

ESPERIENZA n° 4

Misure in corrente continua

Anno Accademico 2018/2019

Relatori:

Lorenzo Bartolozzi,

Luca Pacioselli,

Giuseppe Prudente.

Introduzione:

L'esperienza n° 4 di laboratorio consiste di un solo punto:

- I. Determinare la curva caratteristica di un diodo al silicio 1N4148.

Strumenti a disposizione:

Un alimentatore analogico, Alpha AL862 CC stabilizzato (con doppia uscita):

- stabilità della tensione in uscita migliore dello 0,1%;
- 2 modalità per la tensione in uscita: da 0V a 10V o da 0V a 30V, entrambi variabili con continuità;
- sensibilità in portata 10V: 0,2V;
- corrente in uscita da 0V a 3A.

Due multimetri analogici ICE 680:

- portata voltmetro in corrente continua: da 100mV a 1000V;
- portata amperometro in corrente continua: da 50μA a 5A;
- fattori moltiplicativi ohmmetro: $\Omega \times 1$, $\Omega \times 10$, $\Omega \times 100$, $\Omega \times 1000$;
- sensibilità per voltmetro e amperometro in CC: 1% rispetto al fondo scala.

Due basette sperimentali.

Resistori vari.

Diodo al silicio 1N4148:

- a) tensione e corrente di rottura: -100V e -100μA;
- b) tensione e corrente di ginocchio: <1V e <10mA;
- c) potenza massima dissipabile: 0,5W.

Si noti che la resistenza interna dell'alimentatore è stata considerata trascurabile rispetto a quelle utilizzate durante l'esperienza.

PUNTO 1

Obiettivo:

Studiare la curva caratteristica di un diodo al silicio 1N4148 mediante metodo voltamperometrico (con relative tecniche imparate nelle esperienze 1 e 2).

Procedura:

Si realizzi un circuito mettendo una resistenza R in serie all'alimentatore e al diodo per limitare la potenza dissipata da quest'ultimo.

Impostando l'alimentatore in CC in modalità 0V-10V, si scelga il valore della resistenza R in funzione dell'espressione della massima potenza dissipabile dagli elementi passivi usati. Dallo studio del nostro circuito ricaviamo che:

$$I = \frac{f}{(R + R_D)}$$

$$P_D = R_D \cdot I^2 = R_D \cdot \frac{f^2}{(R + R_D)^2}$$

$$P_R = R \cdot I^2 = R \cdot \frac{f^2}{(R + R_D)^2}$$

Dove I è la corrente che circola nel circuito, mentre P_D e P_R sono le potenze dissipate rispettivamente dal diodo e dalla resistenza. Considerando f e R fissi, R_D rimane incognita in quanto variabile (la resistenza del diodo è effettivamente diversa a seconda della polarizzazione e della tensione ai suoi capi) e possiamo quindi vedere le due potenze dissipate come funzioni di R_D . Derivandole rispetto

a tale variabile si ricavano i loro valori massimi (ottenuti per $R_D=R$ e $R_D=0$ rispettivamente) che corrispondono a:

$$P_{D_{max}} = \frac{f^2}{4R}$$

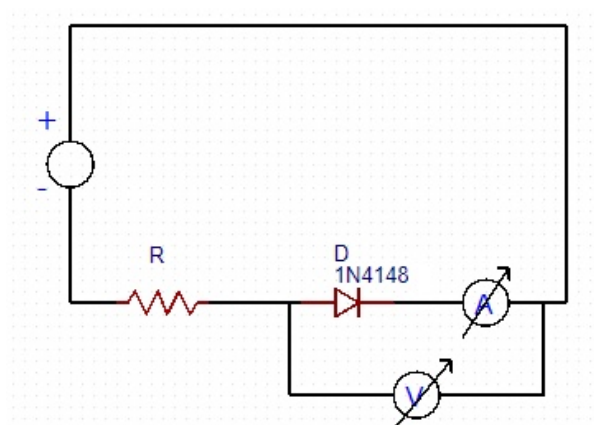
$$P_{R_{max}} = \frac{f^2}{R}$$

Dunque R va scelta in modo tale che $P_{D_{max}} < 0,5W$ e $P_{R_{max}} < 0,25W$, sapendo che al massimo si può avere $f=10V$. Si è scelto, per quanto detto, R con un valore nominale di $1K\Omega$ con un'attendibilità del 5%. Misurando con l'ohmmetro si è rilevato un valore di $(1,1 \pm 0,1)K\Omega$, che è quello che si è considerato per il resto dell'esperienza.

