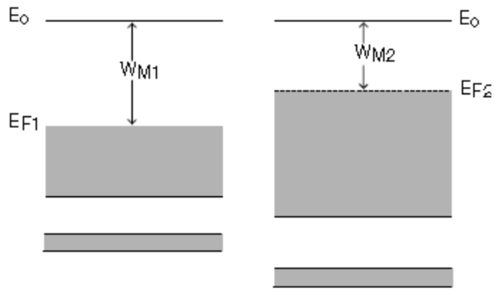
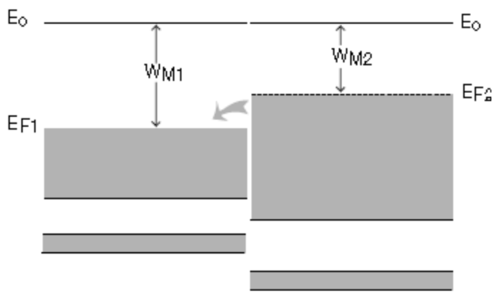
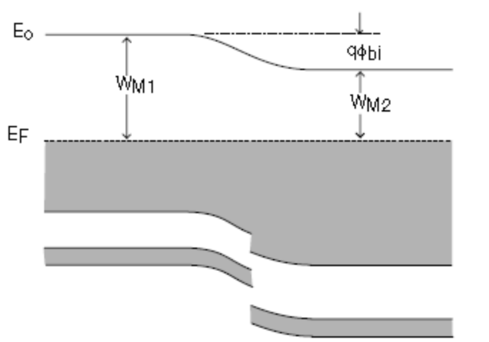
Giunzione metallo – metallo: situazione ideale semplificata



Due metalli lontani l'uno dall'altro



Due metalli subito prima del contatto



Due metalli dopo il contatto:

Livello di vuoto localmente diverso
(Cfr. estrazione fotoelettrica: $h\nu$ diversi)

E_0 livello del vuoto

E_F livello di Fermi

W_{M1}, W_{M2} funzioni di lavoro dei metalli

(En. necessaria a staccare un elettrone dal cristallo)

$\rightarrow$ Comparsa di una *differenza di potenziale di contatto*

$\varphi_{bi} = W_{M1} - W_{M2}$ potenziale built-in

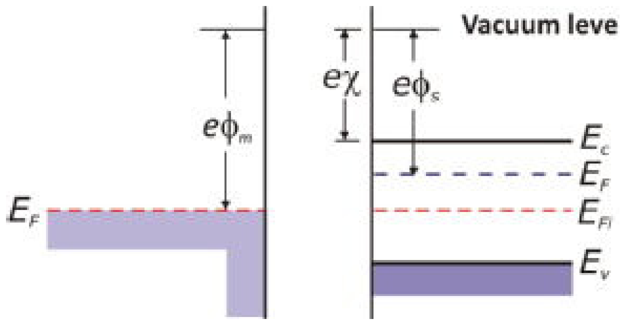
Origine della discontinuita' nel potenziale al confine fra i due metalli:

Flusso iniziale di elettroni dal metallo con W minore a quello con W maggiore $\rightarrow$ Carica spaziale $+va$ e $-va$

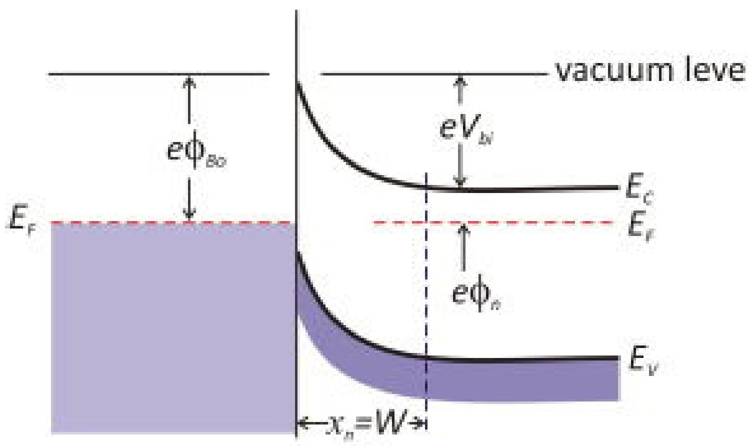
$\rightarrow$ Doppio strato $\rightarrow$ Discontinuita'

