

Resistenza elettrica

La **resistenza elettrica** è una **grandezza fisica scalare** che misura la tendenza di un **conduttore** ad opporsi al passaggio di una **corrente elettrica** quando è sottoposto ad una **tensione**. Questa opposizione dipende dal **materiale** con cui è realizzato, dalle sue dimensioni e dalla sua **temperatura**. Uno degli effetti del passaggio di corrente in un conduttore è il suo riscaldamento (**effetto Joule**).

Indice

- 1 [Definizione](#)
- 2 [Resistenza di un filo conduttore](#)
- 3 [Dipendenza dalla temperatura](#)
- 4 [Resistenza alla corrente alternata o Impedenza](#)
- 5 [Reattanza induttiva e reattanza capacitiva](#)
- 6 [Circuito oscillante](#)
- 7 [La resistenza elettrica secondo il Modello di Drude](#)
- 8 [Circuito in serie e in parallelo](#)
 - 8.1 [Resistenze in serie](#)
 - 8.2 [Resistenze in parallelo](#)
- 9 [Ulteriori relazioni fisiche](#)
- 10 [Resistenza differenziale](#)
- 11 [Resistenza interna di un generatore](#)
- 12 [Potenza dissipata \(Effetto Joule\)](#)
- 13 [Superconduttività](#)
- 14 [Semiconduttività](#)
- 15 [Voci correlate](#)
- 16 [Collegamenti esterni](#)

Definizione

La resistenza è data da:

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

dove:

- R è la resistenza tra gli estremi del componente
- V la **tensione** a cui è sottoposto il componente
- I è l'**intensità di corrente** che attraversa il componente

Nel **sistema internazionale** l'**unità di misura** della resistenza elettrica è l'**ohm**, indicato con la lettera greca maiuscola **omega**: Ω .

NOTE: l'equazione sopra riportata non esprime la **legge di Ohm**: questa equazione è semplicemente la definizione di resistenza. La legge di Ohm, invece, si riferisce a una relazione lineare fra corrente e tensione per alcune classi di conduttori, per i quali il rapporto tra tensione e corrente è costante, indipendentemente dalla tensione applicata. Per queste classi di conduttori, allora, la definizione sopra di resistenza diventa anche la prima legge di Ohm.

Nei circuiti in corrente continua, per i conduttori a resistenza costante (per esempio fili metallici, soluzioni elettrolitiche), è valida la legge di Ohm, che stabilisce che la corrente I è proporzionale alla tensione V applicata. Il fattore di proporzionalità G si chiama **conduttanza**. Esso è il reciproco della resistenza R . Esso vale:

$$G = \frac{1}{R}; I = G \cdot V.$$

La **conduttanza** è misurata in **siemens** (simbolo: una S maiuscola).

Le unità di misura riportate sono quelle del **Sistema Internazionale di unità di misura**.

Quando, al variare della tensione applicata, la corrente varia in maniera proporzionale (e quindi il loro rapporto, la resistenza, si mantiene costante) si dice che il componente ha un comportamento *ohmico* in quanto segue la **legge di Ohm**.

In generale, non esistono materiali a resistenza nulla o infinita, tali da permettere un passaggio di corrente senza perdere parte della potenza in **calore**, o tali da impedire il passaggio di qualsiasi **corrente elettrica**. In altre parole, non esiste in natura né un perfetto **conduttore elettrico** né un perfetto **isolante elettrico** e si può scrivere che:

$$0 < R < +\infty.$$

Resistenza di un filo conduttore

La resistenza R di un filo è direttamente proporzionale alla sua lunghezza ed è inversamente proporzionale alla sua sezione, ovvero può essere calcolata tramite la seconda legge di Ohm:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

dove:

l è la lunghezza del filo, misurata in **metri**

S è l'area della sezione, misurata in metri²

ρ (lettera greca: *ro* minuscola) è la **resistività elettrica** (detta anche *resistenza elettrica specifica* o resistività) del

materiale, misurata in $\text{ohm} \cdot \text{metro}$. È la misura della capacità del materiale di opporsi al fluire in esso della corrente elettrica (indipendentemente dalle sue dimensioni e dalla sua forma). Frequentemente la resistenza specifica viene data in $\text{ohm} \times \text{mm}^2 / \text{m}$ e ciò esprime la resistenza in ohm di uno specifico materiale di lunghezza 1 metro e sezione 1 mm^2 . Ad esempio la resistenza specifica del rame è $0,0175 \text{ ohm} \times \text{mm}^2 / \text{m}$ e ciò sta ad indicare che un filo di rame di lunghezza 1 metro e sezione 1 mm^2 ha una resistenza elettrica di $0,0175 \text{ ohm}$.

