

# Dispositivi elettronici – AA2018/19

## Homework 04

Valerio Nappi

<https://5n44p.github.io/triennale-elettronica-polimi/>

### Consegna

E1 – La *Figura 1* rappresenta schematicamente una cella fotovoltaica realizzata con una giunzione p-n in silicio. Il dispositivo ha una sezione quadrata di lato  $L=10\text{cm}$ . In assenza di illuminazione esterna la sua caratteristica I-V segue l'andamento classico:

$$I = I_s (e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$$

con corrente di saturazione inversa,  $I_s = 2\text{nA}$ .

La cella a  $T=300\text{K}$  è esposta a illuminazione solare di potenza media  $1000\text{W/m}^2$ . Di questa solo il 12% determina la generazione di portatori che contribuiscono alla corrente di giunzione.

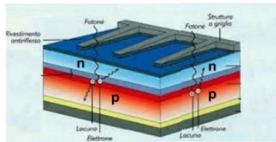


Figura 1 – resistore integrato

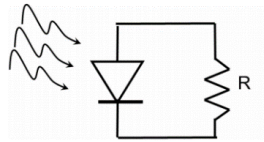


Figura 2

- Calcolare il valore della corrente fotogenerata assumendo che l'energia media di ogni fotone assorbito sia  $h\nu=1.1\text{ eV}$ .
- Scrivere, l'espressione della caratteristica I-V del diodo in presenza di illuminazione.
- Con riferimento al circuito in *Figura 2*, indicare il verso in cui fluisce la corrente nel diodo quando esso è connesso ad un carico resistivo R. Si indichi anche il verso della differenza di potenziale che si sviluppa ai capi di R.
- Disegnare la caratteristica I-V del diodo nel quarto quadrante del piano I-V ( $I_D < 0$ ,  $V_D > 0$ ), quotare la tensione a vuoto e la corrente di cortocircuito.
- Identificare la condizione di polarizzazione che massimizza il prodotto  $V \times I$ . Determinare quindi la massima potenza erogata dal dispositivo al carico R e il valore ottimale di R. (Ricorrere alla ricerca numerica della soluzione).

## 1 Analisi del problema

È richiesto lo studio di una cella fotovoltaica, di area  $A = 100 \text{ cm}^2$ , realizzata su silicio. È data la caratteristica tensione-corrente della cella non illuminata, l'irradianza sulla cella e l'efficienza di conversione. Si richiede di studiare quantitativamente le caratteristiche elettriche della cella, individuandone il punto di potenza massima. Dai dati si ricava che la cella viene irradiata da una potenza luminosa di  $P_{\text{irradiazione}} = 10W$ , della quale verrà utilizzata efficacemente il 12%,  $P_{\text{convertita}} = 1.2W$ , per generare i portatori.

### 1.1 Corrente fotogenerata

Per quantificare il fenomeno, si consideri la potenza convertita efficacemente dalla cella  $P_{\text{conv.}} = 1.2W$ , e l'energia richiesta per ciascun portatore  $h\nu = 1.1 \text{ eV} = 1.76 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ . Avremo un tasso di generazione di:

$$G_{\text{portatori}} = \frac{1.2 \frac{J}{s}}{1.76 \cdot 10^{-19} J} = 6.81 \cdot 10^{18} \frac{\text{portatori}}{s}$$

I portatori generati saranno accelerati dal campo elettrico della giunzione verso le regioni neutre (rispettivamente verso la regione n per gli elettroni, e verso la regione p per le lacune), e daranno luogo alla corrente generata per via fotoelettrica, quantificata come:

$$I_G = q G_{\text{portatori}} = 1.602 \cdot 10^{-19} C \cdot 6.81 \cdot 10^{18} s^{-1} = 1.09 A$$

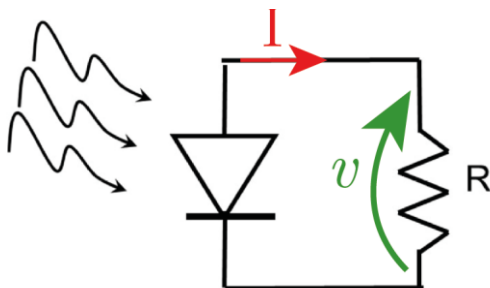
### 1.2 Equazione caratteristica

Le lacune accumulate nella regione p usciranno dal dispositivo dall'anodo. La corrente prodotta sarà di verso concorde con il movimento delle lacune, avendo quindi verso concorde alla corrente di polarizzazione inversa. Pertanto, l'equazione caratteristica sarà:

$$I = I_s \left( e^{\frac{q v_D}{kT}} - 1 \right) - I_G$$

### 1.3 Verso di corrente e tensione in R

Coerentemente con l'equazione caratteristica del diodo illuminato ricavata al punto precedente, la corrente  $I$  totale sarà uscente dall'anodo del diodo, come rappresentato in figura:



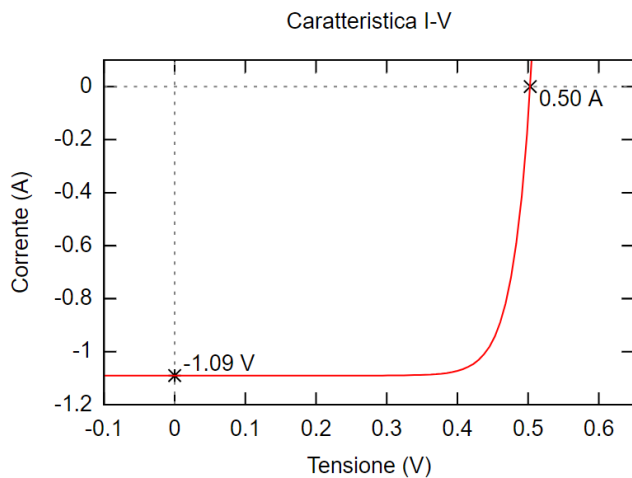
La corrente entrante nella resistenza, sarà associata ad una tensione ai capi della resistenza, diretta secondo le convenzioni circuitali per gli utilizzatori.

### 1.4 Caratteristica I-V

Dalla caratteristica ricavata al punto 1.2, è possibile tracciare il grafico. La curva attraverserà gli assi nei punti:

$$I_s \left( e^{\frac{q v_D}{kT}} - 1 \right) - I_G = 0 \Rightarrow v_D = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{I_G}{I_s} + 1 \right) = 0.5029 \text{ V}$$

$$I_s \left( e^{\frac{q 0}{kT}} - 1 \right) - I_G = -I_G = -1.09 \text{ A}$$



## 1.5 Punto di massima potenza

Per ricavare il punto del grafico corrente-tensione che massimizza la potenza erogata, si consideri la formula della potenza:

$$P = V I$$

Per il dispositivo oggetto di studio, ricordandosi di invertire il verso della corrente (utilizzeremo infatti ora la convenzione per i generatori):

$$P = V \left( -I_s \left( e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) + I_G \right)$$

È necessario massimizzare questa funzione. Dall'analisi matematica, cerchiamo il punto stazionario di questa funzione, trovando le radici della derivata.

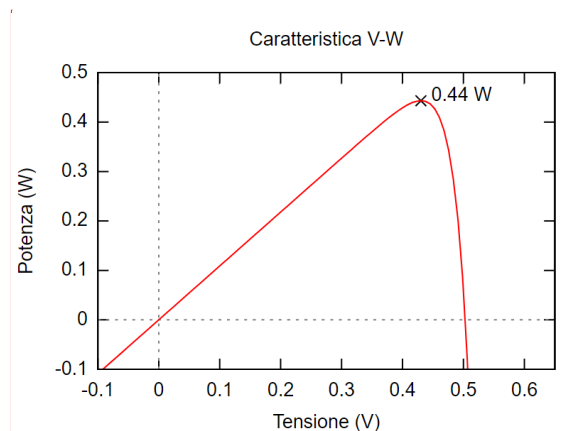
$$\frac{dP}{dV} = I_G + I_s + e^{\frac{qV}{kT}} \left( -I_s - V \frac{I_s q}{kT} \right) = 0 \quad \Rightarrow \quad V = 0.43 \text{ V}$$

Per questo valore di V avremo

$$I = -I_s \left( e^{\frac{q \cdot 0.430}{kT}} - 1 \right) + I_G = 1.03 \text{ A}$$

E quindi una potenza massima erogabile di

$$P = V \left( -I_s \left( e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) + I_G \right) = 0.44 \text{ W}$$



Sarà possibile erogare questa potenza, per un valore di R di:

$$R = \frac{V}{I} = 0.42 \, \Omega$$

**Commentato [VN1]:** set key off

set xlabel 'Tensione (V)'

set ylabel 'Potenza (W)'

set title 'Caratteristica V-W'

set xrange [-0.1:0.65]

set yrange [-0.1:0.5]

set xzeroaxis

set yzeroaxis

set label 1 "0.44 W" at 0.4303,0.4433 point pointtype 2  
offset 0.5,0

plot x\*((( -2e-9)\*(exp(x/0.025)-1))+1.09)