Giunzione metallo – semiconduttore

Giunzione Schottky : $\phi_m > \phi_s$



Metallo e semiconduttore *n* lontani l'uno dall'altro



Metallo e semiconduttore *n* in contatto

Differenza fra funzioni di lavoro:

$V_{bi} = \phi_m - \phi_s$ potenziale built-in

χ affinita' chimica = $\phi_s - (E_C - E_F) = \phi_s - \phi_n$

$\rightarrow \phi_{Bo} = \phi_m - \chi$ Barriera di Schottky

$\phi_{Bo} \neq \phi_n$: Band bending a causa dell'unicita' del livello di Fermi

$\rightarrow \phi_{Bo} = V_{Bi} + \phi_n$

$\phi_{Bo} \sim 0.3 \div 0.8 \; V$

Elettrostatica della giunzione Schottky (analoga a giunzione *pn*)

Densita' di carica:

$x_d \equiv x_n$

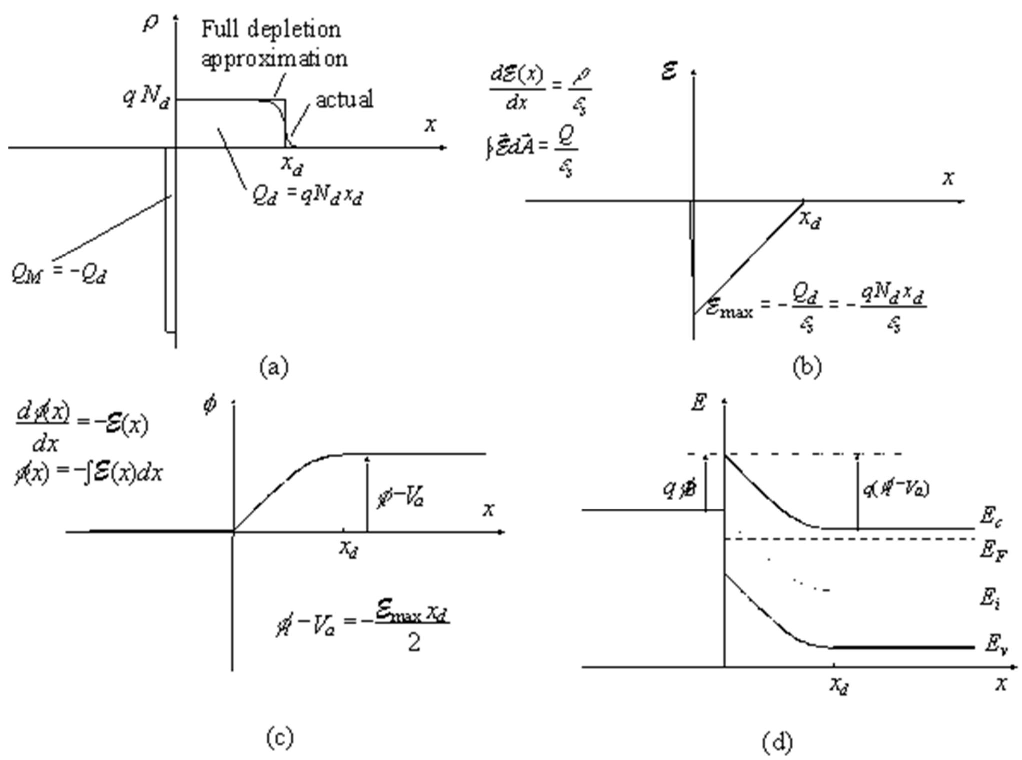
$$\rho(x) \simeq \begin{cases} qN_D & 0 \le x \le x_d \\ 0 & x > x_d \end{cases}$$

C. elettrico:

$$E(x) \simeq \begin{cases} \dfrac{qN_D}{\varepsilon}(x - x_d) & 0 \le x \le x_d \\ 0 & x > x_d \end{cases}$$

Pot. elettrostatico

$$\phi(x) \simeq \begin{cases} \dfrac{qN_D}{2\varepsilon}\left(x^2 - 2xx_d + x_d^2\right) & 0 \le x \le x_d \\ 0 & x > x_d \end{cases}, \ \phi = 0 \text{ nel metallo}$$