Nota aggiuntiva: vi sono due motivi per cui una piccola sezione del filo tende ad aumentare la sua resistenza. Uno è che gli elettroni, che hanno tutti la stessa carica negativa, si respingono tra di loro. Quindi c'è una resistenza alla loro compressione in un piccolo spazio. L'altro motivo è dovuto al fatto che gli elettroni 'si urtano' tra di loro generando *scattering* (in inglese letteralmente: sparpagliamento, dispersione) e quindi mutano la loro traiettoria originale. (Una discussione più approfondita si trova a pag. 27 di ""Industrial Electronics,..."; autore: D. J. Shanefield; editore: Noyes Publications, Boston, 2001).

Dipendenza dalla temperatura

Come scritto sopra, la resistenza di un conduttore si calcola tramite

$$R_{20} = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

Ma questa vale soltanto per la temperatura per la quale è valida la resistenza specifica indicata. Se nulla è indicato questa è valida per una temperatura di 20° . Su questo anche l'indice 20 di R richiama l'attenzione. Sostanzialmente la resistenza elettrica è dipendente dalla temperatura. Ciò è valido per tutti i materiali. Questo comportamento è dipendente dal materiale ed è valutabile col *coefficiente di temperatura* lineare α e l'influenza dell'incremento di temperatura ΔT . Questo cambiamento si descrive generalmente tramite una linearizzazione.

$$\begin{aligned} R_w &= R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) = R(T_0)(1 + \alpha(T - T_0)) \\ T_{20} &= 20^\circ C \end{aligned}$$

Per la maggior parte dei materiali ed impieghi ciò è sufficiente, dato che i più elevati coefficienti di temperatura sono per lo più decisamente piccoli. A seconda che il valore della resistenza ohmica diventi più grande o più piccolo, si distingue tra conduttori "caldi" (il valore della resistenza ohmica sale: in linea di massima per tutti i metalli) e conduttori "freddi" (la resistenza ohmica diminuisce). Nelle applicazioni tecniche la dipendenza della resistenza dalla temperatura è utilizzata: p.es. nei termostati o negli anemometri a termistore. Il filo di *costantana* rappresenta una eccezione.

La resistenza elettrica di un tipico metallo conduttore *cresce* *linearmente* con la temperatura:

$$R = R_0 + R_0 \times \alpha T$$

La resistenza elettrica di un tipico semiconduttore *decresce* *esponenzialmente* con la temperatura:

$$R = R_0 \cdot e^{-\alpha T}$$

Resistenza alla corrente alternata o Impedenza

Con la corrente alternata la resistenza è generalmente dipendente dalla frequenza ed è denominata *impedenza*. L'impedenza si compone della resistenza reale R indipendente dalla frequenza e di una *reattanza* X (resistenza fittizia), che è costituita da induttori e rispettivamente capacità.

$$Z = R + jX$$

Operando un condensatore o un **induttore** in un circuito a corrente alternata, vale comunque anche per loro la legge di Ohm. Un condensatore presenta allora la sua resistenza d'isolamento e l'induttore la resistenza del suo avvolgimento.

Reattanza induttiva e reattanza capacitiva

La reattanza induttiva X_L e quella capacitiva X_C sono delle resistenze fittizie. Esse provocano uno sfasamento tra la tensione e la corrente. I componenti circuitali ideali non trasformano nessuna energia in calore. Nella pratica i componenti hanno sempre una parte ohmica. In corrente continua la reattanza induttiva di un induttore ideale è nulla e si ingrandisce in corrente alternata col crescere della frequenza:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

