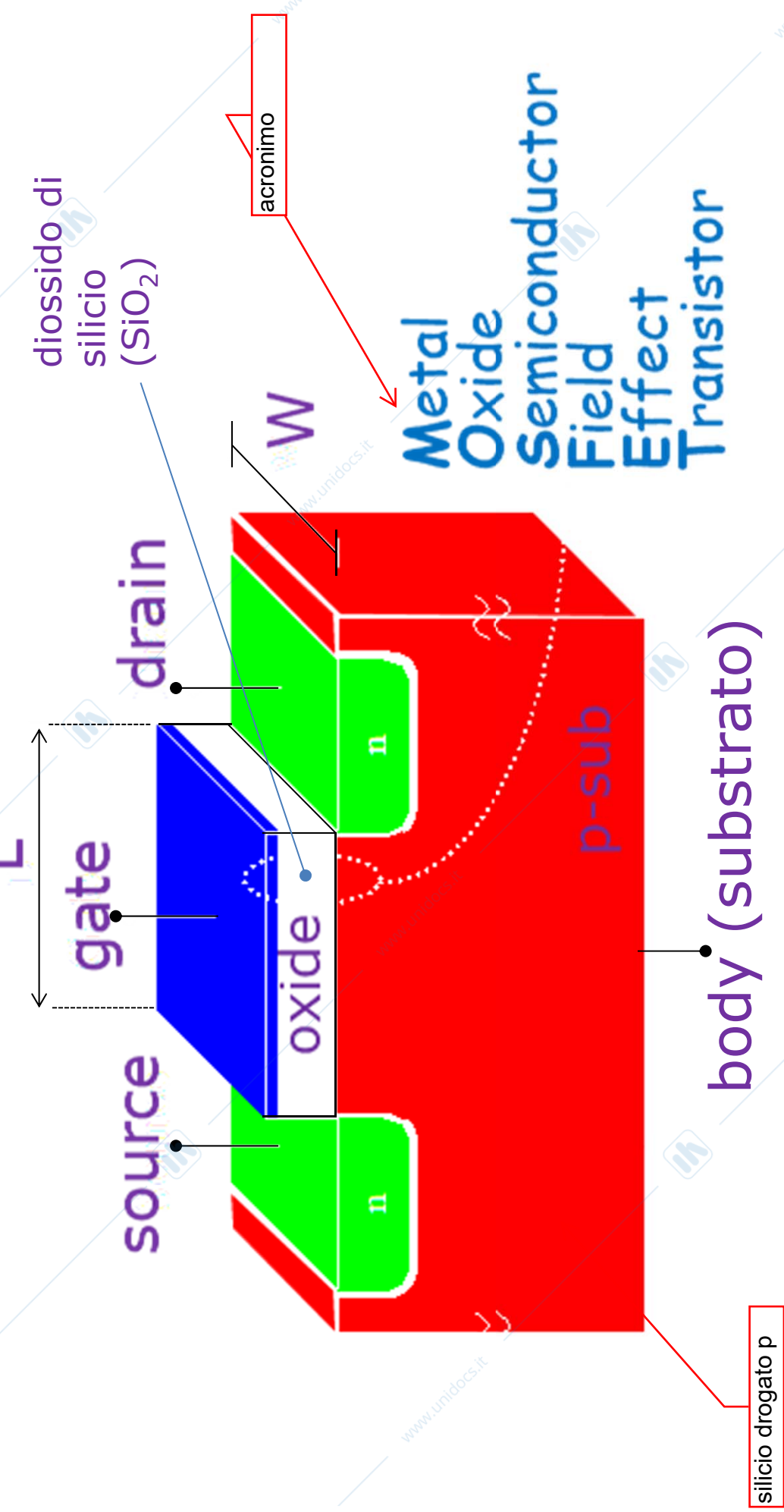


MOSFET principio di operazione - I

Struttura fisica di un transistore MOSFET a canale n "ad arricchimento" (enhancement)

