

1ª e 2ª LEGGE DI OHM

33.1. Prerequisiti

Corrente elettrica; intensità di corrente; circuito elettrico; generatore di tensione; circuito aperto e chiuso.

33.2. Corrente continua

Si consideri un circuito come quello in figura a lato e lo si costruisca cercando di tenere chiuso il circuito il minor tempo possibile per non danneggiare gli strumenti:

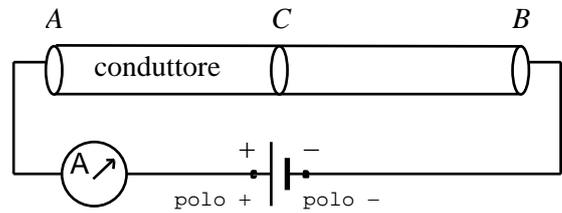


Fig. 33.1.

1) A circuito chiuso quale sarà il verso della corrente?

+ACB- oppure -BCA+ ?

Il verso degli elettroni di conduzione?

2) Misura il valore di i , inserendo l'amperometro in serie fra A e il polo positivo (vedi Fig.33.1), usando inizialmente una portata alta per non danneggiare lo strumento riducendola poi in modo da fare una lettura la più precisa possibile; ricordarsi che variando la portata varia la sensibilità dello strumento e che quindi per avere una lettura precisa occorre che la portata sia la minore possibile (senza tuttavia danneggiare lo strumento, cioè senza far andare l'ago oltre il fondo scala).

Ricordarsi che

$$x = \frac{\text{portata}}{\text{fondoscala}} \cdot \text{lettura} \qquad \text{Valore di } i = \text{_____} =$$

Inserisci ora l'amperometro fra B e il polo negativo del generatore (att.! alla polarità), quale valore di i ottieni?

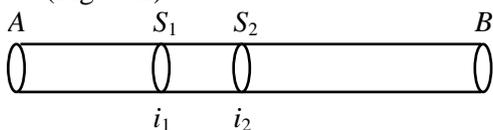
$$i = \text{_____} =$$

Perché ottieni lo stesso valore di i ? Perché in un circuito qualunque a c.c. l'amperometro si può inserire in un punto qualsiasi?

Perché l'intensità di corrente continua ha lo stesso valore attraverso tutte le sezioni del circuito, e questa proprietà deriva da due considerazioni:

(a) la legge di conservazione della carica elettrica, secondo cui in nessun punto del circuito vengono create o distrutte cariche (ma soltanto spinte).

(b) poiché la i in ogni sezione del circuito deve rimanere costante nel tempo (c.c.), in nessuna sezione o punto del circuito si può avere, col passare del tempo, accumulazione o sottrazione di cariche, infatti (Fig.33.2):



$$\text{con } i_1 = \frac{\Delta Q_1}{\Delta t} = \text{cost} \quad \text{e} \quad i_2 = \frac{\Delta Q_2}{\Delta t} = \text{cost}$$

Fig. 33.2.

se per assurdo fosse $i_1 > i_2 \Rightarrow \Delta Q_1 > \Delta Q_2$ e parte delle cariche si dovrebbero accumulare nella zona fra S_1 e S_2 facendo col tempo variare il potenziale nella zona fra S_1 e S_2 ostacolando l'arrivo di altre cariche attraverso S_1 e, quindi, i_1 dovrebbe variare nel tempo, contro l'ipotesi.

In conclusione, l'intensità di una c.c. non solo è costante nel tempo ma possiede lo stesso valore attraverso qualunque sezione del circuito; per questo si parla semplicemente della intensità di corrente che percorre un circuito.

3) Detti V_+ e V_- i potenziali ai due morsetti del generatore, verificare il basilare principio per cui affinché attraverso un conduttore passi una corrente elettrica è necessario che tra due punti qualunque di esso ci sia una d.d.p., ovviamente per creare in ogni punto un \mathbf{E} che possa "spingere" i portatori di carica.

Tenendo conto per la portata dello strumento (posizionato per l'uso come voltmetro, cioè in parallelo) del valore della forza elettromotrice del generatore, poni il puntale nero (-) nel punto B del conduttore e fai scorrere lentamente il puntale rosso (+) lungo il conduttore dal punto A fino al punto B . Quali sono le indicazioni dello strumento? Cosa accade alla d.d.p.? Come variano i potenziali dei vari punti del conduttore?

Se $V_A - V_B =$ _____ e la lunghezza del conduttore è 1m, quanto vale il campo elettrico medio all'interno del conduttore? $E_m =$ _____ =

4) Nasce ora un problema molto importante. Sempre considerando un solo conduttore AB , variando la d.d.p. agli estremi $V_A - V_B$, varia la i che attraversa il conduttore? È prevedibile teoricamente? Rispondi in base alle sole conoscenze teoriche che possiedi.

Verifica quanto detto sperimentalmente cambiando il generatore (o la f.e.m. del generatore) e misurando di nuovo:

$$V_A - V_B = \quad i =$$

Confrontando l'attuale valore di i con quello ottenuto precedentemente si può dire che i varia con il variare di $V_A - V_B$. Quindi i è funzione di $V_A - V_B \Rightarrow i = f(V_A - V_B)$; fissato allora un determinato conduttore (sia solido che liquido o gassoso) in ben determinate condizioni (di temperatura, pressione, ecc.) di che tipo sarà la funzione suddetta? (*).