Si eseguano le misurazioni di tensione e corrente col metodo voltamperometrico. Per fare questo vanno discusse le caratteristiche del diodo. Questo elemento non è lineare ma ha una polarità che consente il passaggio di corrente solo in una direzione (anodo-catodo). Dunque per ottenere la curva caratteristica completa si devono effettuare misurazioni in polarizzazione inversa e diretta.

• Polarizzazione inversa

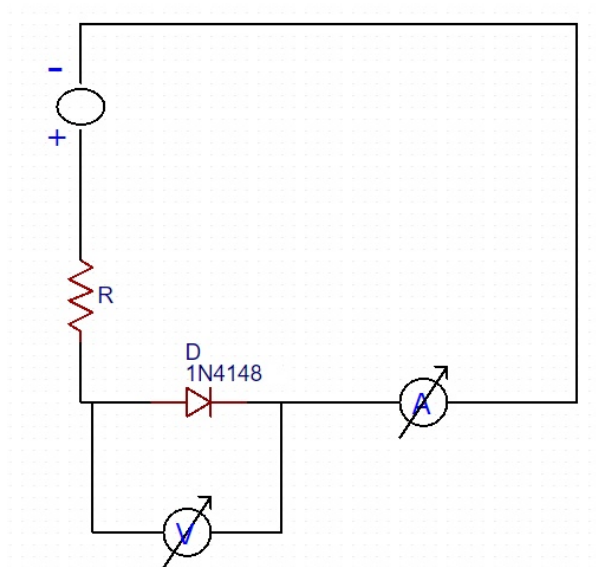
In questa configurazione il diodo ha resistenza elevatissima così da simulare un interruttore aperto, perciò si ha la non idealità del voltmetro. La polarizzazione inversa si ottiene con il circuito, costruito in modo da rilevare i dati senza correzioni, seguente:



Si scelga il fondo scala del voltmetro pari a 10V così da poter sfruttare tutto il range dell'alimentatore. Quello dell'amperometro, dato che sono attese correnti molto prossime allo zero, si imposti inizialmente a $500\mu\text{A}$ per poi, se i valori non sono apprezzabili, scendere a $50\mu\text{A}$. Si effettuino 11 misurazioni, ognuna ripetuta più volte per registrare eventuali fluttuazioni. Nel caso in cui si ottengano valori diversi, nella tabella verrà riportata la media con incertezza pari alla deviazione standard della media (SDOM). Se si presenterà sempre lo stesso risultato, essendo in presenza di una distribuzione piatta di misure all'interno dell'intervallo di sensibilità dello strumento, si riporti il valore ottenuto con incertezza pari alla sensibilità diviso radice di dodici.

- **Polarizzazione diretta**

Il diodo inizialmente ha una resistenza molto elevata che diminuisce fino a che non si raggiunge il valore della tensione diretta (per il diodo 1N4148 tale valore è compreso tra 0,7V e 1V) dopo il quale si comporta come una resistenza molto piccola e la sua curva caratteristica assume un andamento lineare. Per questa ragione, si continui ad usare il circuito per la polarizzazione inversa finché la resistenza del diodo non diventi trascurabile rispetto a quella del voltmetro. Per ogni misura si calcoli quindi anche la resistenza del diodo dal rapporto V/I e quando sarà verificata la condizione di cui sopra, si utilizzi il seguente circuito per effettuare le successive misurazioni.



Così facendo si evita che il voltmetro misuri la caduta di potenziale dovuta ai due elementi in serie una volta che la resistenza del diodo diventi confrontabile con quella dell'amperometro. Col voltmetro a fondo scala 2V, sarà necessario cambiare spesso quello dell'amperometro per poter rilevare correnti che aumentano apprezzabilmente con la tensione. Per questo si parta con un fondo scala di 500 μ A per poi passare in sequenza a 5mA e 50mA per fare più misure possibili senza superare il valore di corrente massima. Quando si entra nel range 0,7V-1V è importante controllare i rapporti V/I del diodo per capire quando questo inizia a comportarsi da resistenza.