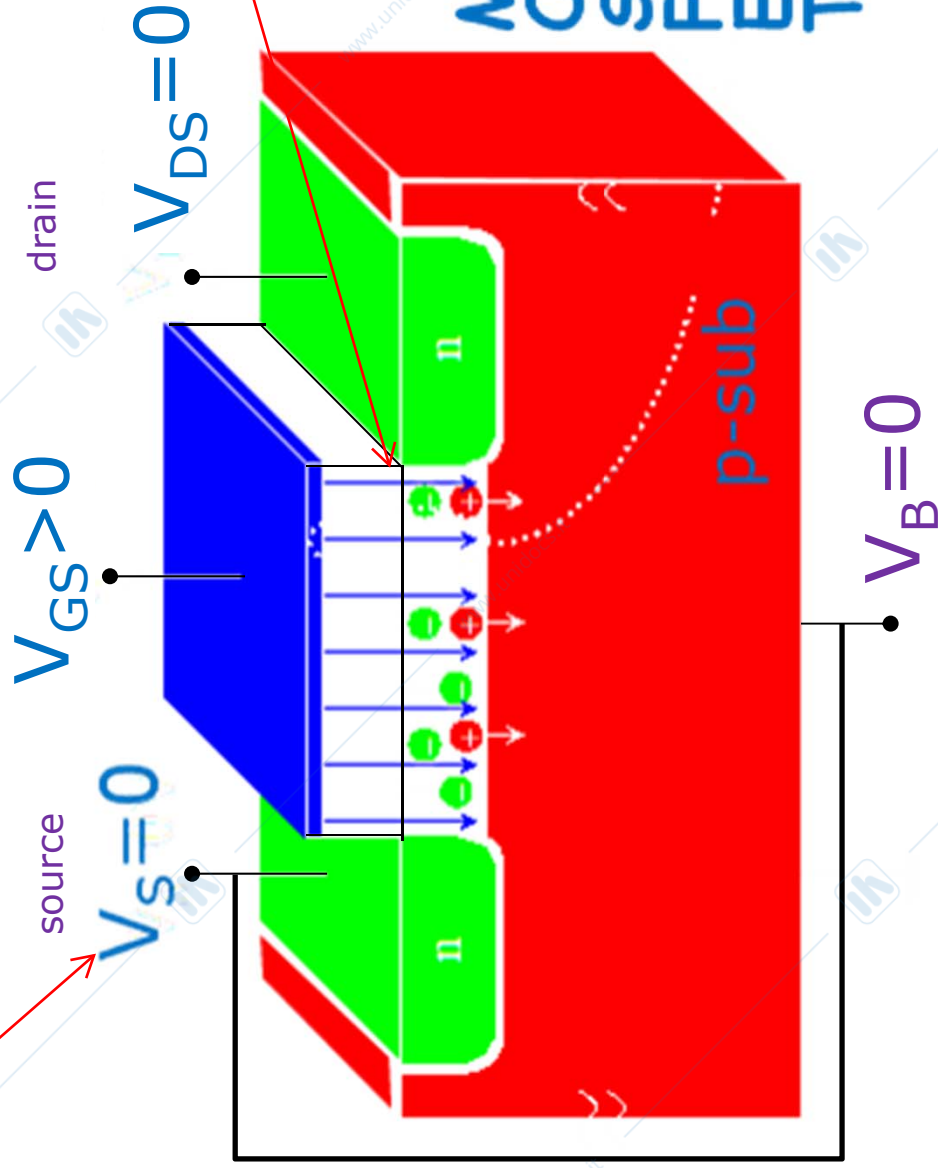


MOSFET principio di operazione - II

Il contatto di gate

- il potenziale di source e' preso a riferimento per tutti gli altri
- consideriamo il body al potenziale di source per gli scopi del nostro corso

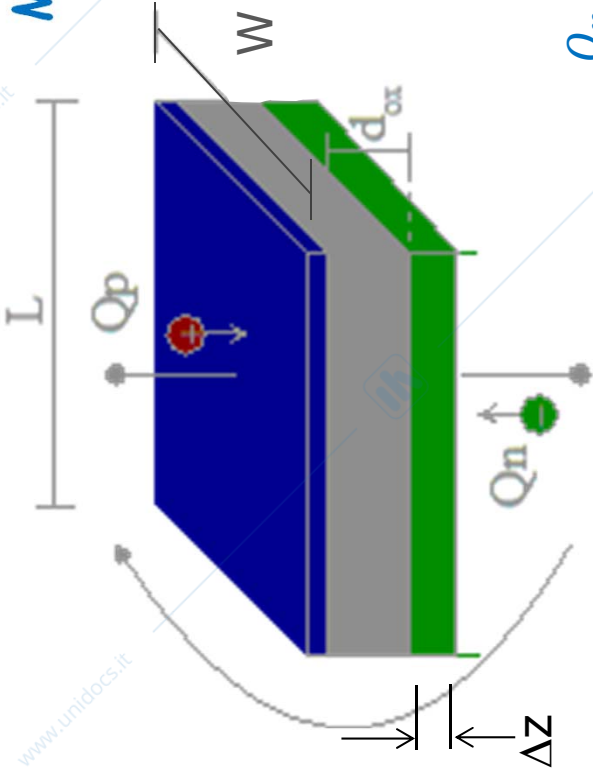
poichè nodo di riferimento



verso ottenuto dallo spostamento di elettrone verso l'armatura blu e scaccio le lacune verso l'interno della struttura

Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

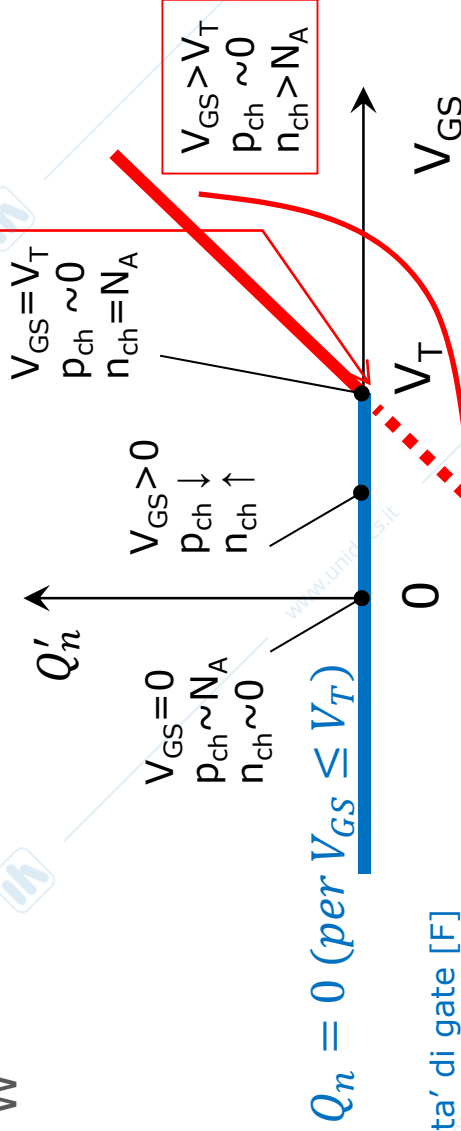
MOSFET operating principle - IV



MOS capacitor

gli elettroni aumentano fino a diventare tanti quanti le lacune, inizialmente dominanti poiché il silicio era drogato p

elettroni all'interfaccia in funzione di VGS.



