

Esperienza Circuiti I

F. Ballo, S. Franceschina, S. Dolci - Gruppo T1 39

March 22, 2024

Abstract

Nella seguente relazione vengono presentati i risultati ottenuti dalla prima esperienza del corso di **Laboratorio II** riguardante l'analisi di circuiti elettrici. L'obiettivo di questa esperienza era approcciarsi all'utilizzo di strumentazione di laboratorio e ricreare circuiti reali scegliendo le migliori configurazioni per le varie situazioni. L'esperienza è articolata in tre punti: il primo riguarda la **verifica della Legge di Ohm** misurando valori di tensione-corrente e varie configurazioni di resistori; il secondo punto riguarda lo studio delle caratteristiche di un **partitore resistivo** e come ultimo punto la misura di corrente-tensione di un **diodo** per capire le caratteristiche di questo componente e la verifica della **Legge di Shockley**.

EVITATE IL GRASSETTO

Contents

1	Verifica Legge ohm	3
1.1	Scelta configurazione circuito	3
1.2	Misura resistenze interne Amperometro e Voltmetro	3
1.3	Verifica Legge di Ohm	4
1.3.1	Dati legge di Ohm	4
1.4	Resistenze Composite	6
1.5	Resistenze in serie	6
1.6	Resistenze in parallelo	7
2	Partitore Resistivo	9
2.1	Accenno alle Leggi di Kirchhoff	9
2.2	Considerazioni Teoriche	9
3	Misure corrente-tensione Diodo	11
3.1	Dati raccolti per diodo	11
3.2	Fit con legge di Shockley	13
3.3	Tensione soglia	14
3.4	Considerazioni finali	15
3.5	Conclusioni prima parte: Legge di Ohm	15
3.6	Conclusioni seconda parte: Potenza e partitore resistivo	17

3.7	Conclusioni terza parte: Diodo	17
3.7.1	Misurazione I_0, g	17
3.7.2	Misurazione tensione di soglia	18

1 Verifica Legge ohm

1.1 Scelta configurazione circuito

La prima parte dell'esperienza riguarda la **stima delle resistenza interne** degli strumenti di misura, Voltmetro e Amperometro. È necessario conoscere il loro valore al fine scegliere capire quale **configurazione di circuito** utilizzare. Come illustrato nella Figura 1 sono state prese in esame due configurazioni possibili di circuiti. La prima con R (resistenza di carico) e V (Voltmetro) in parallelo, mentre la seconda con R e A (Amperometro) in serie. Dalla teoria sui circuiti elettrici, al fine di non perturbare le misure, ci aspettiamo che:

- Per un voltmetro reale, resistenza interna: \sim decine di $M\Omega$.
- Per un amperometro reale, resistenza interna: \sim qualche Ω .

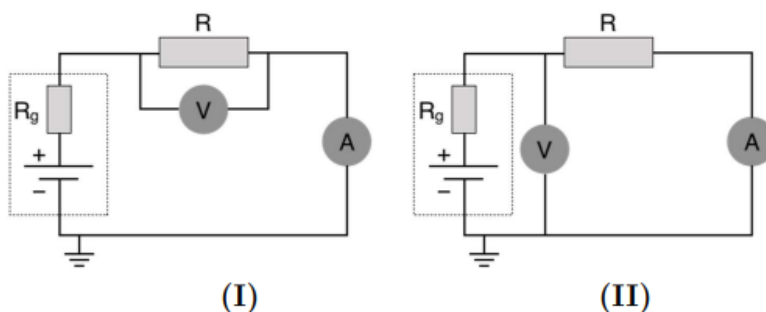


Figure 1: Configurazione dei circuiti.

1.2 Misura resistenze interne Amperometro e Voltmetro

Per trovare una stima della **resistenza interna del Voltmetro** è stato sufficiente applicare la legge di Ohm alla configurazione in parallelo. Abbiamo scelto una resistenza R piccola rispetto all'ordine di grandezza della resistenza R_v del voltmetro, pari a:

$$R = (302.1 \pm 0.1) k\Omega$$

VOLTAGE: ~ \dots

il cui valore è stato misurato con un multimetro palmare e verificato con una tabella dei codici colore dei resistori.

Applicando al circuito con un generatore una tensione: $V = (5.000 \pm 0.001) V$ e utilizzando un amperometro da banco per la misura della corrente abbiamo registrato $I = (17.00 \pm 0.01) \mu A$.
Svolgendo il calcolo con la **legge di Ohm**:

$$V = R_{eq} \cdot I \tag{1}$$

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \tag{2}$$

si trova una resistenza interna del voltmetro pari a:

$$R_v = (11.1 \pm 0.3) \cdot 10^6 \Omega$$

L'incertezza sulla misura della resistenza è stata calcolata con l'opportuna formula per la propagazione degli errori tenendo conto della formula (2)

Per la misura della **resistenza interna dell'amperometro** R_a abbiamo scelto una resistenza grande rispetto all'ordine di grandezza, pari a:

$$R = (12.9 \pm 0.1) \Omega$$

il cui valore, come in precedenza, è stato ottenuto con un multimetro palmare e verificato con una tabella dei codici colore dei resistori.