L'individuazione degli intervalli di tensione in cui il diodo si comporta in maniera differente è importante, poi, per l'elaborazione dati.

Si effettuino 21 misurazioni di tensione e corrente ripetendo ciascuna più di una volta come nel caso della polarizzazione inversa. Le considerazioni sui valori riportati in tabella sono le stesse. Si tenga presente però che cambiando il fondo scala dell'amperometro si modifica anche la sensibilità dello strumento (pari al 2% del f.s.).

Raccolta dati:

Le misurazioni sono riportate nelle seguenti tabelle:

POLARIZZAZIONE INVERSA

$V_{\text{diodo}} [\text{V}](\text{f.s.}10\text{V})$	$I_{\text{diodo}} [\mu\text{A}](\text{f.s.}50\mu\text{A})$
-10,00 \pm 0,06	0,0 \pm 0,3
-9,00 \pm 0,06	0,0 \pm 0,3
-8,00 \pm 0,06	0,0 \pm 0,3
-7,00 \pm 0,06	0,0 \pm 0,3
-6,00 \pm 0,06	0,0 \pm 0,3
-5,00 \pm 0,06	0,0 \pm 0,3
-4,00 \pm 0,06	0,0 \pm 0,3
-3,00 \pm 0,06	0,0 \pm 0,3
-2,00 \pm 0,06	0,0 \pm 0,3
-1,00 \pm 0,06	0,0 \pm 0,3