$\phi(0) = -\phi_{bi}$

$\rightarrow x_d = \sqrt{\frac{2\varepsilon\phi_{bi}}{qN_D}}$ larghezza strato di svuotamento

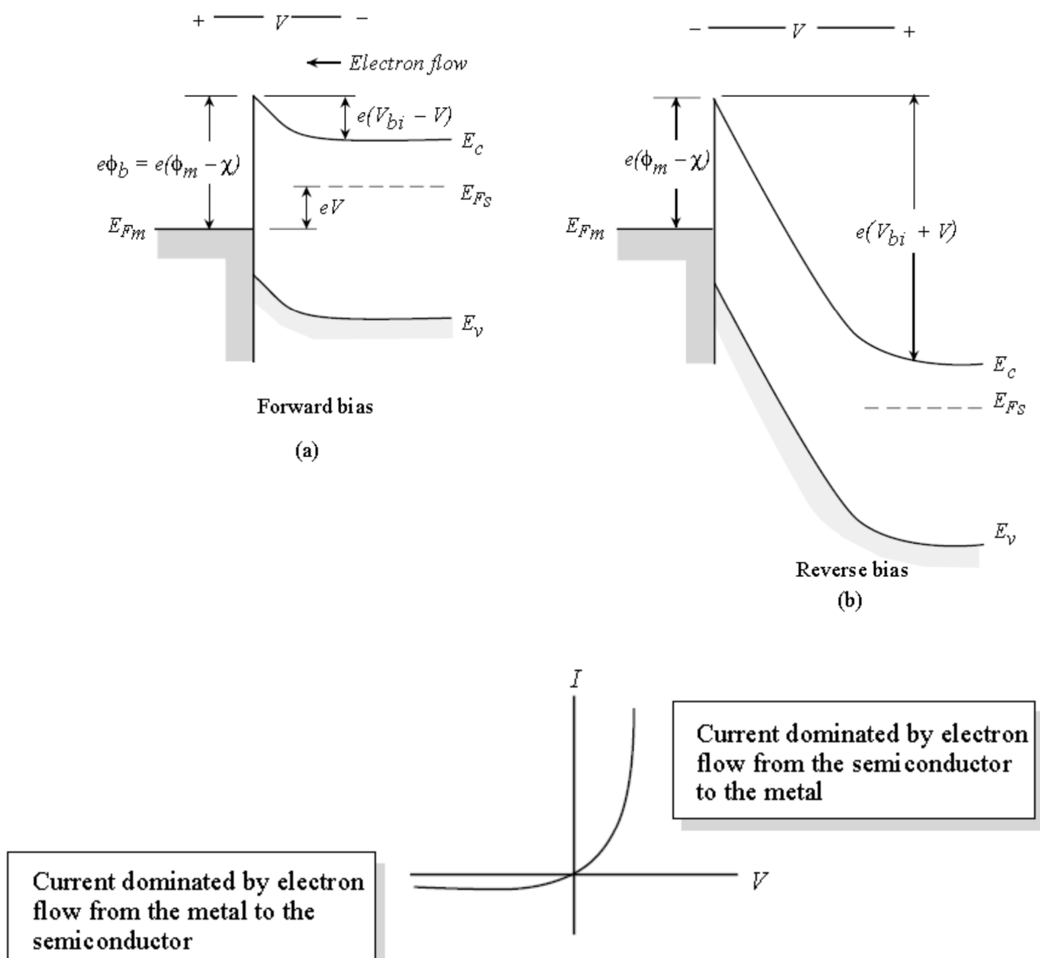
$E_{\max} = \frac{qN_D x_d}{\varepsilon} = \sqrt{\frac{2qN_D\phi_{bi}}{\varepsilon}}$ c. elettrico max

$n_0(x) = N_D e^{\frac{q\phi(x)}{kT}}$ concentrazione all'equilibrio

$\rightarrow n_0(0) = N_D e^{-\frac{q\phi_{bi}}{kT}}$

Effetto di una polarizzazione esterna: simile a giunzione *pn*

Tuttavia, meccanismo di trasporto diverso: tunneling invece di diffusione



(c)

