

LA PRIMA E LA SECONDA LEGGE DI OHM

In questa lezione apprenderemo:

- la prima e la seconda legge di Ohm
- che cos'è la resistività
- che cosa sono i superconduttori

La prima legge di Ohm

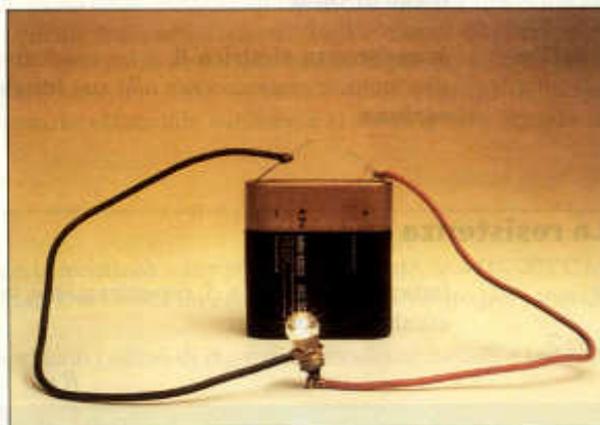
p 221

In precedenza abbiamo appreso che ciò che determina una corrente elettrica fra due punti di un conduttore è la differenza di potenziale esistente fra i due punti.

Possiamo affermare, dunque, che fra la differenza di potenziale e la corrente elettrica esiste un rapporto di causa ed effetto: la differenza di potenziale è la causa, la corrente elettrica l'effetto (fig. 1).



1. Fra differenza di potenziale e corrente elettrica esiste un rapporto di causa ed effetto: la differenza di potenziale è la causa, la corrente elettrica l'effetto.



La precisazione in termini quantitativi della relazione esistente tra la differenza di potenziale ΔV e l'intensità di corrente I fu ottenuta per via sperimentale nel 1827 dal fisico tedesco Ohm. L'enunciato della legge che regola il fenomeno (**prima legge di Ohm**) è il seguente:

Prima legge di Ohm

L'intensità I di corrente che fluisce attraverso un conduttore è direttamente proporzionale alla differenza di potenziale ΔV esistente tra gli estremi del conduttore stesso. Ossia:

che ripassa gli studi condotti da Ohm sulle leggi che stanno all'esploramento dei metalli di diverse temperature e conclude che il potere conduttore dei metalli varia con la temperatura ed è più basso però nello stesso rapporto in cui la temperatura si più abbassa.

$$\frac{\Delta V}{I} = \text{cost} \quad [45.1.]$$

La seconda legge di Ohm

p 222

Cerchiamo, ora, di precisare meglio il significato della costante espressa dalla legge: il suo valore è sempre lo stesso o varia al variare del conduttore in esame? Ebbene, il valore della costante non è sempre lo stesso; varia al variare del conduttore in esame.

Per dimostrarlo è sufficiente sostituire la lampadina utilizzata in fig. 1 con un'altra lampadina, con caratteristiche di costruzione diverse. Effettuando opportune misurazioni, troveremo che il rapporto $\Delta V/I$ naturalmente è ancora costante, ma che il suo valore è cambiato. Tale costante, dunque, è una caratteristica di ciascun conduttore. Ossia:

Conduttori e intensità della corrente



a parità di ΔV , conduttori diversi sono attraversati da correnti elettriche di intensità diverse.

Ciò dipende dal fatto che le cariche elettriche trovano più difficoltà (più resistenza) a muoversi in alcuni conduttori e meno in altri. Per questo motivo alla costante che stiamo esaminando si dà il nome di **resistenza elettrica del conduttore**.

Essa viene indicata con la lettera R , per cui la [45.1.] può essere riscritta nella forma:

$$\frac{\Delta V}{I} = R$$

Ogni conduttore, quindi, è caratterizzato da una propria resistenza elettrica R . Ma da che cosa dipende il valore di R ?

L'esperienza ci mostra che esso dipende, oltre che dalla natura del conduttore (ferro, rame, zinco ecc.), anche dalla sua lunghezza e dalla sua sezione.

