

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 fotocorrente generata sia massima e inoltre sarebbe ottimo cercare di ridurre al minimo il disturbo della luce ambientale a cui il fotodiodo è sensibile; per farlo si usa un tubicino in cui inserire il fotodiodo e il led. Il fotodiodo è estremamente sensibile, per cui senza il tubicino, il voltmetro registrerebbe una tensione V_R influenzata prevalentemente dalle luci della stanza, falsando la misura della fotocorrente I_{ph} generata esclusivamente dal LED. 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 $V_g = 0$ 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 al 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 ($R = 10$ k Ω e $R = 20$ k Ω). Usando due resistenze si può capire se il modello fisico che si sta utilizzando sia 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 $R = 10$ k Ω a $V_g = 0.3$ e $R = 20$ k Ω a $V_g = 1$. Mentre I_{01} , n_1 , I_{02} , n_2 sono stati ricavati dai dati presi rispettivamente per $R = 10$ k Ω e $R = 20$ k Ω , 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, $V_g = 0$ 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, $V_g = 0$ V ed utilizziamo l'Equazione 1 (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

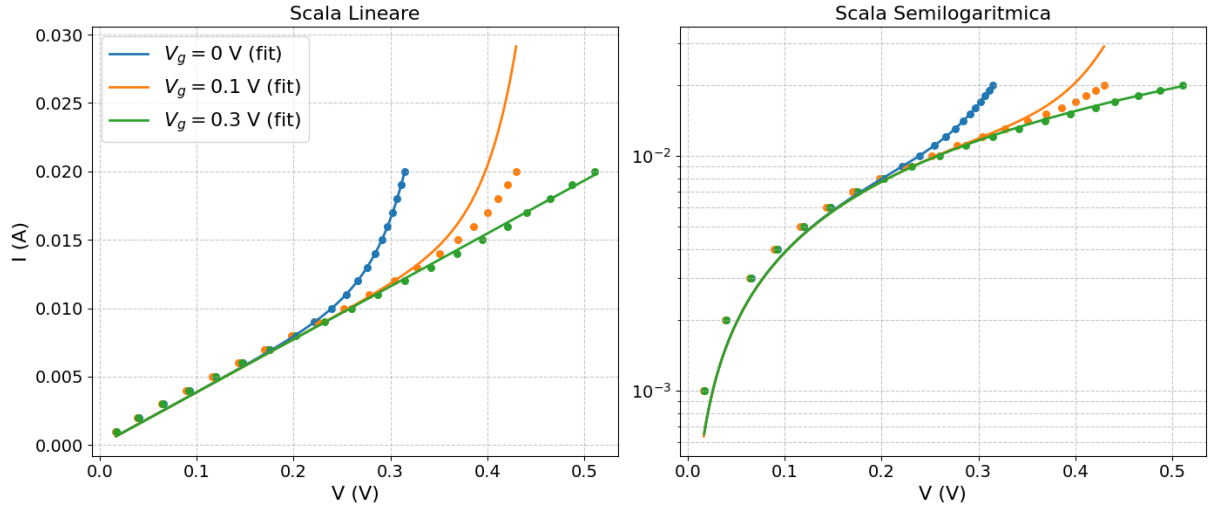


Figura 1: Andamento della tensione V_R in funzione di I_{LED} per $R = 10 \text{ k}\Omega$ e vari V_g

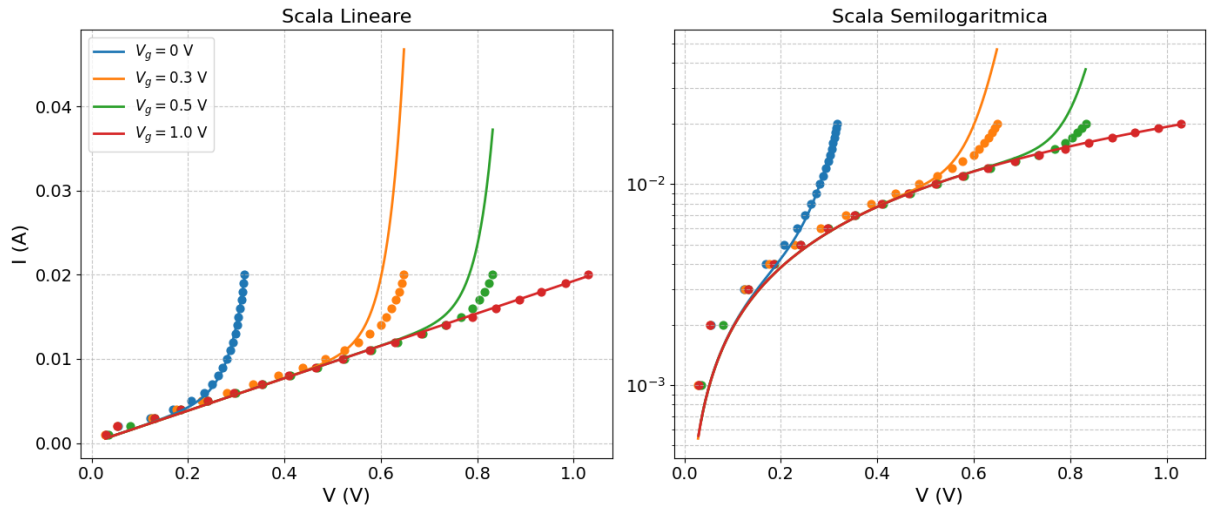


Figura 2: Andamento della tensione V_R in funzione di I_{LED} per $R = 20 \text{ k}\Omega$ e vari V_g

4 Conclusioni

I risultati ottenuti confermano l'andamento esponenziale previsto dalla teoria, i parametri β sono i più precisi ($err_{rel} \approx 2 - 3\%$), mentre I_0 e n presentano incertezze maggiori. Questo è probabilmente dovuto a difetti di isolamento dalla luce ambientale, alla natura esponenziale del modello utilizzato nei fit e soprattutto per I_0 al sua magnitudine ridotta. Il valore $n \simeq 1.2$ indica la presenza di fenomeni di ricombinazione non radiativa nella regione di svuotamento. Concludiamo pertanto che i risultati ottenuti sono coerenti con il modello teorico adottato.