$$C_{gate} = C_{ox} = \frac{\epsilon_{ox}}{d_{ox}} WL \quad \text{Capacità di gate [F]}$$

$$C'_{ox} = \frac{C_{ox}}{WL} = \frac{\epsilon_{ox}}{d_{ox}} \quad \text{Capacità di gate per unità di superficie [F/cm}^2\text{]}$$

$$Q_n = (qn_{ch}\Delta z)WL \quad \text{carica totale elettroni all'interfaccia [C]}$$

$$Q'_n = \frac{Q_n}{WL} = (qn_{ch}\Delta z) \quad \text{carica per unità di superficie elettroni all'interfaccia [C/cm}^2\text{]}$$

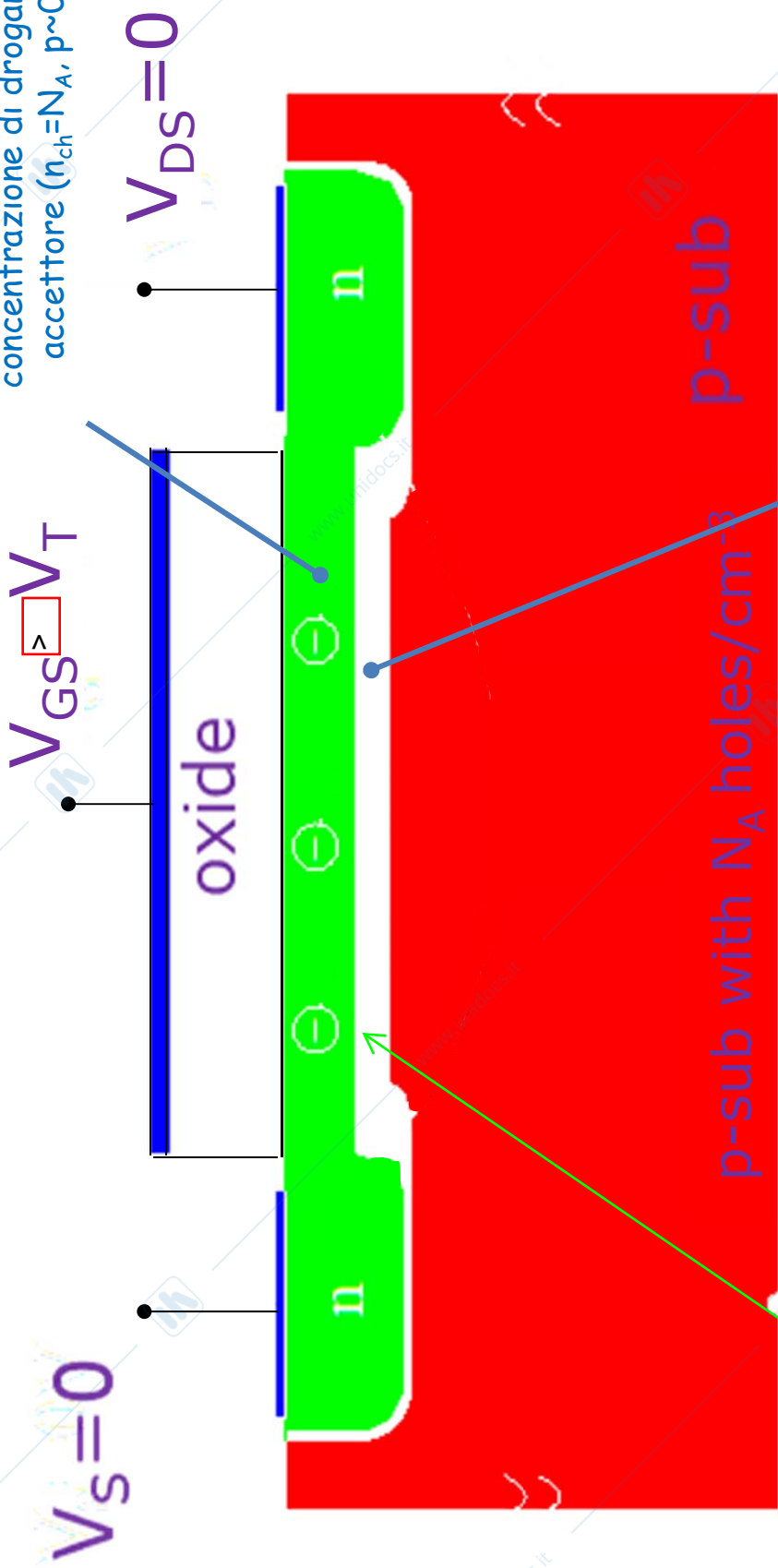
$$Q_n = C_{ox}(V_{GS} - V_T), \quad \text{per } V_{GS} \geq V_T$$

$$Q'_n = \frac{Q_n}{WL} = \frac{C_{ox}}{WL}(V_{GS} - V_T) = C'_{ox}(V_{GS} - V_T)$$

