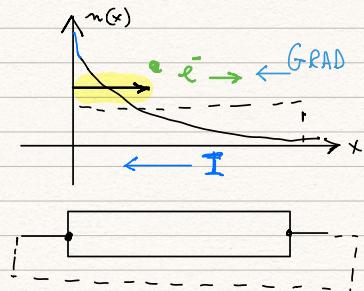
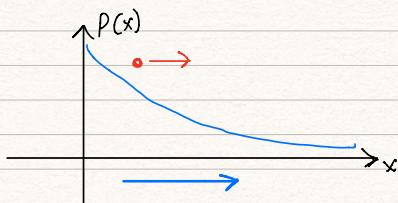


## CORRENTE DI DIFFUSIONE E GIUNZIONE PN:



$$J_{n\text{ diff}} = (-q) D_n \left[ -\text{grad } n(x, y, z) \right]$$

coefficiente di diffusione elettroni  
circa  $D_n = 32 \text{ cm}^2/\text{s}$



$$J_{p\text{ diff}} = q D_p \left[ -\text{grad } p(x, y, z) \right]$$

coefficiente di diffusione delle lacune  
 $D_p = 12 \text{ cm}^2/\text{s}$

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

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

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

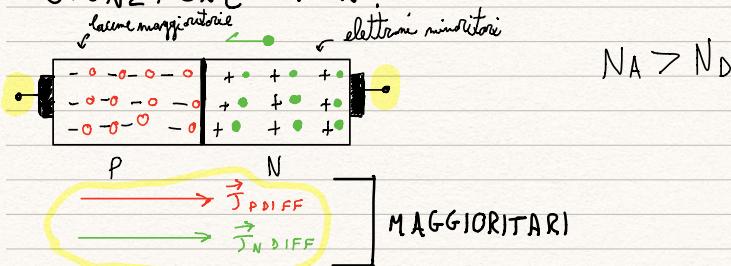
RELAZIONE DI EINSTEIN

$R_B T \rightarrow$  ENERGIA TERMICA

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

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

GIUNZIONE P-N :



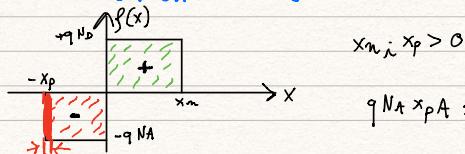
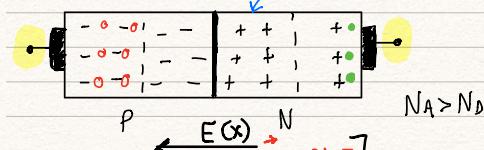
$$N_A > N_D$$

MAGGIORITARI

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

dopo un po' di tempo:

ZONA SVUOTATA O ZONA DI CARICA SPAZIALE



$$x_m * x_P > 0$$

$$q N_A * x_P A = q N_D * x_N A$$

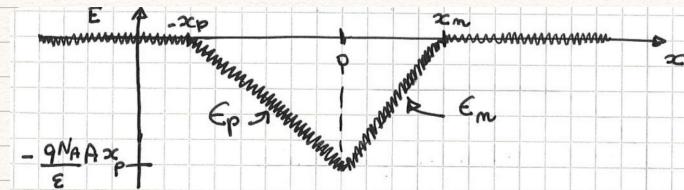
La distribuzione di corica genera un campo elettrico.

Per calcolare questo campo elettrico sfrutta il teorema di Gauss

$$q_{TOT} = 0$$

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

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



A partire dall'espressione del campo passiamo a integrare e calcolare il potenziale:

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

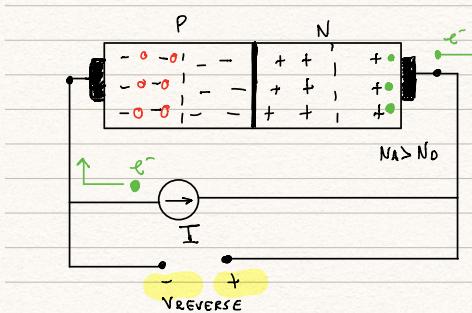
L'equilibrio si raggiunge quando  $\left| \vec{J}_{P\text{ DIFF}} \right| = \left| \vec{J}_{N\text{ DIFF}} \right| = \left| \vec{J}_{P\text{ DRIFT}} \right| = \left| \vec{J}_{N\text{ DRIFT}} \right| \quad \text{BILANCIO DETTAGLIATO}$

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

(la barriera di potenziale entra il paraggio delle coriche maggioritarie)

### POLARIZZAZIONE INVERSA:



$I < I_S$  corrente di drift

aumenta la zona di corica spaziale

↓ AUMENTA LA BARRIERA DI POTENZIALE

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

(La temperatura aumenta la concentrazione di minoritari)

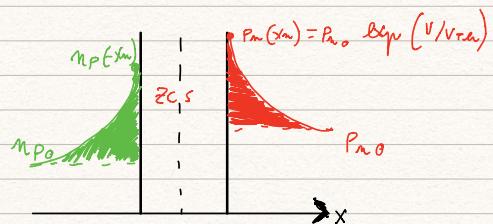
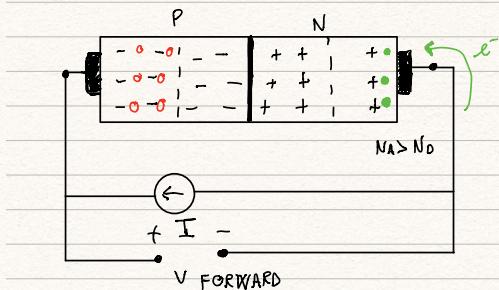
↳ la concentrazione raddoppia ogni 8 gradi

**BREAKDOWN DELLA GIUNZIONE** = quando la corrente generata è superiore a quella di drift

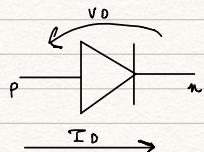
- PER EFFETTO ZENER = quando il picco di campo elettrico è così elevato che rompe i legami covalenti. Per  $V_{REF} \leq 5V$

- PER EFFETTO VALANGA = quando gli elettroni hanno un'energia cinetica così elevata da rompere i legami covalenti. Per  $V_{REF} \geq 7V$  fornita dal campo elettrico

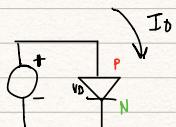
### POLARIZZAZIONE DIRETTA:



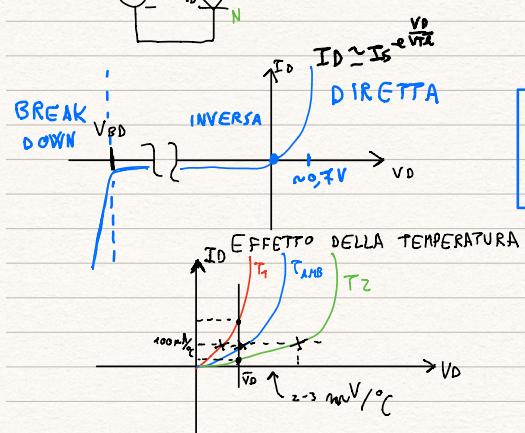
$n_{p0}$  = concentrazione di elettroni minoritari in zona all'equilibrio  
 $p_{n0}$  = concentrazione di lacune maggioritarie in zona all'equilibrio



### CARATTERISTICA IV DEL DIODO A GIUNZIONE:



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



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

$I_S$  = corrente di saturazione inversa

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

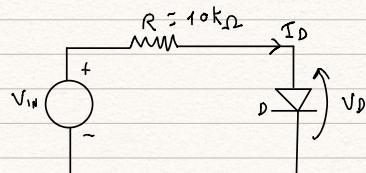
### DISSSIPAZIONE DI POTENZA

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

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

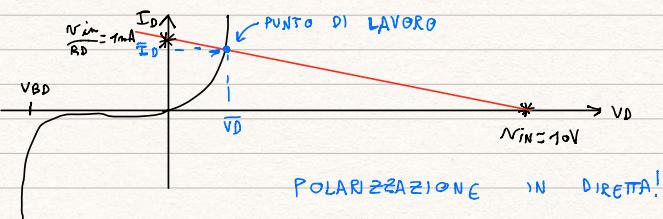
$\uparrow$  massima dissipazione di potenza