La reattanza capacitiva di un condensatore ideale è illimitata in corrente continua e diminuisce in corrente alternata col crescere della frequenza:

$$X_C = -\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

Circuito oscillante

Tramite il circuito in parallelo rispettivamente in serie di condensatori e induttori si concretizza un circuito oscillante . Il circuito oscillante ha una resistenza elettrica dipendente dalla frequenza, che solamente nell'intorno della frequenza di risonanza diventa estrema (minima rispettivamente massima). Questo effetto è utilizzato, tra l'altro, per filtrare da una miscelanea di segnali di frequenze diverse una frequenza nota. Con i circuiti risonanti reali occorrono delle perdite nei condensatori e negli induttori per la loro resistenza ohmica. Ma la resistenza ohmica dei condensatori si può, il più delle volte, trascurare. Per il circuito risonante in parallelo la resistenza di risonanza risulta

$$R_p = \frac{L}{R_L C}$$

Questo è ottenuto alla frequenza di risonanza, che può essere calcolata nel modo seguente:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

La resistenza elettrica secondo il Modello di Drude

La descrizione fisica della resistenza si serve dell'idea che gli elettroni di conduzione nei metalli si comportano come un gas (gas di elettroni). Nel modello più semplice, noto come **Modello di Drude**, il metallo costituisce un volume di particelle cariche positive omogenee in cui gli elettroni liberi si possono spostare liberamente. In questo volume sono immersi gli ioni, formati dai nuclei atomici e dagli elettroni fortemente vincolati nelle orbite più interne.

Quando si applica una **tensione** alle estremità del conduttore, gli elettroni liberi sono accelerati dal **campo elettrico**. L'**energia** degli elettroni aumenta e con essa la **temperatura** del gas di elettroni. Sul loro tragitto attraverso il metallo gli elettroni cedono una quota di energia mediante urti elastici contro gli ioni. Tramite questa interazione il sistema "Reticolo metallico-Gas di elettroni" si adopera per ridurre nuovamente il gradiente di temperatura che deriva dalla tensione applicata. Riscaldando il metallo si intensifica l'oscillazione termica degli ioni attorno alla loro posizione di equilibrio. Ma tramite ciò si innalza anche l'interazione con il gas di elettroni e la resistenza aumenta.

Tuttavia, ciò non chiarisce l'effetto del "conduttore caldo", che si comporta oppostamente. Alle temperature alle quali i

metalli sono ionizzati (plasma), ogni materiale è conduttore di elettricità, poiché ora gli elettroni che erano precedentemente vincolati sono a disposizione per il trasporto di cariche elettriche. Al contrario sono noti dei metalli e degli ossidi per i quali la resistenza elettrica, al disotto di una temperatura cosiddetta critica, si annulla: i [superconduttori](#).

Circuito in serie e in parallelo

Resistenze in serie

Se un certo numero di resistenze sono collegate in serie, in esse passa la stessa quantità di corrente, essendoci solo un percorso possibile, di conseguenza, la somma delle tensioni è uguale alla [forza elettromotrice](#) prodotta dal generatore. Quindi

$$\epsilon = V_1 + V_2 + \dots + V_n = IR_1 + IR_2 + \dots + IR_n = I(\sum R)$$

Considerando un circuito nel quale vi sia una singola resistenza tale che la resistenza prodotta in questo circuito sia uguale a quella di partenza, si definisce come *resistenza equivalente* la somma delle singole resistenze.

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum R$$

Questo può raffigurarsi su due resistenze, che si differiscono l'una dall'altra solo nella lunghezza.

Il collegamento in serie da come risultato un corpo di resistenza di lunghezza $l_1 + l_2$. È valido quindi

$$R = \rho \frac{l_1 + l_2}{S} = \rho \frac{l_1}{S} + \rho \frac{l_2}{S} = R_1 + R_2$$

Resistenze in parallelo

Se un certo numero di resistenze viene invece collegato in parallelo, tutte le differenze sono collegate alla stessa [differenza di potenziale](#), pari alla fem. L'intensità totale della corrente sarà quindi :

$$I_{tot} = I_1 + I_2 + \dots + I_n = \frac{\epsilon}{R_1} + \frac{\epsilon}{R_2} + \dots + \frac{\epsilon}{R_n} = \epsilon \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) = \epsilon \left(\sum \frac{1}{R} \right)$$

Considerando un circuito nel quale vi sia una singola resistenza tale che la resistenza prodotta in questo circuito sia uguale a quella di partenza, si definisce come *resistenza equivalente* il reciproco della somma dei reciproci delle singole resistenze.