Applicando con un generatore una tensione pari a $V = (2.500 \pm 0.001)V$ e utilizzando lo stesso amperometro da banco abbiamo misurato la corrente $I = (173.00 \pm 0.01)mA$. Svolgendo il calcolo con la legge di Ohm in serie:

$$\begin{aligned} V &= R_{eq} \cdot I \\ R_{eq} &= R + R_a \end{aligned} \quad (3)$$

si trova una resistenza interna dell'amperometro pari a:

$$R_a = (1.551 \pm 0.001) \Omega$$

AVRETE POTUTO
PRENDERE PIÙ DI UN SIMBOLO
DATO E VERIFICARE
CHE IL VALORE TROVATO FOSSE
CONSTANTE

1.3 Verifica Legge di Ohm

Lo scopo di questa sezione è quello di verificare in modo quantitativo la rinomata relazione lineare tra corrente e tensione data dalla legge di Ohm (1).

Per farlo abbiamo utilizzato la configurazione 1 del circuito aggiungendo una resistenza il cui valore atteso è pari a:

$$R_{attesa} = 1000.0 \pm 0.1 \Omega$$

La scelta della configurazione è collegata al confronto tra le resistenze interne degli strumenti di misura con la resistenza R del circuito. Abbiamo preso ripetute misure, variando la tensione del generatore, utilizzando poi un multimetro palmare per ottenere una misura della tensione V e un amperometro da banco (più preciso per correnti basse) per la misura della corrente I .

1.3.1 Dati legge di Ohm

Di seguito sono riportate le misure effettuate nella Tabella 1a, una Tabella 1b riassuntiva per la compatibilità delle misure e il grafico 2 del fit lineare eseguito con la libreria `lmfit`. Per quanto riguarda gli errori:

- Incertezza sulla $V = \pm 0.001$, ovvero sensibilità del multimetro palmare.
- Incertezza sulla tensione I è stata calcolata utilizzando le istruzioni sulla tabella di riferimento fornita dal produttore del multimetro 9

IL TITOLO, CON LA CAPTION, NON SERVE
 IL METODO IN PDF PER LA QUALITÀ

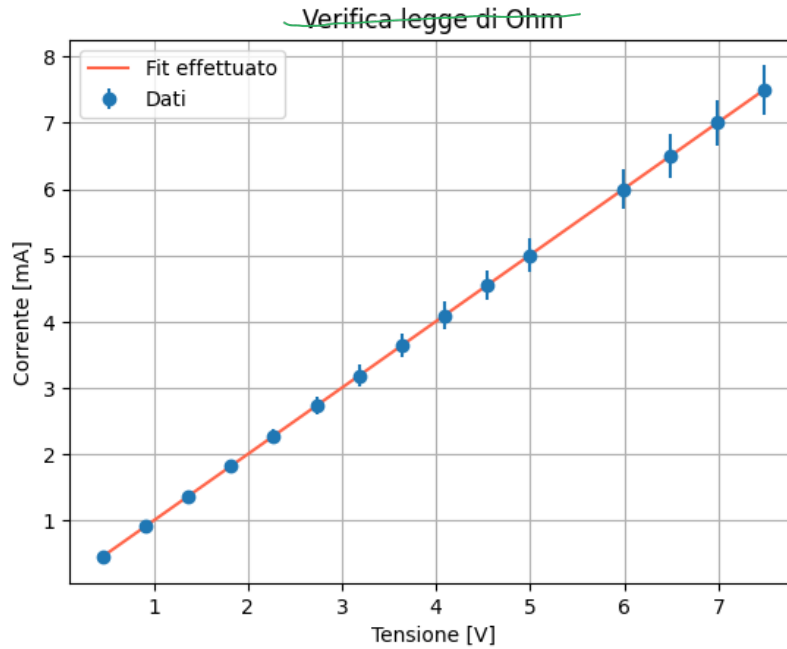


Figure 2: Fit legge di Ohm

6I

$V[V]$	$I[\mu A]$	$I_{err}[\mu A]$
0.457	460	20
0.911	910	50
1.365	1370	70
1.820	1820	90
2.274	2300	100
2.729	2700	100
3.183	3200	200
3.637	3600	200
4.091	4100	200
4.546	4600	200
5.000	5000	300
5.993	6000	300
6.492	6500	300
6.990	7000	400
7.480	7500	400

(a) Misure legge di Ohm

MANCA UNA DISCUSSIONE
 DEI RISULTATI

χ^2	0.00086
p-value	1.00
t-test	0.8σ

(b) Tabella compatibilità fit Ohm.

A partire dall'interpolazione abbiamo estratto il **valore della resistenza** R invertendo il coefficiente angolare della retta e propagando l'errore. Abbiamo trovato come valore di resistenza

$$R_{\text{misurata}} = (998 \pm 18)\Omega \quad R_{\text{attesa}} = (1000.0 \pm 0.1)\Omega$$

1.4 Resistenze Composite

Un'ulteriore verifica della legge di ohm è stata fatta applicando le nozioni di teoria sulle **resistenze composite**. In questa parte dell'esperienza l'obiettivo è quello di misurare valori di correnti e tensione in due configurazioni di circuiti: la prima con **resistenze in serie** e la seconda con **resistenze in parallelo**, tenendo conto di scegliere resistenze con valori simili (ordine di grandezza).

1.5 Resistenze in serie

Ci aspettiamo che le resistenze in serie si compongano secondo la legge (3).