0,00±0,06	0,0±0,3
-----------	---------

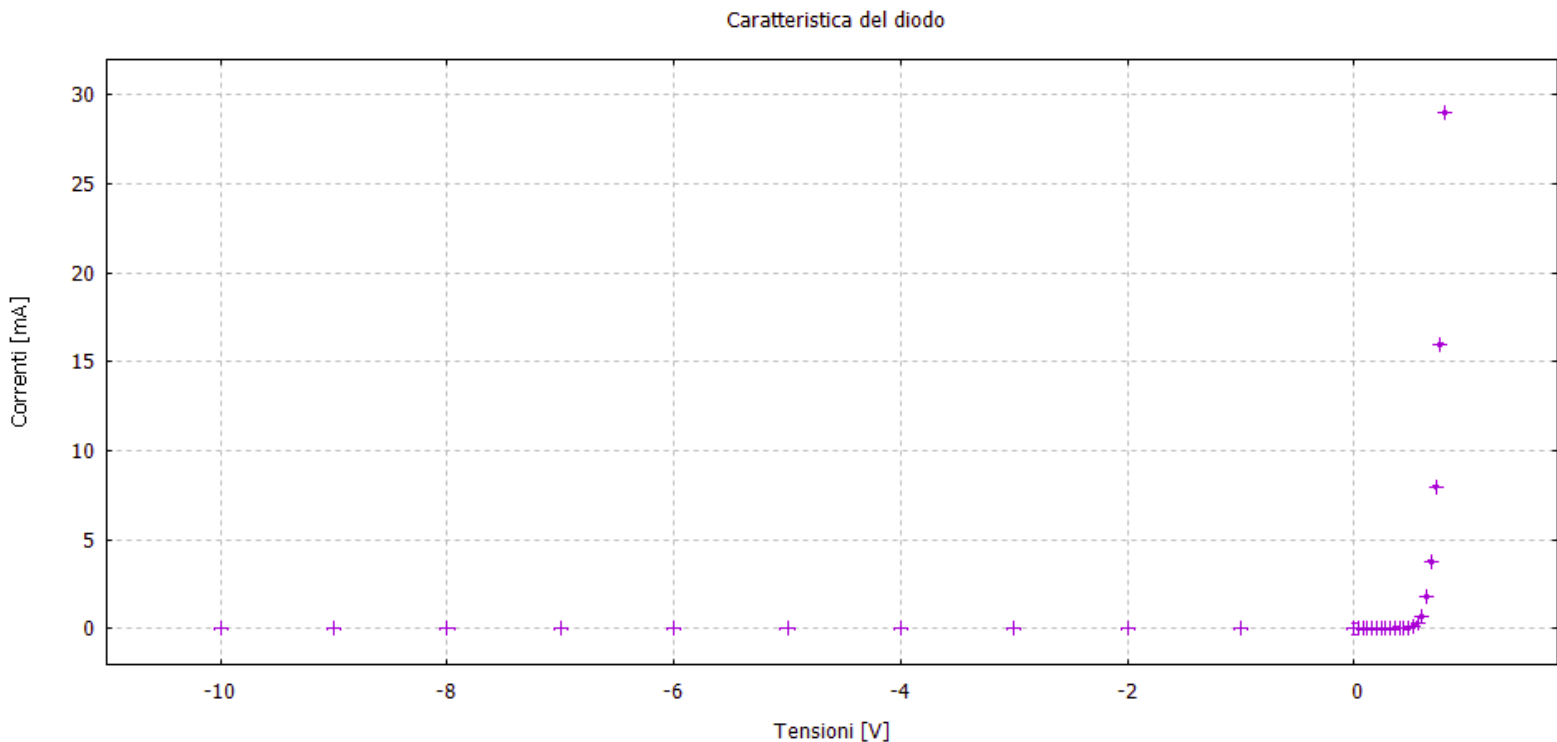
POLARIZZAZIONE DIRETTA

V _{diodo} [V](f.s.2V)	I _{diodo} [mA](f.s.500μA)
0,040±0,012	0,000±0,003
0,080±0,012	0,000±0,003
0,120±0,012	0,000±0,003
0,160±0,012	0,000±0,003
0,200±0,012	0,000±0,003
0,240±0,012	0,000±0,003
0,280±0,012	0,000±0,003
0,320±0,012	0,000±0,003
0,360±0,012	0,010±0,003
0,400±0,012	0,020±0,003
0,440±0,012	0,030±0,003
0,480±0,012	0,080±0,003
0,520±0,012	0,150±0,003
0,560±0,012	0,350±0,003
	I _{diodo} [mA] (f.s.5mA)
0,600±0,012	0,70±0,03
0,640±0,012	1,80±0,03
0,680±0,012	3,80±0,03
	I _{diodo} [mA] (f.s.50mA)
0,720±0,012	8,0±0,3
0,760±0,012	16,0±0,3
0,800±0,012	29,0±0,3

Avendo ripetuto più volte le misure di tensioni e correnti, non si sono riscontrate fluttuazioni rispetto al valore riportato in tabella, perciò abbiamo preso come errore la sensibilità diviso radice di dodici.

Analisi dati:

Riportando i dati su di un grafico, si può evincere la curva caratteristica del diodo, che è la seguente:

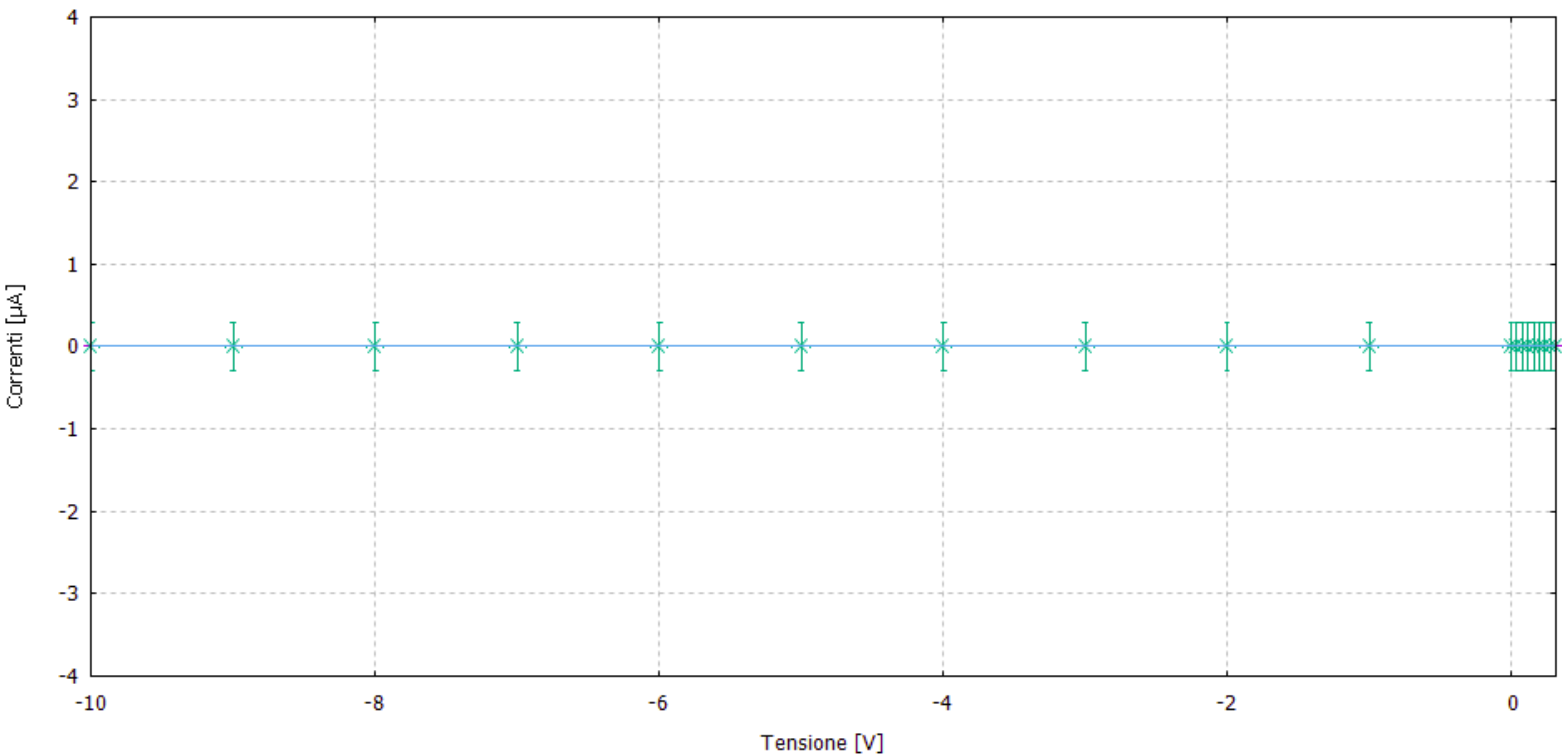


Dall'andamento della curva caratteristica visibile dai dati raccolti, si è pensato di dividere le misure in tre gruppi diversi, per poterli poi approssimare alle funzioni più adatte:

- da -10V a 0,32V, con una retta coincidente all'asse delle ascisse;
- da 0,36V a 0,56V, con un'esponenziale;
- da 0,6V a 0,8V, con una retta a pendenza non nulla.

