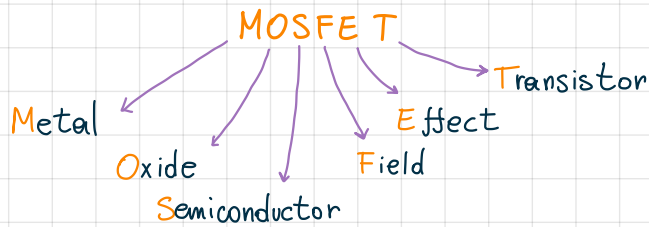
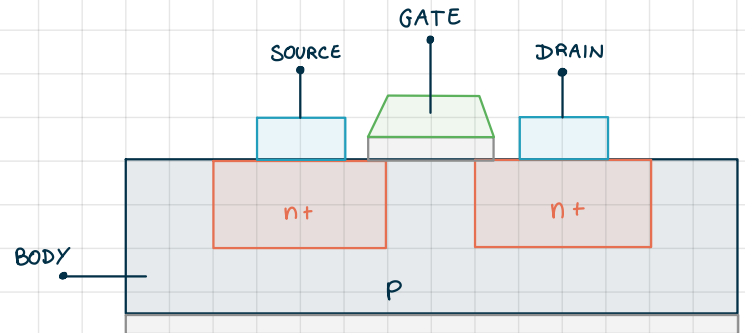
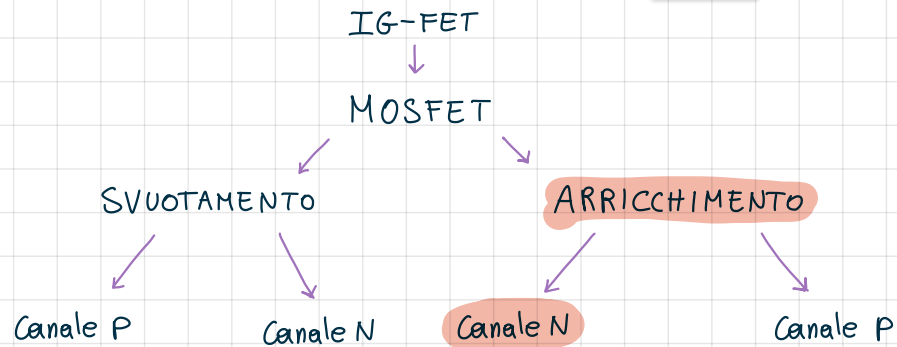
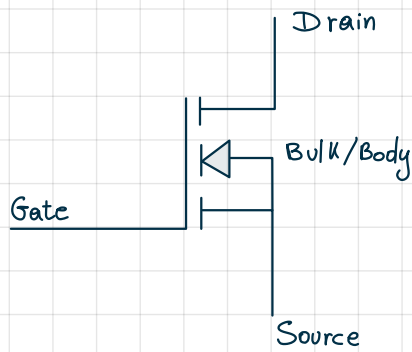
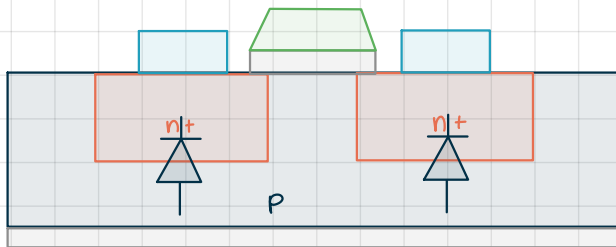


TRANSITORE MOSFET

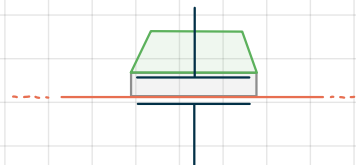
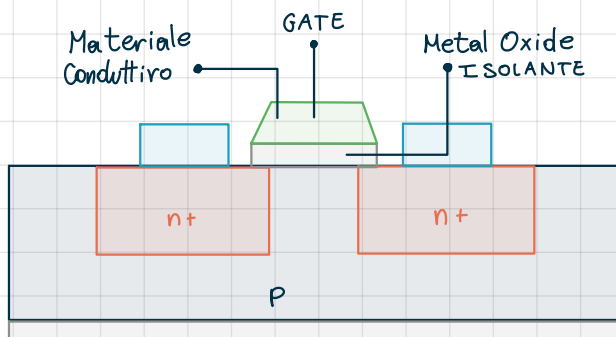
"Insulated
Ground
Field
Effect"



CANALE N (Enhancement Type)



Siccome ci sono due materiali diversi tra body-drain ed il body, è come se avessimo dei **diodi passivi**, ma non ci interessano più di tanto.

