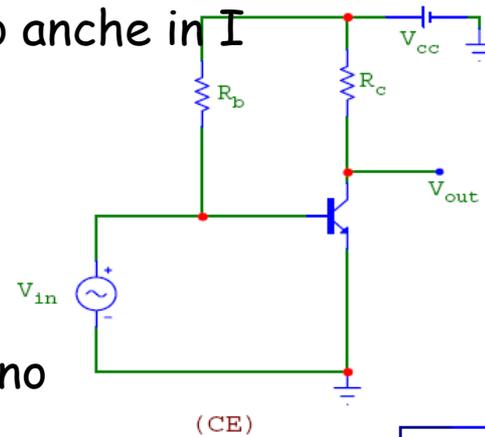
- come amplificatore in 3 diverse configurazioni:

- a **emettitore comune** → amplificatore di

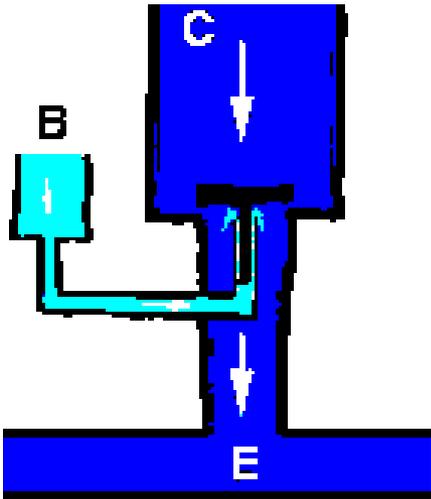
tensione (**invertente**) con buon guadagno anche in **I**

- a **base comune** → amplificatore di tensione (**non invertente**) con basso guadagno in **I**

- a **collettore comune** → elevato guadagno in corrente ma nessun guadagno in tensione







Analoga idraulica per il transistor

# Transistor ad effetto di campo

Junction Field Effect Transistor (JFET)

Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET)

- Dispositivi a semiconduttore a **3 terminali** di facile fabbricazione e meno ingombranti dei BJT
- densità di componenti > 100000 MOSFET/chip
- possono svolgere la funzione di resistenza o condensatore (collegamento opportuno)
- si possono progettare sistemi elettronici interamente composti da MOSFET
- utilizzo nei VLSI
- si può interpretare il FET come uno switch elettronico che può trovarsi in uno stato *on* oppure *off*
- sotto questo aspetto il FET corrisponde ad un singolo bit, cioè ad una unità binaria di informazione

- impiego di un campo elettrico per controllare la corrente che scorre nel dispositivo
- cristallo di semiconduttore drogato  $p$  o  $n$  (**canale** o **body**)
- la corrente - dovuta solo ai portatori maggioritari - scorre tra due terminali: **sorgente** (**source**) e **pozzo** (**drain**)
- sul terzo elettrodo (**gate**) viene applicato un campo elettrico (potenziale) che modifica la conducibilità del canale e quindi la corrente