Rel. corrente-tensione:

$I = I_S\left(e^{V/V_T} - 1\right) \rightarrow$ Proprieta' rettificanti simili a giunzione *pn*

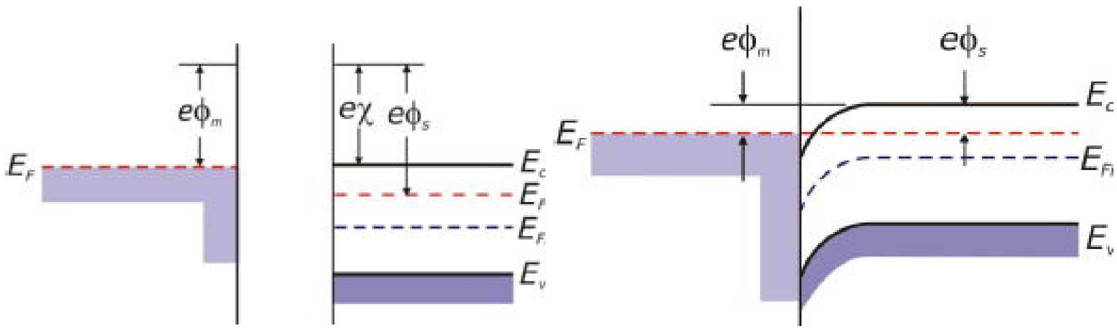
$I_S = A\dfrac{m^* e k^2}{2\pi^2 h^3} T^2 e^{-\phi_b/V_T}$, A area giunzione

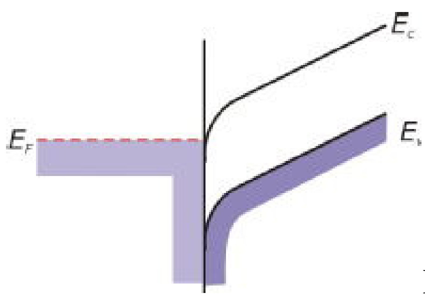
Corrente inversa: *Non* dovuta ad attivazione termica di portatori

