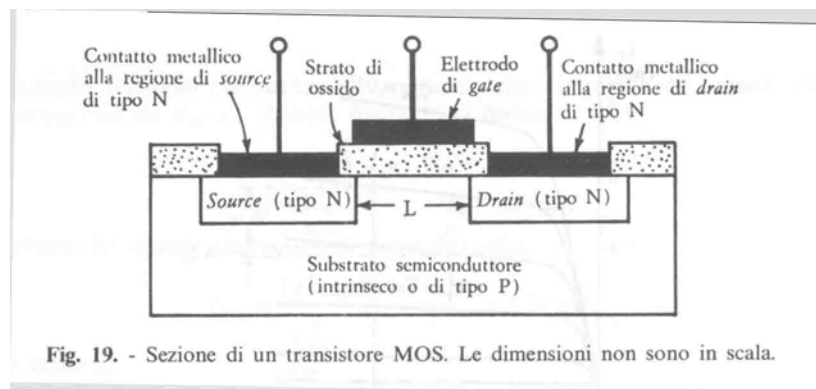


## Il transistor MOSFET

### ***MOSFET enhancement mode***

Anche questo transistor è unipolare. Il suo nome è un acronimo per Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor. La struttura di principio del dispositivo è rappresentata nella figura seguente



Anche nel caso del MOSFET abbiamo due tipi di transistor: a canale n e a canale p. quello rappresentato in figura è il MOS a canale n. La struttura di principio del MOS a canale P si ottiene semplicemente invertendo il drogaggio delle diverse zone individuate nel dispositivo. Come al solito descriviamo il dispositivo facendo riferimento soltanto ad una delle tipologie possibili, quella a canale n.

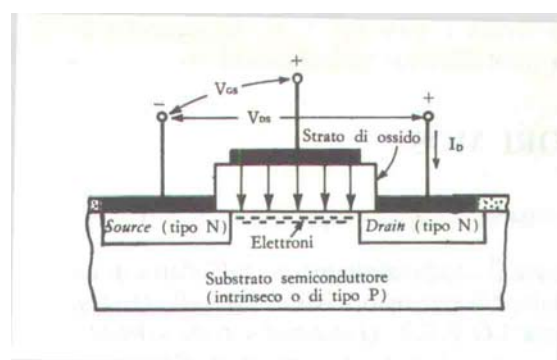
Come si può notare dalla figura, abbiamo una barretta intrinseca (cioè non drogata) o drogata di tipo p, detta substrato. Nella parte superiore del substrato sono ricavate due zone drogate di tipo n. In corrispondenza di tali zone sono realizzati dei contatti metallici per ricavare i morsetti rispettivamente di Source e Drain. Fra i due morsetti, al di sopra del substrato è realizzato uno strato di diossido di silicio ( $\text{SiO}_2$ ). Tale

strato di ossido ha proprietà isolanti, è un dielettrico. Al di sopra dello strato di ossido abbiamo un ulteriore elettrodo detto di Gate.

Anche se non appare in figura, anche il substrato è in genere metallizzato e collegato al morsetto di Source.

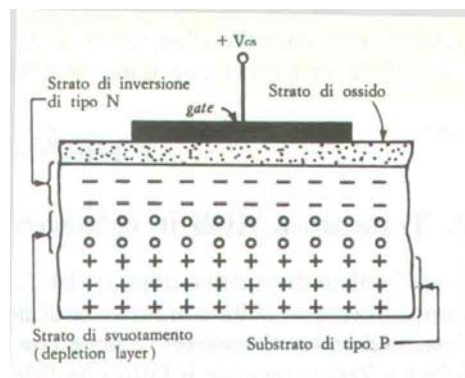
A differenza del JFET se colleghiamo una batteria fra Source e Drain del MOSFET, non abbiamo un passaggio di corrente, poiché il percorso fra i due elettrodi non è drogato in maniera omogenea, ma abbiamo due giunzioni pn, la prima fra zona di Source e substrato e la seconda fra substrato e Drain. Se volessimo far passare una corrente di elettroni fra S e D, dovremmo porre una batteria fra i due elettrodi col positivo verso il morsetto D polarizzando inversamente la seconda giunzione. Se invertissimo i collegamenti della batteria verrebbe polarizzata inversamente la prima giunzione. In entrambi i casi non avremmo passaggio di correnti apprezzabili.

