

ELETTRONICA

CdS Ingegneria Biomedica

LEZIONE A.07

I transistori FET

Funzionamento dei FET

Realizzazione e caratteristiche del MOSFET

Realizzazione e caratteristiche del JFET

Polarizzazione dei FET

Modello dei FET per piccoli segnali

Parte 1

Funzionamento dei FET

Idea base
Comportamento dei dispositivi

Idea base

- **Il campo elettrico altera la disposizione dei portatori di carica in un semiconduttore**
 - **Si può aumentare la concentrazione di portatori di un certo tipo (elettroni o lacune)**
 - **Al contrario, si possono svuotare regioni dai portatori di carica mobili**
 - **In una regione priva di portatori di carica può scorrere corrente solo se vengono iniettati portatori dai confini della regione**
 - **La corrente che scorre nella regione è indipendente dal campo elettrico che si stabilisce ai suoi estremi**

Comportamento

➤ Impedenza di ingresso

- La grandezza di controllo è la tensione applicata al terminale di gate
- Visto che l'effetto che garantisce il funzionamento è dovuto al campo elettrico e non alla presenza di correnti, l'impedenza di ingresso è altissima

➤ Corrente di uscita

- In assenza di regioni "svuotate" dai portatori, il FET ha un comportamento ohmico (i proporzionale a v)
- Se si forma una regione priva di portatori, la corrente "satura", rimane cioè costante, indipendente dal valore di v

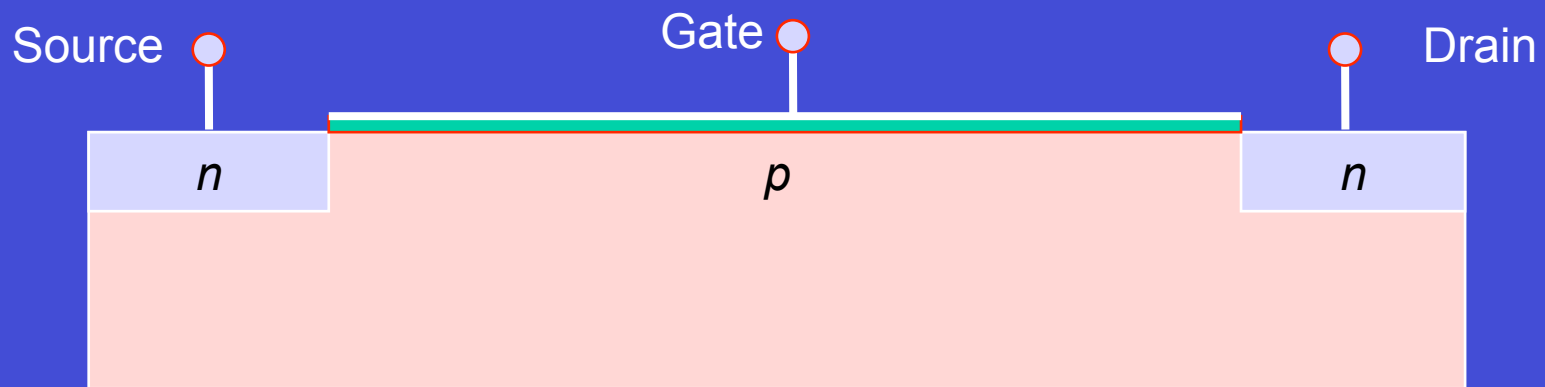
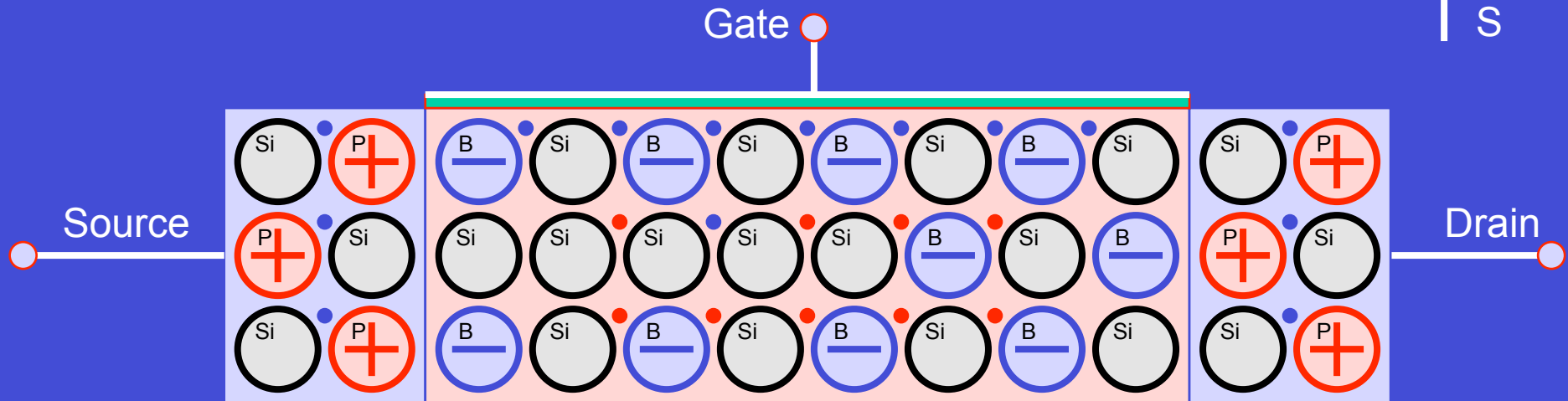
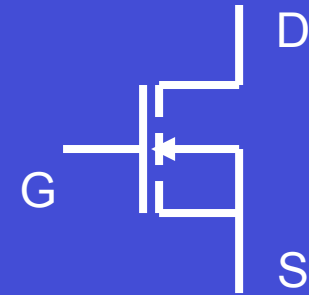
Parte 2
MOSFET