La funzione e il suo grafico, determinabili sperimentalmente, vengono detti rispettivamente **relazione caratteristica** e **curva caratteristica** del conduttore in esame e possono essere diverse da conduttore a conduttore ovviamente.

E inoltre, a parità di d.d.p. $V_A - V_B$, come varia i al variare delle condizioni del conduttore, cioè al variare delle sue dimensioni geometriche, della sua temperatura, della pressione, ecc.? (**).

Prendiamo in considerazione ora una sola classe di conduttori, i conduttori metallici (Fig. 33.3):

Conduttori:

K=costantana (55% Cu e 45% Ni)

n.1: K $l = 1m$ $A=0.4mm^2$

n.2: K $l = 1m$ $A=0.2mm^2$

n.3: K $l = 1m$ $A=0.2mm^2$

n.4: NC $l = 1m$ $A=0.2mm^2$

n.5: OTT $l = 1m$ $A=0.2mm^2$

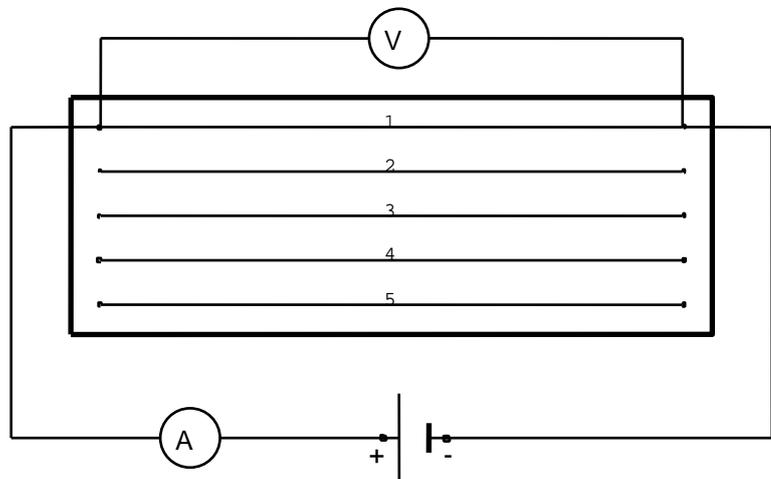
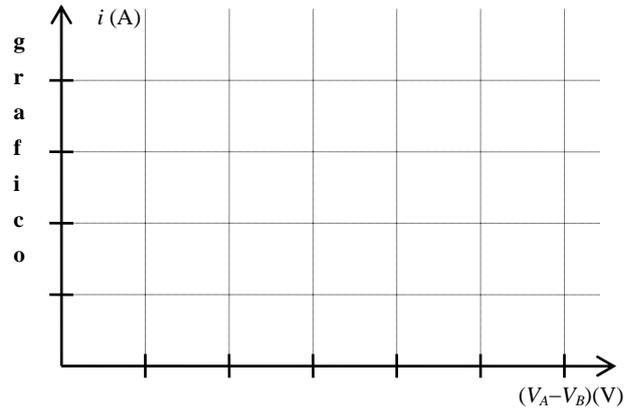


Fig. 33.3.

Esegui una serie di misure e costruisci il grafico:

Conduttore n. 1	$V_A - V_B$ (V)	i (A)
f.e.m.= 0 V	0	0
f.e.m.= V		



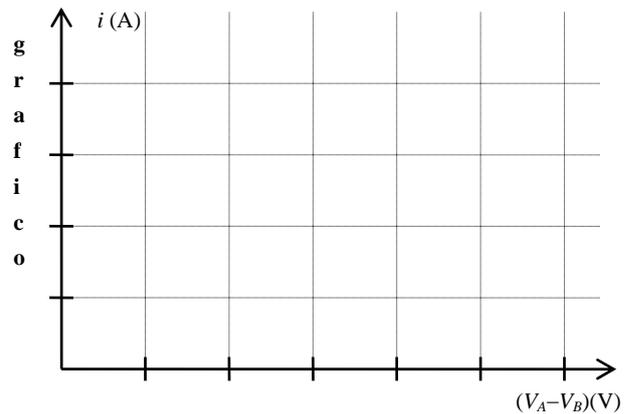
Come risultano le due grandezze? $V_A - V_B$ e i

Come si esprime la relazione in formule?

Cerca una ulteriore conferma sperimentale:

Esegui una serie di misure e costruisci il grafico:

Conduttore n. 2	$V_A - V_B$ (V)	i (A)
f.e.m.= 0 V	0	0
f.e.m.= V		



(*) **PRIMA LEGGE DI OHM: (ENUNCIATO)**

In formule:

u.d.m. (R) =

$[R]$ =

() SECONDA LEGGE DI OHM**

Con la solita apparecchiatura sperimentale cerchiamo ora una risposta alla seconda domanda, e cioè, a parità di d.d.p. $V_A - V_B$ come varia i al variare delle condizioni del conduttore? Cioè al variare delle sue dimensioni geometriche, della sua natura, della sua temperatura (questo per noi non sarà possibile)? La pressione esterna certamente non influirà su di un conduttore metallico solido.