Le resistenze scelte sono:

$$R_1 = 149.0 \pm 0.1 K\Omega$$

$$R_2 = 100.0 \pm 0.1 K\Omega$$

Per gli errori sulle misure abbiamo preso le seguenti considerazioni:

- Incertezza sulla $V = \pm 0,001$, ovvero sensibilità del multimetro palmare
- Incertezza sulla tensione I è stata calcolata utilizzando le istruzioni sulla tabella di riferimento fornita dal produttore del multimetro 9

CHE STRUMENTO SOD?
MODELLO O IMPORTANTE

Di seguito abbiamo riportato le misure effettuate e il grafico del fit ottenuto in maniera analoga per il caso precedente della legge di Ohm:

$V[V]$	$I [mA]$	$I_{err}[mA]$
1,002	4,12	0,26
2,002	8,22	0,46
3,001	12,32	0,67
4,001	16,41	0,87
5,001	20,51	1,08
6,001	24,60	1,28
6,990	28,77	1,49
7,990	32,87	1,69
8,990	36,98	1,90
9,990	41,09	2,10

(a) Misure Resistenze in serie

χ^2	0.0068
p-value	0.99
t-test	0.9

(b) Tabella compatibilità R in serie.

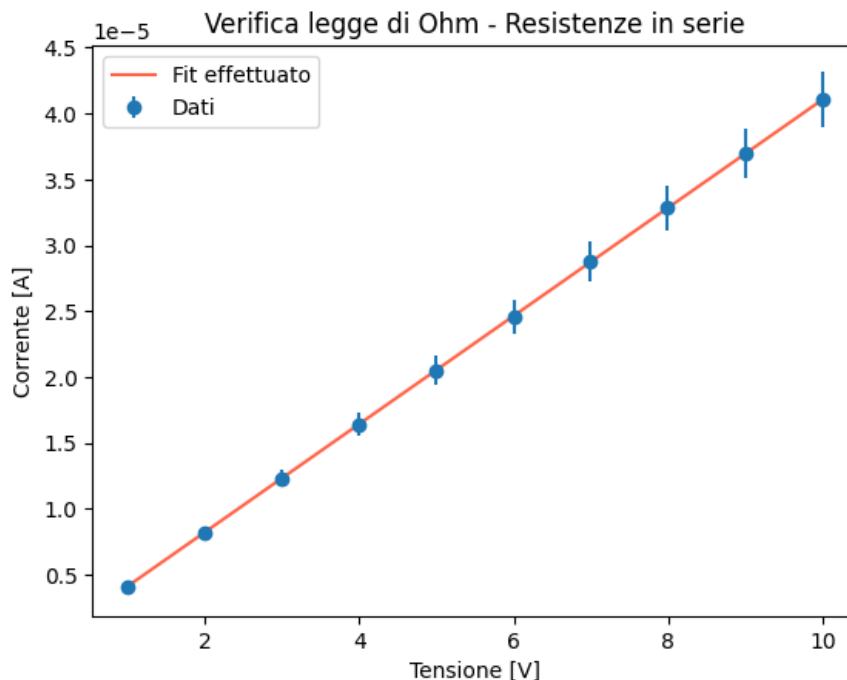


Figure 3: Fit delle misure effettuate a resistenze in serie.

Invertendo il valore del coefficiente angolare e propagando l'errore dell'interpolazione, abbiamo ricavato il valore della resistenza :

$$R_{attesa} = (249.0 \pm 0.1)k\Omega \quad R_{misurata} = (243.4 \pm 6.2)k\Omega$$

1.6 Resistenze in parallelo

Dalla teoria sappiamo che le resistenze in parallelo si compongono con la formula (2). Le resistenze scelte per la verifica sono:

$$R_1 = 149.0 \pm 0.1k\Omega$$

$$R_2 = 100.0 \pm 0.1k\Omega$$

Per gli errori sulle misure abbiamo preso le seguenti indicazioni:

- Incertezza sulla $V = \pm 0,001$, ovvero sensibilità del multimetro palmare
- Incertezza sulla tensione I è stata calcolata utilizzando come in precedenza le istruzioni sulla tabella di riferimento fornita dal produttore del multimetro 9

Di seguito come per quanto fatto in precedenza riportiamo le misure ottenute , il grafico del fit e una tabella riassuntiva sulla compatibilità dei risultati ottenuti:

V[V]	I[mA]	I _{err} [mA]
1,000	22	1
1,998	43	2
2,996	65	3
3,994	87	4
4,991	108	5
5,989	130	7
6,990	152	8
7,980	173	9
8,970	195	10
9,970	216	11

(a) Misure resistenze in parallelo

χ^2	0.0013
p-value	0.99
t-test	0.1

(b) Tabella compatibilità R parallelo.

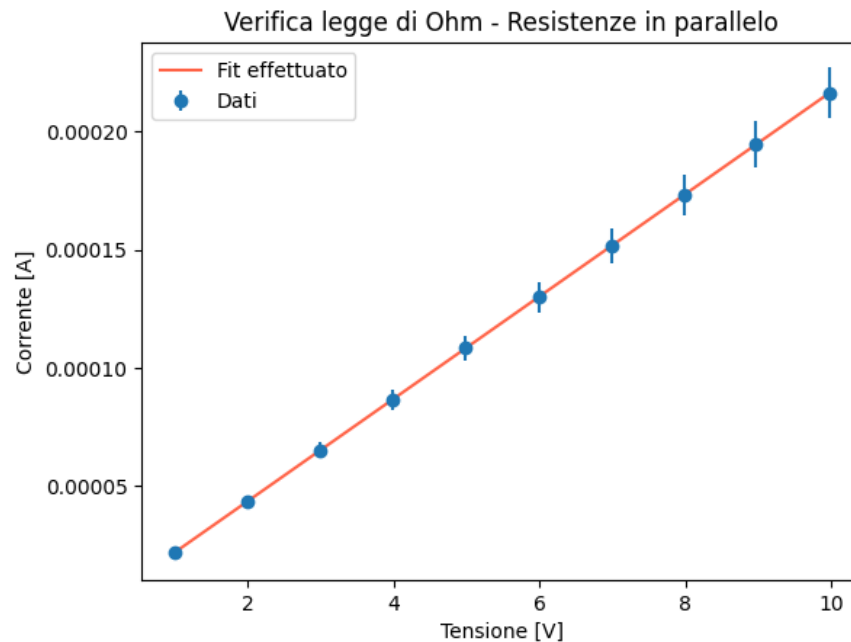


Figure 4: Fit legge Ohm R in parallelo

Invertendo il valore del coefficiente angolare e propagando l'errore dell'interpolazione, abbiamo ricavato il valore della resistenza equivalente:

poco
CHIARO

$$R_{attesa} = (46.2 \pm 0.1)k\Omega \quad R_{eq} = (46.1 \pm 0.1)k\Omega$$

CI SOLO UN PO' DI COSE RIPETUTE
RISPETTO ALLA SEZIONE PRECEDENTE.
LE AVREI ACCORPATE. CONVENI I NERI CUBACI

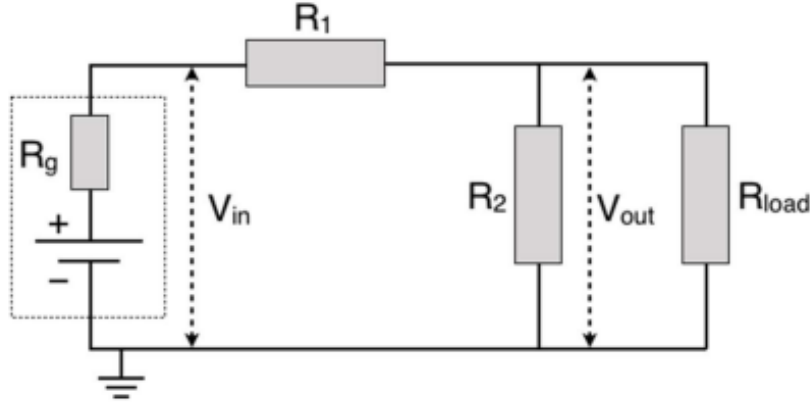


Figure 5: Schema del partitore resistivo

2 Partitore Resistivo

2.1 Accenno alle Leggi di Kirchhoff

Per aiutarci nella risoluzione dei circuiti, possiamo fare affidamento alle leggi di Kirchhoff:

1. **Legge dei nodi:** la somma algebrica delle correnti che attraversano un nodo (con segno diverso se entranti o uscenti) è nulla.
2. **Legge delle maglie:** la somma algebrica delle cadute di potenziale in una maglia chiusa è uguale a zero.

2.2 Considerazioni Teoriche

Facendo uso delle due leggi sopra elencate, possiamo osservare la figura 5 e domandarci quali debbano essere R_1 e R_2 affinché:

$$V_{out} = \frac{1}{2}V_{in}$$

Dalla legge delle maglie possiamo ricavare:

$$\begin{aligned} V_{in} - V_1 - V_{out} &= 0 \\ V_{in} &= V_1 + V_{out} \end{aligned}$$

Dal momento che $V_{out} = \frac{1}{2}V_{in}$, si ottiene che:

$$V_{in} = V_1 + \frac{1}{2}V_{in} \implies V_1 = V_{out} = \frac{1}{2}V_{in}$$

Ricorrendo alla legge di Ohm, possiamo dividere entrambi i membri per I e ottenere la resistenza associata ad ogni tensione.

Inoltre, essendo V_{in} la differenza di potenziale ai capi del generatore, segue la legge

$$V_{in} = R_{tot} \cdot I$$

dove R_{tot} rappresenta la resistenza totale del circuito (avendo assunto $R_g \approx 0$)

$$\frac{V_{in}}{I} = \frac{V_1}{I} + \frac{V_{out}}{I}$$

$$R_{tot} = R_1 + R_2$$

Siccome $V_1 = V_{out}$, allora si trova:

$$R_1 = R_2$$

Per ottenere questo risultato non abbiamo tenuto conto della presenza di R_{load} , tuttavia si dimostra facilmente che tale valore risulta trascurabile.

Infatti, chiamando R_{out} la resistenza equivalente a R_2 e R_{load} in parallelo:

$$\frac{1}{R_{out}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{load}}$$

Nel caso in cui $R_{load} \gg R_2$

$$\frac{1}{R_{out}} \approx \frac{1}{R_2} \implies R_{out} \approx R_2$$

Dunque, V_{out} non dipende da R_{load} , abbiamo inoltre effettuato alcune misure per verificare tale risultato ¹

*1) DATI RACCOLTI POTEREMMO
GREGGIO METTERE SUI NUT
GRAPHICO*

¹Nota: ulteriori commenti riguardanti ciò si trovano nelle conclusioni finali

3 Misure corrente-tensione Diodo

In quest'ultima parte dell'esperienza l'obiettivo è lo studio della relazione tensione-corrente in un circuito composto da un generatore e un **diodo**, in particolare lo scopo era di:

1. Verificare la legge di Shockley:

$$I = I_0(e^{\frac{qV}{gkT}} - 1) \quad (4)$$

Dove I_0 è la corrente di saturazione inversa, q è la carica dell'elettrone, V è la tensione, g è una costante adimensionale tipica del diodo, k è la costante di Boltzmann e T è la temperatura.

