Corso di Laurea in Scienza dei Materiali
Laboratorio di Fisica II

ESPERIENZA DC2

Circuiti in corrente continua

Scopo dell'esperienza:

1. Misura della resistenza interna di un generatore di tensione;
2. verifica della validita' delle leggi di Kirchhoff per l'analisi dei circuiti a piu' maglie;
3. misura della resistivita' di un conduttore ohmico e verifica della dipendenza della resistivita' dalla temperatura;
4. determinazione della caratteristica I/V di un conduttore non ohmico: Light Emitting Diode.

Richiami teorici

<u>Generatori reali di tensione</u>

Ogni generatore reale di tensione (o di corrente) ha una resistenza interna che agisce in senso peggiorativo sul suo funzionamento. Esso perde sempre una parte della tensione generata ai capi della propria resistenza interna, cioe' tale resistenza interna ha, in pratica, lo stesso effetto di un resistore messo in serie con una sorgente ideale di tensione.
Un buon generatore di tensione deve avere una bassa resistenza interna per poter fornire sempre la stessa tensione *V* indipendentemente dalla corrente *I* che sta erogando.

<u>Leggi di Kirchhoff</u>

Legge delle correnti: in ogni nodo di un circuito in cui la corrente può dividersi, la somma delle intensità delle correnti che entrano nel nodo è uguale alla somma delle intensità delle correnti che escono.

Legge delle tensioni: se si percorre un qualunque anello di un circuito in un verso arbitrario e prefissato, la somma algebrica delle cadute di potenziale sulle resistenze è uguale alla somma delle f.e.m. presenti.

<u>Resistivita'</u>

La <u>*resistività*</u> ρ è legata alla resistenza elettrica R dall’equazione:

$$\rho = R \frac{S}{l} \qquad (1)$$

dove *l* è la lunghezza e *S* è la sezione del conduttore.

Dipendenza della resistività dalla temperatura

Per temperature prossime alla temperatura ambiente, e comunque per le normali temperature di operazione dei circuiti elettrici, la resistività dipende linearmente dalla temperatura secondo la legge:

$$\rho = \rho_{293}[1+\alpha(\mathrm{T}-293)] \qquad (2)$$

da cui, trascurando le dilatazioni termiche:

$$R = R_{293}\,[1 + \alpha(T - 293)] \qquad (3)$$

dove T è la temperatura misurata in kelvin, ρ_{293} è la resistività a 293 K e α è il "coefficiente di temperatura della resistività" (per i buoni conduttori come il rame vale $3{,}8 \cdot 10^{-3}$ K^{-1}, per il tungsteno vale $4{,}5 \cdot 10^{-3}$ K^{-1}).

Conduttori non ohmici

La dipendenza dalla temperatura della resistività fa sì che anche un buon conduttore "ohmico" mostri apparenti deviazioni dalla legge di Ohm (cioè la corrente non varia proporzionalmente alla tensione applicata): tali deviazioni però scompaiono se si tiene il conduttore a temperatura costante o, comunque, lo si fa operare in un intervallo opportuno di temperature.

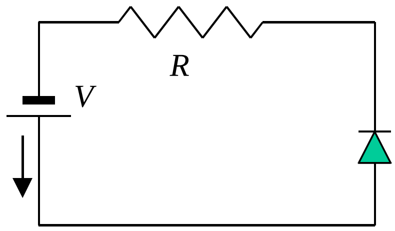
Esistono invece dei dispositivi che si discostano dalla legge di Ohm anche se la temperatura viene mantenuta rigorosamente costante: un dispositivo di questo tipo è il "diodo", che è una giunzione di due pezzi di materiale semiconduttore "drogati" diversamente: nel drogaggio un lato della giunzione (lato **n**) viene arricchito di elettroni di conduzione, mentre l'altro lato (lato **p**) viene arricchito di posti vuoti (detti "buche" oppure "holes") nella banda di valenza.
Il diverso tipo di drogaggio e le caratteristiche intrinseche del semiconduttore (presenza nel semiconduttore di una banda di energie "proibite" agli elettroni –"energy gap, E_{gap}"–) fanno sì che, applicando alla giunzione una differenza di potenziale V tale che il lato **p** sia a potenziale più alto del lato **n** (polarizzazione "diretta") gli elettroni riescono a passare molto più facilmente dal lato **n** al lato **p** della giunzione e contemporaneamente le buche a passare, in senso inverso, dal lato **p** al lato **n**. Le due correnti si sommano, perché elettroni e buche hanno segno opposto di carica elettrica ma si muovono anche in direzione opposta, per cui la corrente totale cresce rapidamente con l'aumento di V. La relazione fra tensione e corrente non è lineare ma esponenziale:

$$I = I_0\left(e^{q_e V/\eta k_B T} - 1\right) \qquad (4)$$

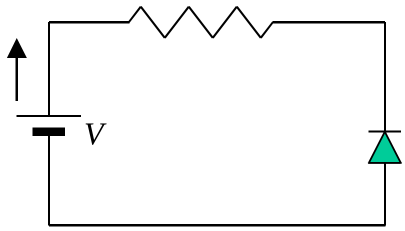
dove η è una costante numerica che dipende dal diodo e vale circa 1.5, k_B è la costante di Boltzmann (pari a $1.38\ 10^{-23}$ J K^{-1} ovvero $8{,}5 \cdot 10^{-5}$ eV K^{-1}) e q_e è la carica dell'elettrone. Il potenziale V è inteso positivo per polarizzazione diretta. Dato che I_o è molto piccolo, si inizia ad avere correnti apprezzabili, con i diodi che userete in questa esperienza, per tensioni superiori a 1,5 V.
Applicando invece alla giunzione una differenza di potenziale V tale che il lato **p** sia a potenziale più basso del lato **n**, cioè V sia negativo (polarizzazione "inversa"), il passaggio degli elettroni dal lato **n** al lato **p** della giunzione e quello delle buche in senso inverso sono ulteriormente ridotti per cui, come si vede dalla (4), la corrente è negativa ma così piccola da non essere rivelabile con un normale amperometro.

Nella figura sono esemplificati due semplici circuiti, in polarizzazione diretta e inversa. Come si vede, negli schemi dei circuiti elettrici il diodo viene indicato con un simbolo formato da una barra e un triangolo, con il lato **p** della giunzione associato al triangolo (ossia la corrente circola nella direzione indicata dalla punta del triangolo).

Polarizzazione diretta



Polarizzazione inversa



Il LED

I diodi che userete sono dei LED (Light Emitting Diode). In questi diodi, raggiunti valori di corrente sufficientemente alti, per cui il numero di elettroni di conduzione nel lato **p** della giunzione è elevato, diventa molto probabile la ricombinazione fra elettroni e buche: l'energia rilasciata nella ricombinazione, che è dell'ordine di E_{gap} , viene emessa sotto forma di fotoni di energia E_f prossima al valore di E_{gap} . L'energia del fotone è legata alla lunghezza d'onda λ della luce emessa dalla relazione di Einstein:

$$E_f = hc/\lambda \qquad (5)$$

dove c è la velocità della luce nel vuoto (c=3·10^8 m/s) e h è la costante di Planck (costante fondamentale della meccanica quantistica, pari a 6.62 10^{-34} J s, ovvero 4,1·10^{8}eV s): conoscendo perciò il valore della lunghezza d'onda a cui il diodo emette è possibile risalire, attraverso la (5) al valore di E_{gap}.

Con i LED che userete, è possibile risalire a E_{gap} anche in un altro modo. Infatti, quando q_eV diventa maggiore di E_{gap} , la corrente tende a crescere, al crescere di V, più lentamente di quanto previsto dalla (4), finché, ad alte correnti, l'andamento torna a essere circa lineare come nella legge di Ohm. Estrapolando all'indietro l'andamento lineare fino a corrente nulla, si trova che l'intercetta V_o corrispondente è pari a E_{gap} / q_e:

$$E_{gap} = q_e V_o \qquad (6)$$

Attivita' sperimentale

B1. *Resistenza interna dell'alimentatore di tensione*

Impostate sull'alimentatore una differenza di potenziale V non superiore a 1V leggendola direttamente sul voltmetro (è la tensione a "circuito aperto", anche se in realtà il circuito "si chiude" sull'alta resistenza interna del voltmetro).
Chiudete poi il circuito su un resistore da 1 kΩ , di cui potete misurare la resistenza direttamente con l'ohmetro, e leggete la caduta di potenziale ΔV ai capi di tale resistore. Ripetete la misura con resistenze da 100 Ω e da 10 Ω, riportando i valori misurati nella seguente tabella.

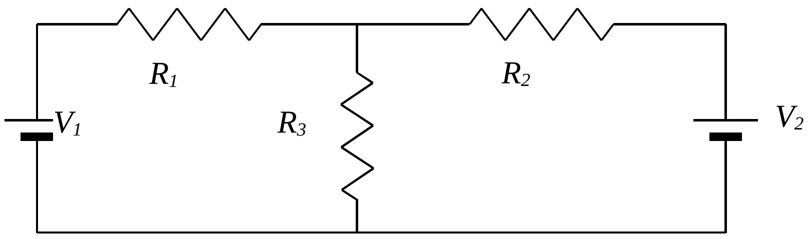
R	**Δ *V (V)***	***R interna***
(1 ±) kΩ	±	±
(100±) Ω	±	±
(10 ±) Ω	±	±

Dalle tre misure determinate, con relativo errore, il valore della resistenza interna R_{int} dell'alimentatore.
Indicate la formula utilizzata per valutare tale resistenza interna.

Disegnate lo schema elettrico del circuito, in cui R_{int} compaia esplicitamente.

B2. *Nodi e maglie*

Realizzate il circuito rappresentato in figura scegliendo dei valori diversi fra loro ma dello stesso ordine di grandezza per le resistenze e per le differenze di potenziale.



Calcolate le correnti nei tre rami del circuito e le differenze di potenziale ai capi delle resistenze utilizzando l'analisi di maglia.