Meccanismo di *tunneling* simile a emissione termoionica da metallo riscaldato

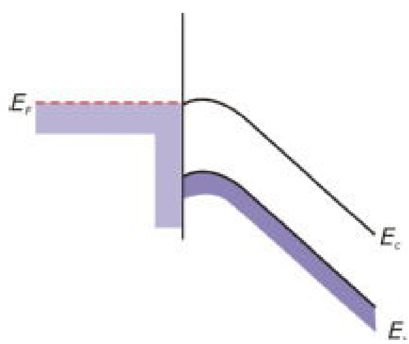
Giunzione metallo – semiconduttore

Giunzione ohmica: $\phi_M < \phi_S$





Pol. Diretta: nessuna barriera



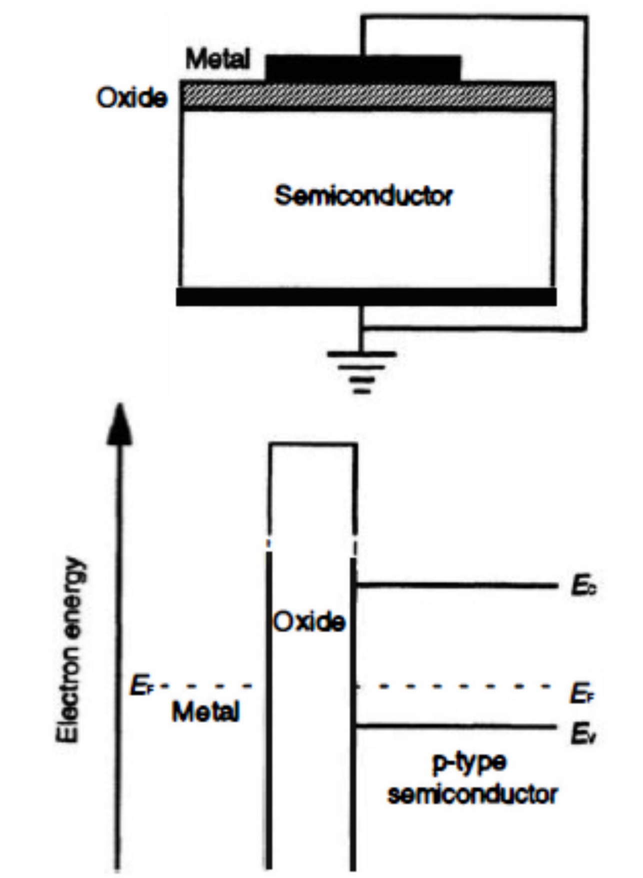
Pol. Inversa: barriera ridottissima

→ Assenza di proprieta’ rettificanti

Giunzione Metallo – Ossido (=isolante) – *S*emiconduttore :

Realizzata sotto forma di *condensatore MOS*

Situazione all'equilibrio:



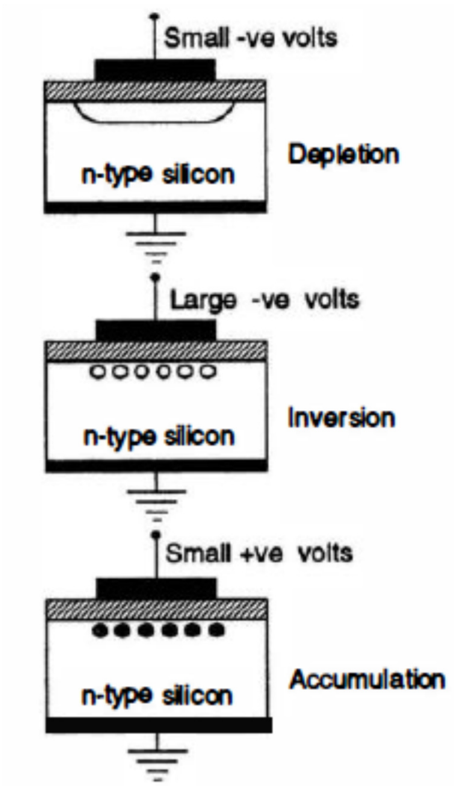
Gap nell'ossido ~ 10 eV $\gg$ Gap nel semiconduttore

Situazione fuori equilibrio:

Tensione sul gate:

−va → Svuotamento, Inversione

+va → Accumulazione



Carica –va sul gate → Repulsione elettrostatica

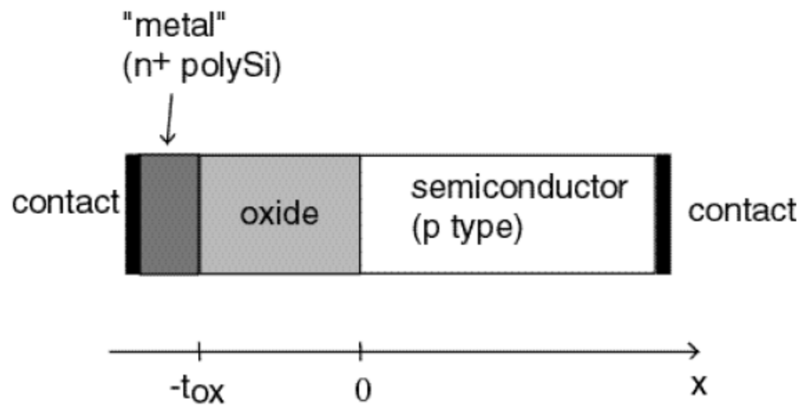
Strato di svuotamento si allarga con V_G

→Capacita' equivalente

Carica – –va sul gate → Energeticamente favorita raccolta di *lacune* all'interfaccia

Carica +va sul gate→Repulsione elettrostatica

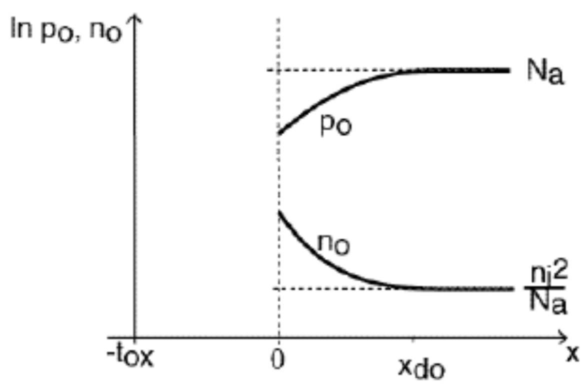
→ Accumulazione di *elettroni* all'interfaccia