Esegui una serie di misure con una f.e.m. di 4V:

1) K : $l = 1\text{m}$ $A = 0.2 \text{ mm}^2 = 0.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

$V_A - V_B =$ $i =$ $R_1 =$

2) K : $l = 2\text{m}$ (2 fili da 1m in serie) $A = 0.2 \text{ mm}^2$

$V_A - V_B =$ $i =$ $R_2 =$

Quindi R e l risultano

3) K : $l = 1\text{m}$ $A = 0.4 \text{ mm}^2 = 0.4 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

$V_A - V_B =$ $i =$ $R_3 =$

Quindi R e l'area A della sezione del conduttore risultano:

Per avere una ulteriore verifica prendi due fili di K di sezione $A = 0.2 \text{ mm}^2$ collegati in parallelo, è lo stesso che avere un unico conduttore di K, di $l = 1\text{m}$ e sezione $A = 0.4 \text{ mm}^2$:

$V_A - V_B =$ $i =$ $R_4 =$

raddoppiando l'area della sezione la resistenza

4) NC : $l = 1\text{m}$ $A = 0.2 \text{ mm}^2$

$V_A - V_B =$ $i =$ $R_5 =$

OTT: $l = 1\text{m}$ $A = 0.2 \text{ mm}^2$

$V_A - V_B =$ $i =$ $R_6 =$

Confrontando R_1, R_5, R_6 (cioè per conduttori aventi le stesse caratteristiche geometriche) i loro valori risultano uguali? Ti aspettavi valori uguali?

SECONDA LEGGE DI OHM: LA RESISTENZA DI UN FILO CONDUTTORE È PROPORZIONALE ALLA SUA LUNGHEZZA E PROPORZIONALE ALL'AREA A DELLA SUA SEZIONE. ESSA DIPENDE INOLTRE DALLA SOSTANZA DI CUI È COSTITUITO IL FILO E DALLA SUA TEMPERATURA:

$R \propto$ _____

Indicando con ρ (ro) un coefficiente di proporzionalità che dipende dalla sostanza di cui è costituito il filo e dalla sua temperatura si può esprimere la 2ª legge di OHM mediante la relazione $R = \rho$ _____

il coefficiente ρ viene detto RESISTIVITÀ O RESISTENZA SPECIFICA della sostanza in esame: nel S.I. le dimensioni sono: $[\rho] =$ e l'unità di misura: ; esso rappresenta la resistenza elettrica di un conduttore di quella sostanza, di lunghezza e sezione unitarie ($l = 1\text{m}$ e $A = 1\text{m}^2$).

Calcola ora il valore di ρ per K, NC, OTT, ovviamente a temperatura ambiente:

$\rho_K =$ $\rho_{NC} =$ $\rho_{OTT} =$

Nella Tabella 33.1 sono date le resistività ρ_0 di alcuni materiali alla temperatura di 0°C:

Tabella 33.1.

CONDUTTORI		ISOLANTI	
Ag	$1.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	Vetro	$10^{12} \Omega \cdot m$
Cu	$1.6 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	Mica	$10^{14} \Omega \cdot m$
Al	$2.6 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	Ebanite	$10^{16} \Omega \cdot m$
Fe	$1.3 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$	Polietilene	$10^{17} \Omega \cdot m$
Pb	$2.0 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$	SEMICONDUTTORI	
Ottone	$8.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	Germanio	$10^3 \Omega \cdot m$
Costantina	$5.0 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$	Silicio	$10^2 \div 10^5 \Omega \cdot m$
Ni-Cr	$1.0 \times 10^{-6} \Omega \cdot m$	Selenio	$10^2 \div 10^5 \Omega \cdot m$

L'esperienza ha poi mostrato che le due leggi di Ohm valgono non solo per i metalli, ma, per lo meno approssimativamente, anche per la maggior parte dei corpi solidi, compresi i cattivi conduttori di elettricità o addirittura gli isolanti. Per ciascun materiale si può quindi definire, con esperienze pratiche, la corrispondente resistività ρ_0 ; si trova allora che, mentre i buoni conduttori hanno valori di ρ_0 che vanno da $10^{-8} \div 10^{-6} \Omega \cdot m$, i buoni isolanti hanno valori di ρ_0 che vanno da $10^{11} \div 10^{17} \Omega \cdot m$ circa. Esiste poi un gruppo di sostanze che hanno resistività intermedie, fra 10^{-1} e $10^4 \Omega \cdot m$; questo gruppo di solidi comprende i semiconduttori.

33.3. Variazione della resistenza ohmica con la temperatura

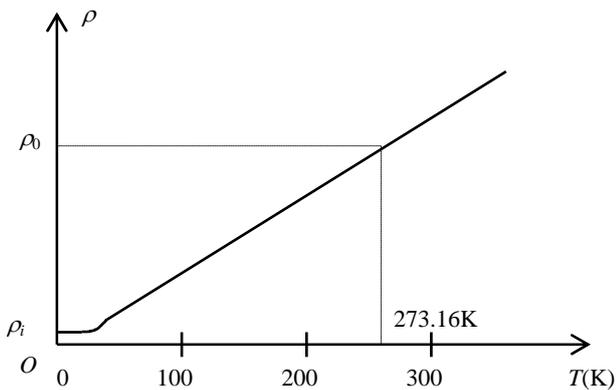
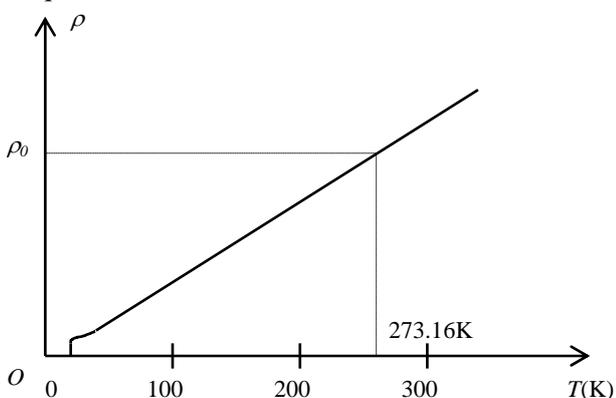


Fig. 33.4.