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum \frac{1}{R}$$

la resistenza equivalente si ricava quindi come

$$\frac{1}{\sum \frac{1}{R}}$$

La penultima equazione può essere scritta come

$$R_{eq} = R_1 || R_2 || \dots || R_n$$

Oppure considerando la conduttanza, definita come il reciproco della resistenza

$$G_{eq} = G_1 + G_2 + \dots + G_n$$

L'unità di misura della conduttanza nel sistema internazionale è il reciproco dell'**ohm**, il **siemens**. Ci si può immaginare questa connessione con l'unione di due resistenze, che si differenziano l'una dall'altra solo nel *l*w e aree delle sezioni trasversali *A*.

Una resistenza si ricava dalla superficie totale (*S*₁+*S*₂) delle sezioni trasversali, di conseguenza vale:

$$R_p = \rho \frac{l}{S_1 + S_2}$$

e da ciò

$$\frac{1}{R} = \frac{S_1 + S_2}{\rho l} = \frac{S_1}{\rho l} + \frac{S_2}{\rho l} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Ulteriori relazioni fisiche

In una resistenza che segue la legge di Ohm, esistono le seguenti relazioni tra la Tensione *V*, la Corrente *I* e la Potenza elettrica *P* rispettivamente il Lavoro elettrico *Wh*.

$$\begin{aligned} V &= R \cdot I \\ P &= V \cdot I = \frac{V^2}{R} = I^2 \cdot R \\ Wh &= P \cdot t = \frac{V^2}{R} \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t \end{aligned}$$

Resistenza differenziale

Quando la resistenza non è costante ma dipende dalla tensione e dalla corrente si definisce la **resistenza differenziale** o **resistenza incrementale**. Essa è il coefficiente angolare della retta tangente alla curva nel diagramma che rappresenta *V-I* (tensione in funzione della corrente) nel particolare punto che interessa, cioè la **derivata** della tensione rispetto alla corrente in quel punto della curva:

$$R = \frac{dV}{dI}$$

Talvolta, quella appena definita, viene chiamata semplicemente *resistenza*, benché le due definizioni siano equivalenti solo per un componente ohmmico come un resistore ideale che nel piano [*V-I*] è una retta. Se la funzione *V-I* non è **monotona** (cioè ha un picco o un avvallamento) la resistenza differenziale sarà negativa per alcuni valori di tensione e corrente, cosicché con una tensione in aumento l'intensità della corrente decresce, rispettivamente con una tensione decrescente l'intensità della corrente aumenta. Questa proprietà è spesso chiamata **resistenza negativa**, anche se è più corretto chiamarla **resistenza differenziale negativa**, visto che la resistenza assoluta (tensione divisa per la corrente) resta sempre positiva. Una resistenza differenziale negativa può venire utilizzata per la eccitazione di circuiti

oscillanti o per la generazione di oscillazioni di rilassamento. La resistenza differenziale occorre per esempio con i diodi a tunnel o nella ionizzazione a valanga.

Al contrario con una **resistenza differenziale positiva** la corrente aumenta con una tensione in aumento. Tutti gli elementi circuitali reali esistenti hanno in una parte delle loro curve caratteristiche, tuttavia sempre per valori molto grandi una resistenza differenziale per lo più positiva. Per esempio: le resistenze reali, i diodi, i diodi Zener, tutte le ceramiche semiconduttrici.

Resistenza interna di un generatore

La **forza elettromotrice** di un generatore rappresenta la d.d.p. (differenza di potenziale) presente ai capi di un generatore quando il **circuito** è aperto. Chiudendo il circuito e diminuendo la resistenza del reostato aumenta la corrente che passa nel circuito e diminuisce la tensione $V_A - V_B$ misurata con **voltmetro**.

$$V_A - V_B = V_0 - RI$$

I generatori hanno una piccola resistenza interna che provoca una caduta di tensione IR tanto più grande quanto maggiore è la corrente I .

L'**amperometro** che è inserito in serie, deve avere la resistenza interna più piccola possibile per rendere minima la caduta di tensione ai suoi capi, mentre il voltmetro che inserito in parallelo deve avere la resistenza interna più grande possibile per rendere minima la corrente I che lo attraversa.

Potenza dissipata (Effetto Joule)

Si è detto che la presenza di una resistenza determina un riscaldamento del componente. Più precisamente la **potenza** dissipata in **calore** è data dalla relazione:

$$P = R \cdot I^2$$

dove:

P è la potenza misurata in **watt** (le altre grandezze sono state già definite sopra).