Realizzazione
Funzionamento
Caratteristiche

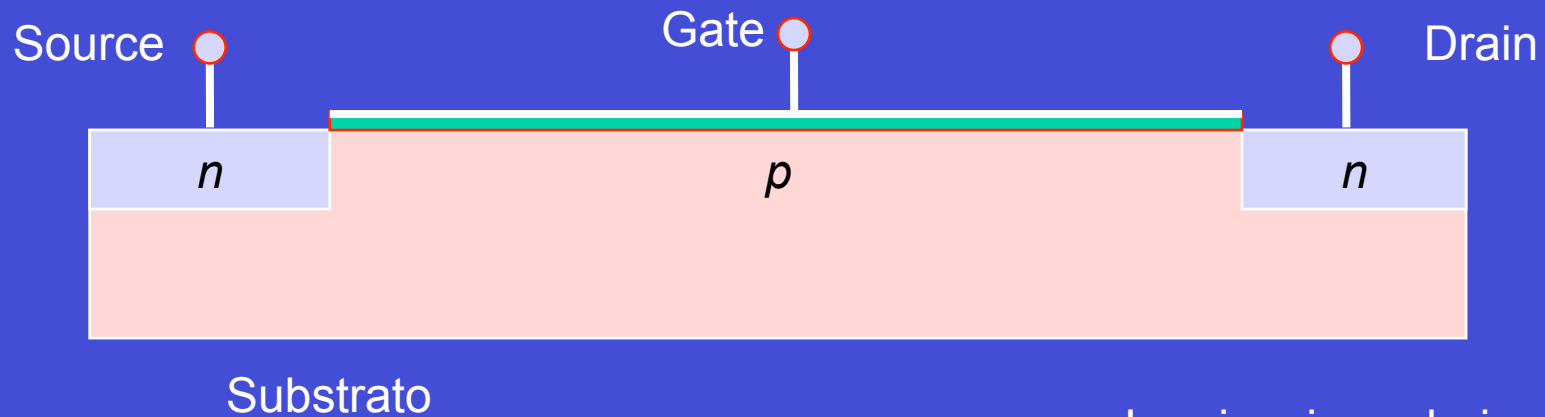
MOSFET

- **Il campo elettrico agisce attraverso un dielettrico**
 - **MOS: metallo, ossido isolante, semiconduttore**
 - **La struttura a riposo presenta una regione di semiconduttore (il canale) interposta tra due regioni di tipo opposto (drain e source)**
 - Simile a un BJT, ma lo strato centrale non è sottile e non ha un terminale di controllo
 - **La presenza del campo elettrico è in grado di richiamare portatori del tipo opposto a quelli maggioritari nel canale**
 - Si passa da una struttura, per esempio, n (drain), p (canale), n (source), che non fa passare corrente, a una conduttrice n (drain), n indotto (canale), n (source)

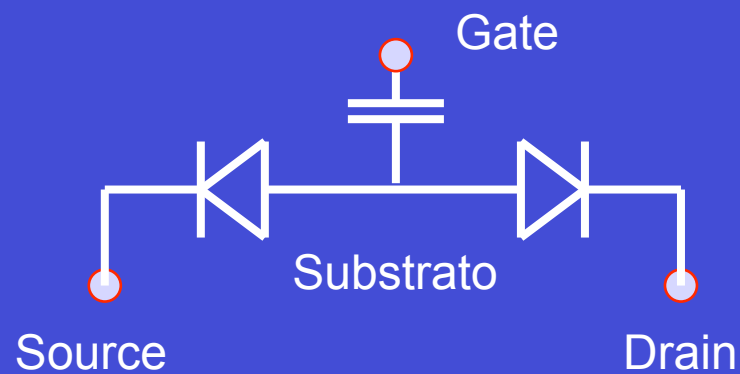
Com'è fatto (n)



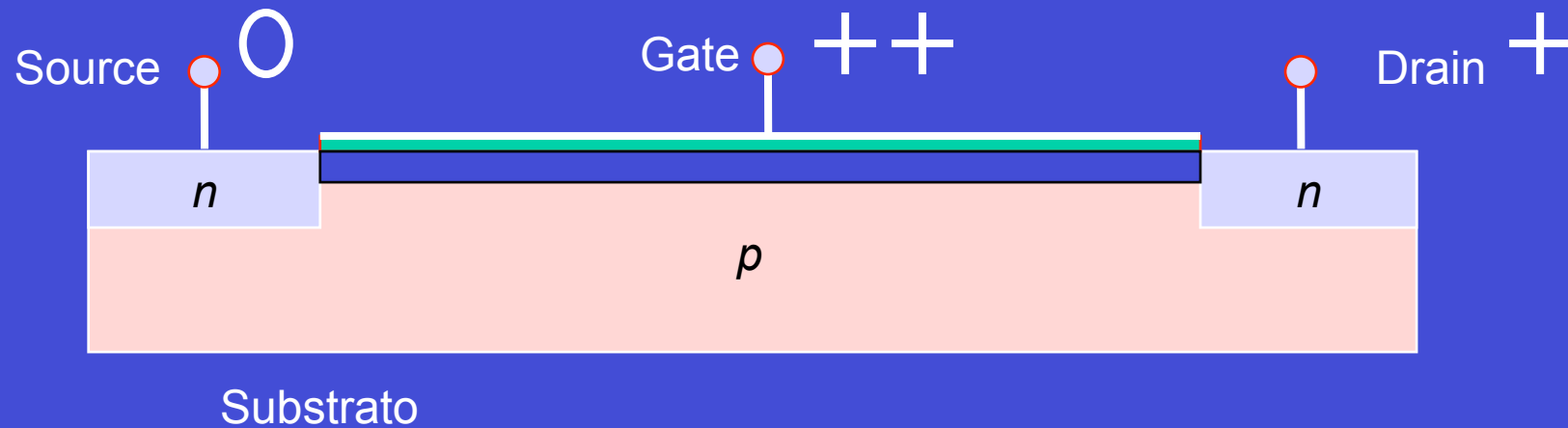
Interdizione ($V_{GS} < V_{THR}$)