MOSFET operating principle - III

The threshold voltage: **INVERSION**

concentrazione di elettroni
alla superficie uguale alla
concentrazione di drogante
accettore ($n_{ch}=N_A, p\sim 0$)



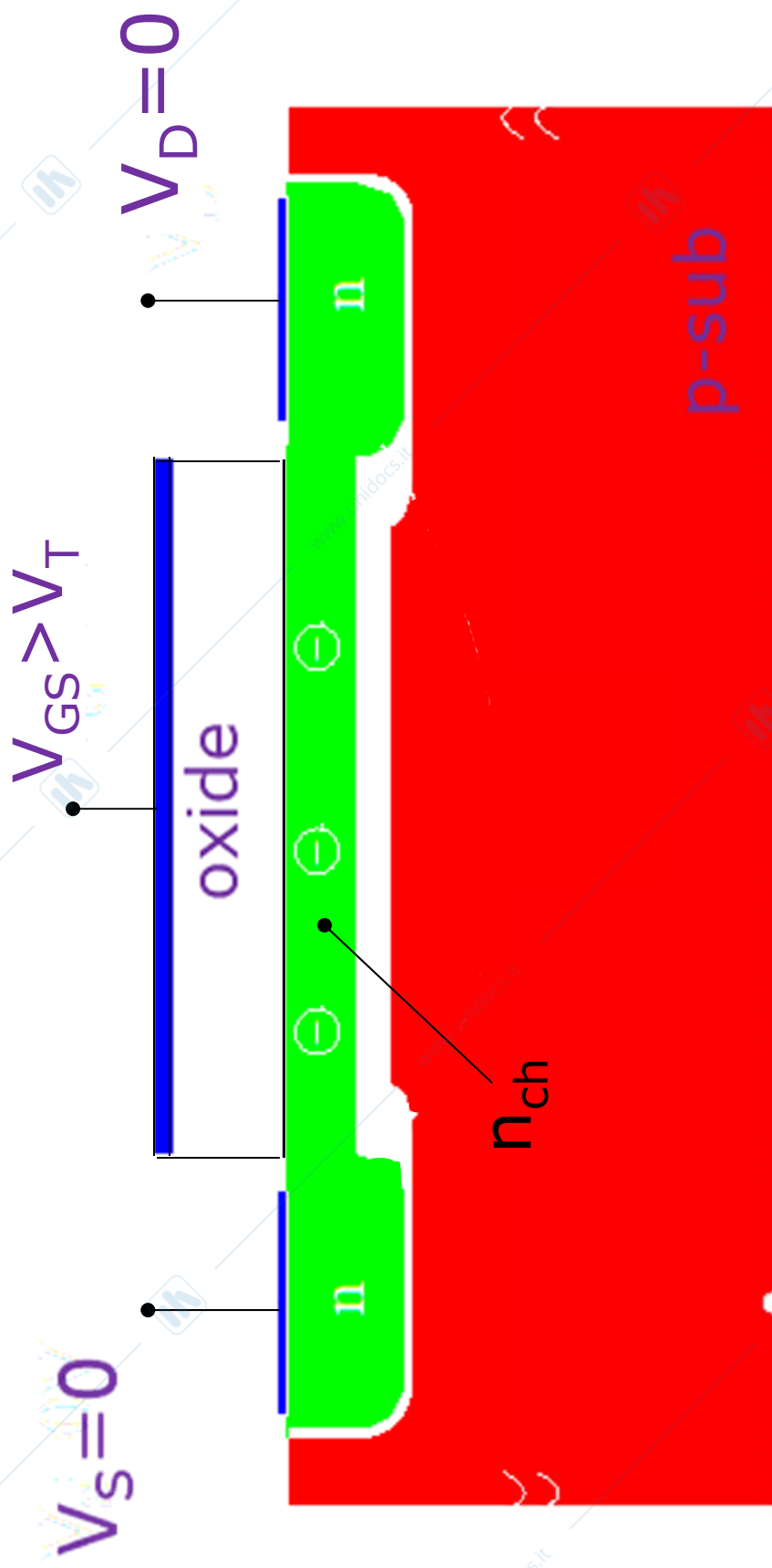
regione svuotata
($n\sim p\sim 0$)

questa regione fa
da isolamento
elettrico

la striscia verde di elettroni venitasi a
creare va a creare un canale (ohmico=
senza opporre resistenza) tra i contatti
source e drain