### ANALISI DEI CIRCUITI CON DIODI, MODELLIZZAZIONE DEL DIODO:



- METODO GRAFICO
- METODO ANALITICO
- SEMPLIFICAZIONE MEDIANTE MODELLI

#### • METODO GRAFICO:



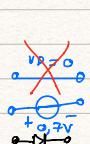
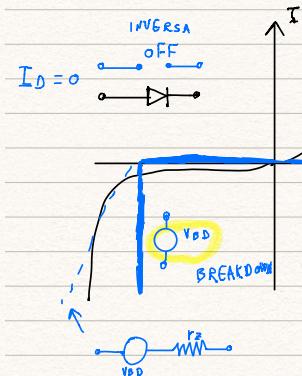
#### • METODO ANALITICO:

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

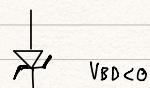
eq. trascrivente

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

#### • SEMPLIFICAZIONE MEDIANTE MODELLI:

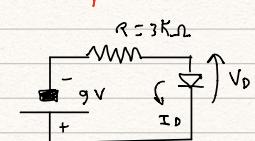


DIODI ZENER

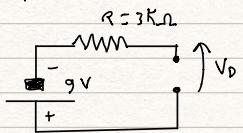


$$V_{BD} < 0$$

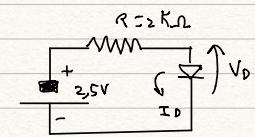
esercizio 1:



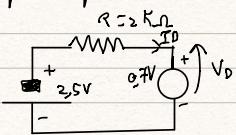
ipotesi diodo in inversa



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



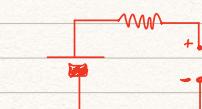
ipotesi polarizzazione diretta



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

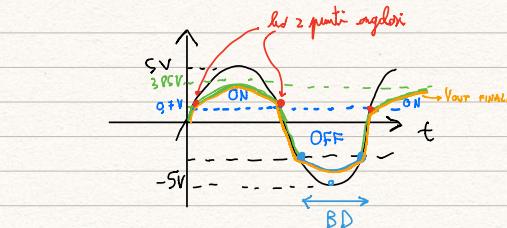
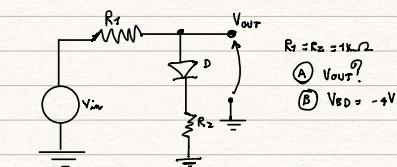
$$I_D = \frac{2.5V - 0.7V}{2k\Omega} \approx 0.9mA$$

ipotesi polarizzazione inversa



$V_D \leq 2.5V \rightarrow$  ASSURDO, quindi non è IN INVERSA MA IN DIRETTA

esercizio 2:



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

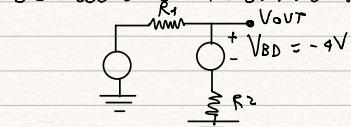
- Se diodo ON,  $V_{out} = \frac{R_1}{R_1+R_2}(V_{in} + 0.7V) \leq 0.5V_{in} + 0.35V$

- Se diodo OFF,  $V_{out} = V_{in}$

$\Delta V_{max}$  in caso del diodo in inversa?  $V_{Dmax} = -5V$ ! BREAKDOWN!

$$V_{off} \quad V_D = -4V \rightarrow V_{in} = -4V$$

- Se diodo in BREAKDOWN:



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

$\frac{1}{2}e \quad V_{IN} = -5V \rightarrow V_{OUT} = -4,5V$

$\frac{1}{2}e \quad V_{IN} = -4V \rightarrow V_{OUT} = -4V$