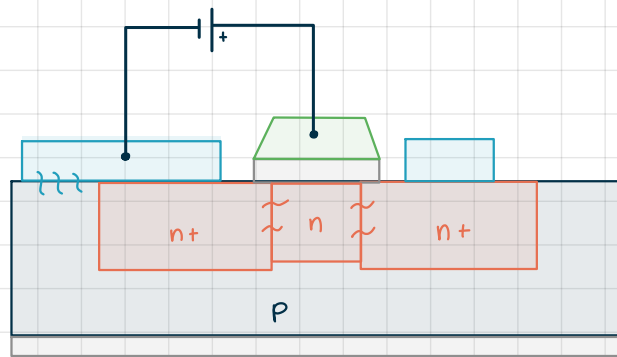
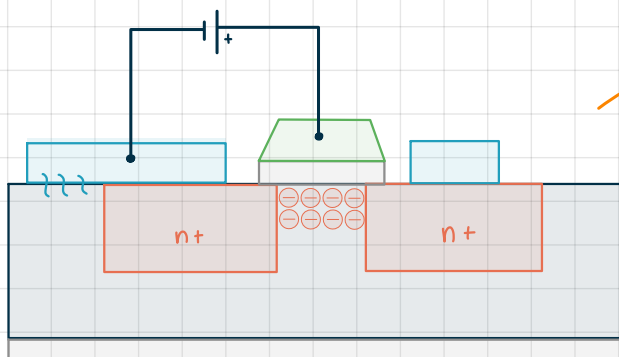


Siccome il gate è fatto da materiale conduttore ma è separato dal body tramite un materiale isolante, abbiamo creato un vero e proprio **condensatore** nella parte centrale!

Se **polarizziamo positivamente** il *gate* rispetto al *source*, che è cortocircuitato al body quindi andiamo a polarizzare anche il body, la parte del body in prossimità all'isolante del gate si comporterà come l'**armatura di un condensatore**, e quindi si andranno a posizionare un gran numero di cariche negative (**elettroni**).

Ma siccome il semiconduttore di tipo "**p**" è per definizione (e costruzione) ricco di lacune (anche se viene arricchito e quindi si aggiungono degli elettroni, ma sempre pochi sono) esso solitamente **non conduce**. Ma se forziamo i suoi (pochi) elettroni a concentrarsi tutti in un'unica zona (solitamente sono "sparpagliati lungo tutto il volume") esso **diventa a tutti gli effetti un semiconduttore di tipo "n"**.

Come risultato otteniamo quindi che la piccola zona al di sotto del gate **diventa una zona di tipo "n"**, e quindi **condurrà corrente!**