Per consentire la circolazione di corrente dovremo porre una batteria fra Source e Gate in modo da portare il Gate a tensione superiore rispetto al Source e al substrato.



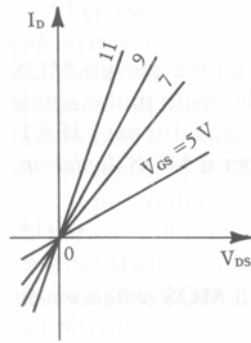
Ora basta notare che il sistema costituito dall'elettrodo di Gate e dal semiconduttore con lo strato di dielettrico interposto, costituisce una sorta di condensatore in cui si genera un campo elettrico le cui linee di forza vanno dal Gate al substrato. Tale

campo elettrico attira elettroni dalle due zone n, al di sotto dello strato di diossido di silicio. L'arrivo di un sufficiente numero di elettroni in tale regione comporta la creazione di una zona di tipo N nel substrato che collega la zona di Source e la zona di Drain. Questa zona si troverà a tensione superiore rispetto al resto del substrato quindi si avrà una nuova giunzione polarizzata inversamente con relativa zona di svuotamento che la isolerà dal resto del substrato.



La zona ricca di elettroni che si è formata prende il nome di *strato di inversione di carica* proprio ad indicare che da zona P, grazie all'arrivo di elettroni, è diventata zona N.

Adesso si è realizzato un canale fra il Source e il Drain che consente il passaggio di corrente, inserendo una batteria fra i due morsetti, in modo da avere una tensione  $V_{DS} > 0$ . Come nel caso del JFET, per piccoli valori della tensione  $V_{DS}$  si ha un comportamento lineare del dispositivo. Esso si comporta sostanzialmente come una resistenza il cui valore dipende dalla lunghezza del canale e dalla sua sezione.



Al crescere della tensione  $V_{GS}$  il canale si arricchisce sempre più di elettroni, la resistenza che esso offre diventa sempre più piccola e la caratteristica che lega  $I_D$  e la  $V_{DS}$  ruota in direzione dell'asse delle ordinate.

Anche nel caso del MOSFET notiamo che le caratteristiche si mantengono costanti soltanto per piccoli valori di  $V_{DS}$  mentre tendono a incurvarsi e diventare quasi parallele all'asse delle ascisse