2. Valutare la tensione di soglia V_{soglia} , ovvero il valore della tensione oltre al quale il diodo inizia a condurre.

Abbiamo registrato le misure al variare della tensione di alimentazione in un range $0-500mA$, misurando la differenza di potenziale ai capi del diodo e la corrente che lo attraversa. Abbiamo scelto la configurazione 1 del circuito, avendo cura di accertarci che per tutti i valori di corrente e tensione presi in esame, la resistenza del diodo non aumentasse al punto da dover scegliere la seconda configurazione.

INTERESSANTE
SI POTEVA APPROFONDIRE

3.1 Dati raccolti per diodo

Di seguito abbiamo riportato le misure per tensione, corrente e errore sulla corrente, raccolte in una tabella 4:

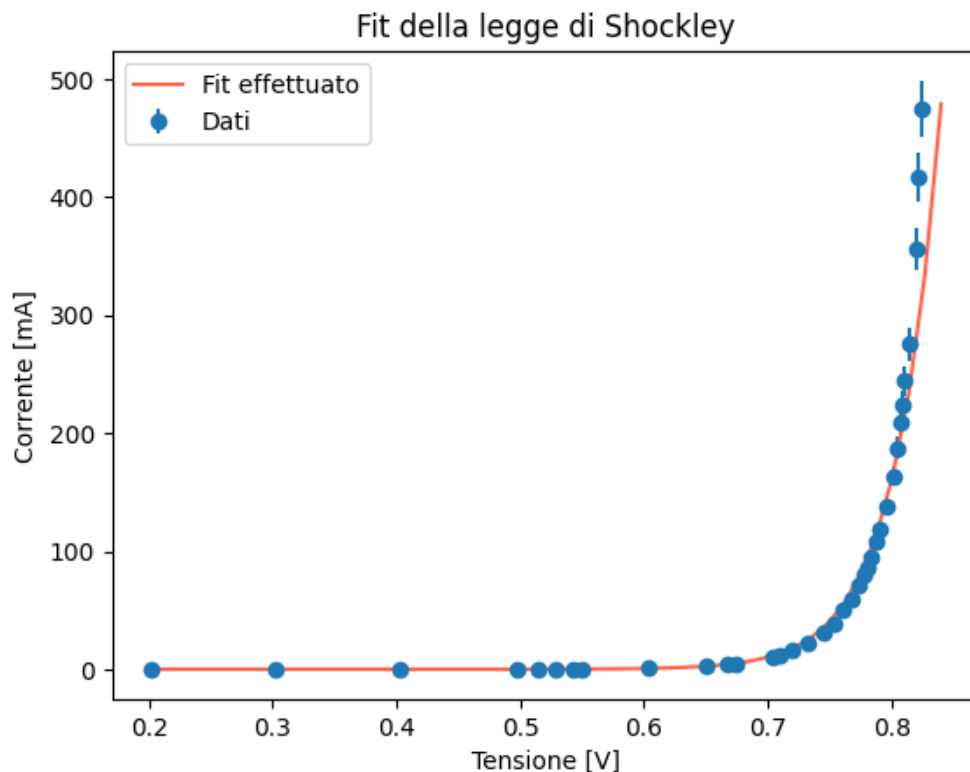
DATI COSÌ
IN APPENDICE

V [V]	I [mA]	I_{err} [mA]
0.202	0.00003	0.00001
0.302	0.00013	0.00002
0.402	0.0024	0.0002
0.497	0.049	0.002
0.514	0.081	0.004
0.529	0.083	0.004
0.543	0.187	0.009
0.550	0.22	0.01
0.604	0.88	0.04
0.650	2.7	0.1
0.667	4.1	0.2
0.675	5.0	0.3
0.704	9.8	0.5
0.710	12.2	0.6
0.720	16.7	0.8
0.733	22	1
0.745	32	2
0.753	39	2
0.760	50	3
0.767	59	3
0.774	72	4
0.778	81	4
0.780	85	4
0.783	95	5
0.788	109	5
0.790	119	6
0.796	138	7
0.801	164	8
0.805	187	9
0.808	208	10
0.809	224	11
0.810	244	12
0.815	275	14
0.820	357	18
0.822	417	21
0.824	475	24

Table 4: Misure corrente-tensione per diodo

3.2 Fit con legge di Shockley

Riportati in figura 6 ci sono i dati raccolti elencati nella tabella 4, rappresentati in blu. In rosso è disegnata l'interpolazione della legge di Shockley 4: Per verificare la validità dei dati



*Dopo dire che
escludere gli ultimi 3 punti.
il fit con veragrobis seria?*

Figure 6: Dati raccolti e fit della legge di Shockley.

abbiamo svolto un **test del χ^2** il quale ha restituito un valore:

$$\chi^2_{\text{ridotto}} = 8.9 \quad \text{pvalue?}$$

A partire dall'interpolazione abbiamo estratto i valori di I_0 e g , ottenendo:

$$I_0 = (47 \pm 3) \text{ nA}$$

$$g = (1.407 \pm 0.004)$$

Osservando il valore del χ^2 abbiamo deciso di rappresentare il grafico dei residui, in modo tale da analizzare la situazione, riportiamo in figura 7 tale grafico.²

discussione?

²Eventuali considerazioni sull'analisi di questi fit e grafici riguardanti il diodo sono elencate verso la fine di questa relazione.

