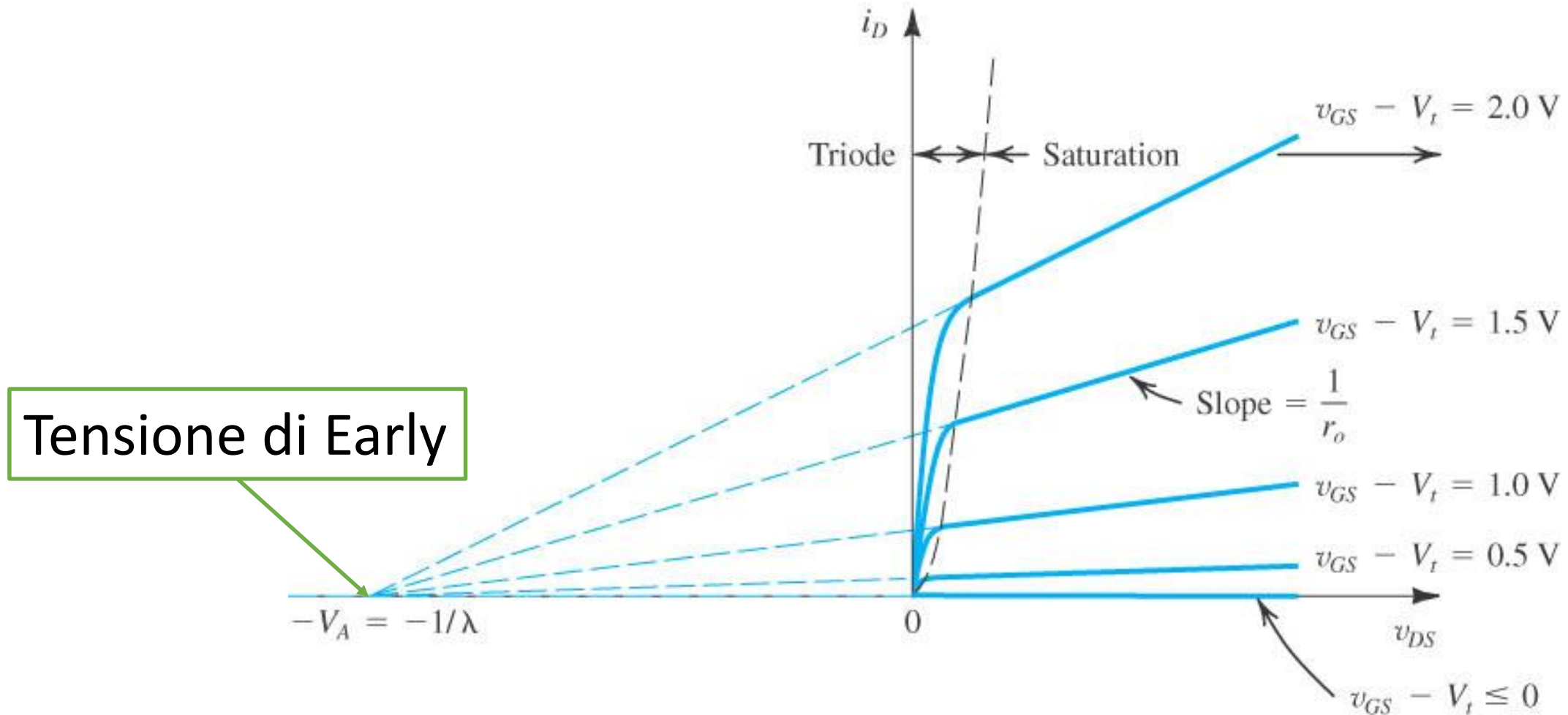


# Elettronica Digitale

## A.A. 2020-2021

Lezione 25/03/2021

# Transistore MOSFET – Effetto della modulazione di canale



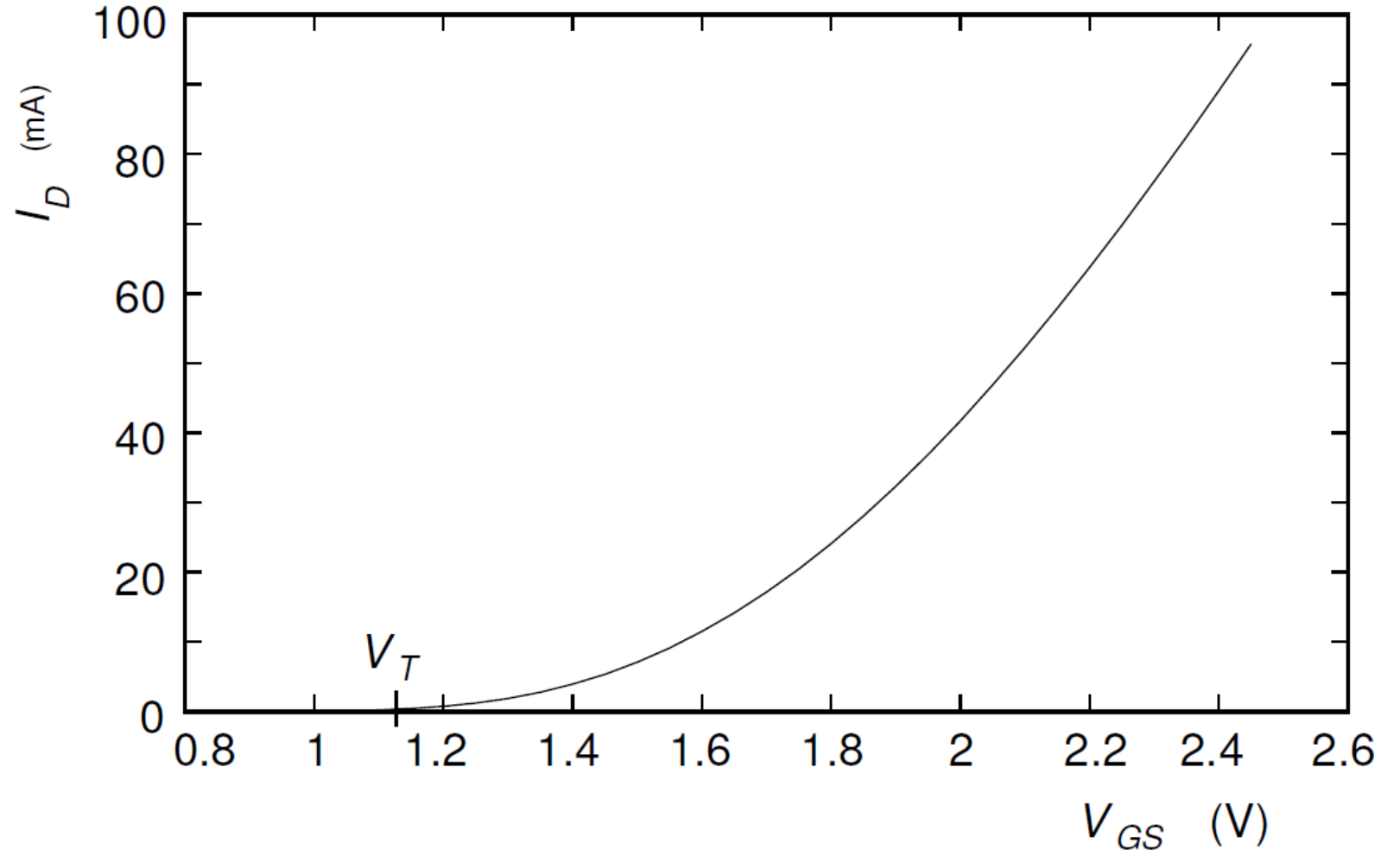
ZONA SATURAZIONE

$$I_D = k \frac{W}{L} (V_{GS} - V_T)^2 (1 + \lambda V_{DS})$$

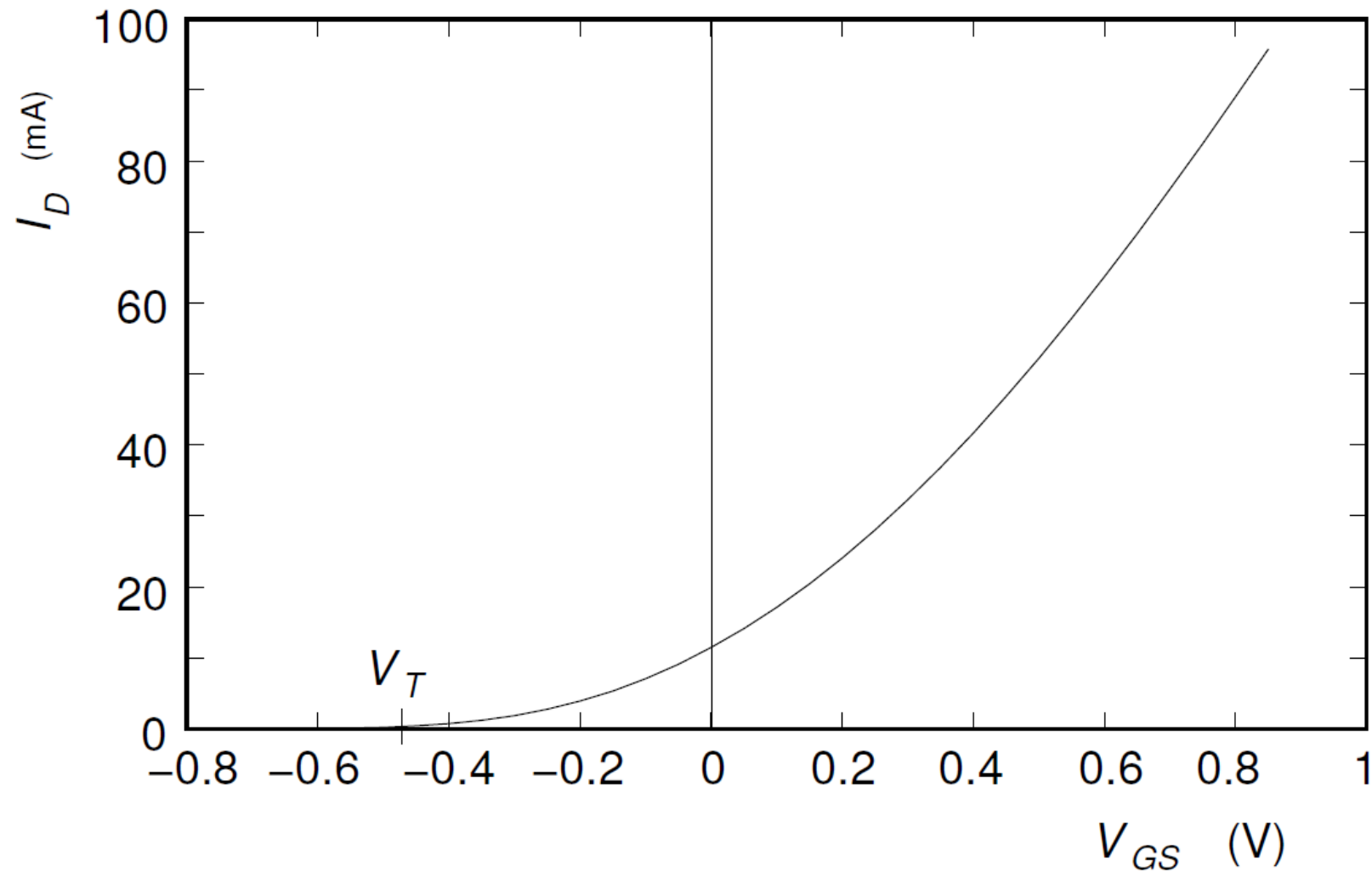
# Transistore MOSFET – Transcaratteristica

## ZONA SATURAZIONE

$$I_D = k \frac{W}{L} (V_{GS} - V_T)^2$$



# Transistore MOSFET a svuotamento - Transcaratteristica

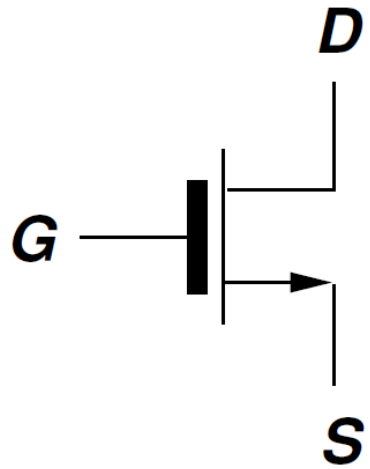


# Transistore MOSFET a canale p

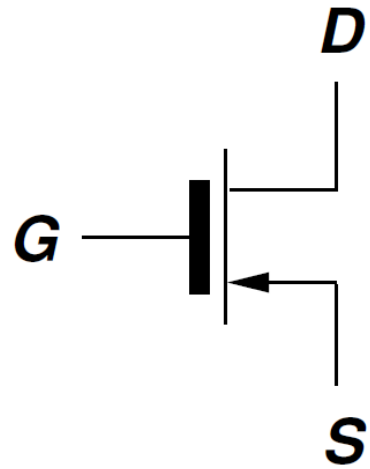
Per i transistori MOS esistono versioni complementari a canale p, nelle quali il substrato è di tipo n e le diffusioni di source e di drain sono di tipo p+. In tali transistori il trasporto tra source e drain è ottenuto tramite una corrente di lacune, che vengono indotte alla superficie tramite l'applicazione di una tensione negativa tra gate e bulk. Pertanto le caratteristiche di un transistore a canale p sono equivalenti a quelle di un transistore a canale n, purché **si scambino i segni di correnti e tensioni.**

I MOS a canale p hanno prestazioni inferiori, a parità di altre caratteristiche, rispetto ai corrispondenti transistori a canale n, in conseguenza della **ridotta mobilità** delle lacune rispetto a quella degli elettroni. Si può compensare peraltro tale ridotta mobilità con un aumento della larghezza di canale  $W$ , cosa che si fa molto frequentemente, dato che la disponibilità di transistori MOS complementari è alla base della tecnologia CMOS, che rappresenta, come vedremo più avanti, uno dei motori trainanti dell'attuale industria microelettronica.