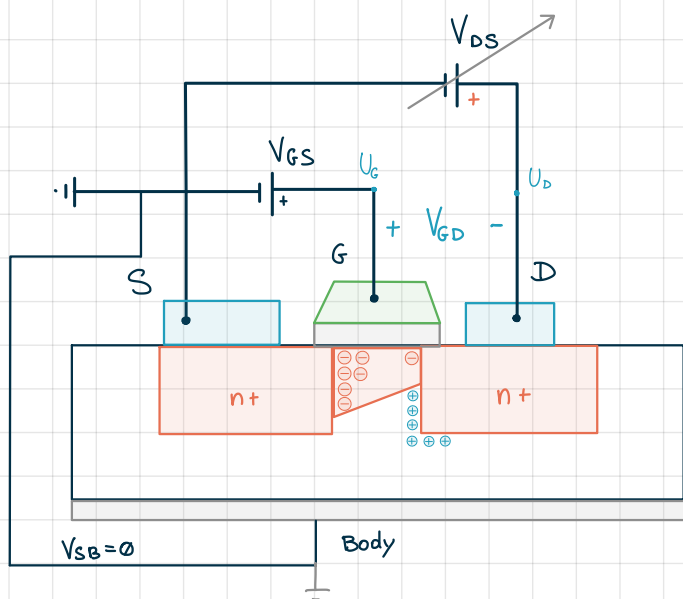


Il valore di V_{GS} (ovvero la tensione positiva tra gate e source) per cui viene a crearsi il canale centrale di tipo n, è detto **Threshold Voltage V_T** . Al di sotto di questo valore non ci sarà conduzione di corrente tra G ed S, ed al di sopra di questo voltaggio, invece, la conduzione tra G ed S aumenterà direttamente rispetto alla tensione V_{GS} .

IMPORTANTE

In queste condizioni si viene a creare un canale p tra drain e source, ma **non può circolare corrente**, dobbiamo quindi completare il circuito:

Cosa succede se applichiamo una Tensione V_{DS} ?



Siccome la tensione V_{DS} porta delle cariche positive sul terminale D, queste si disporranno nei pressi della zona n corrispondente a D, andando quindi a creare una zona dove ci sarà **minore conduzione elettrica** rispetto alla zona n del terminale S.

Aumentando la tensione V_{DS} andiamo a **limitare** il passaggio di corrente: essa non aumenterà più, nemmeno diminuirà! **Rimarrà costante**

$$LKT_M: V_{DG} = V_{GS} - V_{DS}$$

INOLTRE Il terminale S è collegato a massa quindi $V_S = 0 \Rightarrow V_{DG} = V_G - V_D$

Nel frattempo V_{GS} rimane costante perché S è a terra \Rightarrow la parte di source continua ad attirare gli stessi elettroni di prima.

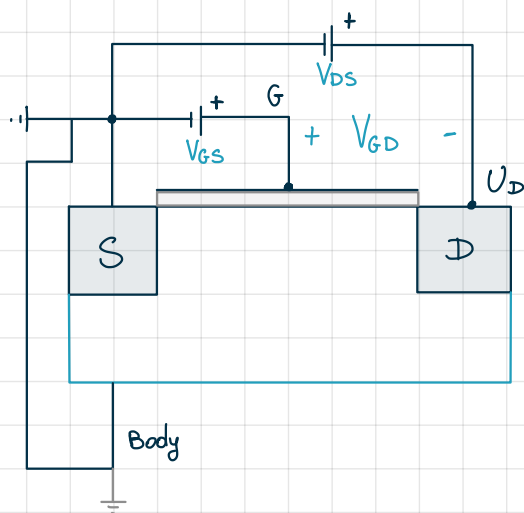
\Rightarrow La regione D attirerà meno elettroni della zona S, quindi S condurrà "meglio" di D.

Ad un certo punto, avremo che la zona di D non attirerà più elettroni, e di conseguenza la conduzione di corrente non continuerà ad aumentare. Questa tensione prende il nome di **tensione di saturazione $V_{DS}(sat)$**

Threshold Voltage

$$V_{DS}(SAT) = V_{GS} - V_T \quad \text{ovvero} \quad V_G - V_D = V_T$$

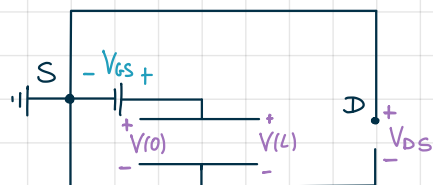
Quindi LKT: $V_{GD} + V_{DS} - V_{GS} = 0 \Rightarrow V_{GD} = V_{GS} - V_{DS} \Rightarrow$ Solo se $V_{GS} = V_{DS}$ Abbiamo un canale UNIFORME