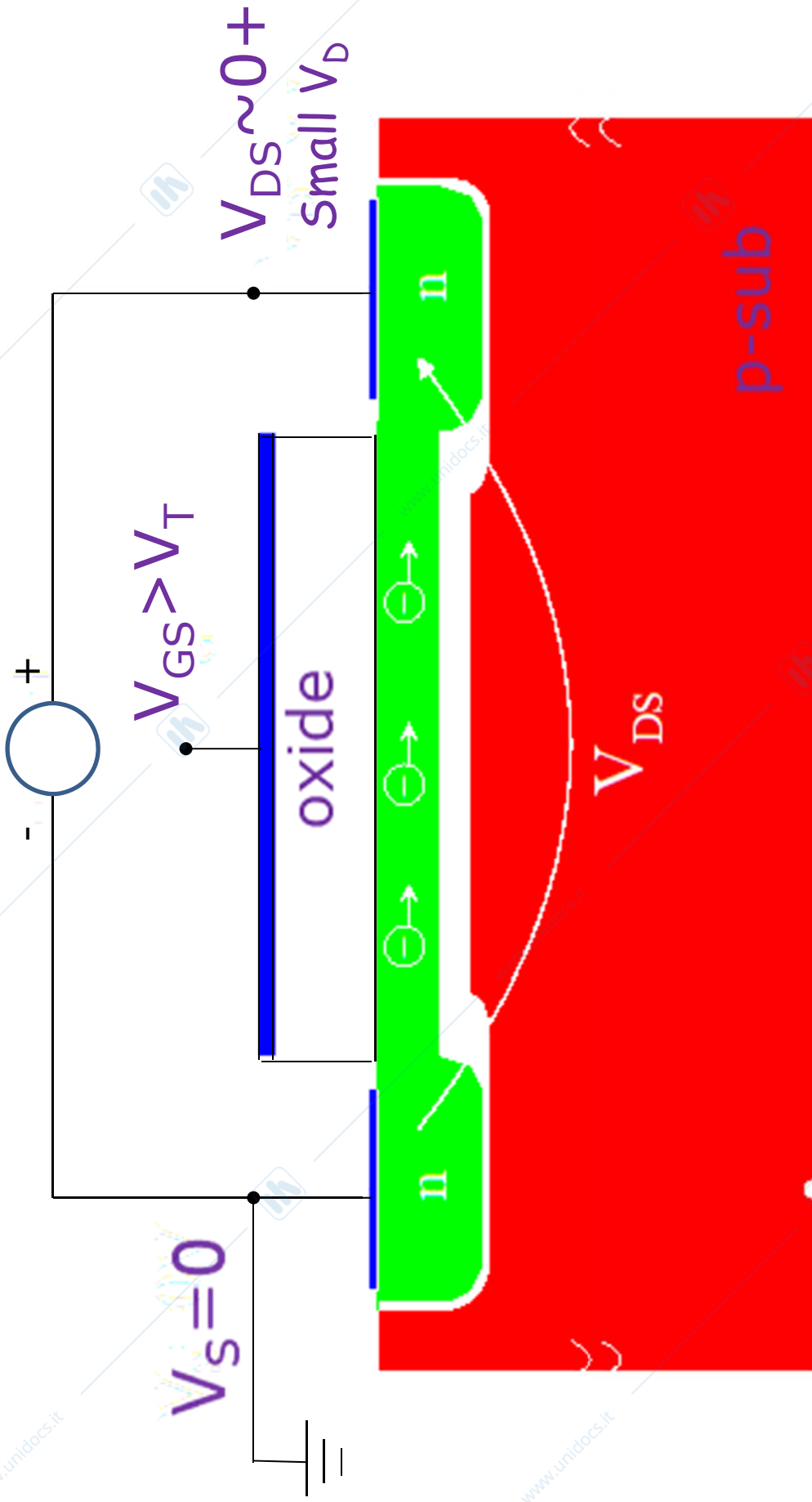
MOSFET operating principle - IV

The conducting channel is formed ...



MOSFET operating principle - V

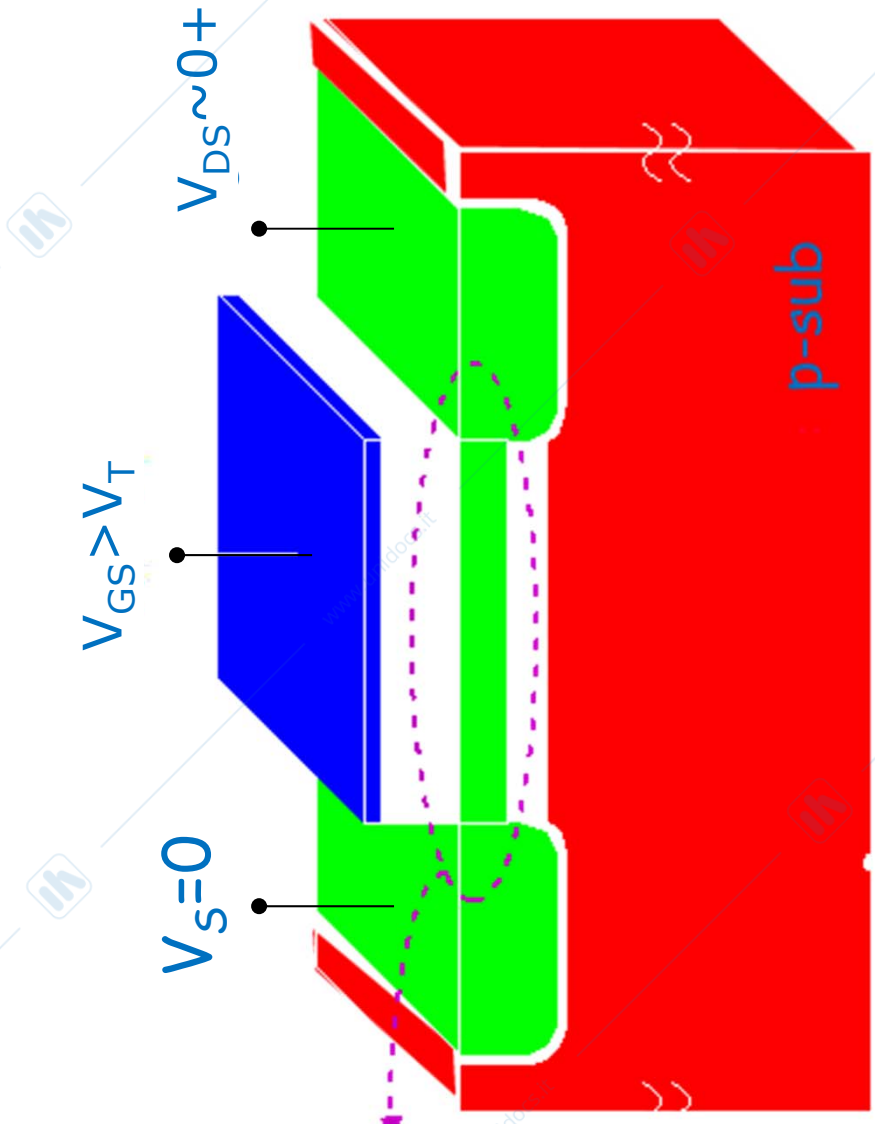
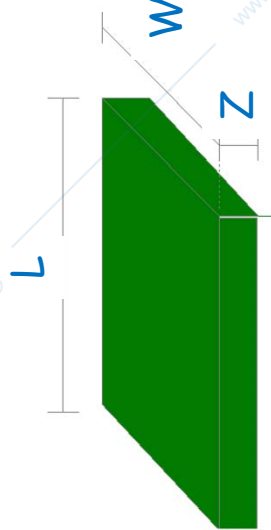
... current can flow between Drain and Source!