L'enunciazione di tale risultato d'esperienza costituisce il contenuto della **seconda legge di Ohm**:

Seconda legge di Ohm

la **resistenza elettrica R** di un conduttore dipende dal **materiale del conduttore**, è direttamente proporzionale alla sua **lunghezza** e inversamente proporzionale alla sua **sezione**.

La resistenza specifica

Indicando con R , l e S , rispettivamente, la resistenza, la lunghezza e la sezione di un conduttore, abbiamo:

p. 222

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad \begin{matrix} \text{(lunghezza)} \\ \text{(sezione)} \end{matrix} \quad [45.2]$$

Nella [45.2.] la **costante di proporzionalità ρ** :

La resistenza specifica o resistività

è una **grandezza (parametro) caratteristica di ciascun conduttore** e prende il nome di **resistività o resistenza specifica**.

Disponendo di più conduttori, di diversa natura, lunghezza e sezione, si può facilmente verificare la validità della [45.2.].

Nel SI l'unità di misura della resistenza elettrica è l'**ohm (Ω)**:

Che cos'è l'ohm

l'**ohm** è la **resistenza di un conduttore** che è attraversato dalla corrente di **1 ampere** quando ai suoi estremi è applicata la differenza di potenziale di **1 volt**.

Ossia:

unità di resistenza elct. $1 \text{ ohm} = \frac{1 \text{ volt}}{1 \text{ ampere}}$

Nei circuiti elettrici una resistenza è rappresentata con il simbolo:



Dalla [45.2.] si ricava che la resistenza specifica ρ di un conduttore è espressa dall'equazione:

$$\rho = \frac{RS}{l}$$

Che cos'è la resistenza specifica

La resistenza specifica di un conduttore rappresenta la **resistenza di quel conduttore che ha la lunghezza di 1 metro e la sezione di 1 mm quadrato.**

Essa abitualmente si misura in $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$.

Per esempio, affermare che la resistenza specifica del rame è $0.017 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, significa dire che un filo di rame lungo 1 m e avente la sezione di 1 mm^2 ha una resistenza di 0.017Ω .

Nel SI, dato che la sezione è misurata in m^2 , ρ viene calcolata in $\Omega \cdot \text{m}^2/\text{m} = \Omega \cdot \text{m}$.

Le variazioni della resistenza al variare della temperatura

ρ 223

Gli ioni dei reticoli cristallini di cui abbiamo parlato nella lezione 44 non sono fermi: essi oscillano intorno a una determinata posizione di equilibrio. Tale oscillazione varia al variare della temperatura (stato di agitazione termica).

La resistenza al moto degli elettroni di conduzione nella direzione del campo elettrico è proprio l'effetto degli urti continui degli elettroni di conduzione con tali ioni. Poiché lo stato di agitazione termica degli ioni dipende dalla temperatura, dobbiamo attenderci - intuitivamente - una variazione della resistività della sostanza al variare della temperatura. In effetti, tale variazione si verifica; essa accade secondo la legge sperimentale:

$$\rho = \rho_{20} (1 + \alpha \Delta t)$$

dove ρ_{20} indica la resistività a temperatura ambiente, $\Delta t = (t - 20)^\circ\text{C}$ indica la variazione di temperatura e α indica un coefficiente, il cui valore, per i metalli puri, è all'incirca $1/273$.

Nella tab. 1 riportiamo i valori di ρ_{20} e di α per alcuni metalli e per alcune leghe.

Tab. 1. Valori di ρ_{20} e α .

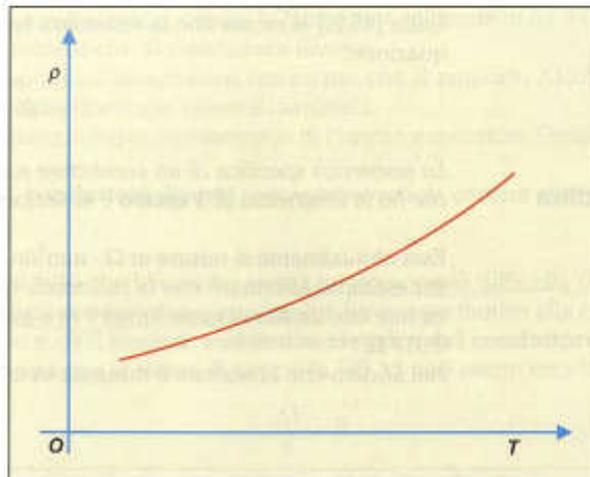
sostanza	$\rho_{20}(\Omega \cdot \text{m})$	coefficiente α
rame	$1.67 \cdot 10^{-8}$	0.0040
ferro	$10 \cdot 10^{-8}$	0.0050
argento	$1.59 \cdot 10^{-8}$	0.0038
tungsteno	$5.50 \cdot 10^{-8}$	0.0047
platino	$9.8 \cdot 10^{-8}$	0.0036
nichelcromo	$112 \cdot 10^{-8}$	0.0016

