

Lettura da un fotodiodo polarizzato inversamente

Filippo Audisio, Cataldo Insalaco, Telemaco Pezzoni

20 gennaio 2026

1 Obiettivo dell'esperienza

Il presente lavoro di laboratorio si è posto l'obiettivo di investigare sulle risposte di un fotodiodo (PD) in due regimi operativi fondamentali:

- Modalità fotoconduttiva (polarizzazione inversa, $V_g < 0$): la tensione di uscita (V_R) è direttamente proporzionale alla fotocorrente (I_{ph}). Determinare la costante di accoppiamento ottico β , che lega I_{ph} alla corrente del LED (I_{LED}).
- Modalità fotovoltaica (assenza di polarizzazione, $V_g = 0$). Ricavare i parametri intrinseci del diodo, la corrente di saturazione inversa (I_0) e il fattore di idealità (n).

2 Materiali e Metodi

2.1 Strumentazione

- Fotodiodo (PD)
- LED
- Resistenze di carico (R): due resistenze da $10\text{ k}\Omega$ e $20\text{ k}\Omega$
- Resistenza di protezione (R_{LED})
- Due generatori di tensione
- Multimetri digitali

2.2 Procedura sperimentale

Lo schema sperimentale è costituito da due circuiti indipendenti

1. **Circuito 1:** Composto dal Generatore 1, un amperometro, il LED e la resistenza $R_{LED} = 500\Omega$. Quest'ultima facilita la regolazione della corrente tramite l'alimentatore e limita la corrente massima per preservare l'integrità del LED. L'intensità della radiazione emessa è regolata modulando la corrente di alimentazione I_{LED} .

2. Circuito 2: Composto dal Generatore 2 (per la gestione della tensione di polarizzazione V_g), il fotodiodo e la resistenza di carico R . Un voltmetro è posto ai capi della resistenza per misurare la tensione di uscita V_R .

È fondamentale che il LED e il fotodiodo siano allineati con precisione l'uno di fronte all'altro per garantire che la photocorrente generata sia massima e che la costante di accoppiamento β rimanga stabile durante le misure. Sarebbe ottimo cercare di ridurre al minimo il disturbo della luce ambientale a cui il fotodiodo è sensibile e per farlo si potrebbe usare un tubicino in cui inserire il fotodiodo e il led. Il fotodiodo è estremamente sensibile. Senza un tubicino, il voltmetro registrerebbe una tensione V_R influenzata anche dalle luci della stanza o dai monitor, falsando la misura della photocorrente I_{ph} generata esclusivamente dal LED. Il tubicino garantisce che le condizioni di "buio" siano quanto più reali possibile. Per ogni set di misure, è stata impostata tramite il Generatore 2 una tensione di polarizzazione V_g . Le misure sono state effettuate partendo da $V_g = 0 \text{ V}$ (modalità fotovoltaica) e procedendo con valori in modulo sempre crescenti (polarizzazione inversa, $V_g < 0$). Per un valore di V_g fissato, si è variata la corrente di alimentazione del LED (I_{LED}) agendo sul Generatore 1, mantenendo sempre l'intensità sotto la soglia di sicurezza di 20 mA. Per ogni incremento di I_{LED} , è stata registrata la tensione V_R ai capi della resistenza di carico tramite il voltmetro digitale. Per garantire un miglior dato sperimentale si è atteso un intervallo di alcuni secondi per assecondare i tempi di risposta della strumentazione e permettere segnale di stabilizzarsi. Durante l'acquisizione, i dati sono stati riportati su un grafico I_{LED} in funzione di V_R per verificare immediatamente la coerenza con l'andamento teorico atteso. Questo campionamento sistematico è stato ripetuto per due diverse resistenze di carico ($R = 10 \text{ k}\Omega$ e $R = 20 \text{ k}\Omega$), al fine di analizzare lo spostamento del punto di lavoro del circuito sulla retta di carico. Inoltre usando due resistenze si ci può rendere conto che il modello fisico che si sta utilizzando sia meno corretto, in quanto permette di dimostrare che i valori di n e I_0 estratti dal fit sono proprietà reali del semiconduttore e non dipendono dal circuito di misura scelto. Si può dunque verificare confrontando i risultati dei fit, in cui β_1 , β_2 , sono stati ricavati dai dati presi rispettivamente per $R = 10 \text{ k}\Omega$ e $V_g = 0.3$ e $R = 20 \text{ k}\Omega$ e $V_g = 1$. Mentre I_{01} , n_1 , I_{02} , n_2 sono stati ricavati dai dati presi rispettivamente per $R = 10 \text{ k}\Omega$ e $R = 20 \text{ k}\Omega$, entrambi con $V_g = 0$.

3 Analisi dei dati e grafici

3.1 Tabelle risultati

Utilizzando le seguenti formule calcoliamo rispettivamente:

- Il fattore di idealità (n): annulliamo la polarizzazione, $V_g=0\text{V}$ ed utilizziamo la formula (con K costante di Boltzman e T temperatura ambientale(300K)):

$$I_{LED} = \frac{1}{\beta} \left[I_0 \left(e^{\frac{qV_R}{nkT}} - 1 \right) + \frac{V_R}{R} \right] \quad (1)$$

- La corrente di saturazione inversa (I_0): annulliamo la polarizzazione, $V_g=0\text{V}$ ed utilizziamo la formula precedente (sempre con K costante di Boltzman e T temperatura ambientale(300K)).

- La costante di accoppiamento ottico (β): polarizziamo con un valore grande e negativo di V_g e fittiamo utilizzando la relazione:

$$I_{LED} = \frac{V_R}{R\beta} \quad (2)$$

Tabella 1: Parametri di fit: valori, errori standard ed errori relativi.