MOSFET operating principle - V

Channel resistance

$$R_{ch} = \rho \frac{L}{W \cdot Z} = \frac{L}{\mu_n C_{ox} W (V_{GS} - V_T)}$$



MOSFET operating principle - VIII

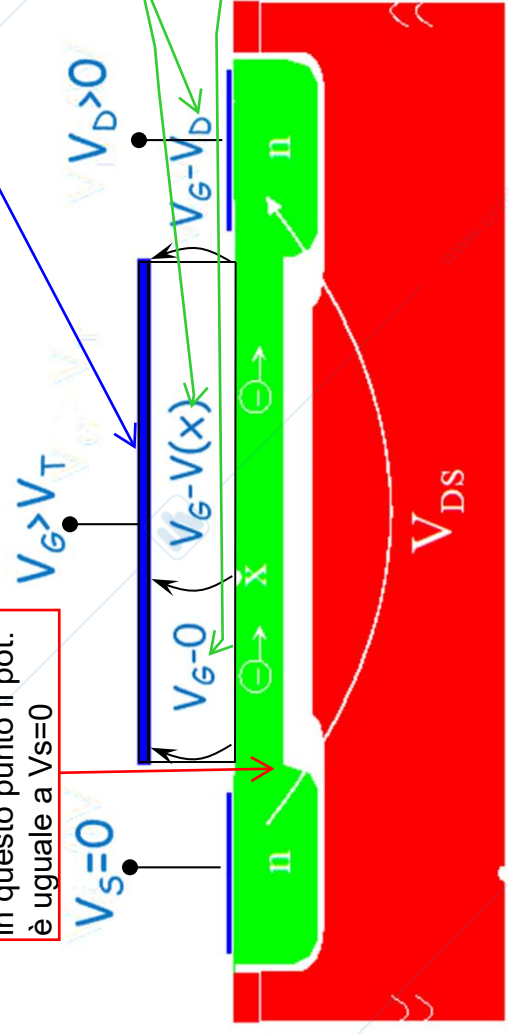
piatto equipot. la tensione di gate non cambia nello spazio

MOS as variable resistor: OHMIC region

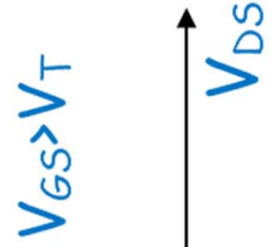
in questo punto il pot. è uguale a $V_s=0$

valori pot. lungo il canale

se V_{gs} non è maggiore di V_t la resistenza va all'infinito, quindi la corrente a 0 (C.A.)



$$I_D = \frac{V_{DS}}{R_{ch}} = \mu_n C'_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_T) \cdot V_{DS}$$