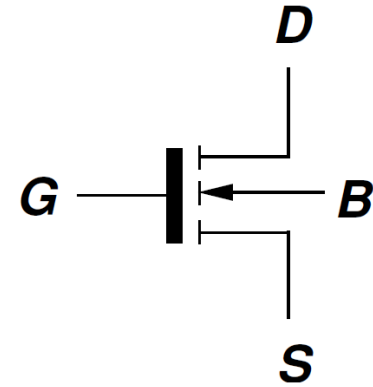
# Transistore MOSFET – Simboli circuitali



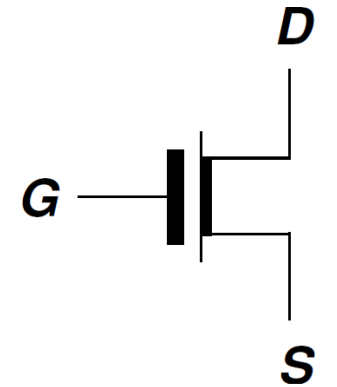
canale *n*



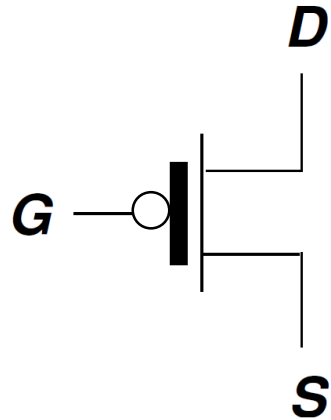
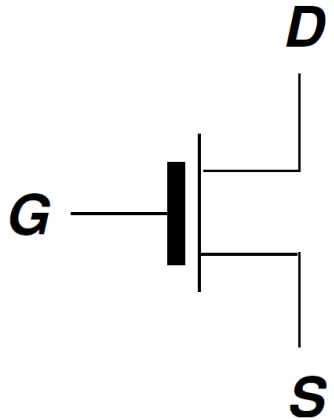
canale *p*