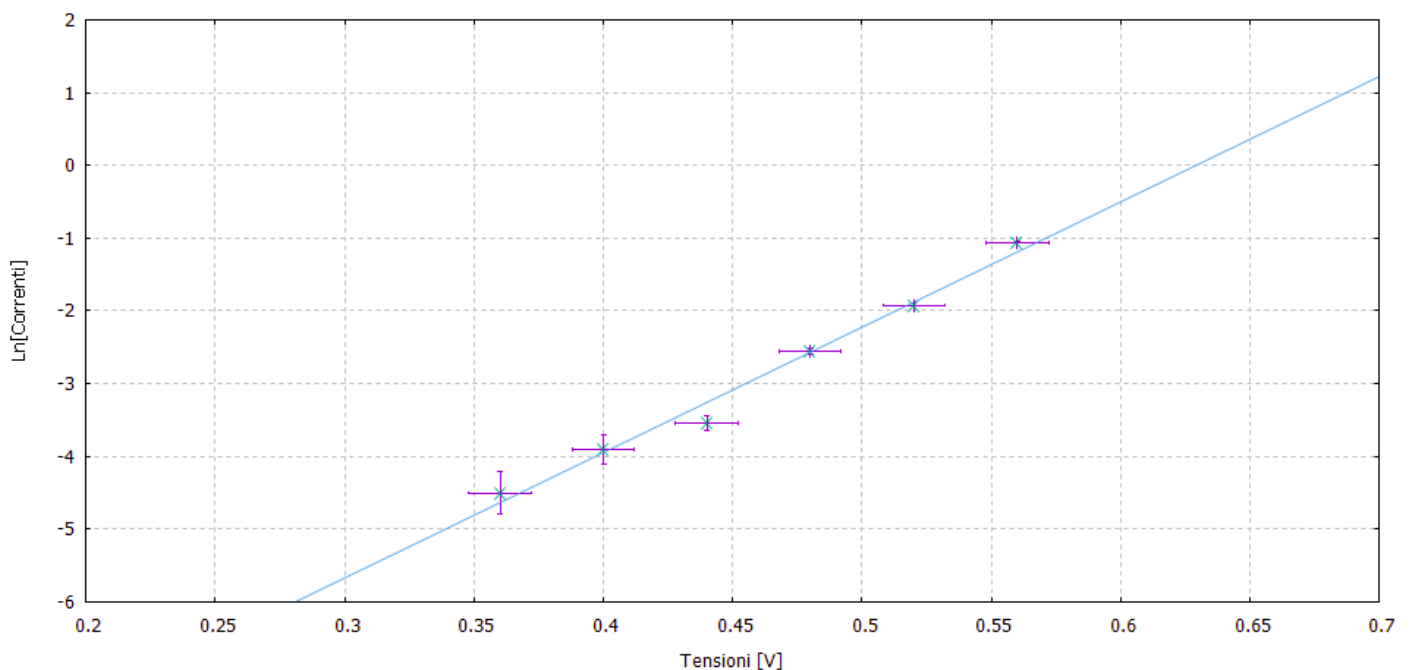
Per analizzare il primo ed il terzo set di dati, si è usato il metodo dei minimi quadrati pesati (il metodo classico per il primo e la variante con incertezze non trascurabili sia sulle x che sulle y per il secondo). Per il secondo set di dati si è linearizzata la dipendenza delle I con le V , facendo il logaritmo naturale delle correnti; si è applicato poi il metodo dei minimi quadrati pesati con incertezze sia sulle x che sulle y . Per tutti e tre i metodi dei minimi quadrati sono

verificate le ipotesi teoriche, fatta eccezione per la fluttuazione casuale delle grandezze che si mettono sulle y; si può ipotizzare che tali oscillazioni siano di almeno un ordine di grandezza inferiore alle sensibilità utilizzate per le misurazioni e quindi non sono state rilevate, se i coefficienti di correlazione saranno prossimi ad 1 allora le ipotesi fatte in precedenza saranno verificate. Per il primo gruppo di dati si ha la seguente retta di regressione:



con coefficiente di correlazione pari a $r=1$, quota $A=(0,0\pm0,1)\mu\text{A}$ e coefficiente angolare $B=(0,00\pm0,02)(\text{M}\Omega)^{-1}$.

Per il secondo gruppo di dati si è ottenuta, dopo la linearizzazione, la seguente retta di regressione:

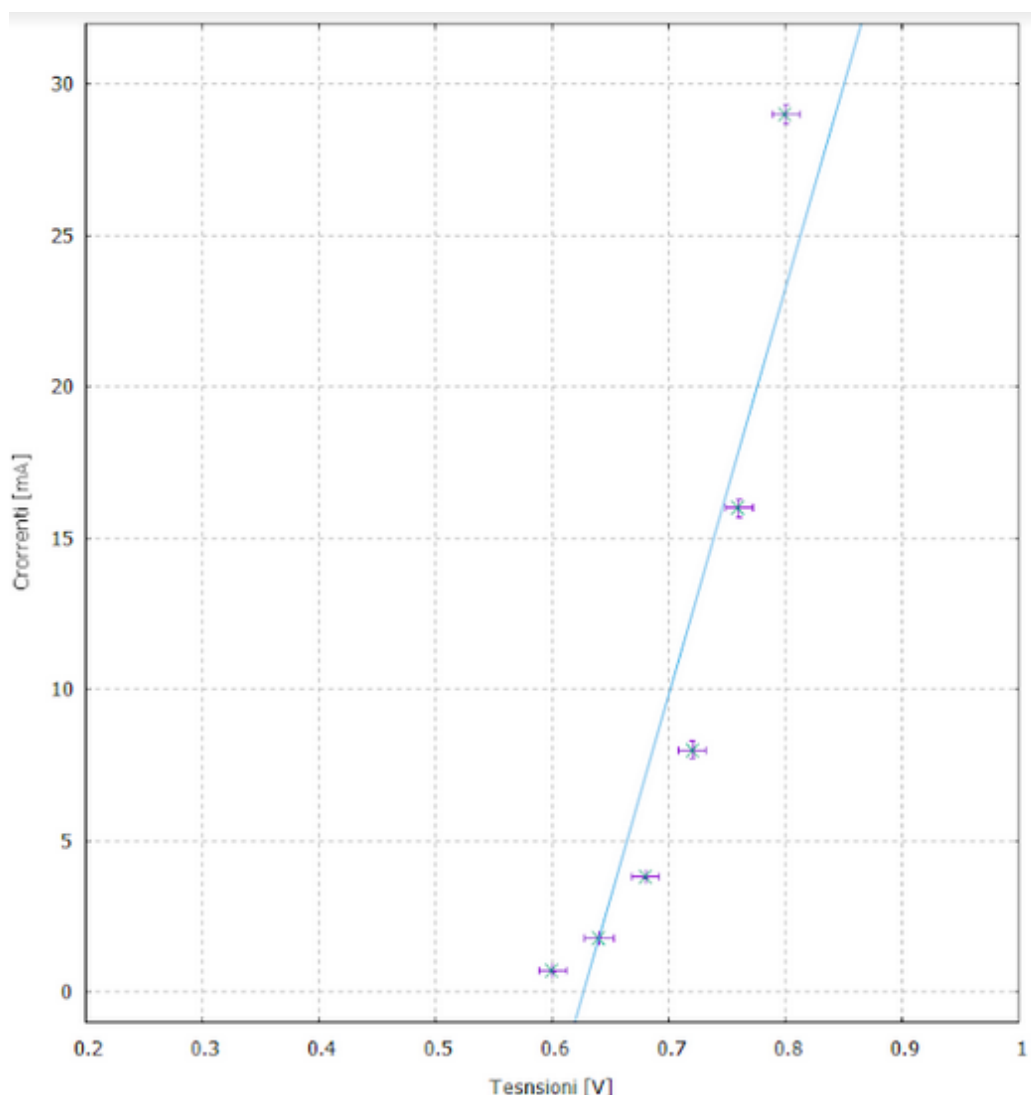


con gli errori sulle y dati dalla propagazione degli errori di una funzione del logaritmo naturale, cioè tramite la seguente formula:

$$\delta(\ln I) = \frac{\delta I}{|I|}$$

Il coefficiente di correlazione lineare, in questo caso, è pari a $r=0,99319$, la quota è $A=(-11,0\pm0,8)\text{mA}$ e il coefficiente angolare è $B=(18\pm2)(\text{K}\Omega)^{-1}$.

Per il terzo gruppo di dati si ha la seguente retta di regressione:

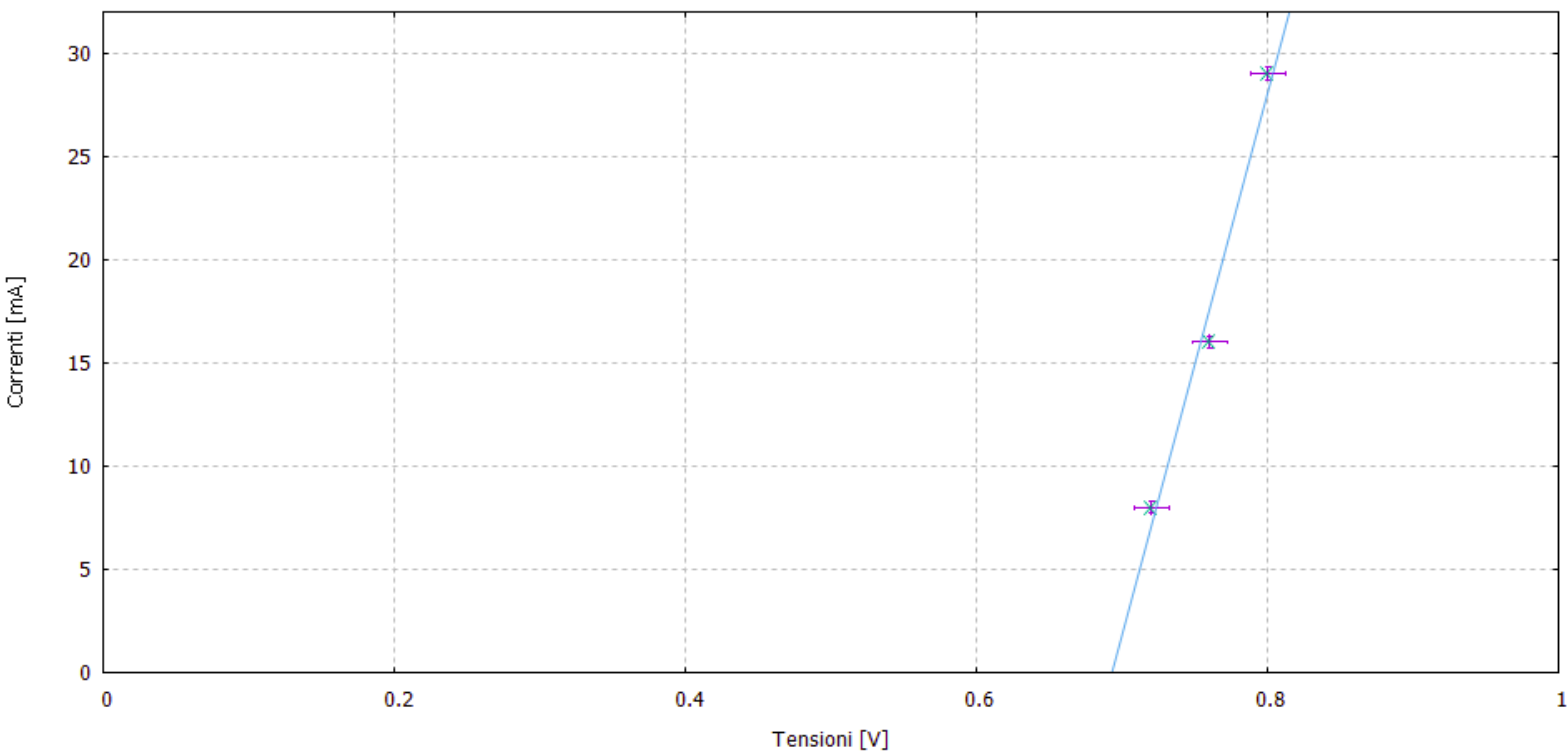


con coefficiente di correlazione pari a $r=0,92415$, quota $A=(-82\pm3)\text{mA}$ e coefficiente angolare $B=(132\pm4)(\text{K}\Omega)^{-1}$.

Anche se l'andamento lineare, seppur verificato, non risulta intuitivo dal grafico, in questo ultimo gruppo di dati, si sono presi 6 valori per poter conferire un

significato maggiore al coefficiente di correlazione e al metodo dei minimi quadrati.

Andando a vedere la retta di regressione che interpola gli ultimi tre dati raccolti, si può notare come la relazione di linearità risulta più significativa; la pendenza della retta è raddoppiata (e quindi la resistenza del diodo dimezzata) rispetto al caso precedente:



Riassumendo i risultati ottenuti si ha:

SET di DATI	FUNZIONE	COEFFICIENTE di CORRELAZIONE	RESISTENZA CORRISPONDENTE
Da -10V a 0,32V	$I_D = [(0,00 \pm 0,02)V_D + (0,0 \pm 0,1)] \mu A$	$r=1$	$R=\infty$
Da 0,36V a 0,56V	$I_D = [e^{(18 \pm 2)V_D + (-11,0 \pm 0,8)}] mA$	$r=0,99319$	R variabile
Da 0,6V a 0,8V	$I_D = [(132 \pm 4)V_D + (-82 \pm 3)] mA$	$r=0,92415$	$R = (7,6 \pm 0,2) \Omega$

Per motivi di tempo non siamo riusciti ad osservare la curva caratteristica del diodo con l'oscilloscopio ed il generatore di funzioni.