Abbiamo già segnalato che la resistenza R di un conduttore dipende dalla temperatura; questo si può comprendere in quanto, col variare della temperatura di un conduttore, varia l'agitazione termica sia degli elettroni liberi che degli atomi. Di conseguenza varia il numero di urti tra gli elettroni e gli atomi e quindi anche la resistività del conduttore.

In Fig.33.4 è mostrato l'andamento tipico della resistività di molti metalli, in particolare dei metalli nobili (Cu, Ag, Au), in funzione della temperatura assoluta: la resistività è rappresentata con buona precisione da una retta inclinata, in un intervallo che si estende da una temperatura bassa (~ 100 K) fino a temperature prossime alla temperatura di fusione del metallo. Come si vede dalla figura, a temperature sufficientemente basse la resistività cessa di diminuire linearmente, ma diminuisce sempre meno rapidamente fino a raggiungere un valore ρ_i che si mantiene costante fino allo zero assoluto (ρ_i varia da metallo a metallo e dipende dalle impurità presenti nel metallo e dalle sue imperfezioni). Non tutti i metalli si comportano però in questo modo.



Nel 1911 il fisico olandese Onnes scoprì un fenomeno veramente strano: per una vasta categoria di conduttori metallici (Al, Ti, Nb, Hg, Pb,...) la dipendenza di ρ dalla temperatura segue l'andamento di Fig.3, che è simile a quello della figura precedente finché la temperatura è abbastanza alta; ma quando si raggiunge una temperatura critica T_c (1.20 K per l'Al; 0.39 K per il Ti; 4.23 K per Hg; 7.22 K per il Pb) la resistività diventa bruscamente nulla e si mantiene tale fino allo zero assoluto: in questa regione il metallo diventa SUPERCONDUTTORE.

Nel passaggio attraverso la T_c avviene un vero e proprio cambiamento di stato. In un anello di filo superconduttore percorso da corrente non c'è effetto Joule, perché si ha rigorosamente $R = 0$. Una volta che gli elettroni di conduzione siano stati messi in moto, seguiranno a circolare senza che nel circuito sia inserito un generatore.

33.4. Resistori in serie e in parallelo

In tutti i circuiti elettrici che si prenderanno in considerazione, i fili conduttori di collegamento hanno una resistenza così piccola rispetto alle altre parti del circuito che i loro effetti resistivi possono essere trascurati. Si supponga di avere tre elementi circuitali resistivi (chiamati *resistori* e rappresentati con una spezzata a dente di sega negli schemi circuitali) collegati a una batteria, come nella Fig. 33.6. Questo tipo di collegamento è detto in *serie*. Qual è la resistenza *totale* o *equivalente* di questo circuito in serie?

In un circuito in serie, la stessa intensità di corrente i deve fluire attraverso ciascuno dei resistori. La tensione ai capi di ciascun resistore è data dalla legge di Ohm:

$$[33.1] \quad V_1 = R_1 \cdot i \quad V_2 = R_2 \cdot i \quad V_3 = R_3 \cdot i .$$

La somma di queste tre tensioni deve essere uguale alla tensione fra i morsetti della batteria (poiché i conduttori di collegamento hanno resistenza trascurabile):

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = (*) \quad \text{la caduta di tensione totale è uguale alla somma delle singole cadute di tensione}$$

$$[33.2] \quad = R_1 \cdot i + R_2 \cdot i + R_3 \cdot i = (R_1 + R_2 + R_3) \cdot i .$$

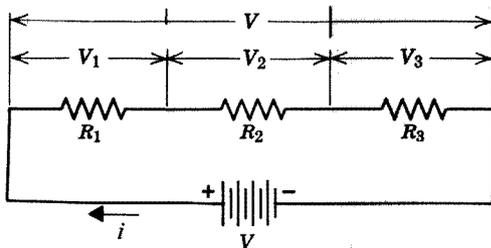


Fig. 33.6. Un circuito in serie costituito da tre resistori collegati a una batteria.

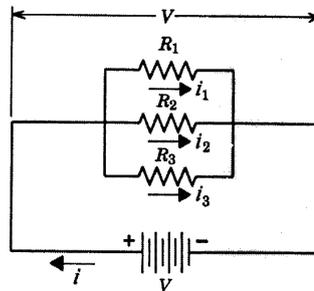


Fig. 33.7. Un circuito in parallelo costituito da tre resistori collegati a una batteria.