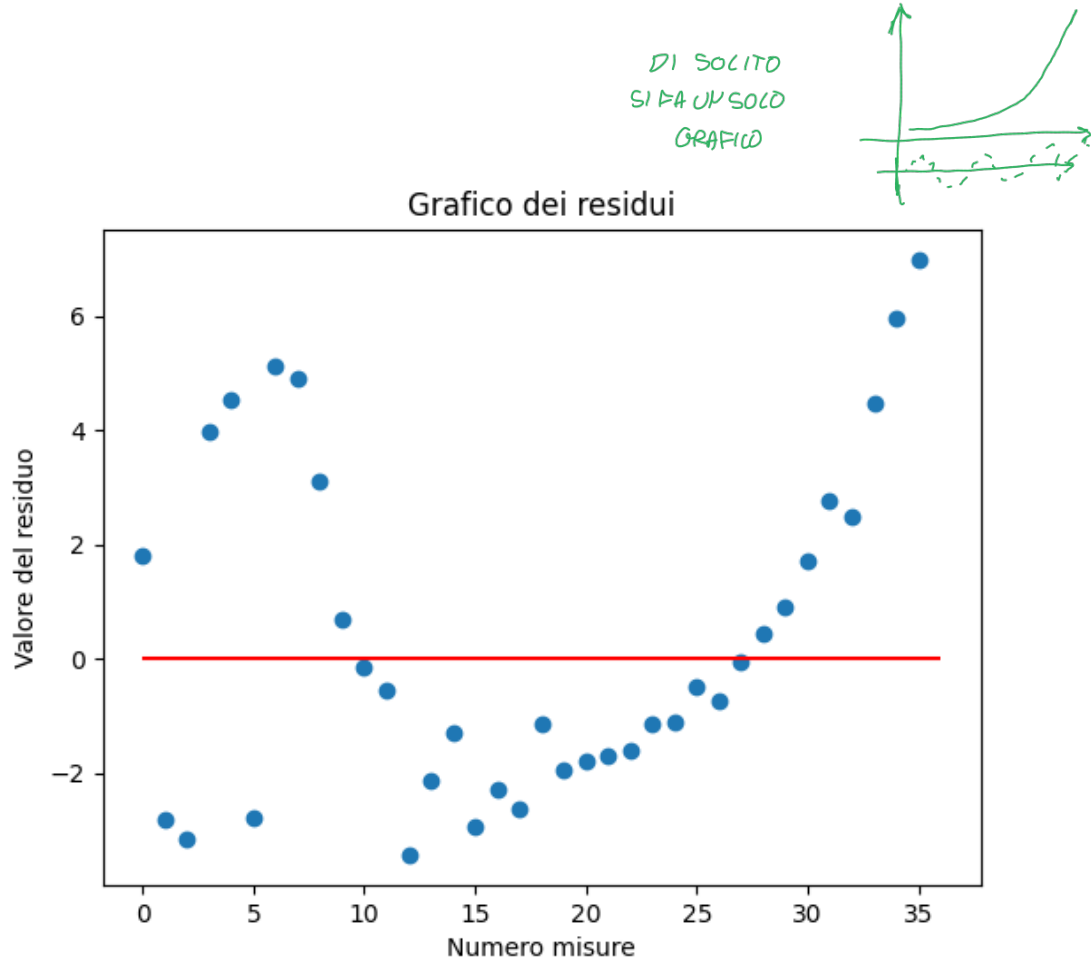


Figure 7: Grafico dei residui per l'interpolazione della legge di Shockley.

3.3 Tensione soglia

L'obiettivo di quest'ultima parte, come già detto precedentemente, è quello di ricavare una **stima della tensione di soglia** del diodo in analisi. Per tensione di soglia si intende il valore minimo di tensione applicabile ai capi del diodo affinché esso **inizi a condurre** una quantità significativa di corrente (nel caso più generale $\sim 10mA$). Per trovare il valore di tensione V_{soglia} abbiamo interpolato gli ultimi dati raccolti con una retta, finché il valore del χ^2 non è rimasto paragonabile a 1. Intersecando la retta con l'asse orizzontale si ricava il valore della tensione soglia. Come **migliore stima** abbiamo ottenuto:

$$V_{soglia} = (0,7 \pm 0,1)V$$

Riportiamo in figura 8 il fit lineare delle ultime misure raccolte utilizzato per stimare V_{soglia} .

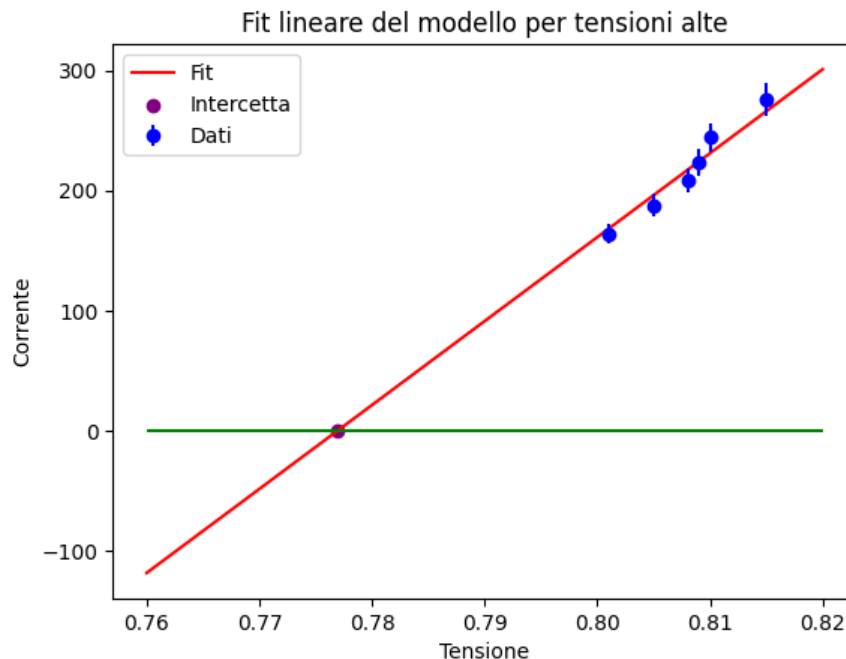


Figure 8: Fit lineare per tensioni alte.