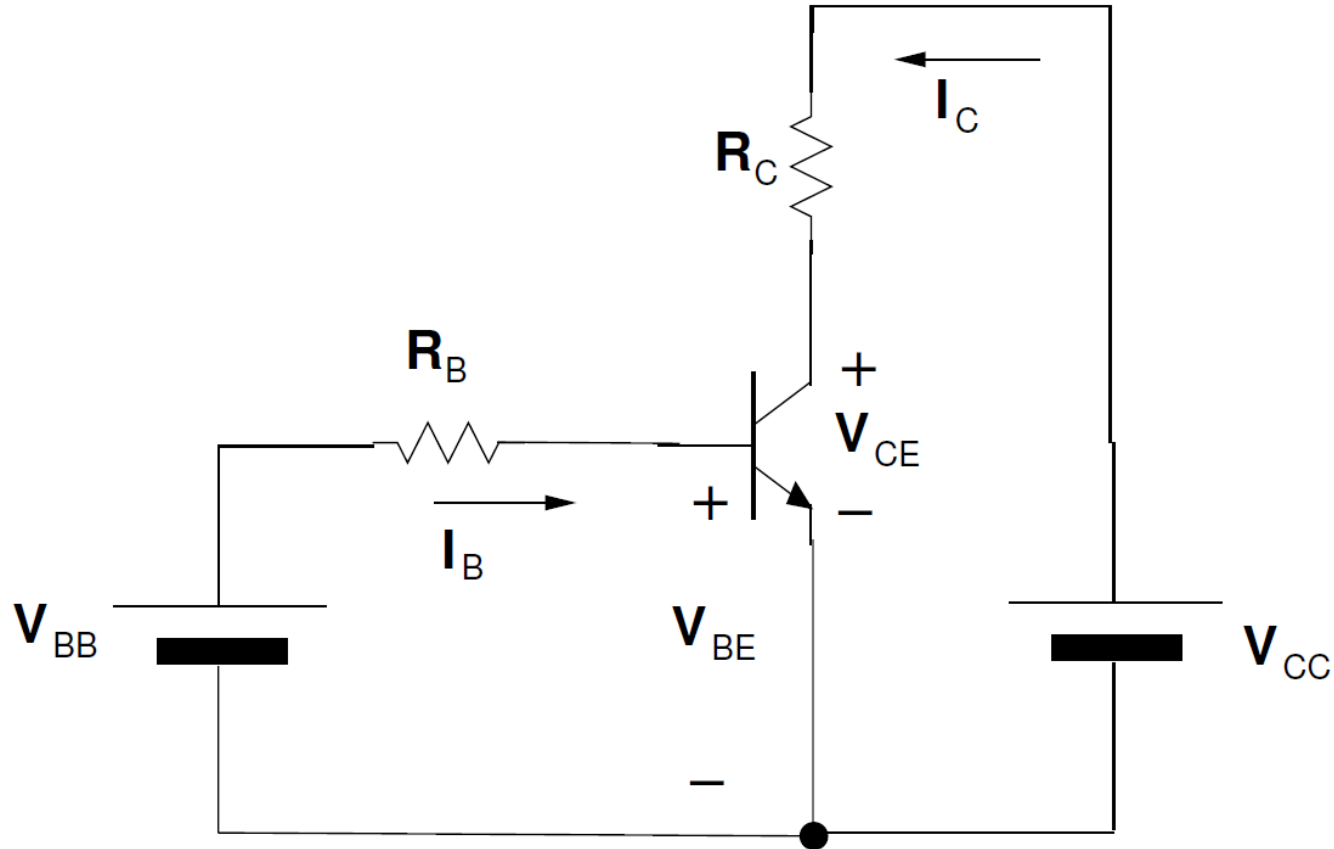
Arricchimento



Svuotamento



# Polarizzazione transistor BJT



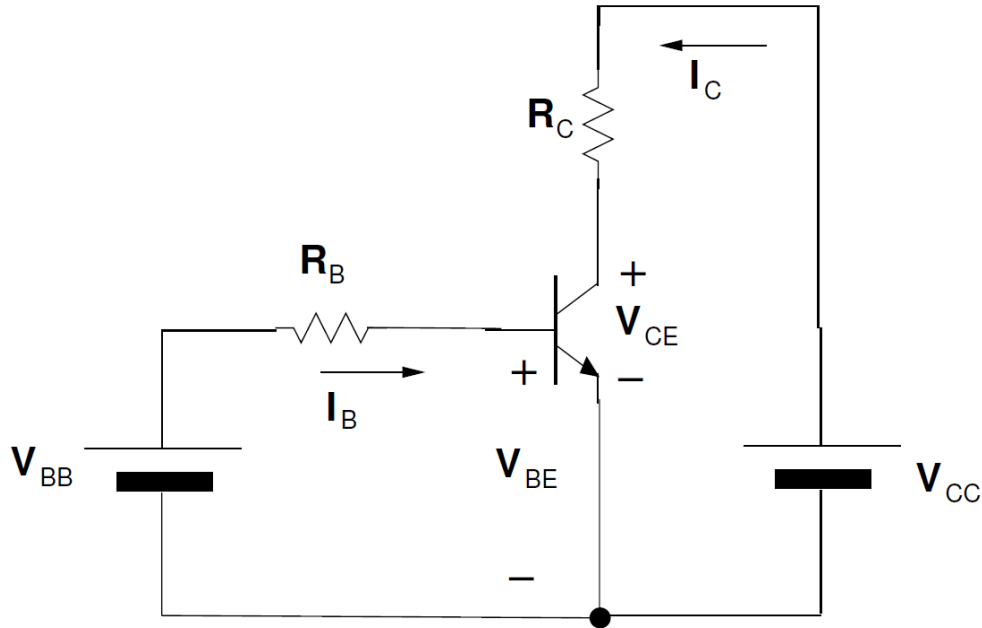
## Equazioni circuitali

$$\begin{cases} V_{BB} = R_B I_B + V_{BE} \\ V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} \end{cases}$$

## Caratteristiche BJT

$$\begin{cases} I_B = f(V_{BE}, V_{CE}) \\ I_C = g(V_{CE}, I_B) \end{cases}$$

# Polarizzazione transistor BJT – metodo matematico



Equazioni circuitali

$$\begin{cases} V_{BB} = R_B I_B + V_{BE} \\ V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} \end{cases}$$

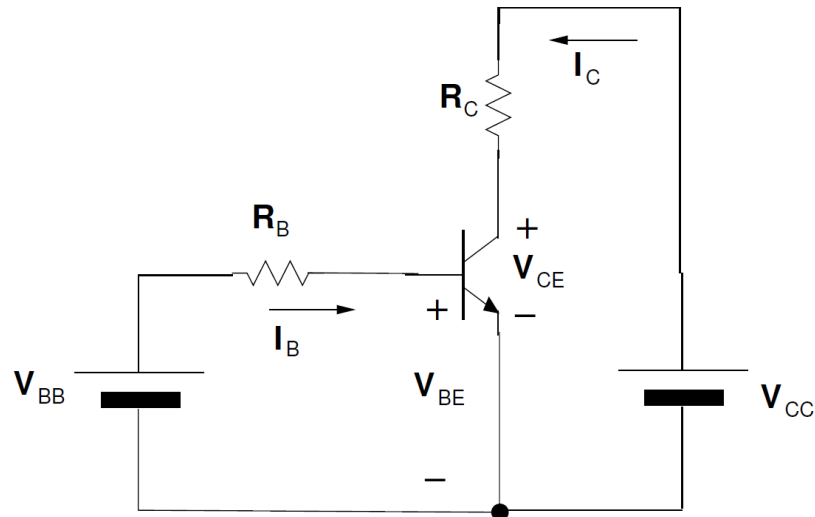
$$\begin{cases} I_B = f(V_{BE}, V_{CE}) \\ I_C = g(V_{CE}, I_B) \end{cases}$$