La giunzione drain-canale è interdotta, non scorre corrente



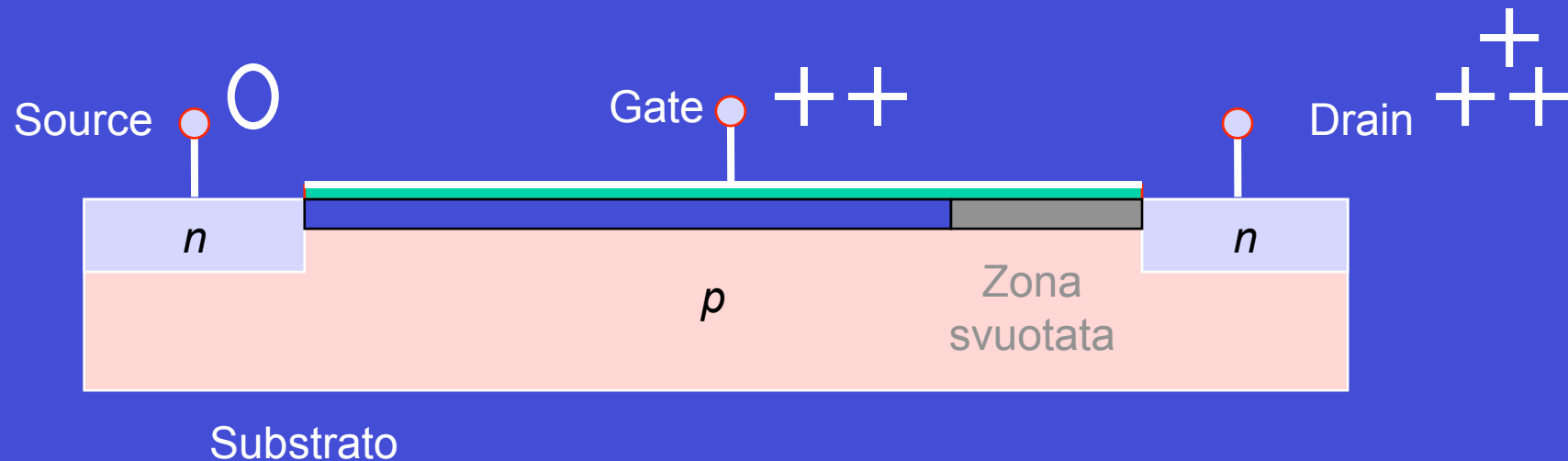
Zona ohmica o triodo ($V_{GS}, V_{GD} > V_{THR}$)



È presente un canale n tra drain e source. Il dispositivo conduce come una resistenza.

$$i_{DS} = \mu_n C_{ox} \frac{W}{2L} v_{DS} (v_{GS} + v_{GD} - 2V_{THR})$$

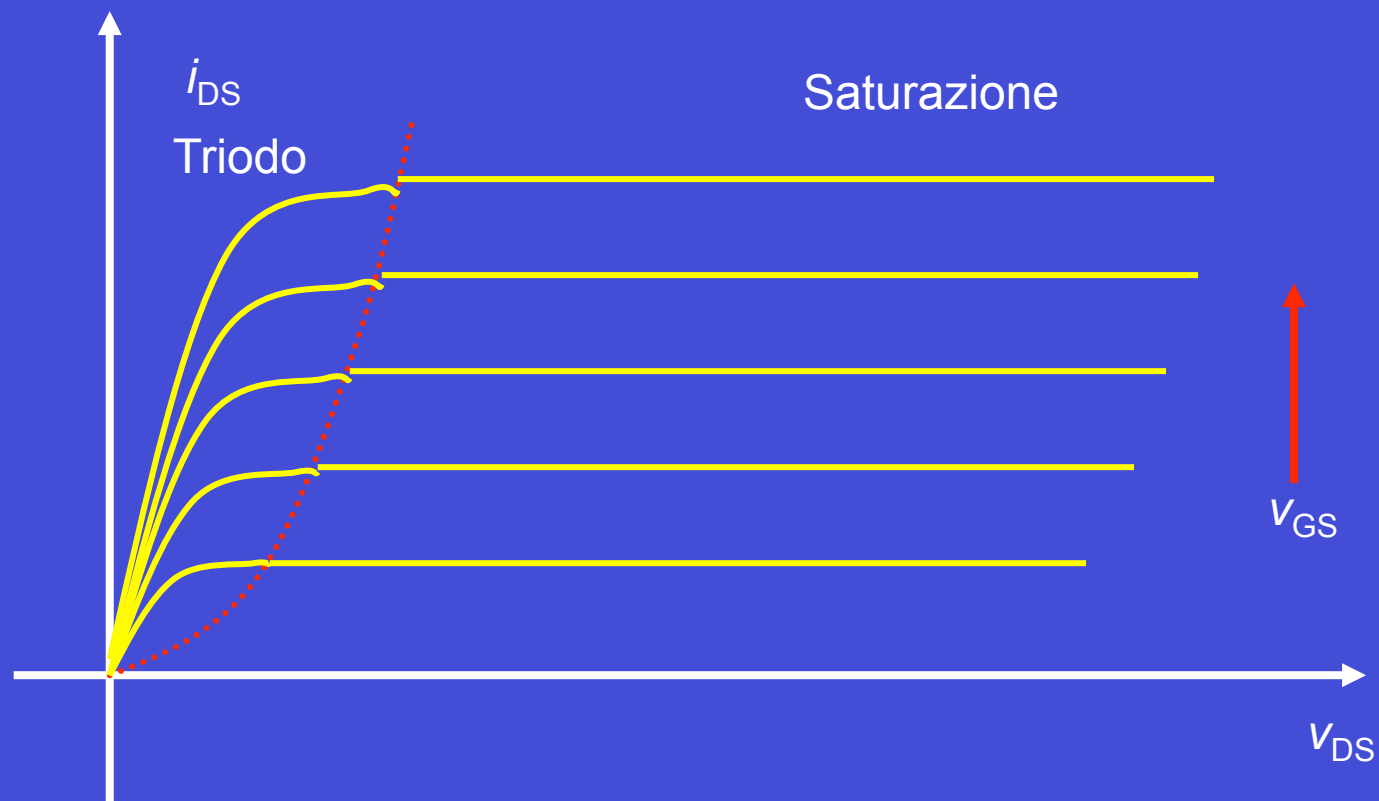
Saturazione ($V_{GS} > V_{THR}$, $V_{GD} < V_{THR}$)