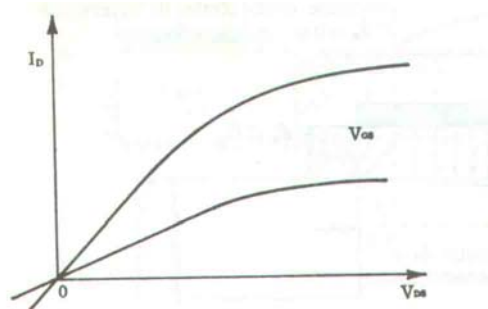
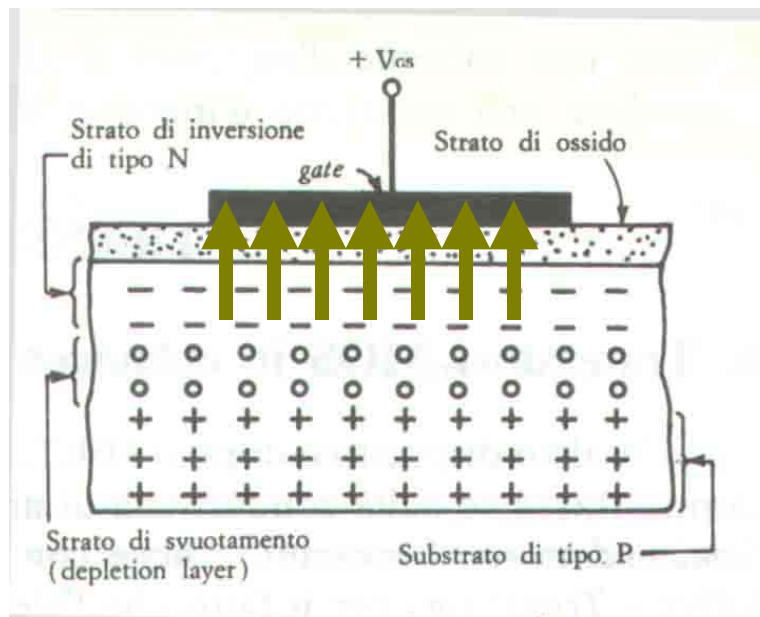
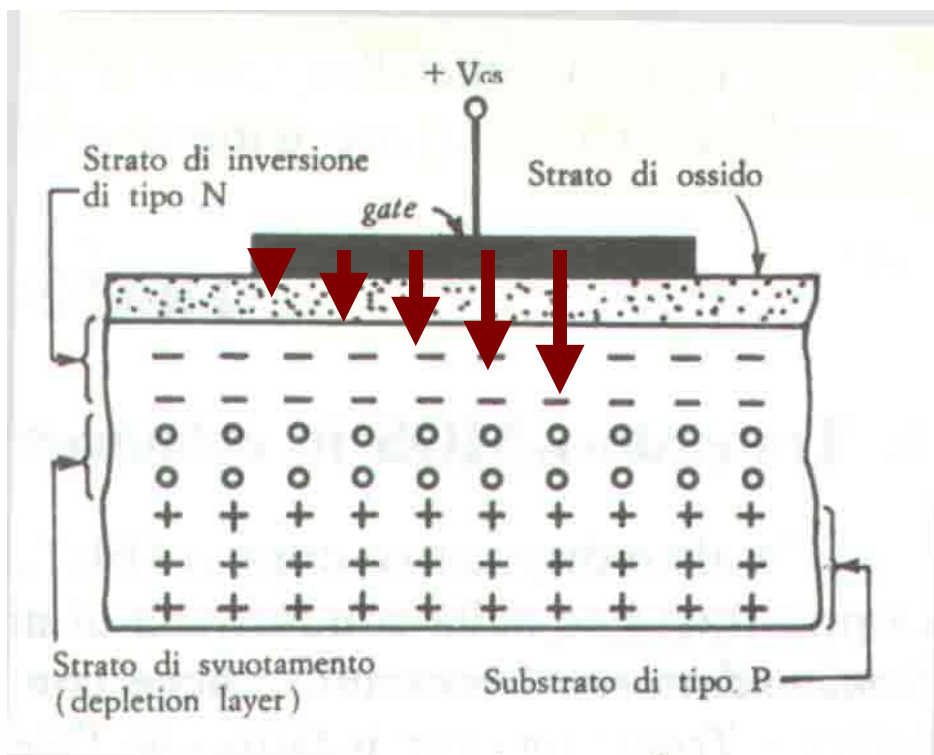


Fig. 22. - Caratteristiche di *drain* per due diversi valori di  $V_{GS}$ .

Per spiegare questo fenomeno consideriamo separatamente gli effetti delle due batterie. Se consideriamo  $V_{GS} > 0$  e  $V_{DS} = 0$  abbiamo tensioni che vanno dal substrato al gate



tali tensioni sono costanti lungo tutto il canale. Consideriamo ora  $V_{GS}=0$  e  $V_{DS}>0$ . In tal caso vuol dire che Source e Gate sono cortocircuitati. Si può fare allora lo stesso ragionamento fatto per il JFET e giungere alla conclusione che se i punti del canale si trovano a tensione superiore rispetto al Source, essi si trovano a tensione superiore anche rispetto al Gate. Tali tensioni poi aumentano in modulo via via che procediamo verso il drain



Se consideriamo l'effetto complessivo delle due batterie, abbiamo che la tensione fra il gate e i punti del canale diminuisce sempre più avvicinandosi al drain per cui il canale non avrà sempre la stessa sezione, ma questa diminuirà avvicinandosi al drain

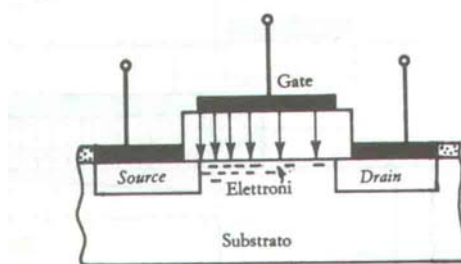


Fig. 23. - Distribuzione non uniforme del campo elettrico quando la tensione *drain-source* non è più trascurabile rispetto a  $V_{GS}$ .

ciò significa che all'aumentare della  $V_{DS}$  la resistenza del canale aumenta e la caratteristica si incurva. Se la tensione  $V_{DS}$  supera il valore di pinch-off il canale si apre e, come nel caso del JFET, la corrente diventa quasi costante