La resistenza equivalente R_{eq} è legata alla tensione della batteria V e all'intensità della corrente i dalla relazione

$$[33.3] \quad V = iR_{eq} .$$

Confrontando le [33.2] e [33.3], si vede che la resistenza equivalente è

$$[33.4] \quad R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (\text{collegamento in serie}).$$

Si supponga ora che i tre resistori siano collegati *in parallelo*, come nella Fig. 33.7. In questo caso, l'intensità della corrente totale i che fluisce nel circuito si suddivide fra i tre resistori. Però, la tensione ai capi di ciascun resistore è ora la stessa. Perciò, per ciascun resistore si può scrivere:

$$[33.4] \quad i_1 = \frac{V}{R_1} \quad i_2 = \frac{V}{R_2} \quad i_3 = \frac{V}{R_3} .$$

La somma di queste tre intensità di corrente è uguale all'intensità di corrente totale i :

$$[33.5] \quad i = i_1 + i_2 + i_3 = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} = V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) .$$

La resistenza equivalente R_{eq} è legata a V e a i dalla relazione

$$[33.6] \quad i = V \left(\frac{1}{R_{eq}} \right) .$$

(*) Il termine $V_A - V_B$ della 1ª legge di Ohm viene spesso indicato come *caduta di tensione* sul conduttore.

Confrontando le [33.5] e [33.6], si vede che la resistenza equivalente è

$$[33.7] \quad \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (\text{collegamento in parallelo}).$$

È facile dimostrare che R_{eq} è minore di ciascuna delle tre resistenze.

Esempio 1:

Qual è l'intensità della corrente elettrica i che fluisce nel circuito illustrato in Fig. 33.8?

La resistenza totale del circuito si ottiene dalla relazione

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{4\Omega} + \frac{1}{6\Omega} + \frac{1}{12\Omega} = \frac{12}{24} \Omega^{-1} = \frac{1}{2} \Omega^{-1}$$

Perciò $R_{eq} = 2\Omega$. Quindi l'intensità di corrente elettrica è

$$i = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{24V}{2\Omega} = 12A.$$

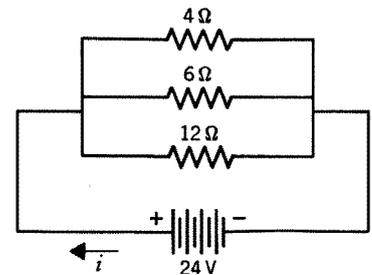


Fig. 33.8.

Quesiti

- 33.1. Un filo è percorso da una corrente di 3.0 A. (a) Quanta carica passa attraverso una sezione del filo in 5.0 minuti? (b) se la corrente è dovuta ad un flusso di elettroni, quanti elettroni passano per una sezione in questo tempo?
- 33.2. Il numero degli elettroni di conduzione nel rame è $n = 8.4 \times 10^{22} \frac{\text{elettroni}}{\text{cm}^3}$. Se questi elettroni si muovono con una velocità di deriva totale pari a 1.6 mm/s in una sbarra di rame di sezione trasversale avente l'area di 1.5cm², qual è l'intensità di corrente che fluisce nella sbarra?
- 33.3. Se in un filo di rame di sezione 1 mm² passa una corrente di 1 A, verificare che la velocità d'insieme degli elettroni risulta 7.45×10^{-5} m/s (tenere presente che $n = 8.4 \times 10^{22} \frac{\text{elettroni}}{\text{cm}^3}$).
- 33.4. Quale sarà la velocità d'insieme degli elettroni di conduzione nei seguenti casi? (a) l'intensità della corrente che passa nel filo è $i = 1$ mA. (b) la corrente di intensità $i = 1$ A passa nel filo di rame la cui sezione, invece di 1 mm², è di 3 mm².
- 33.5. Un filo di nichelcromo ha il raggio di 0.65 mm. Che lunghezza di filo è necessaria per realizzare la resistenza di 2.0 Ω? [R.2.66m]
- 33.6. Qual è il campo elettrico in un filo di rame di 1 mm di diametro percorso da una corrente di 1 A? [R.2.18×10⁻² V/m]
- 33.7. Un filo di rame è lungo 40 m ed ha il raggio di 0.814 mm. Si trovi la intensità di corrente se la d.d.p. ai capi del filo è di 0.5 V.
- 33.8. Due resistori, $R_1=22 \Omega$ e $R_2=18 \Omega$, sono collegati in parallelo e la combinazione è collegata ad una batteria di 12 V. Qual è l'intensità della corrente che fluisce attraverso ciascun resistore?
- 33.9. Qual è la resistenza totale di n resistori R collegati (a) in serie e (b) in parallelo?
- 33.10. Qual è la resistenza totale fra i punti A e B nel circuito di Fig. A?
- 33.11. Qual è la resistenza totale fra i punti A e B nel circuito di Fig. B?

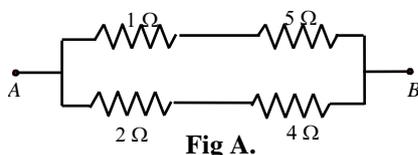


Fig A.

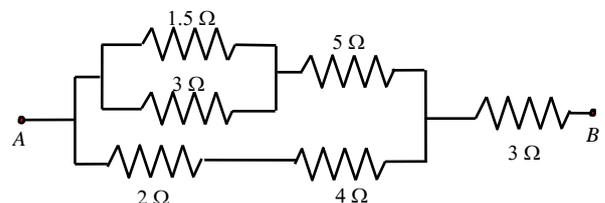


Fig B.

- 33.12.** Il circuito mostrato in Fig. C è noto come *Ponte di Wheatstone*. Calcola il valore della resistenza R tale per cui la corrente attraverso la resistenza da 85.0Ω sia zero. [R. 7.50Ω]

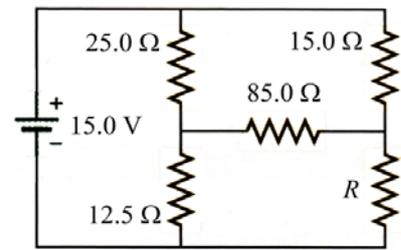


Fig C.