$$LKT_{M_1}: V_{GD} = V_{GS} - V_{DS}$$

↳ Ideale

CASO 1: $V_{DS} = 0V \Rightarrow V_{GD} = V_{GS}$



$$U_D = U_S = 0 \quad V_{DS} = 0$$

$$\leadsto V(0) = V(L) = V_{GS}$$

Quindi: da "Depletion" region rimane UNIFORME

CASO 1 REALE

Siccome abbiamo collegato a massa Body e Source $\Rightarrow U_B = U_S = 0$

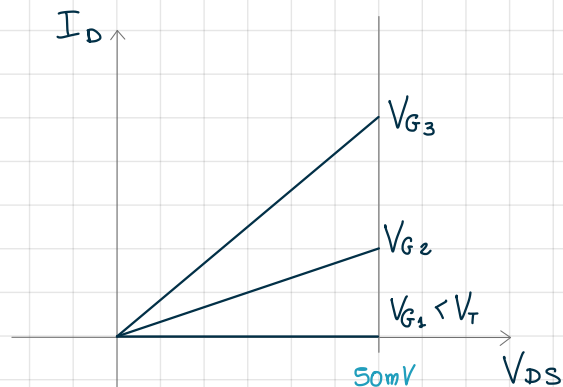
visto che $V_{GS} = U_G - U_S \Rightarrow V_{GS} = \underline{V_G = U_G}$; $V_{DS} = U_D - U_S = \underline{V_D = U_D}$

$$\Rightarrow V_{GD} = V_{GS} - V_{DS} \leadsto \boxed{V_{GD} = V_G - V_D}$$

Supponiamo di applicare una tensione $V_G = 5V$ e $V_D \approx 50mV$ MOLTO PICCOLA

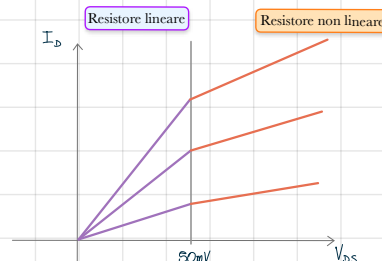
$$\Rightarrow V_{GD} = V_G - V_D \approx 4.95V \approx V_{GS} \equiv V_G$$

Quando la tensione $V_{GS} < V_T$ allora ci troviamo nella regione in cui il MOSFET si comporta come un **resistore lineare**



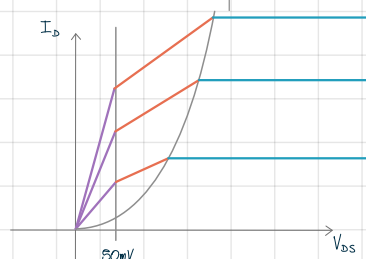
CASO 2 $V_D > 50mV \Rightarrow V_{GS} \neq V_{GD}$

Se aumentiamo la tensione V_{DS} , il canale tende a ridursi in concomitanza della regione di drain, di conseguenza la corrente che circola non cresce più linearmente.



CASO 3 $V_D \gg 50mV$

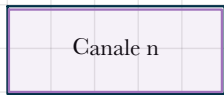
Se continuiamo ad aumentare, il canale si strozza completamente; questo non vuol dire che la corrente che passa è zero, ma che **non siamo più in grado di cambiare le caratteristiche** del dispositivo. Questa condizione si chiama condizione di **pinch off** o saturazione.



Caso 1

Caso 2

Caso 3



$$V_{GD} \cong V_{GS}$$

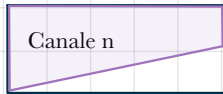
→ Perché $G_{GD} = V_G - V_D$ ma $V_D \approx 0$
 $\Rightarrow V_{GD} \cong V_G \cong V_{GS}$

UNIFORME

Resistore lineare



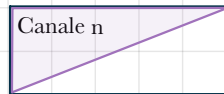
Zona triodo



$$V_{GD} \neq V_{GS} (V_D > 0)$$

NON uniforme

Resistore non lineare



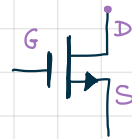
$$V_{GD} \leq V_T$$

ovvero $V_{GD} = V_G - V_D$ con V_G e V_D
 che tendono ad essere uguali
 cioè V_D \nearrow CRESCE

PINCH OFF

Diventa un G.I.C.

