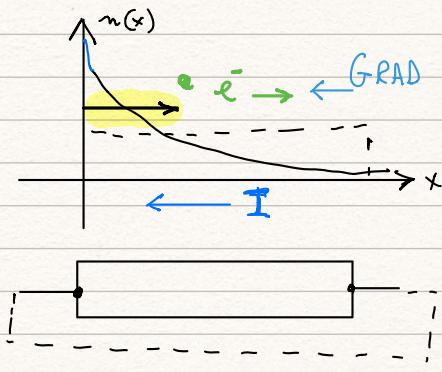
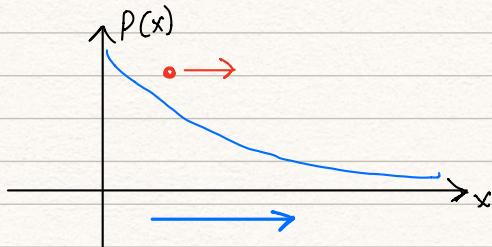


CORRENTE DI DIFFUSIONE E GIUNZIONE PN:



$$J_{n\text{ diff}} = (-q) D_n [-\text{grad } n(x, y, z)] \quad \text{circa } D_n = 32 \text{ cm}^2/\text{s}$$

↑ coefficiente di diffusione elettroni



$$J_{p\text{ diff}} = q D_p [-\text{grad } p(x, y, z)] \quad \text{circa } D_p = 12 \text{ cm}^2/\text{s}$$

↑ coefficiente di diffusione delle lacune

$$\vec{J}_{\text{TOT DIFF}} = \vec{J}_{n\text{ DIFF}} + \vec{J}_{p\text{ DIFF}} = (-q) D_n [-\text{grad } n(x, y, z)] + q D_p [-\text{grad } p(x, y, z)]$$

$D_n = \frac{k_B T}{q} \mu_n$
$D_p = \frac{k_B T}{q} \mu_p$

RELAZIONE DI EINSTEIN

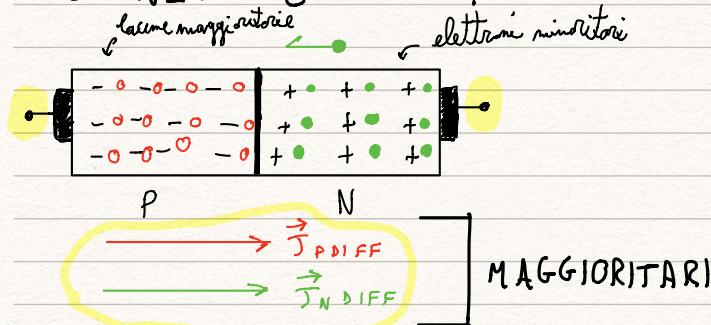
$R_B T \rightarrow$ ENERGIA TERMICA

$$V_{Th} = \frac{k_B T}{q} \rightarrow$$

TENSIONE TERMICA

a temperatura ambiente $\approx 25,8 \text{ mV}$

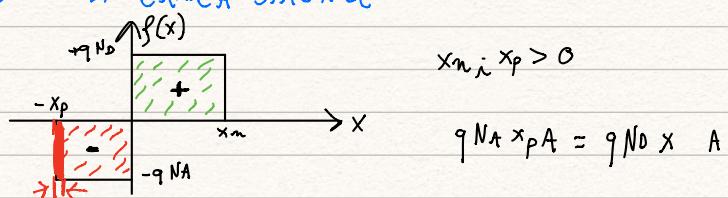
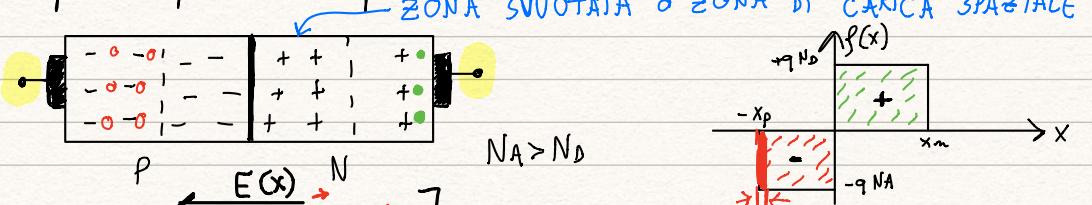
GIUNZIONE P-N:



$$N_A > N_D$$

le lacune maggioritarie androno per diffusione nella regione di minor concentrazione (verso la Zona N)

dopo un po' di tempo:



$\leftarrow \overrightarrow{J_p \text{ DRIFT}}$ $\leftarrow \overrightarrow{J_n \text{ DRIFT}}$ MINORITARI

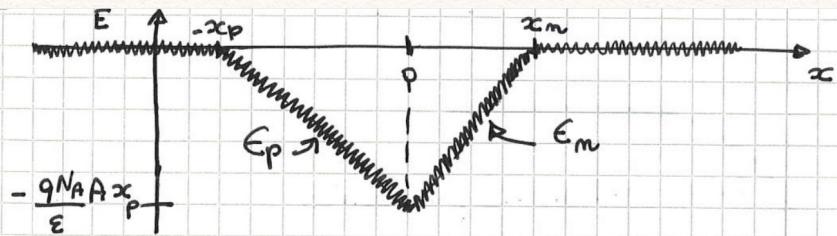
La distribuzione di carica genera un campo elettrico.

Per calcolare questo campo elettrico sfrutta il teorema di Gauss

$$q_{TOT} = 0$$

$$\text{per } 0 \leq x \leq x_n \rightarrow q_{TOT}(x) = -A q_N A (x+x_p) \rightarrow E(x) = \frac{1}{\epsilon} (-q_N x_p + q_N x)$$

$$\text{per } x \geq x_n \rightarrow q_{TOT}(x) = 0 \rightarrow E(x) = 0$$



A partire dall'espressione del campo poniamo di integrare e calcolare il potenziale:

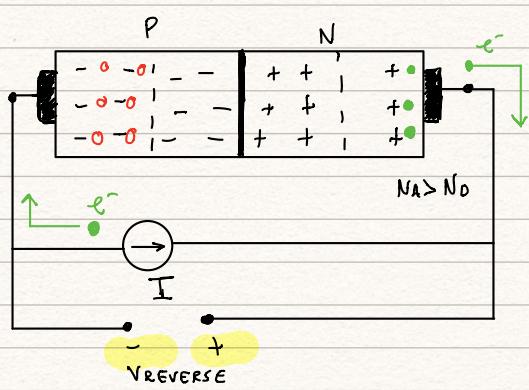
$$V(x) = - \int \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int_{x_0}^x E_x dx + V_0 \quad \text{dove } V_0 = V(x_0) \text{ costante arbitaria.}$$

L'equilibrio si raggiunge quando $\left| \vec{J_p \text{ DIFF}} \right| = \left| \vec{J_n \text{ DIFF}} \right| \quad \left| \vec{J_p \text{ DRIFT}} \right| = \left| \vec{J_n \text{ DRIFT}} \right| \quad \text{BILANCIO DETAGLIATO}$

La differenza di potenziale fra i due capi si chiama TENSIONE DI BUILT-IN

Sia corrente di drift dipende dalla concentrazione di portatori che ha
(da barriera di potenziale entra il passaggio delle cariche maggioritarie)

POLARIZZAZIONE INVERSA:



$I < I_s$ corrente di drift

aumenta la zona di carica spaziale

AUMENTA LA BARRIERA DI POTENZIALE

(quindi per una corrente piccolissima di drift che dipende dai minoritari)

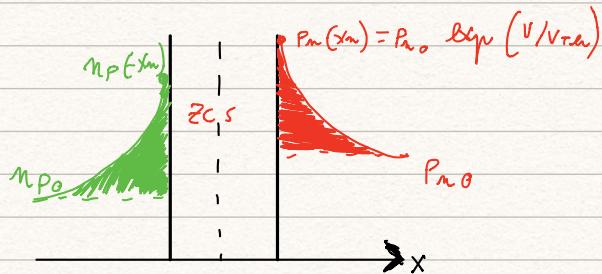
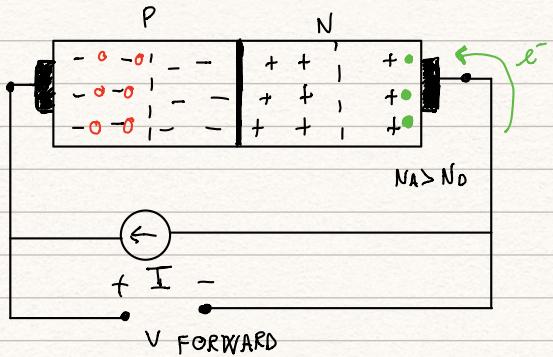
(la temperatura aumenta la concentrazione di minoritari)