La fig. 2 mostra la variazione tipica di ρ in funzione della temperatura per alcune sostanze (qui si sono assunte, come esempio, il rame e l'argento). L'andamento di ρ in funzione della temperatura si giustifica alla luce delle seguenti considerazioni. Il valore di ρ dipende da due fattori.

Da che cosa dipende il valore di ρ

1. Il numero degli elettroni di conduzione presenti in ogni centimetro cubo della sostanza in esame.
2. Il numero degli urti che un elettrone di conduzione subisce mediamente da parte degli ioni del reticolo.

2. L'andamento della resistività ρ in funzione della temperatura T per sostanze quali il rame e l'argento.



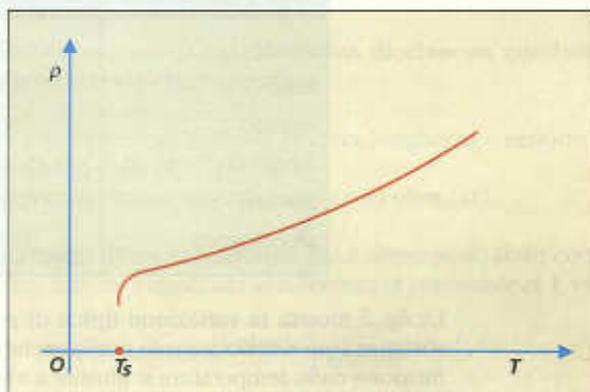
È stato sperimentalmente dimostrato che il numero degli elettroni per cm^3 non cambia al variare della temperatura; pertanto, per calcolare ρ è sufficiente conoscere l'entità della frequenza degli urti cui sono sottoposti gli elettroni di conduzione. Tale frequenza aumenta al crescere della temperatura. In conseguenza di tale aumento, il moto di ciascun elettrone diventa sempre più disordinato. Il risultato finale è che gli elettroni di conduzione sono maggiormente ostacolati a muoversi in modo ordinato nella direzione del campo.

La superconduttività

$\rho \propto T$

Per un gran numero di conduttori, l'andamento della curva illustrata nella fig.2 non è valido. Per essi, il fisico olandese H. Kamerlingh Onnes accertò nel 1911 un andamento del tipo di quello illustrato nella fig.3. A differenza di quanto accade per la curva tipica del rame e dell'argento, notiamo che a una determinata temperatura T_s il valore di ρ scende bruscamente a zero. Una volta raggiunta tale temperatura, cioè, il conduttore non presenta più alcuna resistenza. Ossia, a partire dalla temperatura T_s (detta *temperatura di transizione*) e per valori inferiori, il conduttore diventa **superconduttore**.

3. Per alcune sostanze esiste un valore T_s della temperatura in prossimità del quale ρ tende a diventare rapidamente zero. Tali sostanze sono dette **superconduttori**.



Che cos'è un superconduttore

In un **superconduttore**, una corrente elettrica si mantiene pressoché **costante in intensità**, anche al cessare della causa che l'ha prodotta.

Pertanto, in un superconduttore una corrente può continuare a scorrere indefinitamente. Esperimenti condotti in tal senso hanno mostrato che in un conduttore di questo

tipo una corrente può continuare a scorrere – praticamente inalterata – anche per oltre due anni dopo che sia stato tolto il collegamento con il generatore.