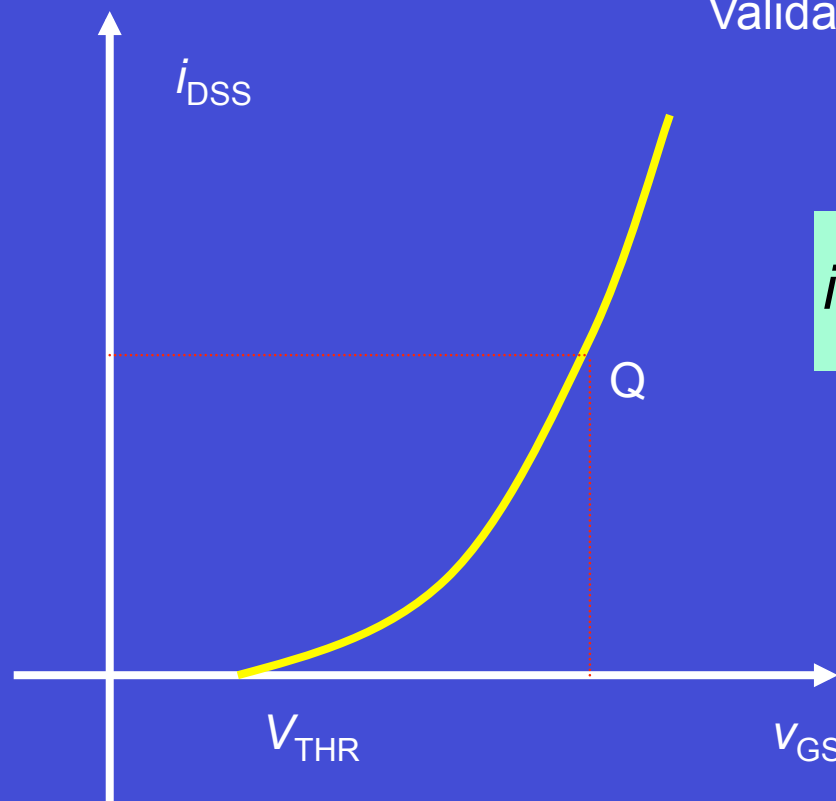
Il canale n non riesce a raggiungere il drain. Si forma una zona svuotata in cui vengono iniettati gli elettroni provenienti dal source. Il dispositivo conduce una corrente indipendente da v_{DS}

$$i_{DS} = \mu_n C_{ox} \frac{W}{2L} (V_{GS} - V_{THR})^2$$

Caratteristiche di uscita



Transcaratteristiche



Valida con il dispositivo in saturazione

$$i_{DS} = \mu_n C_{ox} \frac{W}{2L} (v_{GS} - V_{THR})^2$$

In questa regione il dispositivo funziona come amplificatore transconduttivo

Parte 3

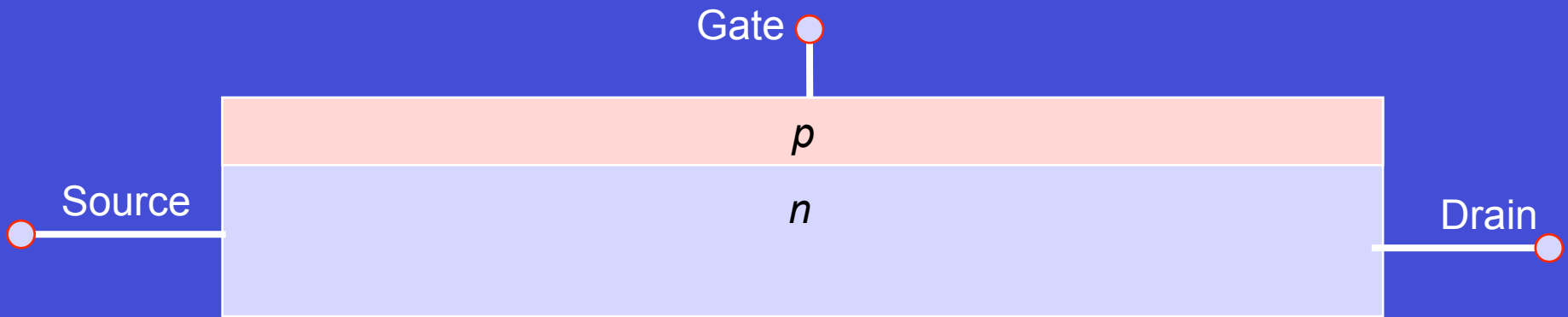
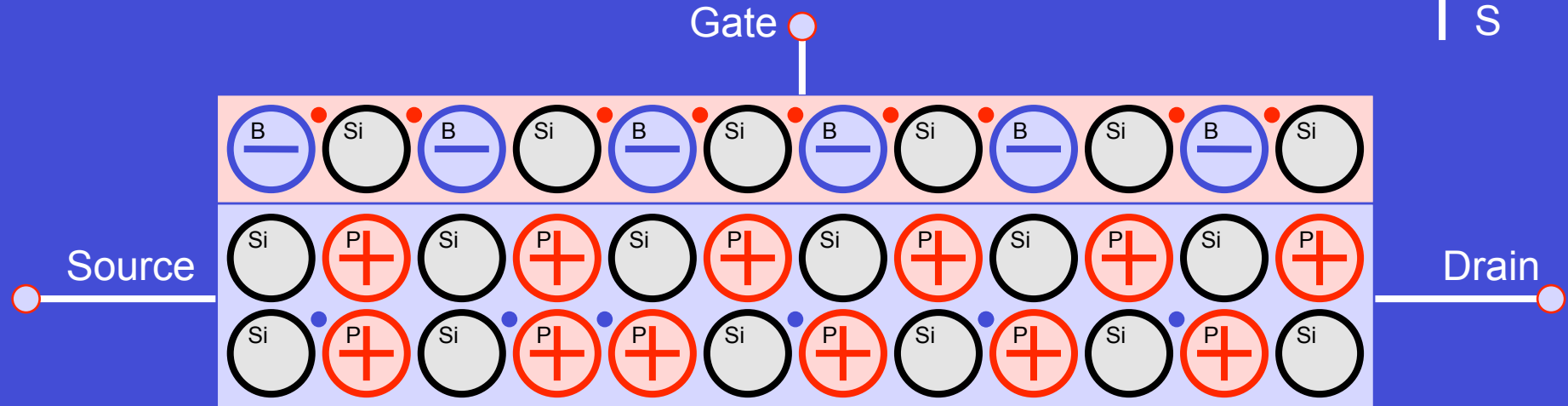
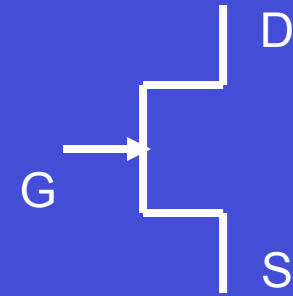
JFET