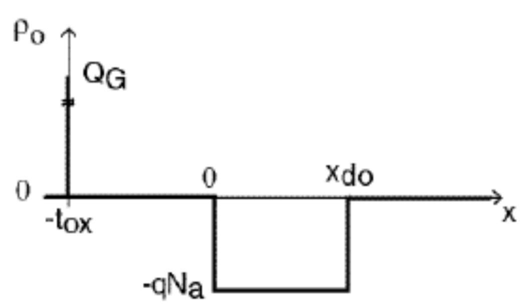


Contatto ohmico fra M e S

$\rightarrow$ Trasferimento di elettroni $M \rightarrow S$, lacune $S \rightarrow M$

$\rightarrow$ Carica spaziale





$\sigma = Q_G \qquad x = -t_{ox}$ carica superficiale sul metallo

$\rho_0(x) = 0 \qquad -t_{ox} < x < 0$

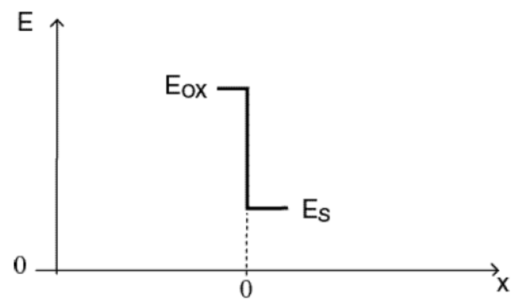
$\rho_0(x) = -qN_A \qquad 0 < x < x_{d0}$

$\rho_0(x) = 0 \qquad x > x_{d0}$

$E_0(x_2) - E_0(x_1) = \frac{1}{\varepsilon}\int_{x1}^{x2} \rho_0(x')dx'$ c. elettrico

$\varepsilon_{ox}E_{ox} = \varepsilon_s E_s$ cons. componente normale di **E** fra due mezzi

$\rightarrow \frac{E_{ox}}{E_s} = \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_{ox}} \approx 3$



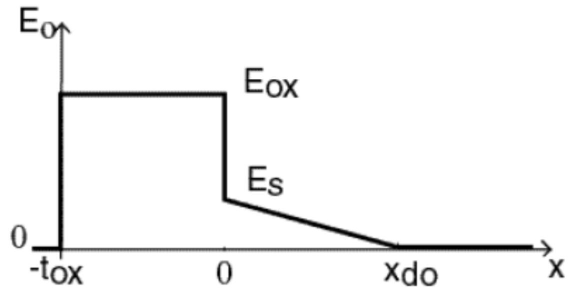
$\rightarrow$ C. elettrico vs x:

$$E_0(x) = 0 \qquad x < -t_{ox}$$

$$E_0(x) = \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_{ox}} E_0(x = 0^+) = \frac{qN_A x_{d0}}{\varepsilon_{ox}} \qquad -t_{ox} < x < 0$$

$$E_0(x) - E_0(x_{d0}) = \frac{1}{\varepsilon_s}\int_{x_{d0}}^{x} (-qN_A)dx' = -\frac{qN_A}{\varepsilon_s}(x - x_{d0}) \qquad 0 < x < x_{d0}$$

$$E_0(x) = 0 \qquad x > x_{d0}$$



Valori limite del potenziale nel metallo e nel semiconduttore:

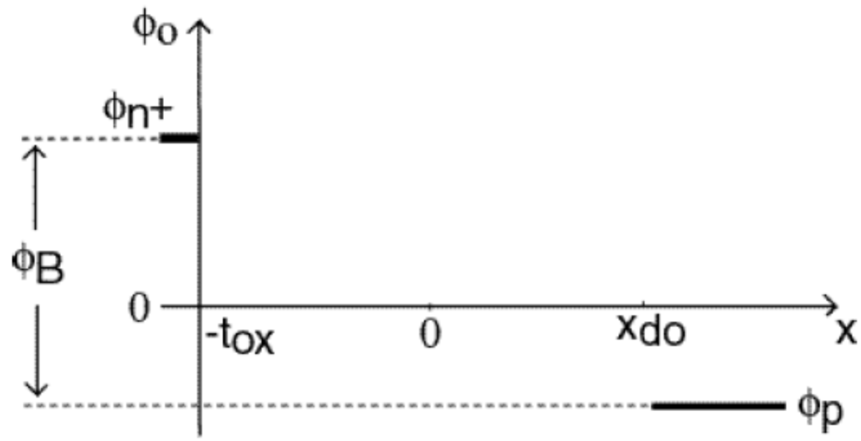
$$\phi = \frac{kT}{q} ln \frac{n_0}{n_i} \quad \text{metallo}$$

