

Corso di Elettrotecnica Generale

Capitolo 4 - Potenza elettrica

- 1 - Potenza ed energia
- 2 - Potenza elettrica
- 3 - Legge di Joule
- 4 - Bilancio delle potenze nei generatori
- 5 - Potenza assorbita da una f.c.e.m.

Collegamenti al sito.

1. [Codice Colore Resistenza](#)
2. [Calcola Resistenza](#)
3. [Simboli Abbreviazione Elettronica](#)
4. [Testare Diodi Transistor](#)

Potenza ed energia

Sotto il nome d'energia di un sistema si denota la capacità che ha quel sistema di trasformarsi compiendo un lavoro.

In base al principio della conservazione dell'energia, l'energia non può mai aumentare né diminuire ma solo trasformarsi o trasmettersi da un sistema ad un altro.

Il lavoro compiuto serve a valutare la quantità d'energia trasformata o trasmessa.

L'energia si misura nella stessa unità in cui si misura il lavoro.

Nel sistema di misura SI tale unità è il joule.

L'energia può presentarsi sotto due forme fondamentali:

- **Cinetica:** connessa all'inerzia dei corpi in movimento (in essa è da includersi l'energia termica, dovuta ai moti vibratorii delle particelle costituenti la materia).
 - **Potenziale:** connessa ai sistemi che sono mantenuti in uno stato d'equilibrio forzato e che pertanto hanno la tendenza a mettersi in movimento.
- Sono esempi d'energia potenziale l'energia posseduta dai corpi sospesi soggetti alla forza di gravità, l'energia dei corpi elastici deformati, e l'energia elettrica

In ogni fenomeno in cui avviene una trasmissione d'energia di una data forma, oppure una trasformazione d'energia da una forma ad un'altra si chiama con il nome di potenza: "La quantità d'energia che si trasmette o si trasforma nell'unità di tempo"

Così se un sistema trasmette a un altro sistema, nell'intervallo di tempo Δt , una quantità di energia pari a ΔW , si dirà che: il primo sistema sviluppa e trasmette al secondo, che la assorbe, la potenza

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

In altri termini, se un sistema sviluppa e l'altro assorbe la potenza P , ciò significa che nell'intervallo Δt il primo eroga e il secondo assorbe l'energia $\Delta W = P \Delta t$

Per poter valutare le potenze, è necessario definire la potenza unitaria, ossia quella che si assume per unità di misura della potenza. Se nella relazione

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

Si pone $\Delta W=1\text{J}$ e $\Delta t=1\text{s}$ risulta $P=1\text{J/s}$, e cioè nel Sistema Internazionale (SI) l'unità di potenza è il joule/secondo, unità che viene denominata watt e indicata col simbolo W; risulta quindi che

$$1 \text{ watt} = \frac{\text{Joule}}{\text{secondo}} \quad ; \quad 1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$$

In pratica si usa spesso il multiplo kilowatt (kW) equivalente a 10^3 W .

Qualche volta si adotta pure, per misure di potenze rilevanti, il megawatt (MW) che equivale a 10^6 W , e il gigawatt (GW) corrispondente a 10^9 W e perciò a mille megawatt.

Per misure di potenze piccolissime si usa invece il milliwatt (mW) pari a un millesimo di watt (10^{-3} W), e il microwatt (μW), pari a un milionesimo di watt (10^{-6} W).

Quindi si può dire che la potenza di 1 W compie nell'intervallo di tempo di 1 secondo (s) il lavoro di 1 Joule (J), il che equivale a dire che 1 J corrisponde al lavoro di 1 Ws (wattsecondo).

La stessa potenza di 1 W nel tempo di 1 ora (h) compie il lavoro di 3600 J, ossia 3600 Ws: questo lavoro si indica con il nome di wattora (Wh).

Analogamente si usa comunemente l'unità di energia kilowattora (kWh) prendendo come unità di potenza il kilowatt, e come unità di tempo l'ora (h).