↳ la concentrazione raddoppia ogni 8 gradi

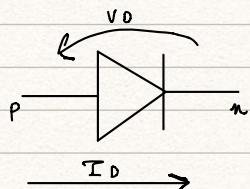
BREAKDOWN DELLA GIUNZIONE

- PER EFFETTO ZENER = quando il picco di campo elettrico è così elevato che rompe i legami covalenti. Per $V_{REF} \leq 5V$
- PER EFFETTO VALANGA = quando gli elettroni hanno un'energia cinetica così elevata da rompere i legami covalenti. Per $V_{REF} \geq 7V$

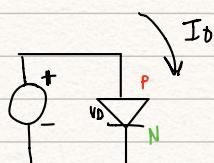
POLARIZZAZIONE DIRETTA:



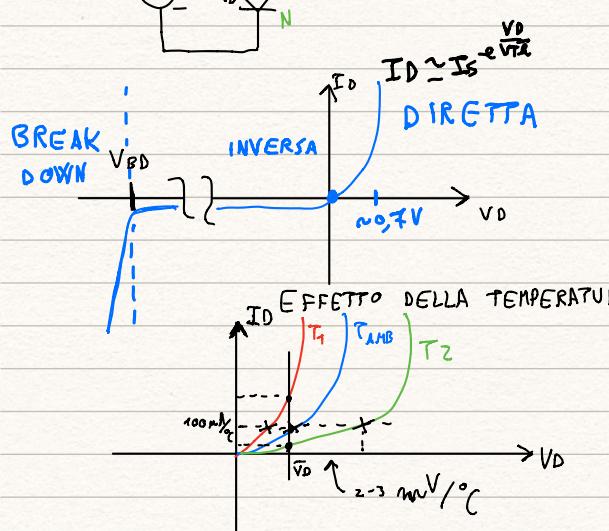
n_P0 concentrazione di elettroni minoritari in zona all'equilibrio
 p_N0 concentrazione di lacune maggioritarie in zona all'equilibrio



CARATTERISTICA IV DEL DIODO A GIUNZIONE:



- $V_D > 0$ polarizzazione diretta (forward bias)
- $V_D < 0$ polarizzazione inversa (reverse bias)



$$I_D = I_s \left[\exp\left(\frac{V_D}{V_{TL}}\right) - 1 \right]$$

$$V_{TL} = \frac{k_B T}{q} \approx 25 \text{ mV}$$

I_s = corrente di saturazione inversa

$$T_1 > T_{AMB} > T_2$$

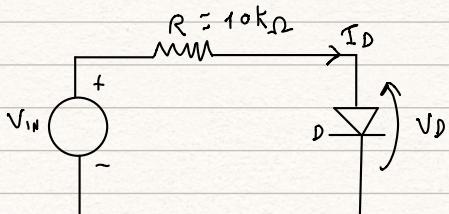
DISIPAZIONE DI POTENZA

$$P \approx 0,7 V \cdot I$$

$$P \approx |V_{BD}| \cdot |I_D|$$

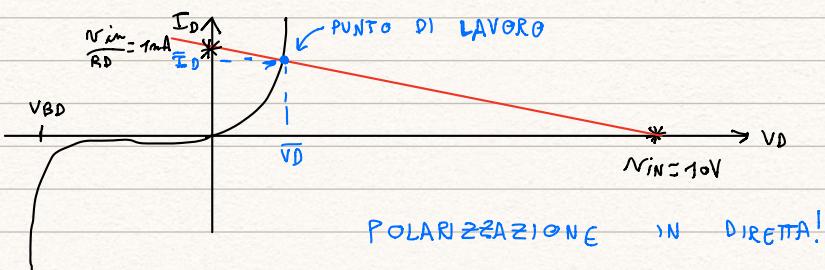
massima dissipazione di potenza

ANALISI DEI CIRCUITI CON DIODI, MODELLIZZAZIONE DEL DIODO:



- METODO GRAFICO
- METODO ANALITICO
- SEMPLIFICAZIONE MEDIANTE MODELLI

• METODO GRAFICO:



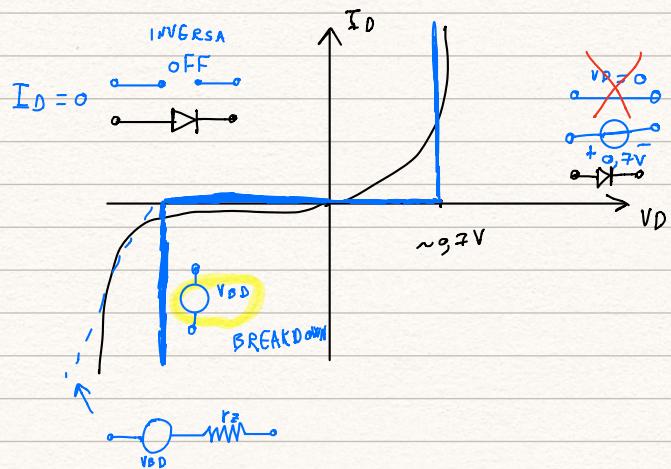
• METODO ANALITICO:

$$\begin{cases} I_D = I_S [\exp\left(\frac{V_D}{V_{TH}}\right) - 1] \\ V_D = V_{IN} - I_D R \end{cases}$$