Realizzazione
Funzionamento
Caratteristiche

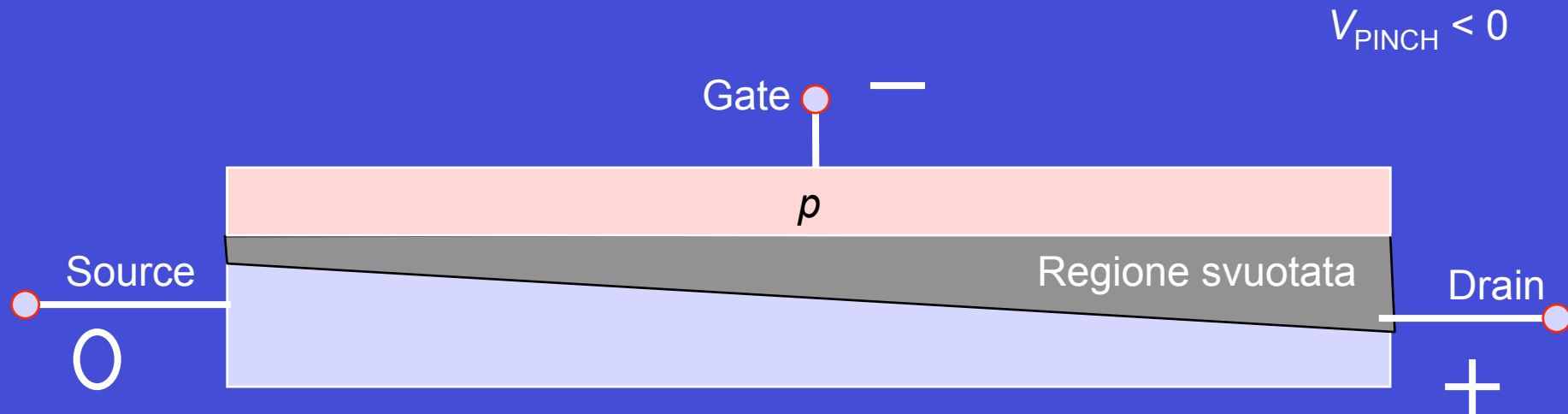
JFET

- **Il campo elettrico agisce attraverso una giunzione polarizzata inversamente**
 - **JFET: junction field effect transistor**
 - **La struttura ha una regione di semiconduttore (il canale) collegata agli estremi (drain e source) e interfacciata lateralmente a una regione di tipo opposto (gate)**
 - In assenza di tensione di gate, il JFET conduce corrente indisturbato
 - La zona di svuotamento laterale è quella di un diodo non polarizzato
 - **La presenza del campo elettrico è in grado di aumentare la profondità della zona di svuotamento laterale**
 - Esiste un valore della tensione (inversa) di controllo per cui il canale è completamente svuotato e non conduce

Com'è fatto (n)



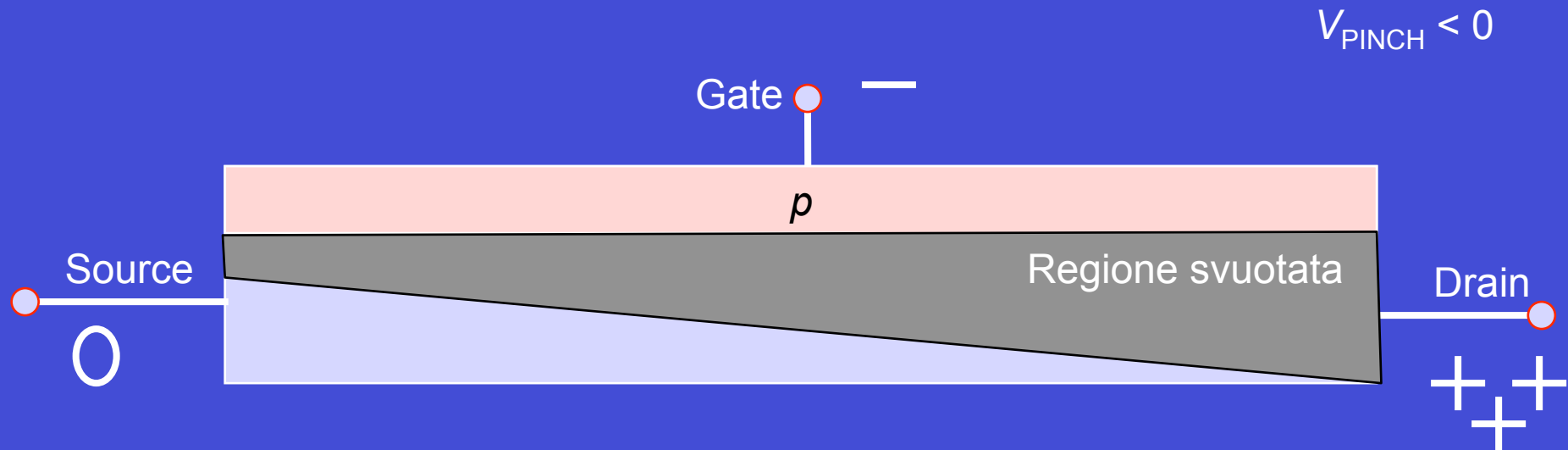
Zona ohmica ($V_{GS}, V_{GD} > V_{PINCH}$)



Source e drain sono normalmente in contatto. Il dispositivo conduce come una resistenza. Questa resistenza aumenta all'aumentare della tensione inversa.

$$i_{DS} = \mu_n C \frac{W}{2L} V_{DS} (V_{GS} + V_{GD} - 2V_P)$$

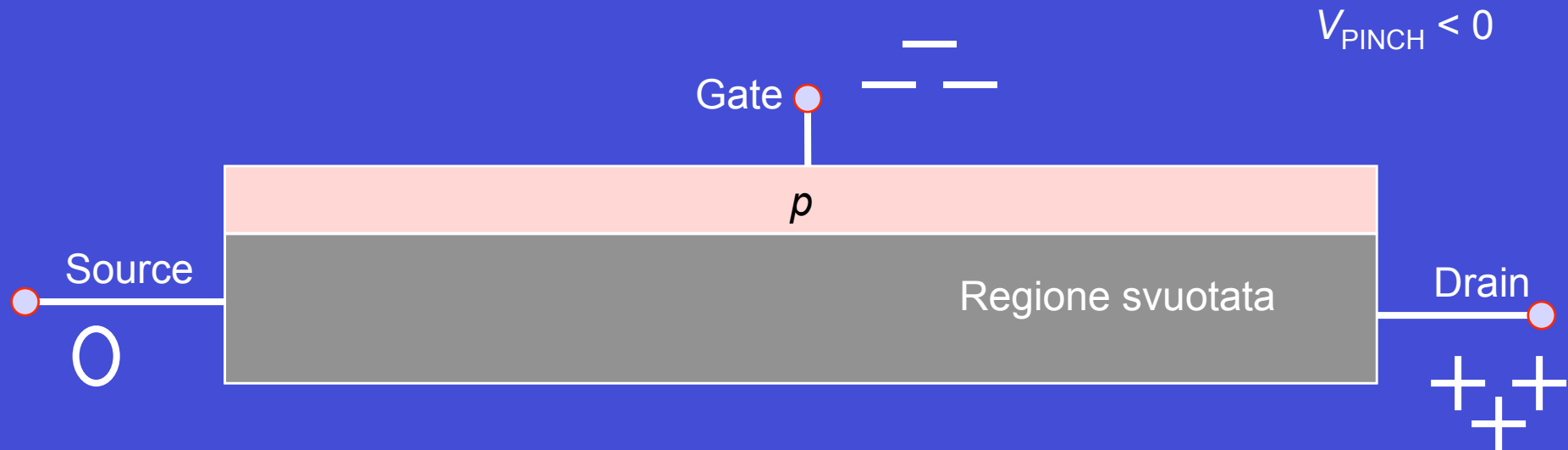
Saturazione ($v_{GS} > V_{PINCH}$, $v_{GD} < V_{PINCH}$)