Parametro	Valore	σ	Err. Rel. [%]
β_1	2.59×10^{-3}	0.06×10^{-3}	2.38
β_2	2.60×10^{-3}	0.07×10^{-3}	2.72
$I_{01}[A]$	1.09×10^{-9}	1.90×10^{-9}	173
n_1	1.24	0.23	18.2
$I_{02}[A]$	2.58×10^{-9}	4.37×10^{-9}	169
n_2	1.29	0.24	18.3

3.2 Grafici sperimentali e curve di regressione

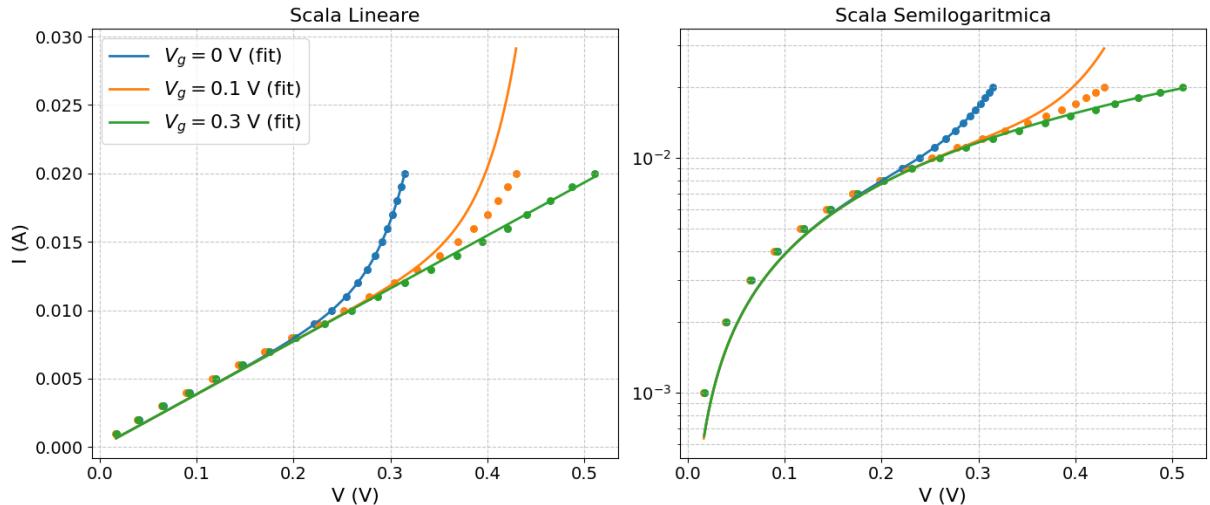


Figura 1: Andamento della tensione V_R in funzione di I_{LED} per $R = 10 \text{ k}\Omega$ e vari V_g

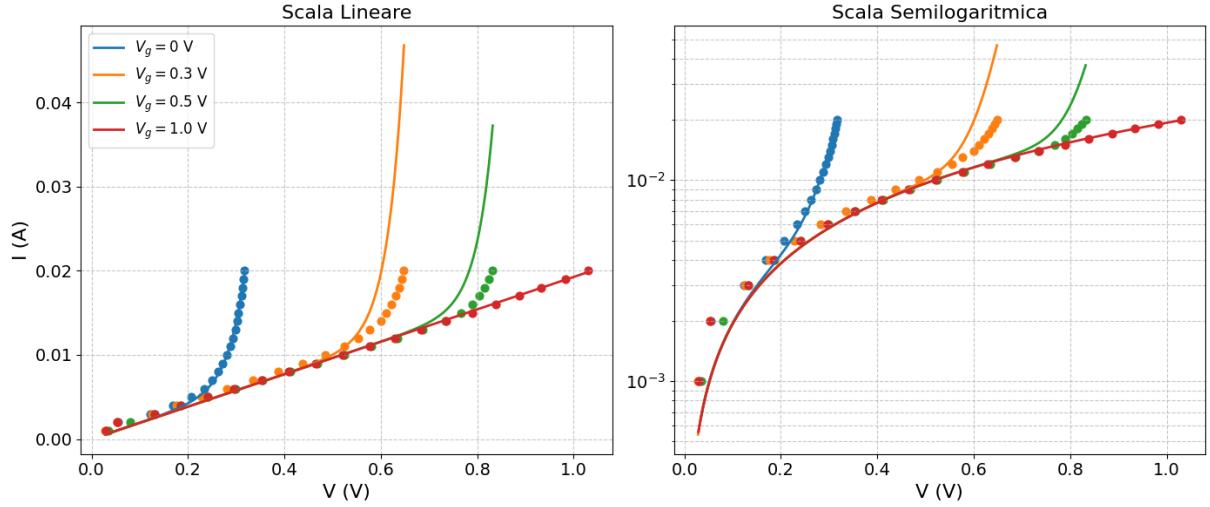


Figura 2: Andamento della tensione V_R in funzione di I_{LED} per $R = 20 \text{ k}\Omega$ e vari V_g

4 Conclusioni

I parametri β sono più solidi e precisi ($err_{rel} \approx 2\text{--}3\%$), mentre i parametri I_0 e n presentano incertezze maggiori. Il valore $n \simeq 1.2$ indica la presenza di fenomeni di ricombinazione non radiativa nella regione di svuotamento. I risultati confermano l'andamento esponenziale, ma presentano un errore molto elevato nei valori di I_0 . Questa elevata incertezza è probabilmente legata all'influenza della luce ambientale. Concludiamo che i risultati ottenuti confermano la validità del modello teorico. Per studi futuri, si raccomanda l'adozione di una metodologia per isolare la risposta del LED dalle interferenze luminose esterne.