33.5. Potenza dissipata in un conduttore con ai capi una d.d.p. e attraversato da una corrente i

La legge di Ohm stabilisce la relazione: $(V_A - V_B) = R \cdot i$ tra la d.d.p. applicata agli estremi A e B di un conduttore e la intensità di corrente che lo attraversa (Fig. 33.9). Questo vuol dire che in un certo intervallo di tempo Δt una certa carica Δq (convenzionalmente positiva) si è spostata dal punto a potenziale più alto al punto a potenziale più basso; questa carica sarà $\Delta q = i \cdot \Delta t$. È stato dunque fatto un lavoro da parte delle forze del campo elettrico dato da:

$$[33.8] \quad L_{AB} = \Delta q(V_A - V_B) = i(V_A - V_B)\Delta t .$$

Questo lavoro non è altro che l'energia fornita dal generatore a questo tratto AB di circuito e dicesi **energia elettrica** dissipata nel circuito AB dalla corrente i . La d.d.p. $(V_A - V_B)$ viene detta **caduta di potenziale** o **tensione** lungo il tratto AB di circuito. Se ci riferiamo all'unità di tempo abbiamo la **potenza elettrica** dissipata nel tratto di circuito AB (ovviamente sarà una parte della potenza fornita dal generatore):

$$[33.9] \quad P = \frac{L_{AB}}{\Delta t} = \frac{\Delta q}{\Delta t}(V_A - V_B) = i(V_A - V_B) .$$

Se il tratto di circuito è ohmico avremo rispettivamente per la [33.8] e per la [33.9]:

$$[33.10] \quad L_{AB} = i \cdot Ri \cdot \Delta t = R \cdot i^2 \cdot \Delta t \quad \text{oppure} \quad \frac{(V_A - V_B)^2}{R} \Delta t$$

$$[33.11] \quad P = R \cdot i^2 \quad \text{oppure} \quad \frac{(V_A - V_B)^2}{R} .$$

Se una corrente di intensità 2 A fluisce per 1 h attraverso un circuito la cui resistenza è 5Ω , l'energia utilizzata è:

$$[33.12] \quad L = Pt = i^2 Rt = (2 \text{ A})^2 \times (5 \Omega) \times (3600 \text{ s}) = 72000 \text{ J}$$

Ci si deve chiedere:

(a) Chi ha fornito l'energia necessaria? (b) A cosa è servito il lavoro compiuto?

(a) L'energia è stata fornita dal generatore; infatti con il tempo il generatore, spendendo lavoro e quindi energia, prende (convenzionalmente) cariche positive dal polo negativo e le porta al polo positivo cedendo loro continuamente quella energia potenziale elettrica che avevano perso.

(b) Si può rispondere ricorrendo all'esperienza. Si constata facilmente che il tratto di circuito AB si riscalda, si tratta dell'**effetto Joule**. È esperienza della vita di tutti i giorni che deriva dalle più comuni utilizzazioni dell'energia elettrica: la lampadina, lo scaldabagno elettrico, il ferro da stiro, ecc.

Ma tutto il lavoro speso si trasforma in calore? Quantitativamente per misurare la quantità di calore che si sviluppa nel tempo Δt , basta mettere il resistore all'interno di un calorimetro ed effettuare delle misure molto precise; si riesce a vedere (Joule per primo verso la metà del secolo scorso) che

$$[33.13] \quad Q = \frac{1}{J} i^2 R \Delta t$$

Confrontando la [33.13] con la [33.10] si ha che $Q = \frac{1}{J} L$ ossia che $\frac{L}{Q} = J$, cioè il rapporto $\frac{L}{Q}$ è sempre costante e dipende soltanto dalle unità di misura e $J = 4.186 \text{ J/cal}$.

Quindi l'energia perduta dalla carica elettrica Δq nello spostarsi da A a B si trasforma integralmente in energia interna del conduttore che aumentando di temperatura cederà calore all'esterno. La (5) dimostra la validità del principio di conservazione dell'energia anche per l'energia delle cariche elettriche.

Da un punto di vista molecolare l'effetto Joule si può interpretare come una manifestazione dell' "attrito" che le cariche incontrano nel loro moto attraverso un conduttore; ossia più precisamente:

- il campo \mathbf{E} fa un lavoro motore sui portatori di carica cosicché la loro energia cinetica aumenta; d'altra parte trattandosi di corrente continua la velocità d'insieme degli elettroni deve rimanere sempre costante.
- i portatori di carica, urtando contro gli ioni del reticolo cristallino, cedono a questi l'energia acquistata.
- questa viene ridistribuita, come energia disordinata, fra gli ioni del reticolo con il risultato che aumenta la temperatura del conduttore.

Quando la corrente elettrica fluisce attraverso il filamento di una lampada elettrica, una parte dell'energia utilizzata si manifesta sotto forma di luce, ma il rendimento di un lampada elettrica è molto basso e la maggior parte dell'energia, circa il 98%, si manifesta sotto forma di calore. Invero, in quasi tutte le applicazioni ordinarie dell'elettricità, la maggior parte dell'energia elettrica si consuma in effetti termici.