$$i_{DS} = \mu_n C \frac{W}{2L} (v_{GS} - V_P)^2$$

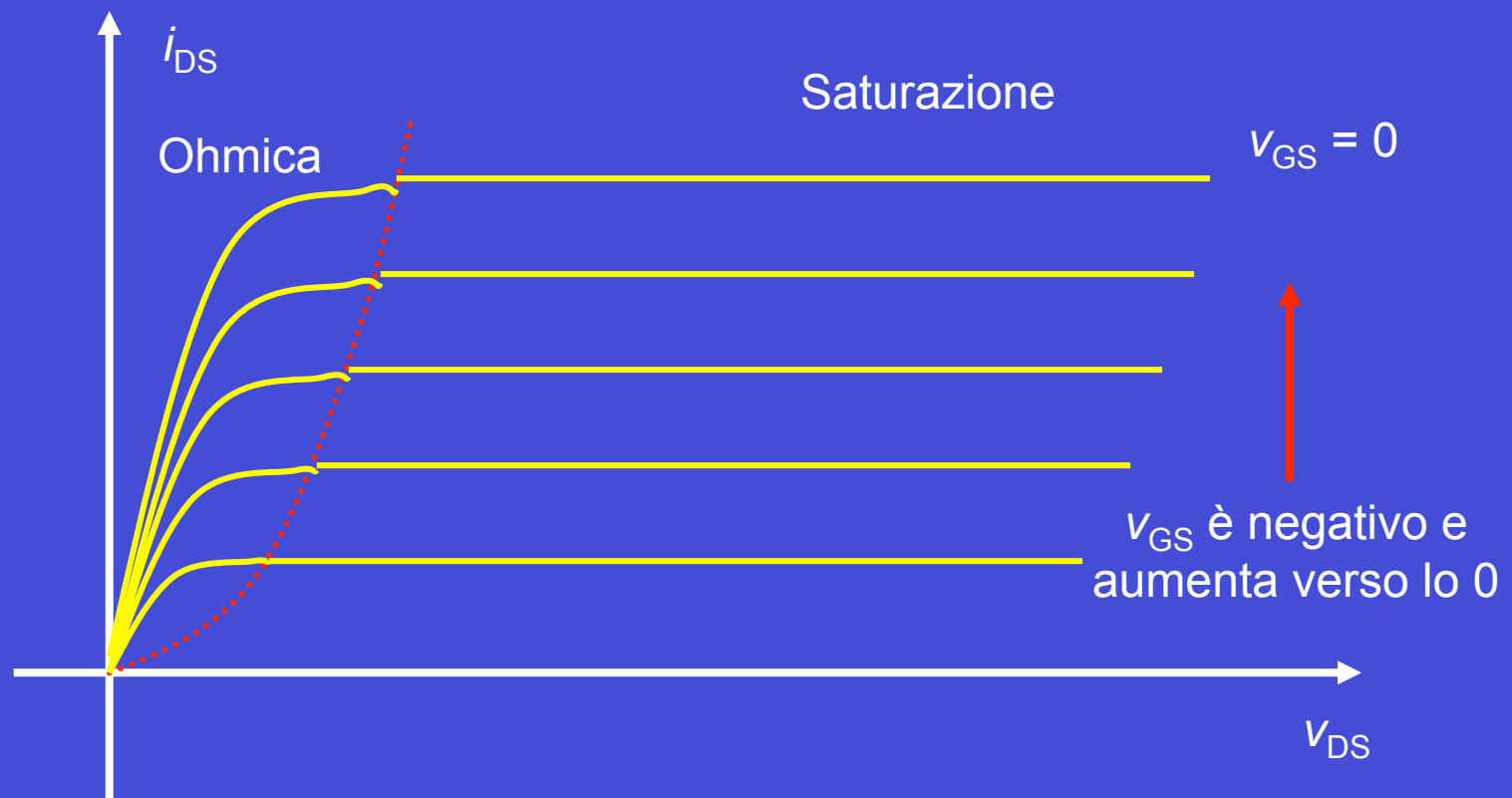
La zona di svuotamento arriva a strozzare (pinch) il canale. Nella zona svuotata vengono iniettati gli elettroni provenienti dal source. La corrente è indipendente da v_{DS}

Interdizione ($V_{GS} < V_{PINCH}$)



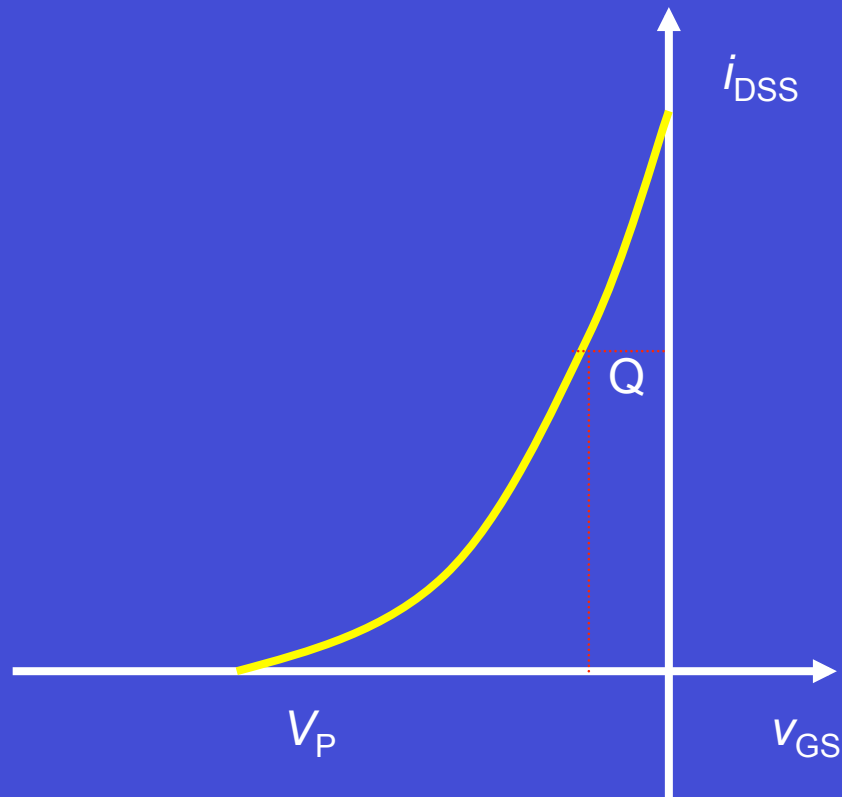
La zona di svuotamento assume dimensioni tali che non si ha più alcuna possibilità di conduzione.