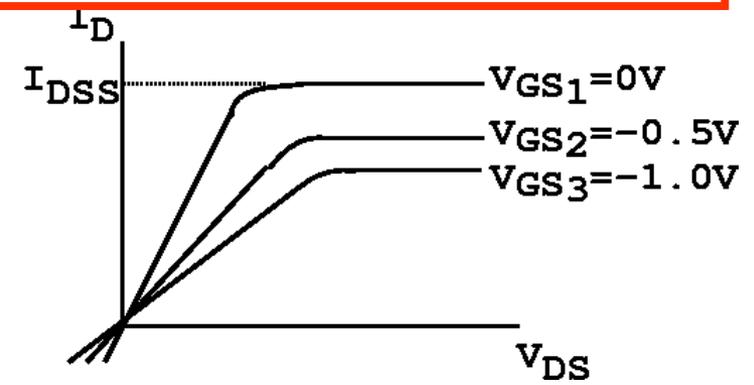
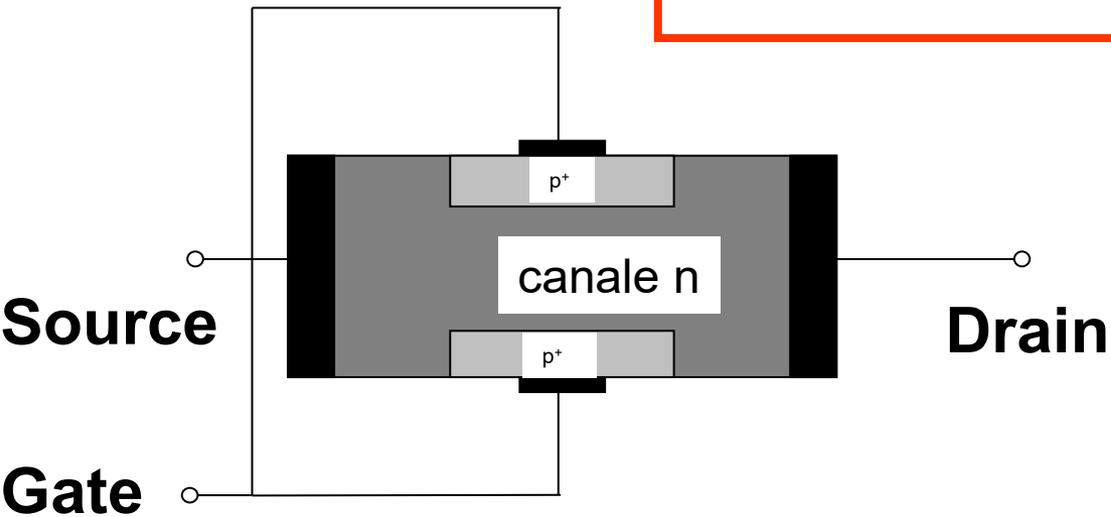
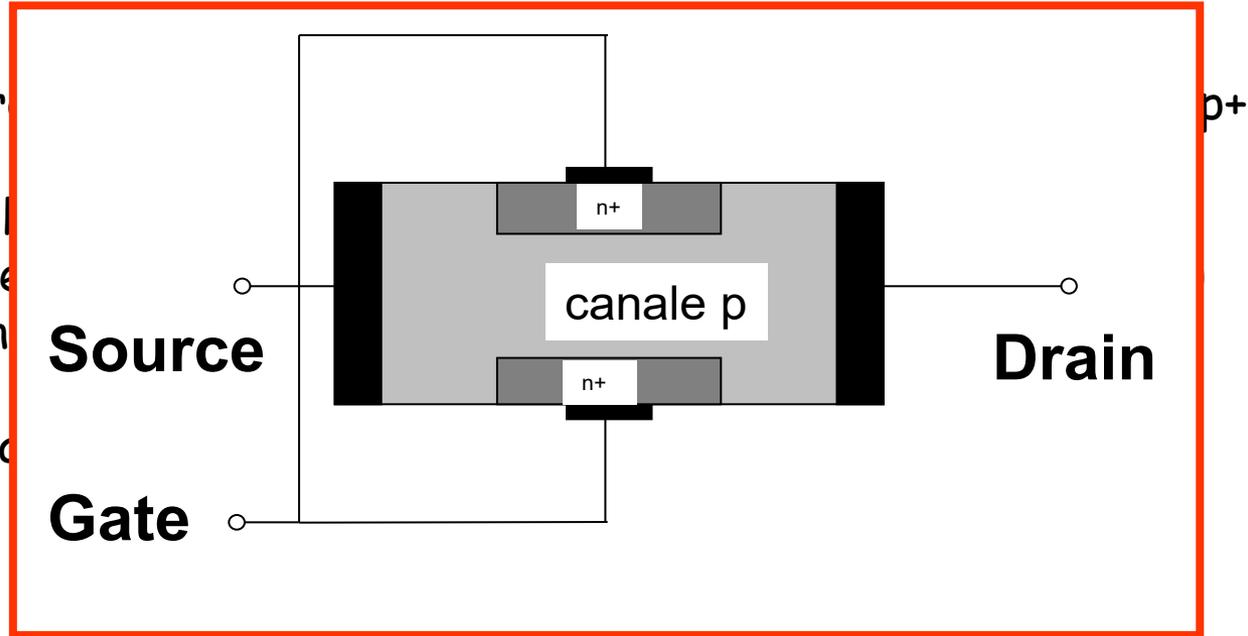
# Junction Field Effect Transistor (JFET)