Comunemente, l'energia elettrica è espressa in watt moltiplicati per l'intervallo di tempo in ore. Nel caso esaminato precedentemente ([33.12]),

$$[33.14] \quad L = (2\text{A})^2 \times (5 \Omega) \times (1 \text{ h}) = \\ = 20 \text{ Wh (wattora)} = 0.020 \text{ kWh (kilowattora)}$$

Il kilowattora (kWh) è l'unità (non appartenente SI, ma legale) con cui viene espressa l'energia elettrica fornita dall'ENEL.

Esempio 2:

Una stufa elettrica ha una resistenza di 20Ω e viene usata per un giorno. Quanto costa farla funzionare per questo intervallo di tempo se l'energia elettrica costa 0.13 €/kWh ?

La tensione degli impianti domestici ordinari è 220 V . Perciò, la corrente elettrica assorbita dalla stufa è

$$i = \text{d.d.p.}/R = 220 \text{ V} / 20\Omega = 11 \text{ A}$$

$$\text{La potenza è} \quad P = R \cdot i^2 = (11 \text{ A})^2 \times (20 \Omega) = 2420 \text{ W}$$

L'energia utilizzata in un giorno è

$$\Delta E = P \cdot \Delta t = (2420 \text{ W}) \times (24 \text{ h}) = 5.9 \times 10^4 \text{ Wh} = 58 \text{ kWh}$$

mentre il costo risulta essere $(58 \text{ kWh}) \times (0.13 \text{ €/kWh}) = 7.54 \text{ €}$.

33.6. Forza elettromotrice di una batteria

Precedentemente abbiamo visto che quando una certa differenza di potenziale viene applicata ai capi di un filo metallico, entro di esso nasce un campo elettrico che provoca una velocità di deriva degli elettroni di conduzione.

Consideriamo ora la situazione da un altro punto di vista, prendendo in esame, il *generatore di differenza potenziale*, quale ad esempio una macchina di Wimshurst. In questo dispositivo si costringono cariche elettriche, generate per strofinio, ad accumularsi sulle due sferette, *vincendo la forza di repulsione* tra le cariche che arrivano e quelle già presenti sulle sferette. Se colleghiamo una sferetta alla terra mediante un filo metallico, nasce una corrente elettrica entro il filo, ed a regime il numero di cariche trasportate sulla sferetta è uguale al numero di cariche che passano per una qualsiasi sezione trasversale del filo stesso, nell'unità di tempo. Dal punto di vista energetico, il riscaldamento del filo provocato dal passaggio degli elettroni è ottenuto a spese del *lavoro meccanico compiuto dal "motore"* che fa muovere il disco. Un generatore di Wimshurst può essere considerato in un certo senso come un modello meccanico di una batteria. In quest'ultima, sono le reazioni chimiche anziché il motore che provocano la separazione delle cariche positive da quelle negative, vincendo la forza di attrazione reciproca. Le cariche dello stesso segno sono costrette ad accumularsi su un unico polo, almeno fino a quando la forza di repulsione da parte di quelle che già vi si trovano non prende il sopravvento. Alla chiusura del circuito esterno queste cariche localizzate sui due poli creano entro il filo un campo elettrico parallelo all'asse, dopo una fase transitoria in cui un po' di carica si accumula sulla superficie del conduttore. Proprio questa carica elettrica sulla superficie è responsabile del fatto che le linee di flusso dopo il transitorio assumono direzione assiale. Per comprendere a fondo questo punto, si tenga presente che gli elettroni di conduzione non possono uscire dal filo, a causa della buca di potenziale in cui si trovano, quindi l'unica possibilità che essi hanno è di acquistare una velocità di deriva parallela all'asse, e ciò avviene solo se il campo elettrico è coassiale. Con termine improprio, la differenza di potenziale esistente a circuito aperto tra i due poli di un generatore, viene chiamata *forza elettromotrice* (simbolo f.e.m.). Facciamo notare che quando il circuito è chiuso, quando cioè il generatore eroga corrente, la differenza di potenziale ai suoi capi *diminuisce* anche sensibilmente, a causa della sua "resistenza interna".

La forza elettromotrice di una qualsiasi batteria è dell'ordine del volt, in quanto nelle reazioni chimiche che avvengono all'interno, le energie in gioco sono dell'ordine dell'elettronvolt, per ogni carica elementare trasportata.

Al contrario del generatore di Wimshurst, una batteria è in grado di mantenere a regime una *intensità di corrente alquanto elevata*, poiché al suo interno le reazioni chimiche utili sono assai numerose. Tali reazioni chimiche un po' alla volta diminuiscono di numero, per cui *la batteria «si scarica»*; questo avviene quando la sua composizione chimica risulta notevolmente alterata, a causa delle molte reazioni già avvenute. In alcuni tipi di batterie le reazioni sono *reversibili*; cioè, se si invia corrente in senso inverso dall'esterno, si ricostituiscono le condizioni iniziali; è questo il processo di ricarica a cui viene comunemente sottoposta una batteria di accumulatori.

Facciamo notare esplicitamente che la forza elettromotrice di un generatore rappresenta *il lavoro speso per ogni unità di carica onde farla passare da un polo all'altro*, entro il generatore, contro il campo elettrico che si oppone a questo passaggio. Ciò significa, in altre parole, che la carica unitaria viene fatta salire su un colle di potenziale elettrico da cui potrà discendere attraverso il circuito esterno, dove il campo elettrico svilupperà un lavoro positivo. Una pila da 1.5 V ad esempio è in grado di fornire 1.5 J ad ogni coulomb di carica trasportata, e questa energia è la stessa che verrà restituita quando la carica unitaria fluirà attraverso il circuito esterno. (Nelle considerazioni sopra riportate si è supposta trascurabile la resistenza interna del generatore). Dal punto di vista microscopico, si può concludere che in base alle considerazioni di cui sopra che *ad ogni carica elementare viene ceduta sempre la stessa energia* nel passaggio attraverso il generatore.