EQUAZIONI DELLE CURVE



• INTERDIZIONE

$$* V_{DS} = V_{AL} \quad (Max \equiv 1 \text{ logico})$$

$$V_{GS} \leq V_T \Rightarrow I_D = 0 \quad \forall V_{DS}$$

Questa zona corrisponde allo "switch aperto", non passa corrente e quindi c'è tensione

• ZONA TRIODO E PINCH OFF (saturazione)

$$V_{GS} > V_T$$

ZONA TRIODO: Passa corrente e tensione \rightarrow il MOSFET si comporta da RESISTORE

$$V_{DS} < V_{GS} - V_T$$

Ovvero la corrente tra drain e source non passa completamente, ma è strozzata da un resistore (il mosfet)

da corrente in questa sezione è data da:

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \cdot \frac{W}{L} \left[2(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2 \right]$$

Annotations:

- μ_n : Mobilità degli elettroni
- C_{ox} : Capacità dell'ossido
- $\frac{W}{L}$: Lunghezza canale
- $C_{ox} = \frac{\epsilon_{ox}}{T_{ox}}$: Permeabilità elettrica / Spessore ossido
- Dipende dalla costruzione

PINCH OFF:

$$V_{DS} > V_{GS} - V_T \Rightarrow$$

$$V_{DS(SAT)} = V_{GS} - V_T$$

OVERDRIVE

Nella zona di saturazione possiamo vedere il MOSFET come un **generatore di corrente controllato in tensione**

In questa zona possiamo aumentare V_{DS} quanto ci pare ma non aumenterà la corrente che attraversa il mosfet; la V_{DS} superflua viene dissipata in calore (persa).

Per ottenere l'equazione della corrente della zona pinch off mi basta sostituire a V_{DS} la tensione di saturazione ovvero $V_{DS} = V_{GS} - V_T$

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \cdot \frac{W}{L} \left[2(V_{GS} - V_T)(V_{GS} - V_T) - (V_{GS} - V_T)^2 \right] = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \cdot \frac{W}{L} \cdot (V_{GS} - V_T)^2$$

②

Possiamo trovare la **curva che divide la zona triodo dalla zona pinch-off**

Visto che $V_{DS(SAT)} = V_{GS} - V_T \leadsto V_{GS} = V_T + V_{DS(SAT)}$

\rightarrow sostituisco nella ② $I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \cdot \frac{W}{L} (V_{DS(SAT)} - V_T + V_T)^2 = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \cdot \frac{W}{L} V_{DS(SAT)}^2$

Cosa succede nella zona triodo per valori di V_{DS} molto piccoli?

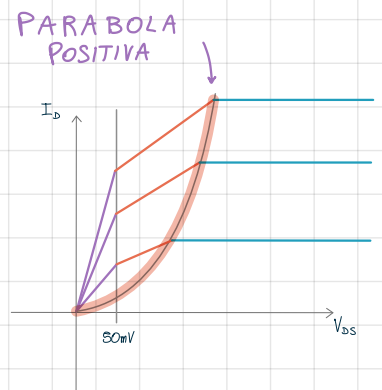
Per $V_{DS} \ll$

$V_{DS}^2 \ll V_{DS}$ Trascurabile

$$I_D \approx \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \cdot \frac{W}{L} \left[2(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2 \right]$$

Siccome $V = R \cdot I \rightarrow R = \frac{V}{I} \Rightarrow R_{MOS} = \frac{V_{DS}}{I_D}$

$$\Rightarrow R_{MOS} = \frac{V_{DS}}{\frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \cdot \frac{W}{L} [2(V_{GS} - V_T)V_{DS}]} = \frac{1}{\mu_n C_{ox} \cdot \frac{W}{L} (V_{GS} - V_T)}$$



Considerazioni

Quando abbiamo un generatore di tensione di prova in ingresso al gate, questo vede una **resistenza infinita** visto che il gate è isolato dallo strato di ossido rispetto a drain e source.

Sempre questo strato di ossido, però, **crea un condensatore**; questo ha come conseguenza il fatto che il MOSFET diventa a tutti gli effetti un dispositivo **dinamico**.

Inoltre, la curva che separa la zona triodo dalla zona pinch-off, può essere graficata rispetto alla tensione V_{ds} oppure alla tensione sul gate V_{gs} . **Si preferisce V_{gs}** perché mostra chiaramente che questa curva **non parte da zero ma dalla tensione di threshold!**