Sono numerose le sostanze che a temperature inferiori ai 10 K diventano superconduttrici. Ciò accade, per esempio, per il mercurio, quando T_S assume il valore $T_S \approx 4.12$ K; per il piombo, quando T_S assume il valore $T_S \approx 7.2$ K; per lo stagno, quando T_S assume il valore $T_S \approx 3.73$ K ecc. Come si vede, si tratta di temperature estremamente basse, che impediscono un proficuo impiego tecnologico delle sostanze in esame.

Ma negli ultimi anni sono state sperimentate alcune leghe che presentano temperature di transizione T_S relativamente elevate. La ricerca in questo campo è in piena attività e non è escluso che tra breve si possa utilizzare la superconduttività su vasta scala e in svariati settori tecnologici. Consideriamo alcuni esempi.

Già oggi vengono costruite bobine superconduttrici per la generazione di intensi campi magnetici. Come vedremo in seguito, maggiore è la corrente fatta fluire nella bobina, maggiore è il campo magnetico prodotto. Si potrebbe pensare, quindi, di immettere correnti di intensità sempre più elevata. Infatti, mancando la resistenza, ciò comporterebbe un consumo di energia del tutto trascurabile. Come risultato, si otterrebbero elettromagneti di intensità incredibilmente elevata. Con tali elettromagneti sarebbe possibile, per esempio, far levitare treni, eliminando gli attriti. Esperimenti in tal senso sono già stati compiuti, con ottimi risultati, soprattutto in Giappone e in Germania. Vi sono comunque limiti alla realizzazione di tali potentissime elettrocalamite. La corrente, infatti, non può superare determinati valori. Al di là di tali valori, la sostanza utilizzata per la loro realizzazione, anche a temperature inferiori a quella di transizione, perde le caratteristiche di superconduttività. Per tale motivo si è alla ricerca di sostanze che mantengano la superconduttività anche per elevati valori di corrente in presenza di elevati campi magnetici. Un altro esempio di applicazione tecnologica del fenomeno della superconduttività è costituito dall'impiego di materiali superconduttori per trasportare l'energia elettrica dai luoghi di produzione a quelli di utilizzazione. Come vedremo in seguito, a tali condizioni la mancanza di resistenza fa sì che il trasporto dell'energia elettrica avvenga senza che si verifichino perdite di calore lungo il percorso. Per quanto riguarda i calcolatori, infine, si pensa che la prossima generazione di computer sarà realizzata proprio impiegando materiali superconduttori. Ciò consentirà di costruire macchine più piccole e più veloci.

TEST

- 1 Enuncia la prima legge di Ohm.
- 2 Che cosa rappresenta la resistenza elettrica?
- 3 Come si misura la resistenza elettrica?
- 4 Enuncia la seconda legge di Ohm.
- 5 Calcola la lunghezza di un filo di rame avente la sezione di 1.5 mm^2 , sapendo che la sua resistenza è di 4Ω e la resistenza specifica di $0.017 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$.
- 6 Che cosa rappresenta la resistenza specifica di un conduttore?
- 7 "La resistività di un conduttore è una costante: essa, pertanto, è sempre la stessa qualunque sia la temperatura del conduttore". Vero o falso?
- 8 Che cosa rappresenta la temperatura di transizione?
- 9 Per quali valori di temperatura un conduttore diventa superconduttore?
- 10 Che cosa impedisce un proficuo impiego tecnologico dei superconduttori?
- 11 Determina l'intensità di corrente che passa in un conduttore ai cui estremi è applicata una differenza di potenziale di 30 V e che abbia una resistenza di 20Ω .

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Verifica della prima legge di Ohm

Introduzione

In un conduttore metallico la d. d. p. ΔV applicata ai suoi estremi e la corrente i che lo percorre sono direttamente proporzionali, così il rapporto $\Delta V/i$ è costante al variare della ΔV applicata. Indicando con R tale rapporto, si ha:

$$\frac{\Delta V}{i} = R \text{ da cui } i = \frac{\Delta V}{R}$$

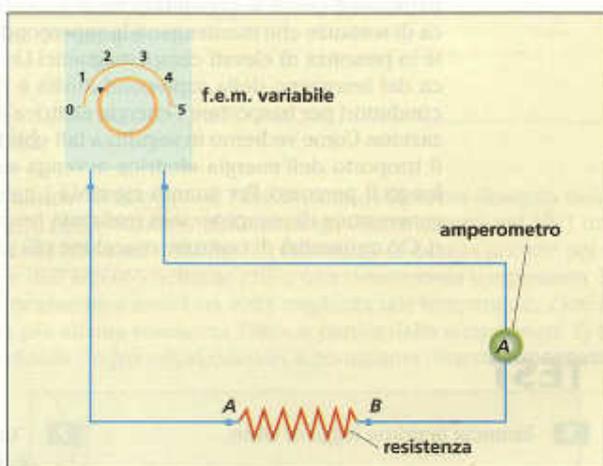
dove R , detta resistenza elettrica, è una proprietà intrinseca del conduttore.