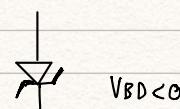
✓ eq. trascendente

$$V_D = V_{IN} - I_S [\exp\left(\frac{V_D}{V_{TH}}\right) - 1] R \rightarrow I_D, V_D$$

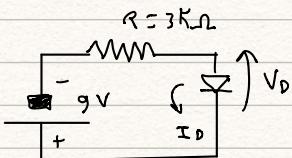
• SEMPLIFICAZIONE MEDIANTE MODELLI:



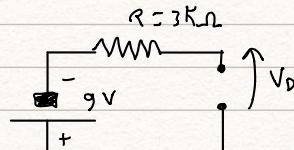
DIODI ZENER



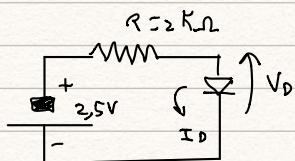
esercizio 1:



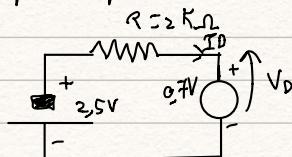
ipotesi diodo in inversa



$$I_D = 0 \quad V_D = -9V \rightarrow \text{è effettivamente in inversa}$$



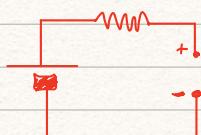
ipotesi polarizzazione diretta



$I_D > 0 \rightarrow \text{il diodo è effettivamente in diretta}$

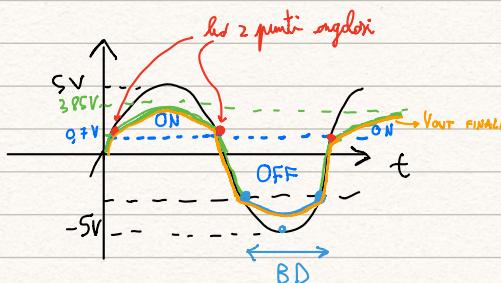
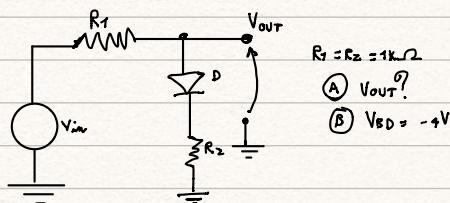
$$I_D = \frac{2.5V - 0.7V}{2k\Omega} = 0.9 \text{ mA}$$

ipotesi polarizzazione inversa



$V_D = +2.5V \rightarrow \text{ASSURDO, quindi NON È IN INVERSA MA IN DIRETTA}$

esercizio 2:



Se diodo ON se $V_D \geq 0.7V$ con diodo off $I_D = 0 \rightarrow V_{OUT} = V_D$
 $V_D \geq 0.7V \leftrightarrow V_{OUT} \geq 0.7V$

Se diodo off $V_{OUT} = V_{IN} \rightarrow V_{IN} \geq 0.7V$ per avere diodo ON

- Se diodo ON, $V_{OUT} = \frac{R_1}{R_1+R_2} (V_{IN} + 0.7V) = 0.5V_{IN} + 0.35V$

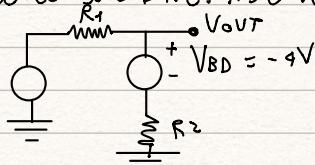
- Se diodo OFF, $V_{OUT} = V_{IN}$

ΔV_{MAX} ai capi del diodo in inversa?

$V_{D,MAX} = -5V$! BREAKDOWN!

$D_{OFF} \quad V_D = -4V \rightarrow V_{IN} = -4V$

Se diodo in BREAKDOWN:



$$V_{OUT} = \frac{R_1}{R_1+R_2} (V_{IN} - 4V) = 0.5V (V_{IN} - 4V)$$

Se $V_{IN} = -5V \rightarrow V_{OUT} = -4,5V$

Se $V_{IN} = -4V \rightarrow V_{OUT} = -4V$