Caratteristiche di uscita (n)



Transcaratteristiche

Valida con il dispositivo in saturazione



In questa regione il dispositivo funziona come amplificatore transconduttivo

Parte 4

Polarizzazione dei FET

Polarizzazione del MOSFET (canale n)

Calcolo del punto di lavoro

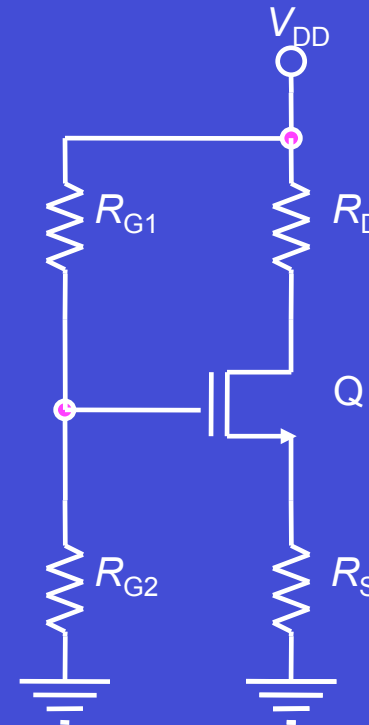
Polarizzazione del JFET (canale n)

Calcolo del punto di lavoro

Circuito per polarizzare l'nMOSFET

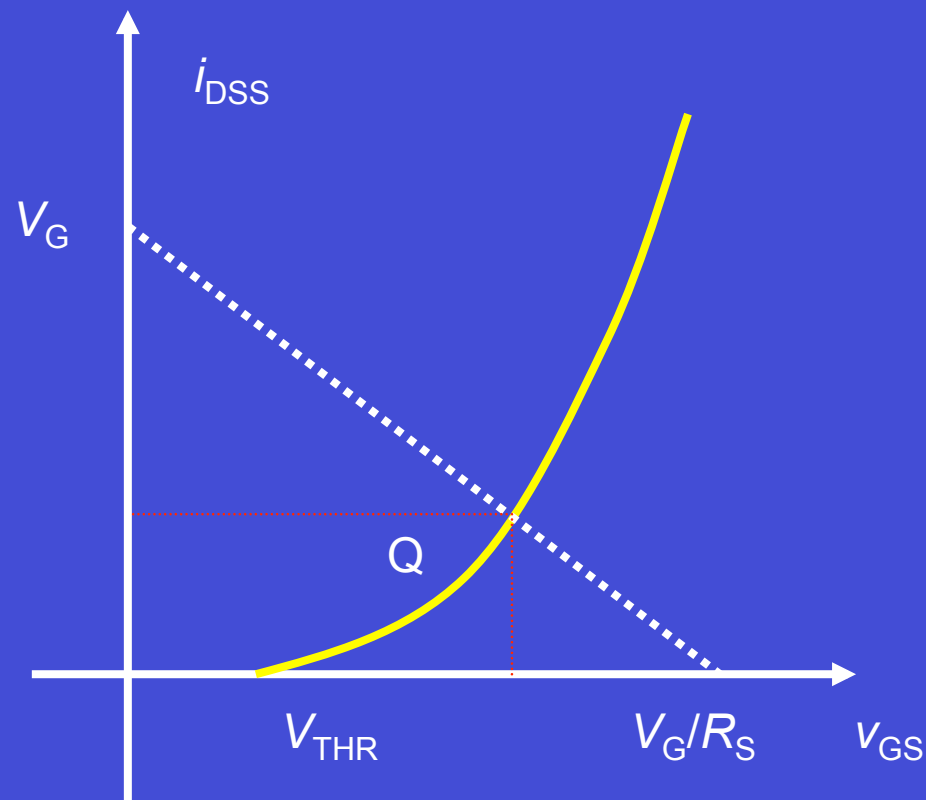
- Partitore in ingresso (di valore elevato)
 - Il potenziale v_{GS} in zona attiva deve superare V_{THR}
 - Il potenziale di G deve essere intermedio tra D e S
- Resistenze di source e drain

$$V_{GS} = V_{DD} \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} - R_S i_{DS}$$



Punto di lavoro

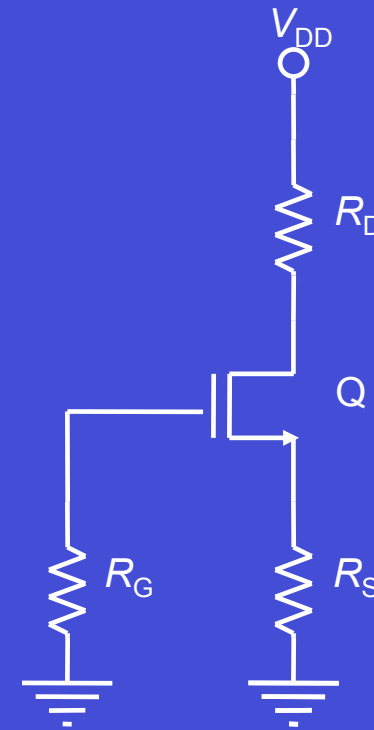
- Intersezione analitica, o grafica, della transcaratteristica con la retta che descrive la relazione $i_{DS}-V_{GS}$



Circuito per polarizzare il JFET (n)