L'espressione si ricava dalla definizione di potenza elettrica, come prodotto di corrente e tensione, sostituendovi la prima legge di Ohm:

dato

$$\begin{aligned} P &= V \cdot I, \text{ e} \\ V &= R \cdot I, \text{ si ha che:} \\ P &= R \cdot I^2. \end{aligned}$$

Questo effetto è utile in alcune applicazioni come le **lampade ad incandescenza** oppure negli apparati riscaldanti ad energia elettrica (ad esempio: gli asciugacapelli) ma non è certo voluto nelle linee di distribuzione dell'energia elettrica dove l'**effetto joule** provoca perdite di potenza elettrica lungo tali linee che vanno contenute scegliendo opportunamente le dimensioni dei cavi elettrici che trasportano l'energia.

Superconduttività

Al di sotto di una temperatura critica specifica e di un campo magnetico critico alcuni materiali (detti superconduttori) assumono un valore di resistenza ohmica nulla. Per ciò tale materiale è chiamato superconduttore, la corrente vi scorre con questa bassa temperatura senza perdite di sorta, ad eccezione dell'attrito magnetico.

Varie applicazioni dei superconduttori sono i motori dewar a levitazione, i treni a levitazione, gli squid ed apparecchiature elettromedicali.

Semiconduttività

Alcuni elementi come il germanio e il silicio assumono un comportamento differente a seconda della temperatura, infatti si comportano come isolanti a temperature molto basse mentre a temperatura ambiente (circa 20°) si comportano come conduttori. Inoltre è possibile aumentare notevolmente la loro conduttività elettrica inserendo delle "impurità" (ad esempio elementi trivalenti o pentavalenti) attraverso la tecnica del drogaggio. I semiconduttori sono elementi tetravalenti, ovvero che possiedono nell'orbitale più esterno 4 elettroni, legati a quelli dell'atomo adiacente attraverso un legame covalente (facilmente spezzabile). A temperatura bassa questa struttura non permette agli elettroni di muoversi liberamente e perciò questi elementi si comportano come isolanti; tuttavia a temperature più elevate alcuni legami covalenti si possono spezzare liberando elettroni che contribuiscono ad accrescere la conduzione elettrica. Nel momento in cui l'elettrone abbandona l'atomo si forma un "buco" chiamato lacuna che può attirare un altro elettrone e via dicendo seguendo un effetto a catena. Come già detto all'inizio del paragrafo è possibile aumentare la conduttività di questi elementi attraverso il drogaggio. Inserendo un elemento pentavalente (ad esempio l'arsenico) si formano dei legami covalenti tra il semiconduttore stesso e l'elemento aggiunto. Tuttavia un elettrone rimane libero di muoversi e diventa un elettrone di conduzione. L'arsenico in questo caso viene chiamato donatore e il semiconduttore è denominato di tipo N. Se il drogaggio avviene per introduzione di un elemento trivalente (ad esempio l'alluminio) si formeranno 3 legami covalenti tra gli elettroni di ogni atomo del semiconduttore e quelli di ogni atomo dell'elemento aggiunto. Tuttavia un elettrone per ogni atomo del semiconduttore rimarrà libero e andrà ad aumentare la conduttività elettrica, lasciando libera una lacuna la quale tende a catturare un altro elettrone dagli atomi vicini del semiconduttore e via dicendo. In questo caso l'alluminio è chiamato accettore ed il semiconduttore è denominato di tipo P.

Voci correlate

- Resistore
- Legge di Ohm
- Partitore di tensione
- Divisori di corrente
- Resistenza termica
- Resistività elettrica
- Conduttanza elettrica
- Conduttività elettrica
- Leggi di Kirchhoff

Collegamenti esterni

- resistenza, reattanza e impedenza* (<http://www.webcitation.org/query.php?url=http://www.geocities.com/SiliconValley/2072/elecrr.htm>) (archiviato dall'url originale)

- (EN) Calcolo: resistenza elettrica, tensione, corrente e potenza (<http://www.opamplabs.com/eirp.htm>)
- (ES) Caratteristiche delle attrezzature per la misurazione della resistenza (<http://www.amperis.com/productos/ohmímetros/>)
- Calcola la resistenza dei conduttori elettrici (<http://www.bbaba.altervista.org/tools/ohm.php>)

Categorie: [Grandezze fisiche](#) | [Misure elettriche](#) | [Teoria dei circuiti](#)