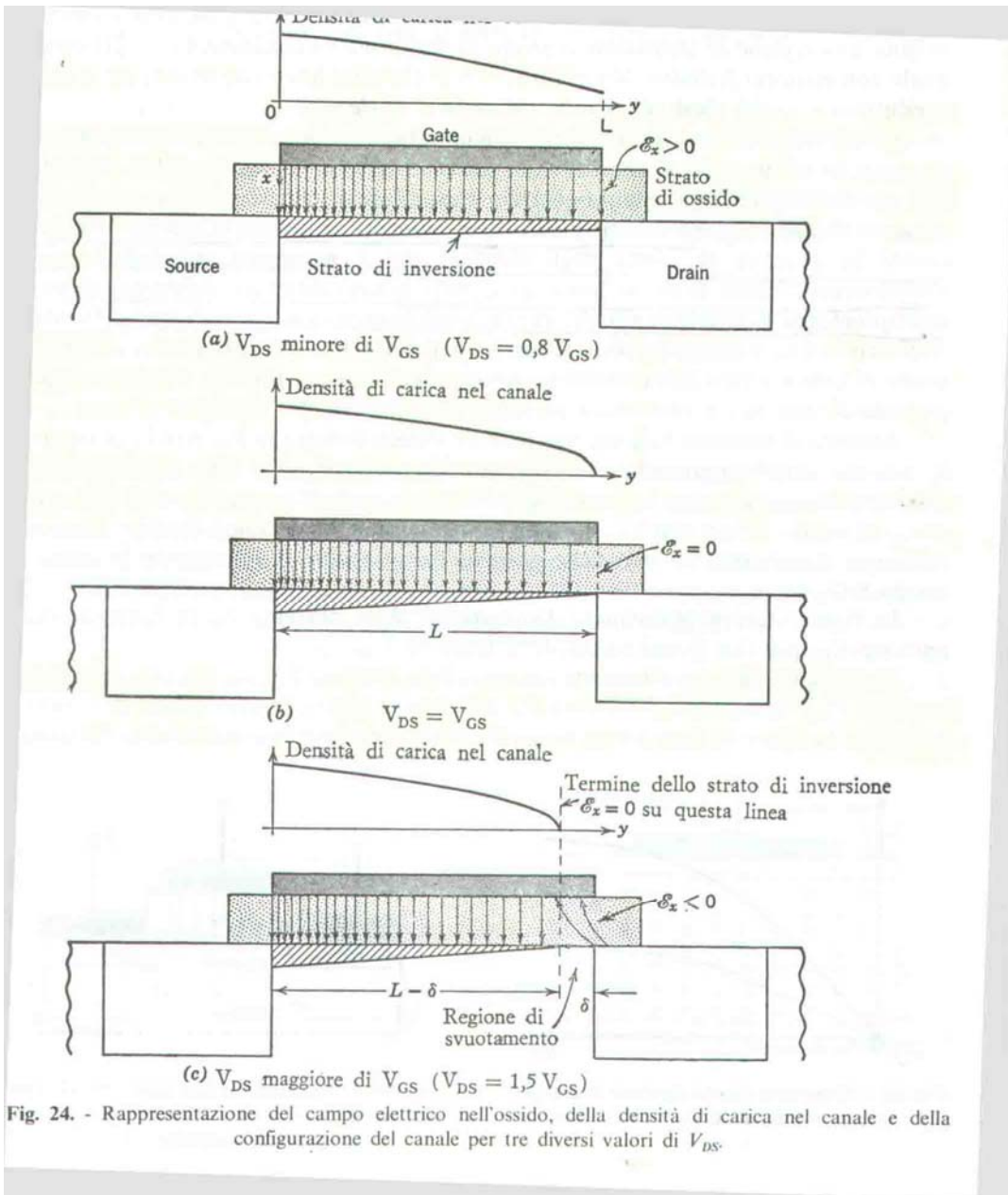
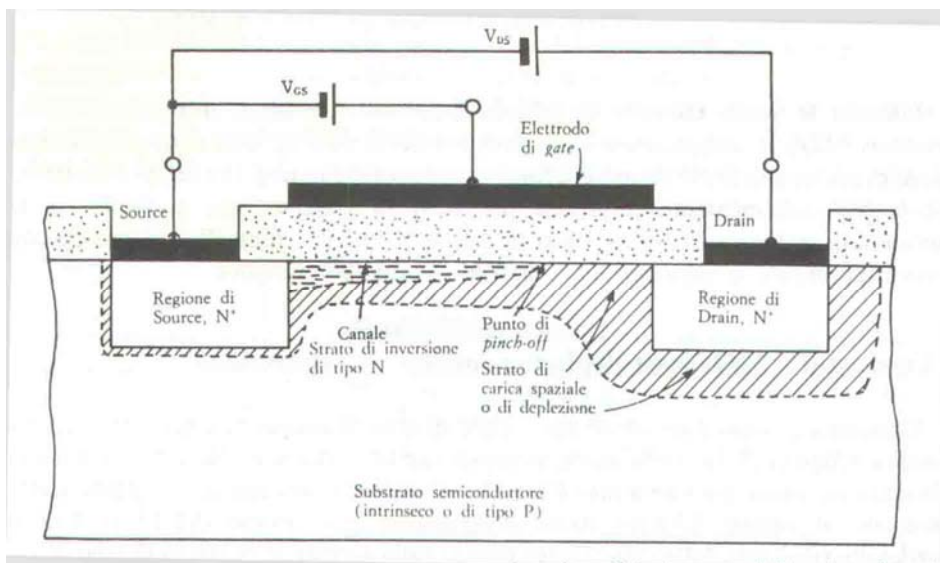
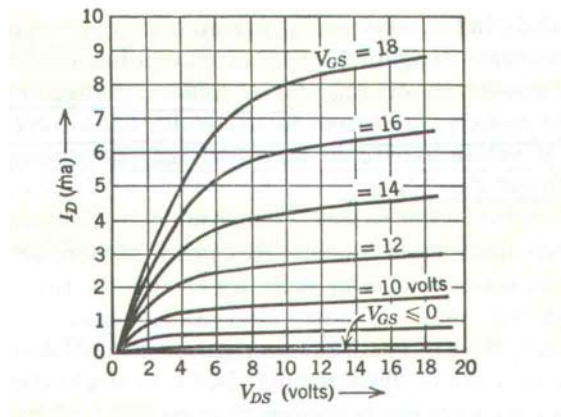