3.4 Considerazioni finali

In questa sezione, riassumiamo le conclusioni emerse dall'esperienza e valutiamo la coerenza dei risultati ottenuti rispetto ai valori attesi, oltre ad esaminare i test utilizzati per verificarli. Il documento completo dell'analisi dei dati è disponibile al seguente link

3.5 Conclusioni prima parte: Legge di Ohm

La domanda che ci era stata posta inizialmente per questa parte dell'esperienza era:

Quale è la configurazione di circuito più adatta? ¹ ?

Inizialmente è stato quindi necessario stimare le resistenze ² parassite ³ dei dispositivi di misura:

- Nella **configurazione I** con il Voltmetro in parallelo è necessario usare R ⁴ grandi ⁵ al fine di minimizzare il flusso di corrente che attraversa il Voltmetro stesso
- Nella **configurazione II** con l'amperometro in serie è necessario usare R ⁶ piccole ⁷ in modo tale da far fluire più corrente possibile all'Amperometro

Quello che abbiamo ottenuto da queste verifiche sperimentali è che al fine di **minimizzare la perturbazione** delle misure di grandezze come corrente e tensione di un circuito la cosa più importante da fare è regolare i valori delle resistenze. E' ⁸ possibile valutare quantitativamente l'effetto delle resistenze interne dei Multimetri considerando la teoria delle **leggi di Kirchhoff**. Si può calcolare l'errore introdotto dalle resistenze interne e successivamente

confrontarlo con l'errore sui valori misurati. Se **l'errore introdotto** dalle resistenze interne è compatibile con **l'errore accettabile** allora si può trascurare l'effetto introdotto dai multimetri. Di seguito viene riportato un esempio di questo calcolo. La formula per calcolare la tensione effettiva:

$$V_{eff} = \frac{V_m}{1 + \frac{R_v}{R}} \quad (5)$$

dove:

EVITARE GLI ERRORI PORTATI

- V_m è la tensione misurata dal voltmetro
- R è la resistenza reale del circuito
- R_v è la resistenza del voltmetro

se consideriamo la resistenza interna del voltmetro pari a $R_v = (11.1 \pm 0.3)M\Omega$, con casi estremi:

- $R_v = 11.4M\Omega$ massimo errore positivo
- $R_v = 10.8M\Omega$ massimo errore negativo

WHY?

Come errore sulla tensione prendiamo $V = \pm 0.001V$, per ogni misura effettuata calcoliamo V_{eff} in entrambi i casi estremi di resistenza del voltmetro. Ad esempio prendendo una misura:

- $V_m = 0.457V$
- $I = 0.46mA$
- $I_{err} = 0.02mA$

Calcolando la tensione effettiva per i due casi estremi otteniamo:

- $V_{eff+} = \frac{0.457}{1 + \frac{11.4 \times 10^{-6}}{1000}}$
- $V_{eff-} = \frac{0.457}{1 + \frac{10.8 \times 10^{-6}}{1000}}$

Successivamente calcoliamo l'errore assoluto tra V e V_{eff} per entrambi i casi:

- $Errore+ = |0.4570 - 0.4569| \sim 0.0001$
- $Errore- = |0.4570 - 0.4569| \sim 0.0001$

Come si può notare l'errore è assolutamente trascurabile essendo pari a (0.0001) molto minore rispetto all'errore riferito alla tensione (0.001).

In seguito per quanto riguarda la verifica della legge di Ohm *il* metodo scelto è quello indicato dai seguenti step:

- Raccolta dati, I corrente e V tensione
- Registrare errori e sensibilità degli strumenti
- Scegliere un test di verifica quantitativa dell'accordo tra i dati raccolti e il modello teorico.

Come test di verifica quantitativa della compatibilità dei dati abbiamo usato un test del χ^2 dal quale abbiamo potuto confermare la validità della legge di Ohm.

3.6 Conclusioni seconda parte: Potenza e partitore resistivo

Per confermare i calcoli teorici svolti abbiamo deciso di utilizzare due resistenze di pari valore e misurare la differenza di potenziale ai capi di R_{load} . Abbiamo osservato che, al crescere di R_{load} , la tensione V_{out} aumentava fino a stabilizzarsi rapidamente attorno alla metà del valore di tensione V_{in} . Abbiamo riportato i dati raccolti nella tabella:

$R_{load} [k\Omega]$	$V_{out} [V]$
0.01	0.028
0.50	0.490
10	51.00
500	51.00
1000	51.00

$V_{in} ?$
 O ERA $V_{out}/V_{in} !$

Table 5: Misura della tensione al variare di R_{load}

3.7 Conclusioni terza parte: Diodo

3.7.1 Misurazione I_0, g

A causa del valore del $\chi^2_{ridotto}$ distante da 1, abbiamo deciso di analizzare il grafico dei residui. A livello grafico si nota subito che i punti non si distribuiscono in maniera casuale (gaussiana) attorno allo 0 come atteso. In particolare individuiamo tre zone:

- **Misure da 1 a 11:** La distribuzione è gaussiana, ma non vicina allo zero. E' presente un bias che allontana i residui dal valore atteso (NON MISURE GAUSSIANA)
- **Misure da 12 a 26:** La distribuzione non è gaussiana, le misure si trovano al di sotto dell'interpolazione e i residui sono perlopiù negativi. Gli errori sono stimati correttamente perché i punti sono vicini allo zero.
- **Misure da 27 a 36:** La distribuzione non è gaussiana, le misure si trovano al di sopra dell'interpolazione e i residui si allontanano progressivamente dallo zero.