barretta di SC a debole dr  
elettrodi metallici :

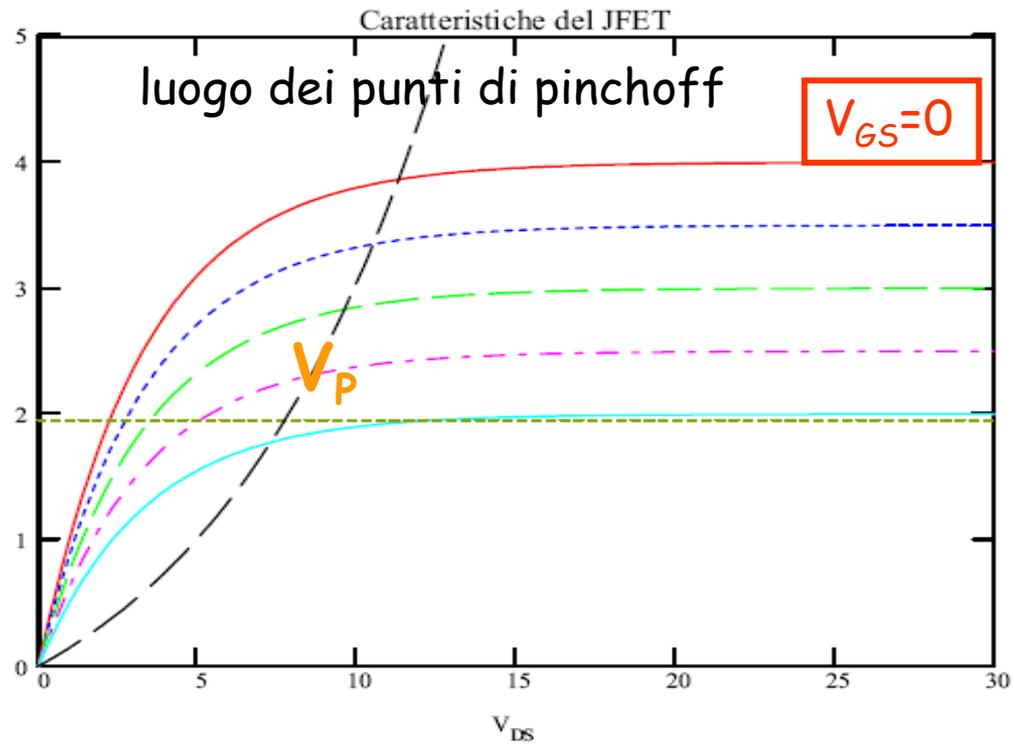
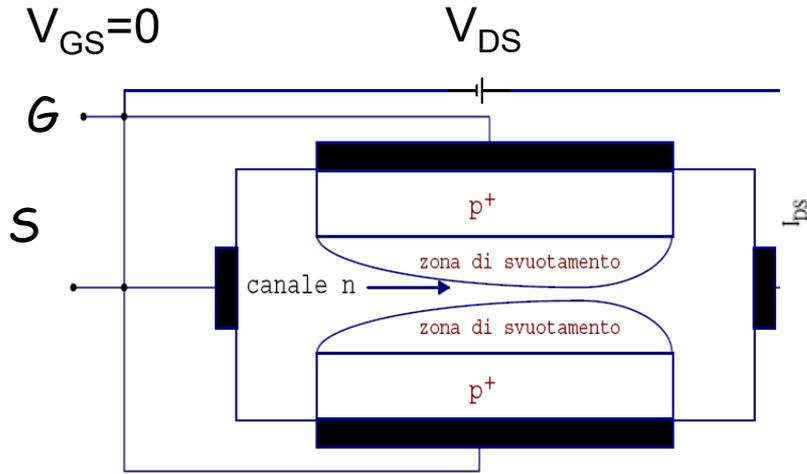
Gate = elettrodo di controllo