$$n_0 = N_D^+ \rightarrow \phi_{n^+} = \phi_G = \frac{kT}{q} ln \frac{N_D^+}{n_i}$$

$$\phi = -\frac{kT}{q} ln \frac{p_0}{n_i} \quad \text{semiconduttore}$$

$$p_0 = N_A \rightarrow \phi_p = -\frac{kT}{q} ln \frac{N_A}{n_i}$$

$$\rightarrow \phi_G - \phi_p = \phi_{n^+} + \frac{kT}{q} ln \frac{N_A}{n_i} \equiv \phi_B$$



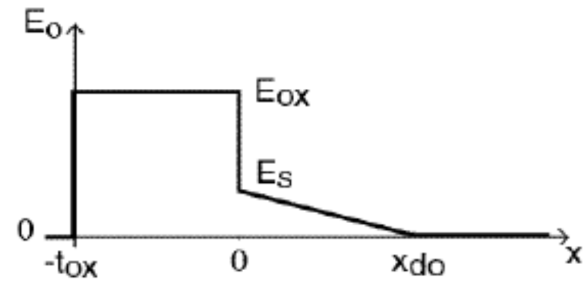
$$\phi_0(x) = \phi_{n^+} \qquad x < -t_{ox}$$

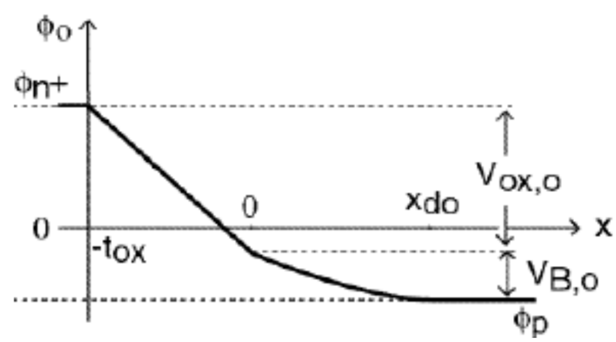
$$\phi_0(x) = \phi_p + \frac{qN_A}{2\varepsilon_s}x_{d0}^2 + \frac{qN_A x_{d0}}{\varepsilon_{ox}}(-x) \qquad -t_{ox} < x < 0$$

$$\phi_0(x) - \phi_0(x_{d0}) = -\int_{x_{d0}}^{x} -\frac{qN_A}{\varepsilon_s}(x' - x_{d0})dx'$$

$$\rightarrow \phi_0(x) = \phi_p + \frac{qN_A}{2\varepsilon_s}(x - x_{d0})^2 \qquad 0 < x < x_{d0}$$

$$\phi_0(x) = \phi_p \qquad x > x_{d0}$$





Per determinare x_{0d}:

$$\rightarrow \phi_B = V_{sc} + V_{ox} = \frac{qN_A x_{0d}^2}{2\varepsilon_s} + \frac{qN_A t_{ox} x_{0d}}{\varepsilon_{ox}}$$

$$\rightarrow x_{0d} = \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_{ox}} t_{ox} \left(\sqrt{1 + \frac{2\varepsilon_{ox}^2 \phi_B}{q\varepsilon_s N_A t_{ox}^2}} - 1 \right)$$

Definendo

$$C_{ox} = \frac{\varepsilon_{ox}}{t_{ox}}$$ capacita'/unita' di superficie

$$\rightarrow x_{0d} = \frac{\varepsilon_s}{C_{ox}} \left(\sqrt{1 + \frac{2C_{ox}^2 \phi_B}{q\varepsilon_s N_A}} - 1 \right)$$