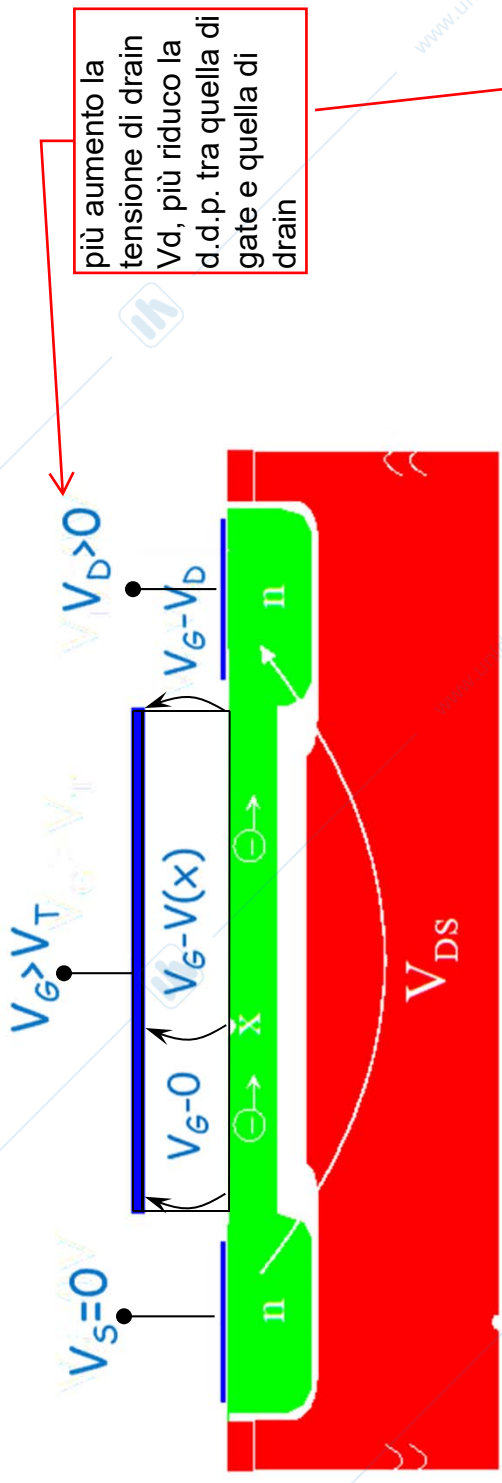


relazione lineare tra V_{ds} e I_d

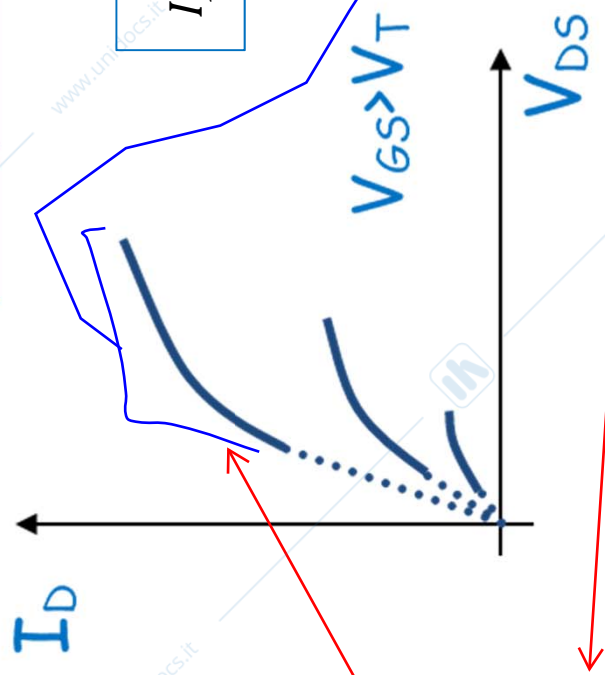
- se applichiamo tensione al canale ($V_{DS} > 0$) la d.d.p. a cavallo del condensatore MOS non è piu' costante lungo x.
- Supponiamo per ora $V_{DS} \sim 0$ e quindi possiamo ancora assumere $V_G - V(x) \sim V_{GS}$ per ogni x e quindi Q_n uniforme lungo il canale.

MOSFET operating principle - IX

MOS as variable resistor: as V_{DS} increases ...



più aumento la tensione di drain V_d , più riduco la d.d.p. tra quella di gate e quella di drain



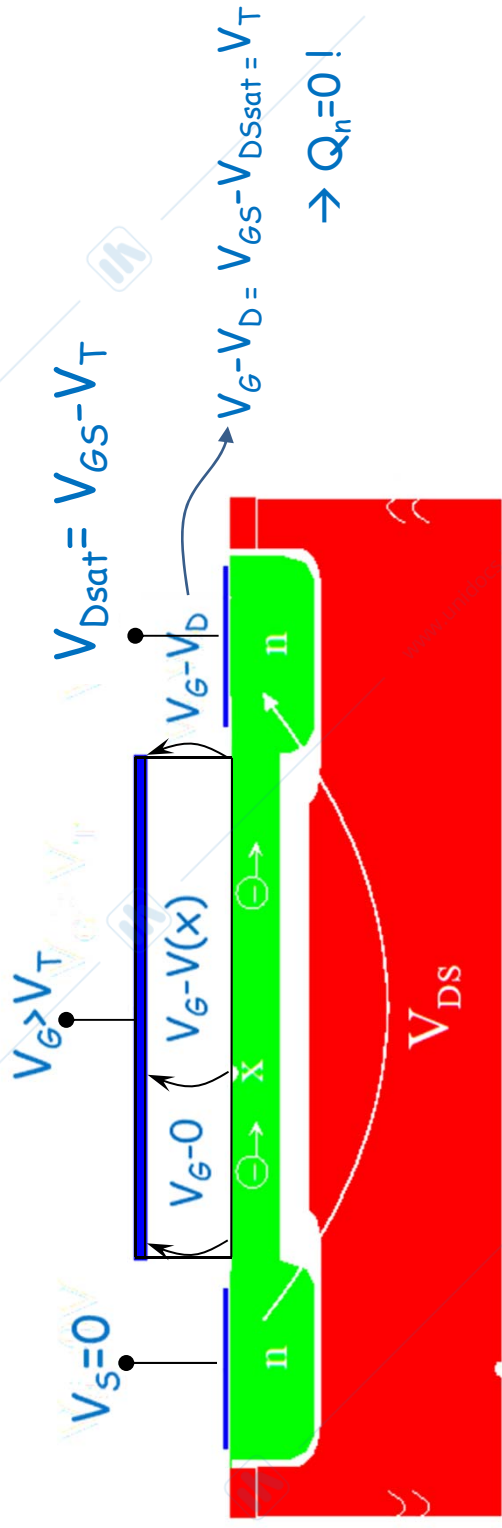
$$I_D = \mu_n C'_{ox} \frac{W}{L} [(V_{GS} - V_T) \cdot V_{DS} - \frac{1}{2} V_{DS}^2]$$