Source } tra questi due e  
Drain } modulata da un

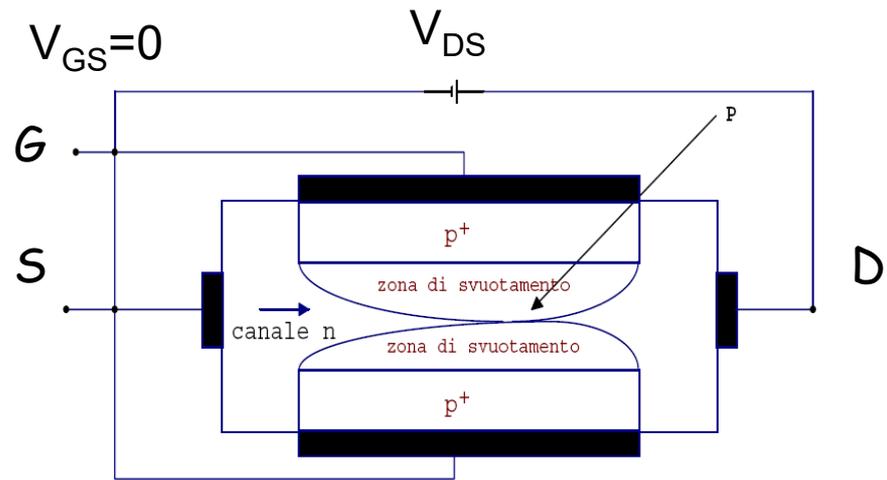
NB : Esiste anche il JFET d



E' possibile ottenere lo stesso effe



Continuando ad aumentare  $V_{DS}$  si raggiunge lo strozzamento. Il punto P si trova ad un potenziale tale per cui  $V_{GP} = V_P =$  tensione di pinchoff. Poiché  $V_{GS} = 0$ ,  $V_{SP} = V_{GP} = V_P$ , mentre  $V_{DP} \approx 0$  quindi  $V_{DS} = |V_P|$ .  $|V_P|$  si può definire come il valore minimo di  $V_{DS}$  che, per  $V_{GS} = 0$ , causa il pinchoff. Per  $V_{DS} > |V_P|$ ,  $I_{DS}$  rimane costante ( $= I_{DSS}$  = corrente di saturazione).



Se  $V_{GS} \neq 0$ , il pinchoff si verifica per valori di  $V_{DS}$  inferiori.

Aumentando  $V_{DS}$  si osserva che la ddp tra il punto P e il source rimane uguale a  $V_P$  mentre si origina una ddp tra drain e P pari a  $V_{DS} - |V_P|$ , grazie alla quale gli elettroni che raggiungono il punto P proseguono verso il drain.

La ddp per cui inizia la saturazione è data da  $V'_{DS} \cong V_{GS} - V_P$

In questa relazione troviamo i comportamenti che abbiamo descritto finora:

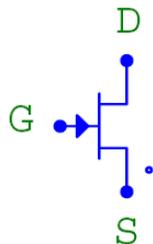
per  $V_{GS} = V_P \rightarrow V'_{DS} = 0$  che produce  $I_{DS} = 0$  qualunque sia  $V_{DS}$

per  $V_{GS} = 0 \rightarrow V'_{DS} = V_P$

Anche il JFET (come il BJT) può essere usato come amplificatore nella zona di saturazione.

Si controlla una corrente con un segnale di tensione (nel BJT si controlla una corrente con un'altra corrente più piccola).

(canale n)



(canale p)