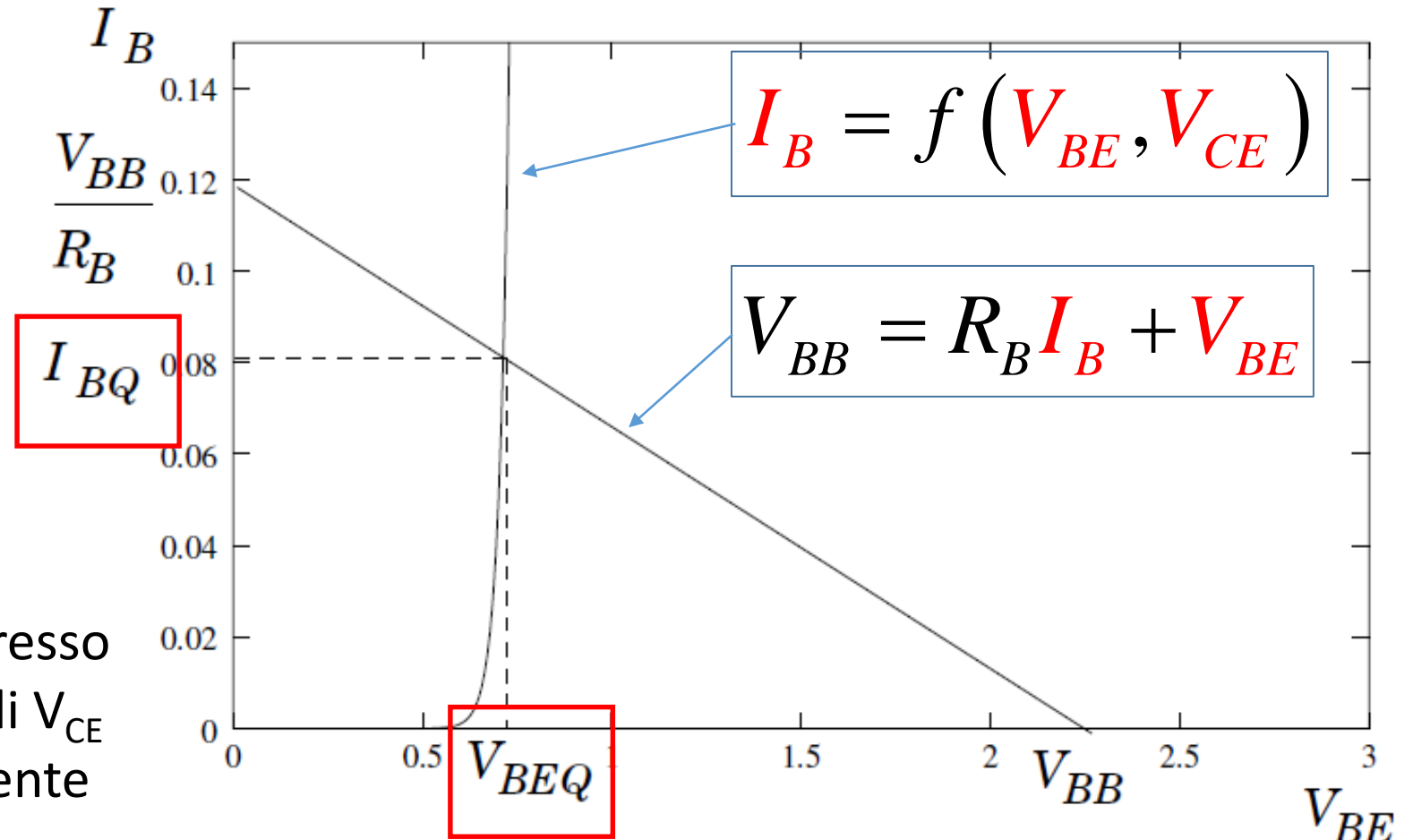
Equazioni di Ebers-Moll



# Polarizzazione transistor BJT – metodo grafico

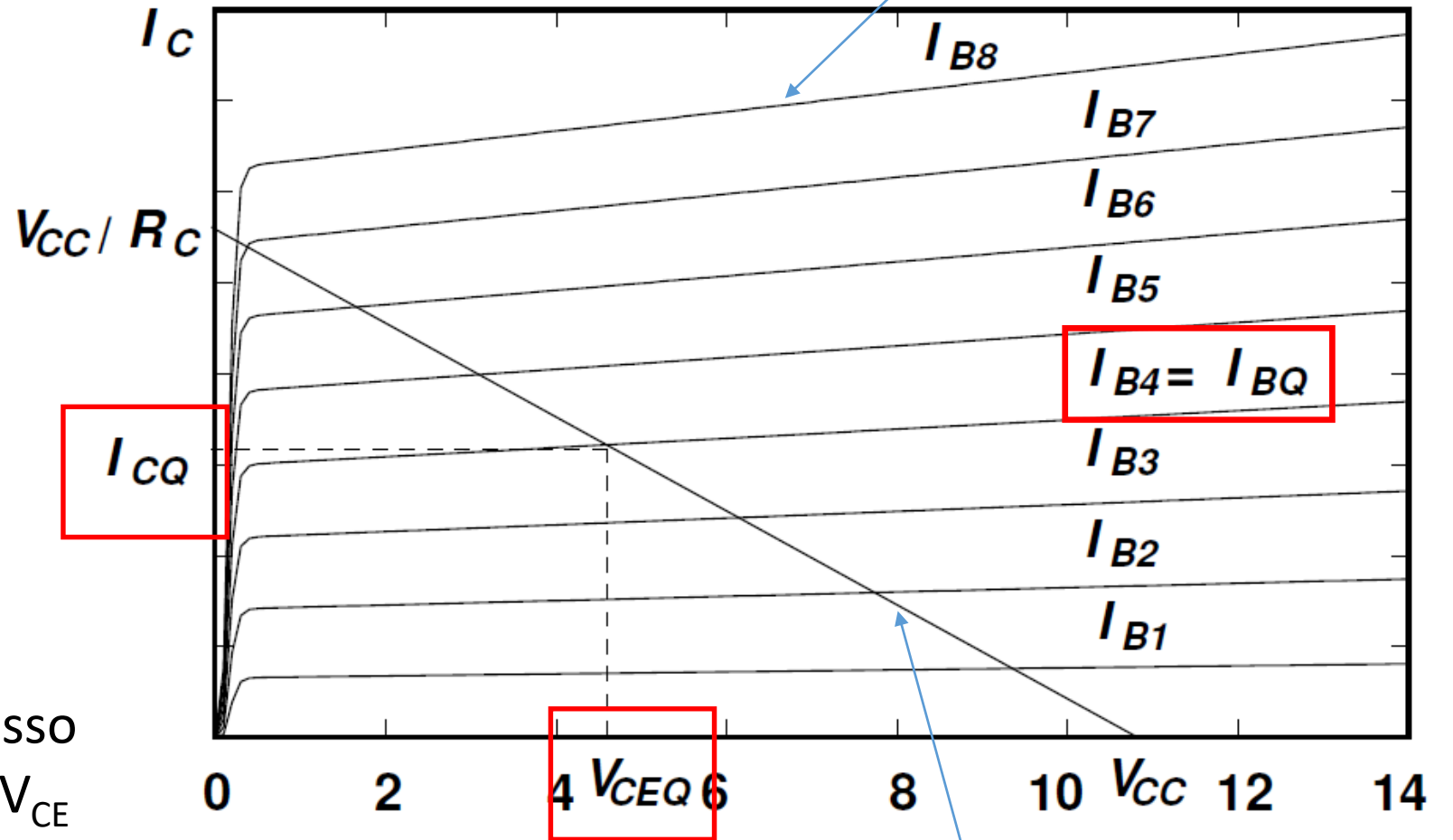
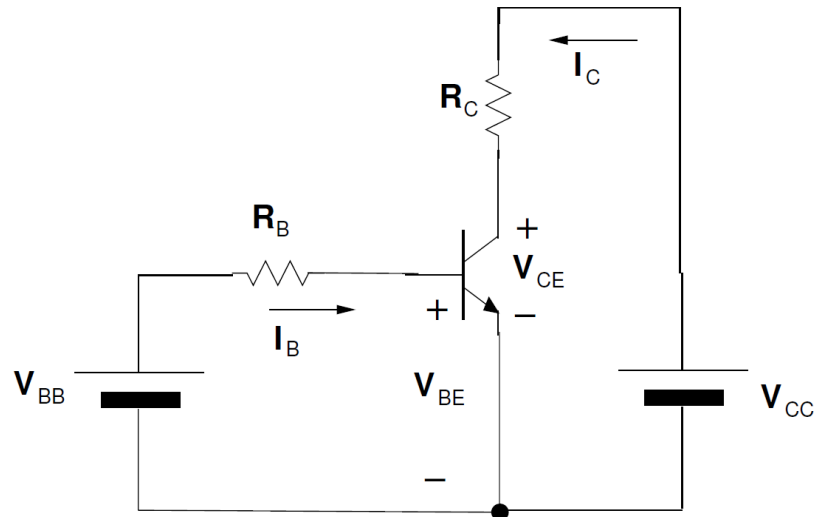


Ipotesi: le caratteristiche di ingresso corrispondenti a diversi valori di  $V_{CE}$  non differiscono significativamente tra loro.