Misurate le correnti e le differenze di potenziale e verificate la correttezza dei calcoli, completando la tabella seguente.

Grandezza	***valore calcolato***	***valore misurato***	***compatibilita'***
$I(R_1)$		±	
$I(R_2)$		±	
$I(R_3)$		±	
$V(R_1)$		±	
$V(R_2)$		±	
$V(R_3)$		±	

.

B3. *Misure di resistività*

Misurate la resistenza a temperatura ambiente del filo di rame argentato della bobina che trovate sul tavolo (la lunghezza del filo è di 4m, il diametro d va misurato da voi). Utilizzate la termocoppia per effettuare la misura della temperatura.

$$d = (\qquad \pm \qquad) \text{ mm}$$

$$R = (\qquad \pm \qquad) \ \Omega$$

Determinate la resistivita' del filo conduttore:

$$\rho = (\qquad \pm \qquad) \ 10^{-8} \ \Omega \ \ \text{m}$$

Ripetete la misura a 3 temperature più alte (usando il becker con acqua calda ed il riscaldatore elettrico) e alla temperatura dell'azoto liquido contenuto nell'apposito vaso Dewar.

T (K)	Δ ***T = (T – 293) (K)***	ρ (10^{-8} Ω m)
293 ±	±	±
±	±	±
±	±	±
±	±	±
- 197 ±	±	±

Riportate i dati in un grafico (usare un foglio di carta millimetrata); verificate che la dipendenza dalla temperatura di ρ sia lineare come atteso dall'eq. (2) se α è costante, e determinate il coefficiente α eseguendo una regressione lineare sui dati acquisiti. Dalla (2) si ricava:

$$\rho(T-293)=\rho_{293}+\alpha\,\rho_{293}\,\Delta T=a+b\,x$$

Riportare i valori dei coefficienti ottenuti dalla regressione e del coefficiente di correlazione lineare:

$a = (\qquad \pm \qquad) \ 10^{-8} \ \Omega \ \ \text{m}$

$b = (\qquad \pm \qquad) \qquad K^{-1} \ \Omega$

ρ =

Confrontare il valore del coefficiente a con il valore misurato per ρ_{293} : dire se tali valori sono compatibili.

Dal valore del coefficiente b determinare il valore del coefficiente temico:
$\alpha = (\qquad \pm \qquad) \ K^{-1}$
Riportare la retta calcolata sul grafico dei dati sperimentali.

B4. *Caratteristica I-V del diodo emettitore di luce (LED)*

Collegate il LED rosso all'alimentatore inserendo per protezione una resistenza di circa 100 **Ω**. Disegnate lo schema del circuito.

Determinate la caratteristica *I-V* misurando almeno sei punti. Applicate differenze di potenziale ai capi del LED non inferiori a 1.5 V e badate a non superare i 2.5 V. Riportate i dati nella seguente tabella.

V (V)	***I(A)***
±	±
±	±
±	±
±	±
±	±
±	±
±	±

Riportate i dati in un grafico (utilizzate un foglio di carta millimetrata)

Individuate la parte lineare della caratteristica ed estrapolate i dati al valore di I=0, determinando il valore V_o dell'intercetta. Supponendo che $q_e Vo$ rappresenti una buona stima di E_{gap} (eq. 6) e quindi dell'energia E_f del fotone emesso, determinate il valore aspettato per la lunghezza d'onda λ della luce emessa in base alla relazione di Einstein (eq. 5).

λ_{rosso} = (±) nm

Ripetete le misure per il LED giallo e verde.

LED GIALLO		LED VERDE	
V (V)	***I (mA)***	***V (V)***	***I (mA)***
±	±	±	±
±	±	±	±
±	±	±	±
±	±	±	±
±	±	±	±
±	±	±	±
±	±	±	±

Riportate i dati in un grafico (utilizzate un foglio di carta millimetrata)

λ_{giallo} = (±) nm

λ_{verde} = (±) nm

I valori aspettati per λ sono 680 nm, 600 nm, 580 nm rispettivamente per i LED rosso, giallo e verde. Dite se i valori ottenuti sono compatibili con quelli attesi.

Riportate nuovamente i dati in un grafico, usando per la corrente *I* una scala logaritmica.

Individuate la parte che segue bene la legge esponenziale di eq. 4 (il termine –1 che compare nell'equazione è completamente trascurabile alle correnti misurabili col vostro amperometro) e determinate il valore della costante η applicando una regressione lineare:

$$I = I_0 e^{\frac{(q_e V)}{(\eta K_B T)}}$$

$$\ln \frac{I}{I_0} = \frac{(q_e V)}{(\eta K_B T)}$$

$y = a x$ con $y = \ln \frac{I}{I_0}$ e $x = V$, tenendo conto che la corrente di polarizzazione inversa I_0 puo' essere approssimata dal valore di corrente che attraversa il LED quando ai suoi capi e' di 1.5 V (e dovrebbe essere circa I_0 = 0.01 mA) . Dal coefficiente a determinare il valore di η .

a = (±) V^{-1}

η = (±)