Scopo dell'esperienza: verificare tramite un dispositivo (fig. 4), per un dato conduttore, la proporzionalità tra i e ΔV .

Prerequisiti: conoscere le definizioni di d. d. p., di intensità della corrente elettrica e le loro unità di misura; conoscere gli elementi di un circuito; saper inserire e usare l'amperometro.

Materiali occorrenti: batteria di pile, amperometro, filo di nichelcromo o di altra sostanza.

Fig. 4



Procedimento

- L'esperienza consiste nel misurare l'intensità di corrente misurata dall'amperometro al variare della differenza di potenziale applicata agli estremi del filo scelto come resistenza. La variazione di potenziale si ottiene inserendo prima 5 elementi del generatore, poi 4, poi 3, fino a 1.

Ogni volta si misura la corrente che circola.

Poiché ogni elemento fornisce un'uguale differenza di potenziale, si può assumere il numero degli elementi come una misura indiretta di quest'ultima.

- Monta il circuito disponendo in serie la resistenza, l'amperometro e il generatore. Inserisci 5 elementi e misura l'intensità della corrente:

$$I_5 = \dots$$

- Inserisci 4 elementi e misura l'intensità della corrente:

$$I_4 = \dots$$

- Inserisci 3 elementi e misura l'intensità della corrente:

$$I_3 = \dots$$

- Inserisci 2 elementi e misura l'intensità della corrente:

$$I_2 = \dots$$

- Inserisci 1 elemento e misura l'intensità della corrente:

$$I_1 = \dots$$

- Disegna il grafico della corrente in funzione della tensione.

Domande

Vero o falso?

Indica le risposte che ritieni giuste.

L'esperienza realizzata porta a concludere che:

1. l'intensità di corrente è direttamente proporzionale alla resistenza;
2. l'intensità di corrente è indipendente dalla tensione;
3. l'intensità di corrente è direttamente proporzionale alla tensione;
4. l'intensità di corrente è inversamente proporzionale alla tensione.



Elaborazione al computer

Preparazione del foglio

- Inserisci nella cella A1 l'etichetta *num. el.* e nelle celle sottostanti il numero di elementi del generatore utilizzati.

	A	B	C
1	<i>num. el.</i>	<i>int. (I)</i>	<i>V/I</i>
2	5	...	+A2/B2
3	4	...	↓
4	3
5	2
6	1		

- Scrivi nella cella B1 l'etichetta *int. (I)* e nella zona sottostante i valori dell'intensità di corrente rilevati di volta in volta.
- Scrivi nella cella C1 l'etichetta *V/i* e nella cella C2 l'espressione +A2/B2, che fornisce il valore del rapporto tensione corrente.
- Copia le celle C2 in C3..C6.

Rappresentazione grafica

- Attiva la procedura *Grafo*.
- Scegli una rappresentazione *x, y*.
- Indica come asse delle *x* la zona A2..A6.
- Indica come asse delle *y* la zona B2..B6.
- Visualizza.

Allievo 4

- Misura la lunghezza l del conduttore:

$$l = \dots$$

- Misura lo spessore con il calibro Palmer:

$$\text{spessore} = \dots$$

La sezione corrispondente al valore del diametro è:

$$S = \dots$$

- Chiudi l'interruttore e misura la tensione V ai capi del conduttore:

$$V = \dots$$

- Leggi la corrente I sull'amperometro:

$$I = \dots$$

Con i dati relativi alle misure, si ottiene il seguente valore della resistenza specifica:

$$\rho = \dots$$

Il valore medio trovato è:

$$\rho = \dots$$