# Polarizzazione transistor BJT – metodo grafico

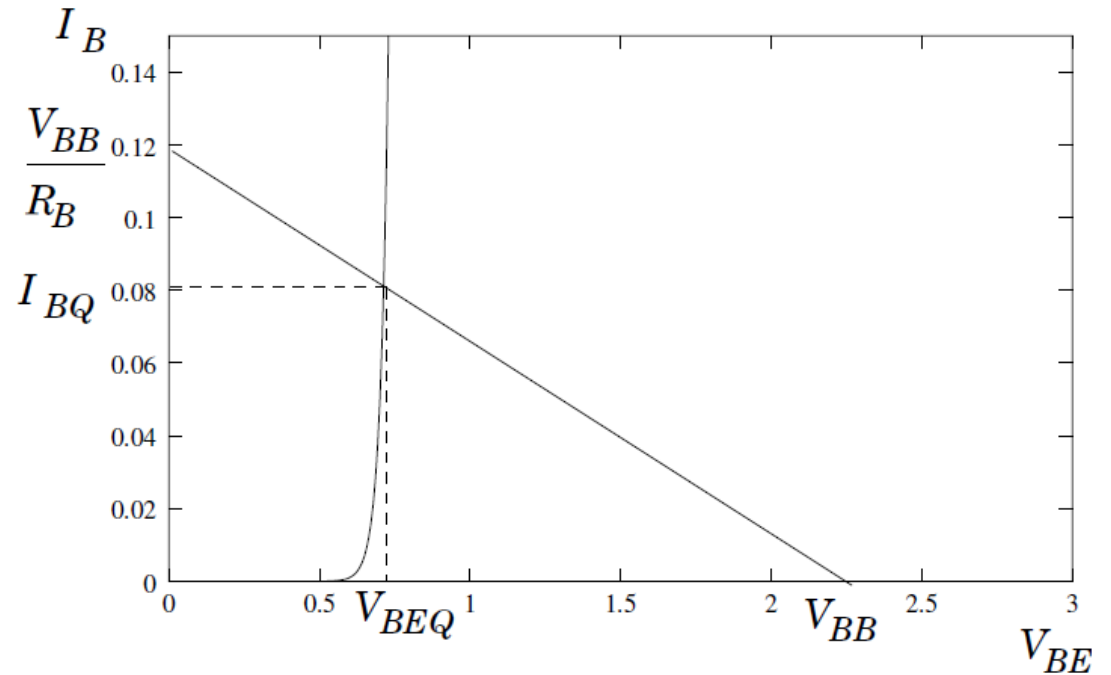
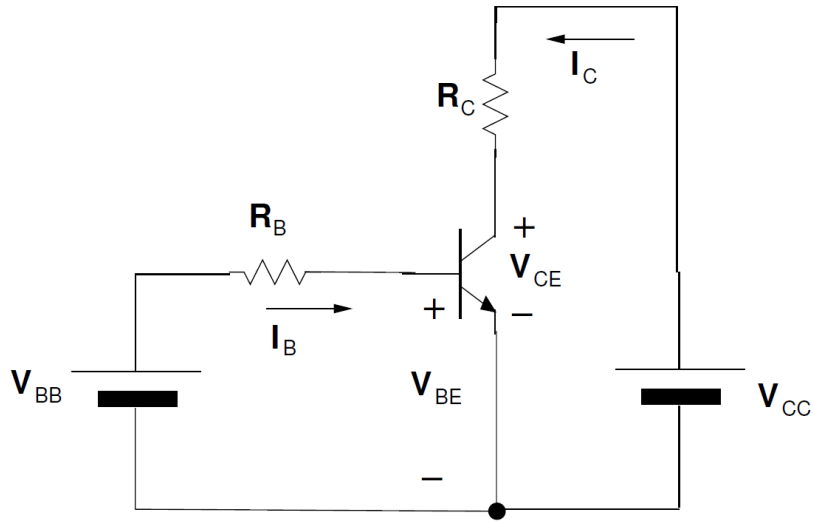
$$I_C = g(V_{CE}, I_B)$$



Ipotesi: le caratteristiche di ingresso corrispondenti a diversi valori di  $V_{CE}$  non differiscono significativamente tra loro.

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

# Polarizzazione transistor BJT – metodo grafico semplificato



In zona attiva diretta la  $V_{BE}$  non si discosta da  $V_\gamma$  più di 0.1-0.15 V



$$V_{BEQ} \approx V_\gamma = 0.7 \text{ V}$$

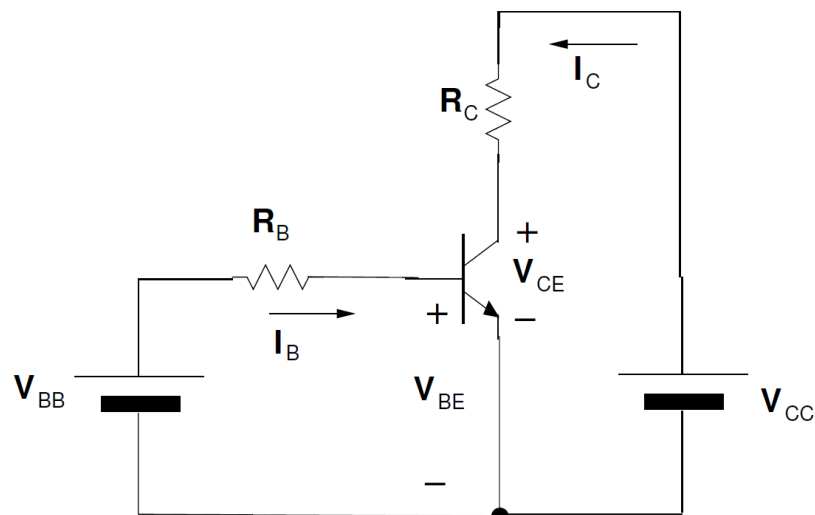


$$V_{BB} = R_B I_B + V_{BE} \rightarrow I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$