E' possibile notare una crescita netta dei residui dalla misura 19 in poi. Avendo calcolato i residui come:

$$R = \frac{I_{misurato} - I_{atteso}}{\sigma_{stimata}}$$

il loro aumento implica un aumento di $I_{misurato}$. Abbiamo spiegato questa osservazione con un **cambiamento graduale della temperatura del diodo**, in quanto la corrente condotta dipende esponenzialmente dall'inverso della temperatura. Per questo motivo, un piccolo cambiamento di T corrisponde ad effetti significativi sulla corrente trasmessa.

Tale conclusione è abbastanza ragionevole dato che il diodo è noto per essere un componente fortemente influenzato dalla temperatura. Per motivare qualitativamente questa osservazione abbiamo provato a soffiare e stringere in mano il diodo durante una misurazione e abbiamo notato che la lettura della corrente cominciava a oscillare in maniera vistosa.

3.7.2 Misurazione tensione di soglia

Per quanto riguarda l'ultima parte dell'esperienza la stima della tensione di soglia abbiamo deciso di escludere le ultime tre misure perché il grafico dei residui le evidenzia al di fuori dell'interpolazione. Eseguendo la regressione lineare sulle ultime sei misure (escludendo le ultime tre) abbiamo notato che il χ^2 resta vicino a 1 e ottenuto così il valore della tensione di soglia intersecando la retta con l'asse x. All'aumentare delle misure considerate ci siamo accorti che la tensione di soglia stimata aumentava, fino a giungere al valore che abbiamo ottenuto 5.

QUESTA E' UNA POSSIBILE SPIEGAZIONE,
MA NON E' SUPPORTATA DA MOLTO. CALCOLO DI
S HOCKEY, IL QUOTE E' IDEALE: NON CI ASPETTIAMO $\chi^2=1$
PER QUESTO LOI AVREI RIMOSSO GLI ULTIMI DATI

CONSIGLI GENERALI:

- EVITATE TROPPO GRASSOTTO
- CONCLUSIONI POCO "PRESUMERE" I RISULTATI, MA
E' IMPORTANTE CHE ESSI VENGANO DISCUSSI SUBITO
- METTETE SEMPRE SCHEMI DEI CIRCUITI USATI

DC Specifications

Table 6-1 DCV resolution, full scale reading and accuracy [\pm (% of reading + count)]

Function	Range	Resolution	Maximum reading	Accuracy (One year; 23°C \pm 5 °C)	Test Current	Typical input impedance ^[2]	Burden voltage ^[3]
Voltage	500 mV	0.01 mV	510.00	0.02% + 4	—	10.0 M Ω	—
	5 V	0.0001 V	51.000	0.02% + 4	—	11.1 M Ω	—
	50 V	0.001 V	51.000	0.02% + 4	—	10.1 M Ω	—
	500 V	0.01 V	510.00	0.02% + 4	—	10.0 M Ω	—
	1000 V	0.1 V	1200.0 ^[1]	0.02% + 4	—	10.0 M Ω	—
Current	500 μ A	0.01 μ A	510.00	0.05% + 5	—	—	< 0.06 V
	5 mA	0.0001 mA	51.000	0.05% + 4	—	—	< 0.6 V
	50 mA	0.001 mA	51.000	0.05% + 4	—	—	< 0.08 V
	500 mA	0.01 mA	510.00	0.05% + 4	—	—	< 0.8 V
	5 A	0.0001 A	51.000	0.25% + 5	—	—	< 0.3 V
	10 A	0.001 A	20.000 ^[4]	0.25% + 5	—	—	< 0.6 V
Resistance / Continuity ^[5]	500 Ω	0.01 Ω	510.00	0.1% + 5 ^[6]	0.5 mA	—	—
	5 k Ω	0.0001 k Ω	51.000	0.1% + 3 ^[6]	0.45 mA	—	—
	50 k Ω	0.001 k Ω	51.000	0.1% + 3	45 μ A	—	—
	500 k Ω	0.01 k Ω	510.00	0.1% + 3	4.5 μ A	—	—
	5 M Ω	0.0001 M Ω	51.000	0.1% + 3	450 nA	—	—
	50 M Ω	0.001 M Ω	51.000	0.3% + 3	45 nA	—	—
Diode Test / Continuity	2.3 V	0.0001 V	2.3000 V	0.05% + 5	—	—	—

Notes:

1 In 1000 V range, 1200 V is readable with audio warning.

2 Input impedance is in paralleled with capacitance <100 pF.

3 Typical at full scale reading and voltage across the input terminals.

4 In 10 A range, >10-20 Adc is readable for 20 seconds maximum with audio warning.

5 In order to eliminate the noise interference, which might be induced to the test leads, it is recommended to use a shielded test cable for measuring resistance above 500 K Ω .

6 Use relative operation. If relative operation is not used, add 0.2 Ω additional error.

Figure 9: Tabella sulla sensibilità fornitore multimetro.