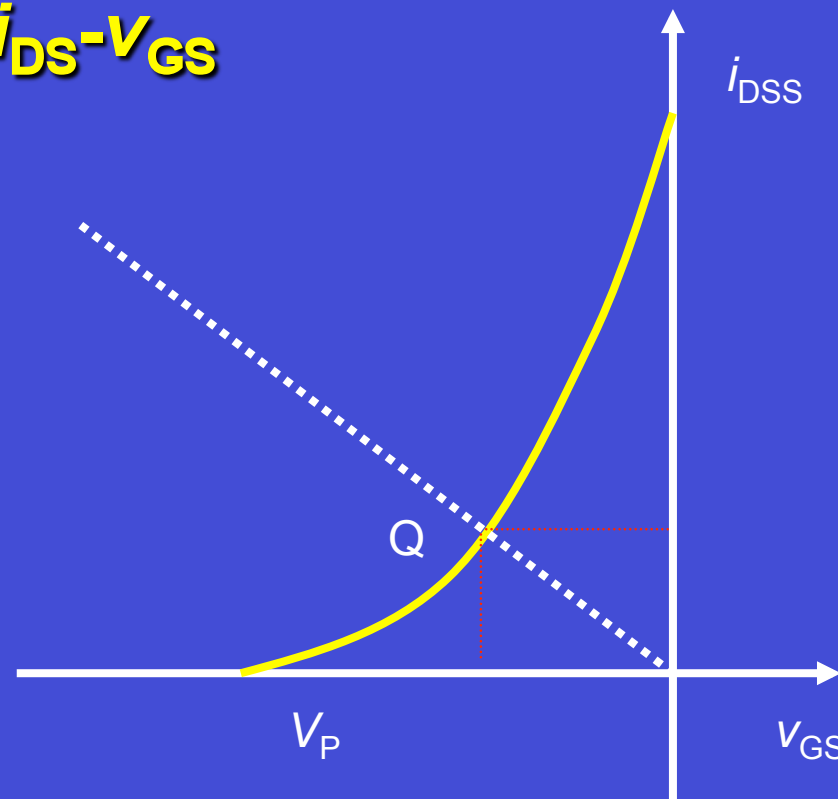
- Il potenziale V_{GS} deve essere negativo
 - Per interdire la giunzione *pn* tra G e S
 - Il gate può essere messo a massa con una R elevata
 - Il source deve essere positivo
 - Occorre una resistenza di source su cui la corrente di polarizzazione provochi una caduta di tensione

$$V_{GS} = -R_S i_{DS}$$



Punto di lavoro

- Intersezione analitica, o grafica, della transcaratteristica con la retta che descrive la relazione $i_{DS}-V_{GS}$



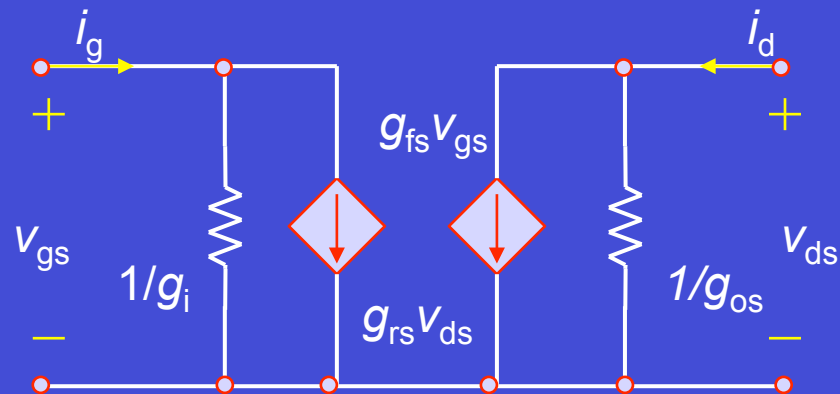
Parte 5

Modello dei FET per piccoli segnali

**Modello ad amplificatore transconduttivo
Semplificazioni adottabili**

Amplificatore transconduttivo

- Si sceglie il source come riferimento
 - Tensione di gate come ingresso e corrente di drain come uscita

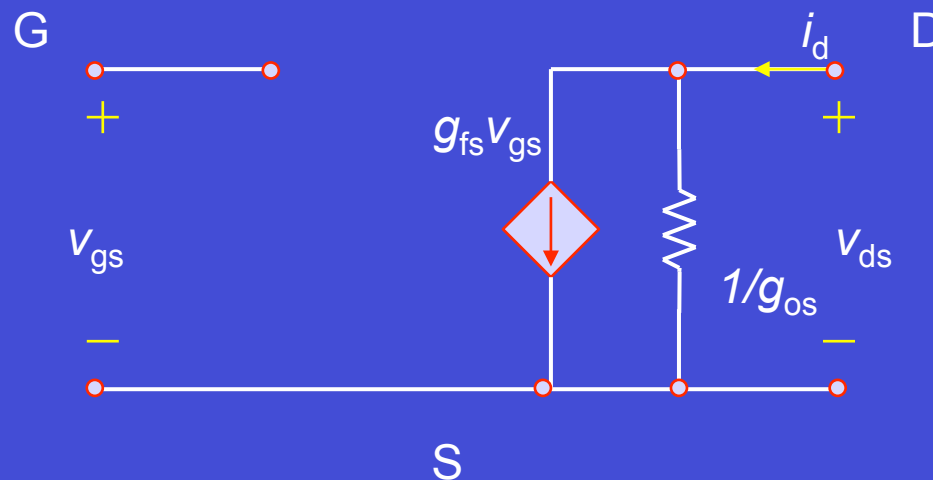


Semplificazioni

- **Il dispositivo è unidirezionale**
 - Almeno staticamente
 - Si assume sempre $g_r = 0$
- **La resistenza di ingresso è elevatissima**
 - Ci sono solo effetti capacitivi
 - Si assume senz'altro $g_i = 0$
- **La resistenza di uscita è abbastanza elevata**
 - Ma meno di quella dei BJT ($1/h_{oe}$)
 - Si può omettere se la resistenza di carico è molto più piccola, assumendo $g_o = 0$

Modello semplificato

- L'amplificazione g_{fs} si ricava dal rapporto $\Delta i_D / \Delta V_{GS}$
 - Pendenza nel punto di lavoro della curva $i_{DS(sat)} - V_{GS}$
- La resistenza $1/g_{os}$ si ricava dal rapporto $\Delta i_D / \Delta V_{DS}$
 - Pendenza della caratteristica di uscita $i_{DS(sat)} - V_{DS}$



Parte 6

Data sheet di FET

Il MOSFET *n* di potenza IRF540
Il JFET *n* 2N3819



Fatto & Da fare

- Dispositivi a effetto di campo
- Realizzazione e caratteristiche di MOSFET e JFET
- Polarizzazione
- Modello per piccoli segnali
- *Data sheet* di dispositivi FET
- Circuiti a FET
- Amplificatore a source comune
- Inseguitore di source