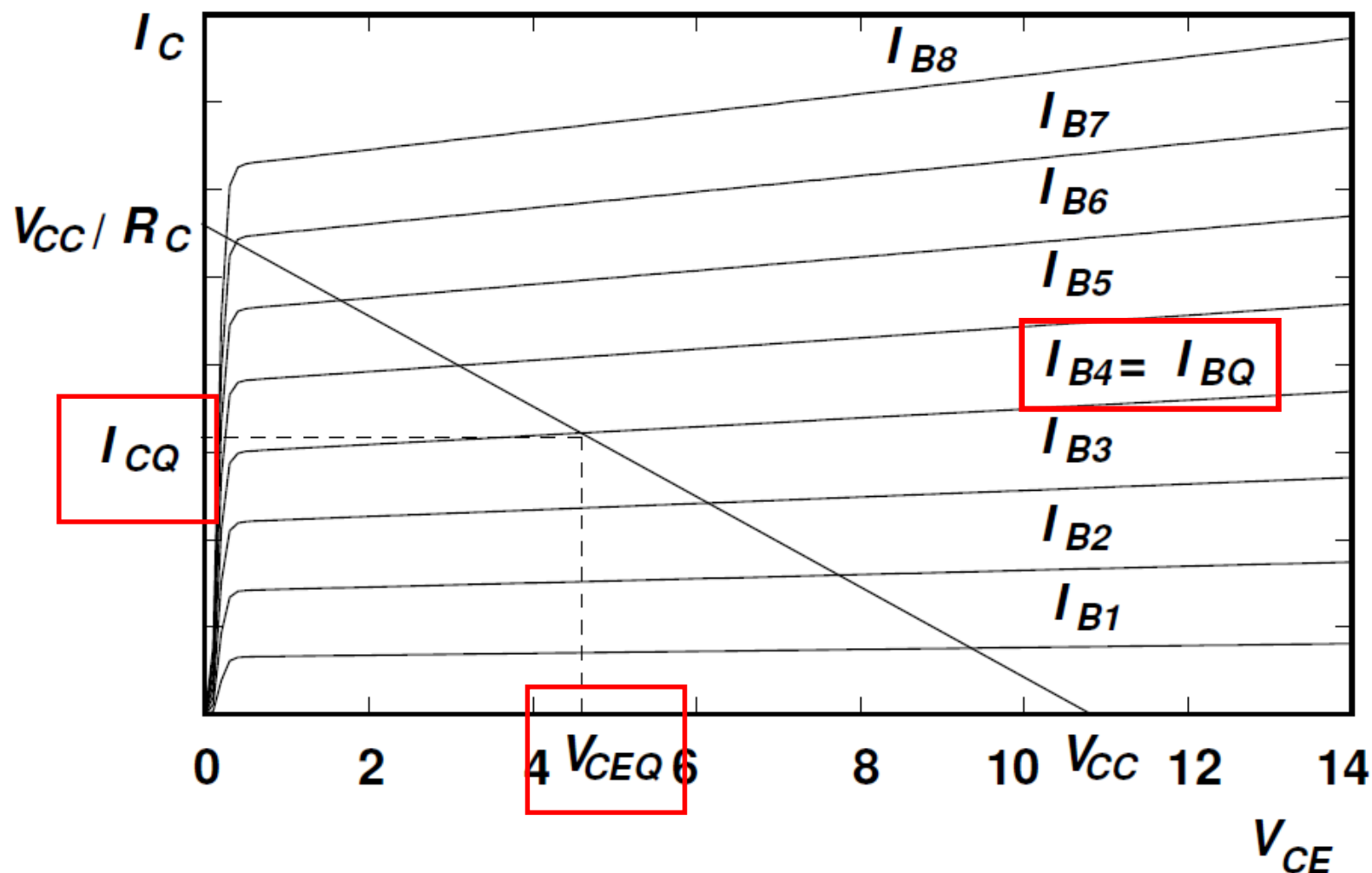
$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - V_{BEQ}}{R_B} = \frac{V_{BB} - V_\gamma}{R_B} = \frac{V_{BB} - 0.7}{R_B}$$

# Polarizzazione transistor BJT – metodo grafico semplificato



$$V_{BEQ} \approx V_\gamma = 0.7 \text{ V}$$

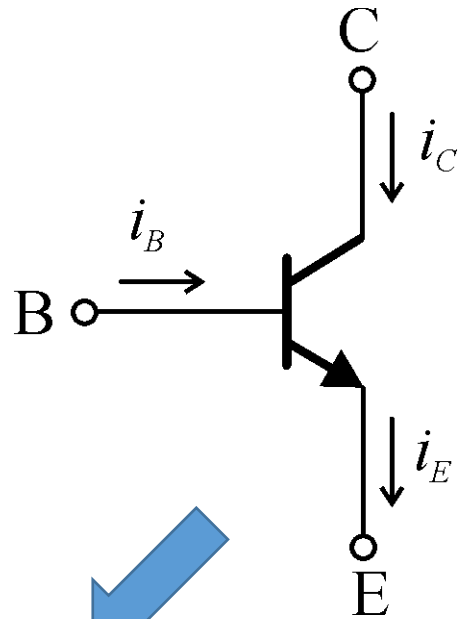
$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - 0.7}{R_B}$$



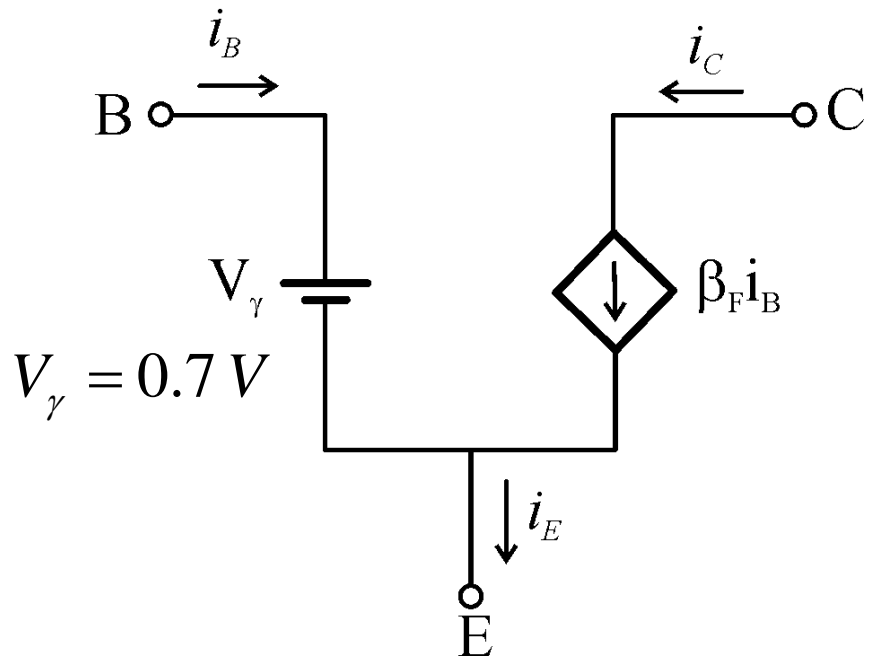
Non uso le caratteristiche di ingresso ma solo quelle di uscita