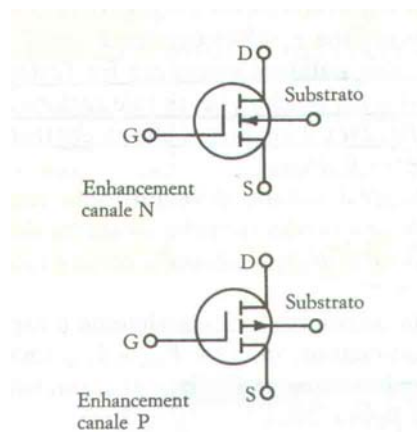
Fig. 24. - Rappresentazione del campo elettrico nell'ossido, della densità di carica nel canale e della configurazione del canale per tre diversi valori di  $V_{DS}$ .





Questo transistor è detto MOSFET enhancement mode o MOSFET ad arricchimento.

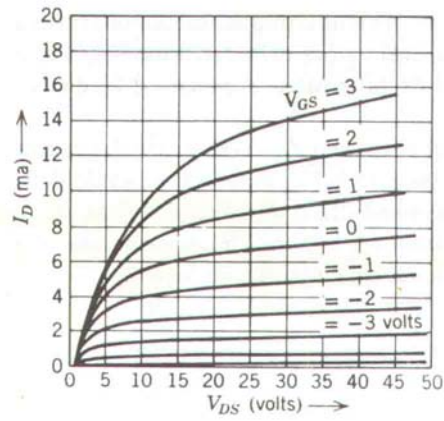
Il simbolo circuitale del MOSFET enhancement mode è il seguente



### ***MOSFET depletion mode***

Esiste un secondo tipo di MOSFET detto depletion mode. La struttura di principio è identica, ma vi è la differenza che, in tal caso, il canale fra Source e Drain già esiste perché realizzato per drogaggio dal costruttore. Ciò vuol dire che anche se la  $V_{GS}$  è nulla si può avere una circolazione di corrente nel dispositivo. In tal caso la  $V_{GS}$  può essere positiva (si allora un allargamento del canale e correnti più elevate) o negativa (si restringe il canale e si hanno correnti più piccole)





il simbolo circuitale è il seguente