Problemi di fine capitolo

- 33.13.** Una corrente dell'intensità di 8 A viene erogata da un alimentatore di 240 V. Qual è la potenza d'uscita dell'alimentatore? Quanta energia (espressa in joule e in kilowattora) viene erogata dall'alimentatore se funziona continuamente per una settimana?
- 33.14.** Cinque lampade elettriche di 60 W e tre lampade elettriche di 100 Ω sono collegate in parallelo in un impianto elettrico domestico a 220 V. Qual è l'intensità della corrente assorbita dalla linea di distribuzione? Qual è la potenza necessaria per accendere tutte le lampade?
- 33.15.** Sei lampade elettriche sono collegate in parallelo ai capi di una linea in corrente continua a 120 V e ciascuna lampada assorbe una potenza di 40 W. (a) Qual è la resistenza di ciascuna lampada? (b) Qual è l'intensità della corrente che fluisce attraverso ciascuna lampada? Le lampade vengono ora collegate in serie e l'intera combinazione viene collegata ai capi della stessa linea. (c) Qual è l'intensità della corrente che fluisce attraverso ciascuna lampada? (d) Qual è la potenza utilizzata da ciascuna lampada? Perché questo valore differisce da 40 W?
- 33.16.** Una corrente elettrica totale di 6 A fluisce attraverso due resistori, che hanno rispettivamente resistenze di 1Ω e 2Ω e che sono collegati in parallelo. Qual è la tensione ai capi dei resistori? Qual è la potenza totale dissipata?
- 33.17.** Due resistori, aventi resistenze di 4 Ω e di 8 Ω rispettivamente, sono collegati in serie con una batteria di 24V. (a) Qual è la potenza assorbita dalla batteria? (b) Quale sarebbe la potenza assorbita se i resistori fossero collegati in parallelo?
- 33.18.** Una piscina domestica contiene 100 m³ d'acqua. È usato un riscaldatore elettrico per innalzare la temperatura dell'acqua da 20 °C a 28 °C. Se l'energia elettrica costa 0.13 €/kWh e se metà del calore erogato dal riscaldatore va perduto per conduzione e irraggiamento, qual è il costo totale del riscaldamento dell'acqua? (Questo calcolo illustrerà perché le piscine non vengono quasi mai riscaldate elettricamente!)
- 33.19.** La vita utile di una batteria di automobile prima che si renda necessario ricaricarla è espressa generalmente in amperora (o ampere-ora) (simbolo: Ah) (unità fuori SI, ma legale). Una tipica batteria di 12 V avrà una vita utile nominale di 60 Ah. Ciò significa che la batteria potrà fornire una corrente di 60 A per 1 h, o una corrente di 1 A per 60 h, o una corrente di 3 A per 20 h, e così via. Si supponga di dimenticare di spegnere i proiettori dell'automobile. Quanto tempo dovrà trascorrere perché la batteria si scarichi se ciascuna lampada consuma una potenza di 50 W?
- 33.20.** Una stufa, posta in un circuito di resistenza trascurabile alimentato a 220 V, assorbe una potenza di 1.1kW. Poiché in tali condizioni riscalda troppo, si inserisce una resistenza di 11 Ω in serie con la stufa. Calcolare di quanto si riduce la potenza dissipata attraverso la stufa e l'intero circuito. [36%; 20%]
- 33.21.** Utilizzando l'energia dissipata in un resistore percorso da corrente a 220V, si vogliono portare all'ebollizione in 20 minuti 5kg di acqua inizialmente a 20°C. Tenendo conto che a causa delle perdite di calore il rendimento è dell' 80%, determinare l'intensità di corrente che deve attraversare il resistore e la sua resistenza. [7.9A; 27.8Ω]
- 33.22..** Due stufe sono poste in parallelo in un circuito alimentato da una d.d.p. di 220 V. In tali condizioni esse dissipano rispettivamente 1100 W e 2000 W. Calcolare la potenza complessivamente dissipata e l'energia consumata dalle stufe per 5 ore di funzionamento se vengono collegate in serie nello stesso circuito. [709 W; 3545 Wh]
- 33.23..** Disponendo di un generatore di f.e.m. 100 V e resistenza interna trascurabile, capace di erogare una corrente di 10 A, si vuole costruire il circuito elettrico di uno scaldabagno atto a portare 50 L di acqua da 20°C a 70 °C. Si determini il consumo in kWh, supponendo che il rendimento sia dell' 80%, l'intervallo di tempo minimo necessario per portare l'acqua alla temperatura finale e la lunghezza del filo necessario nell'ipotesi di utilizzare un resistore di resistività $5 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$ e raggio 0.2 mm. [3.6 kWh; 3.6 h; 2.5 m]
- 33.24..** Un resistore alimentato a 220 V posto in un calorimetro contenente un miscuglio di acqua e ghiaccio fa fondere in 3 minuti 30 grammi di ghiaccio a 0 °C. Calcolare la resistenza del resistore. [871Ω]
-