# Transistore BJT – Circuiti equivalenti per ampi segnali semplificati

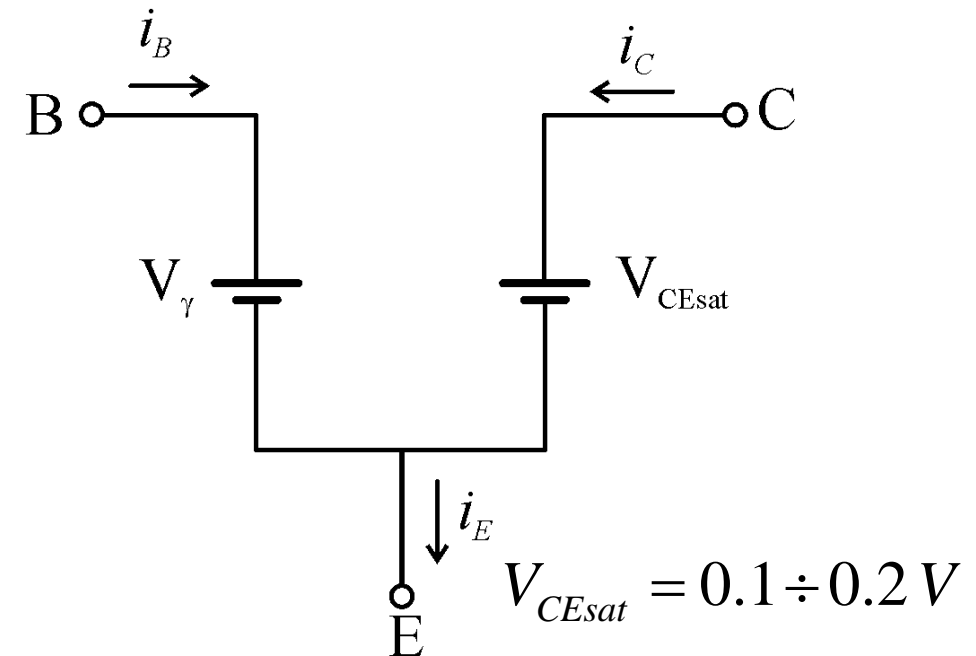
NPN



ZONA ATTIVA DIRETTA

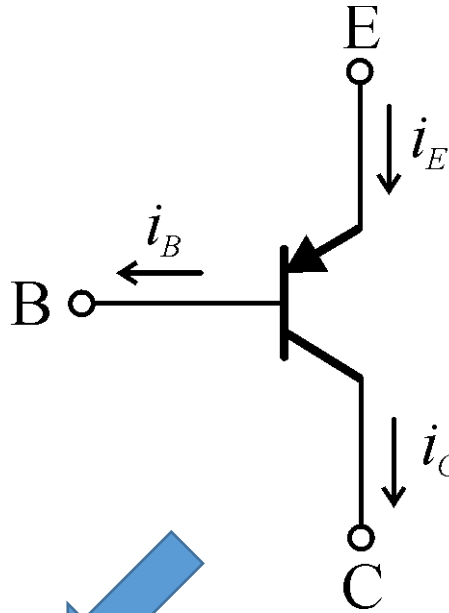


SATURAZIONE

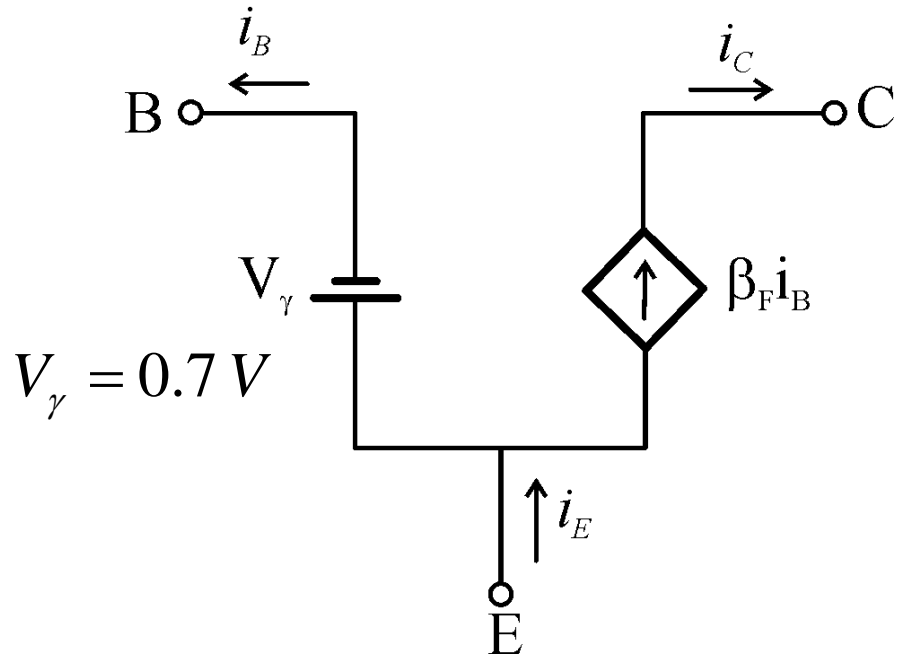


# Transistore BJT – Circuiti equivalenti per ampi segnali semplificati

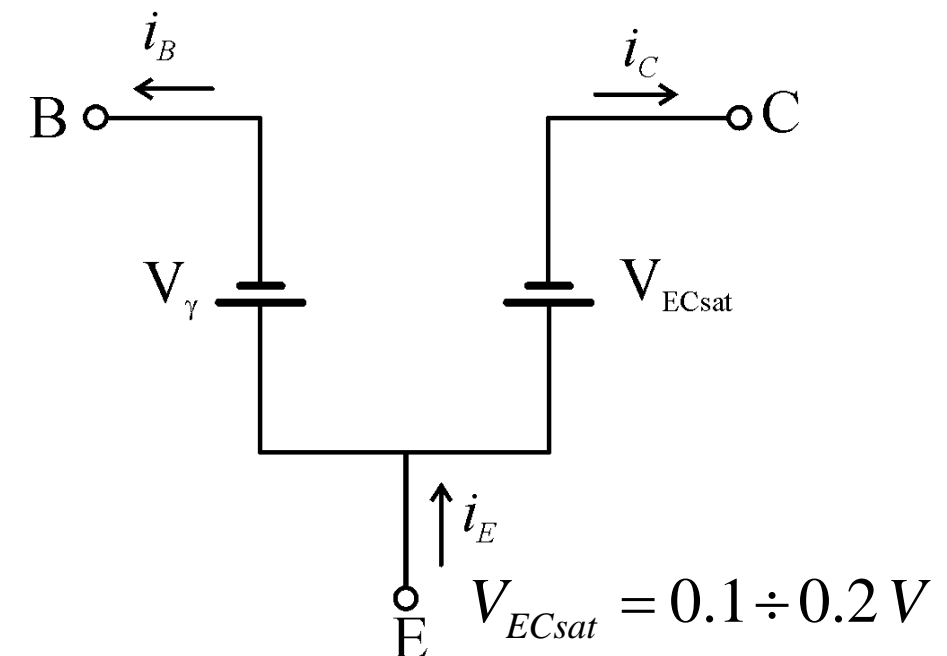
PNP



ZONA ATTIVA DIRETTA



SATURAZIONE



# Transistore BJT – Circuiti equivalenti per ampi segnali semplificati

IPOTESI	VERIFICA NPN	VERIFICA PNP
ZONA ATTIVA DIRETTA	$v_{CE} \geq 0.3 V$	$v_{EC} \geq 0.3 V$
SATURAZIONE	$i_C < \beta_F i_B$	$i_C < \beta_F i_B$