Equazione corrente in zona TRIODO

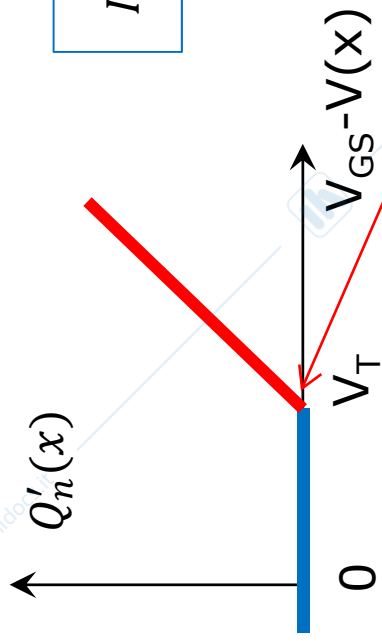
crescita più degradata e inferiore rispetto al caso di crescita lineare

MOSFET operating principle - XI

Channel pinch-off: saturation region



la carica di elettroni nel canale dipende da $V(x)$. Al crescere di x la ddp a cavallo del condensatore MOS [$Vgs - V(x)$] diminuisce. Al limite $V_{ds} = V_{gs} - V_T$, $Q_n = 0$ al lato Drain ($x = L$)



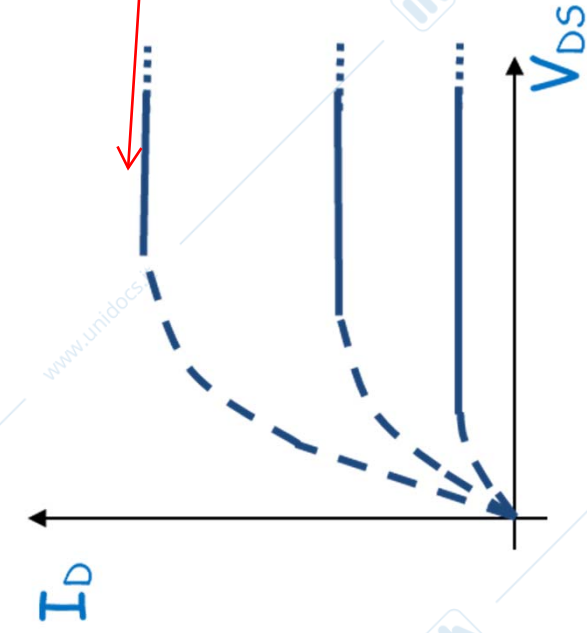
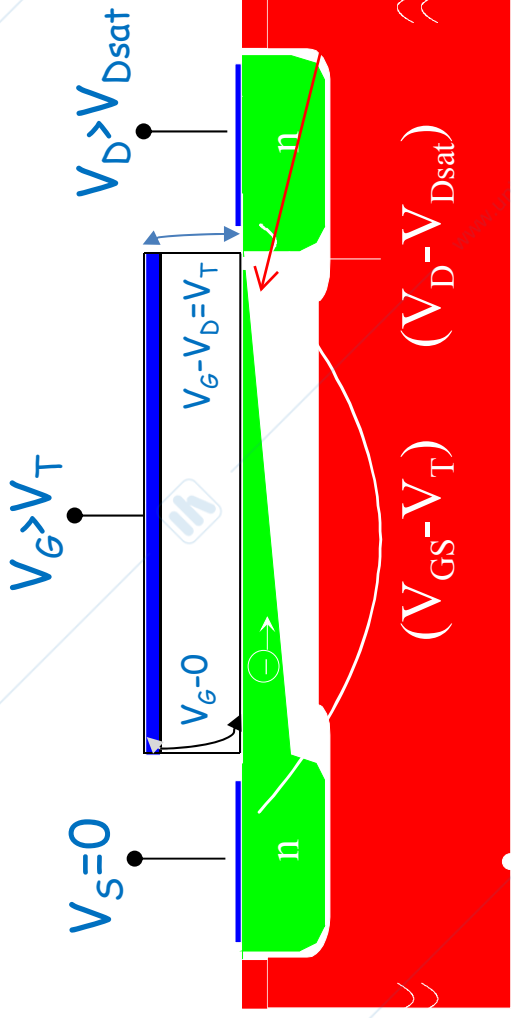
$$I_D = \frac{1}{2} (\mu_n C'_{ox}) \frac{W}{L} (V_{GS} - V_T)^2$$

Equazione corrente in zona di SATURAZIONE

la popolazione di elettroni scende fino ad annullarsi nel punto in cui la d.d.p. (tra gate e drain) è uguale a V_T (tensione termica), ossia quando v_d è uguale alla tensione di saturazione

MOSFET operating principle - XIII

MOS as transistor: SATURATION region



$$I_D = \frac{1}{2} (\mu_n C'_{ox}) \frac{W}{L} (V_{GS} - V_T)^2$$

poiché piatto non c'è più dipendenza da V_d , ma solo da $V_g - V(x)$, poiché non ci arriva nemmeno a V_d , poiché è stata raggiunta da V_d la tensione di saturazione, quindi $V_t = d.d.p(g-d)$