Potenza elettrica

In ogni processo in cui l'energia elettrica (e cioè l'energia delle cariche elettriche) si genera con spesa di energia di altra forma, o si trasmette per trasformarsi a sua volta in altra energia, si dovrà indicare con il nome di potenza elettrica (rispettivamente generata, trasmessa, assorbita) la quantità di energia elettrica che si mette in gioco nell'unità di tempo.

Il lavoro elettrico che si mette in gioco nel trasferimento dell'unità di carica tra due punti qualsiasi corrisponde, per definizione, alla tensione elettrica V che esiste fra questi due punti.

Dato che in un circuito percorso da corrente accade, in ogni intervallo Δt , un trasferimento di cariche ΔQ pari in valore al prodotto dell'intensità I di tale corrente per la durata Δt , si comprende che la potenza elettrica resterà determinata dalle relazioni:

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{U \Delta Q}{\Delta t} = \frac{UI \Delta t}{\Delta t} = UI$$

Essendo $\Delta W = V \Delta Q$ l'energia messa in gioco dalle cariche nell'intervallo Δt .

In generale un circuito elettrico che presenta agli estremi una tensione costante V ed è percorso da una corrente costante I , eroga oppure assorbe (a seconda dei casi) la potenza elettrica espressa, in watt, dal seguente prodotto:

$$P = VI$$

Se il circuito rimane in funzione per un assegnato intervallo Δt , esso eroga oppure assorbe un'energia che è espressa, in joule, dalle seguenti relazioni:

$$Q = V I \Delta t = P \Delta t = \Delta W = \Delta E$$

Essendo $\Delta Q = I \Delta t$ la quantità d'elettricità che attraversa il circuito nell'intervallo di tempo.

Legge di Joule

Sia dato un conduttore, di resistenza elettrica R , percorso da una corrente d'intensità I .

La legge di Ohm, applicata a questo conduttore, è espressa dalla relazione $V=RI$, se con V si indica la tensione fra gli estremi del conduttore considerato come in figura 1

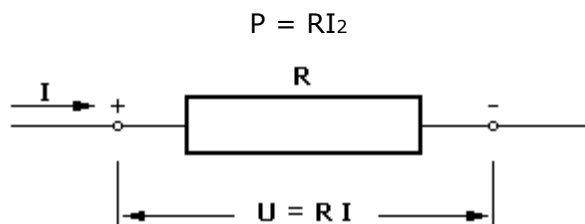


Figura 1 - Resistenza elettrica R percorsa dalla corrente I

La potenza che il conduttore assorbe dalla rimanente parte del circuito cui appartiene è data dal prodotto: $P=V I$

Sostituendo a V il valore di RI fornito dalla legge di Ohm, la potenza assorbita rimane espressa dalla seguente relazione:

$$P = V I = R I I = R I^2$$

Si può osservare subito che questo risultato è indipendente dal verso che la corrente ha nel tratto di conduttore considerato, perché il prodotto RI^2 si mantiene in ogni caso positivo. Inoltre, la potenza P è proporzionale alla resistenza R del conduttore e al quadrato della corrente I che lo percorre.

Come è noto, la resistenza elettrica deriva dall'attrito interno che si oppone allo spostamento degli elettroni nel filo metallico (cioè alla corrente): è perciò evidente che la potenza elettrica P altro non può essere se non la potenza che resta impegnata a produrre lo spostamento degli elettroni contro le **resistenze** passive che li frenano: tale potenza si trasforma in calore, ed è ciò che l'esperienza conferma (effetto joule).



Il fisico Joule (a sinistra), per primo determinò con accurate esperienze la quantità di calore che si sviluppa quando una corrente attraversa un conduttore di resistenza nota, e giunse così a enunciare la seguente legge, nota appunto sotto il nome di legge di joule: "**In un**

ca Generale - Capitolo 4 - Potenza elettrica

tratto di circuito di resistenza elettrica R, percorso da una corrente di intensità costante I, si sviluppa, ad ogni secondo una quantità di calore equivalente alla potenza elettrica $P = RI^2$ "

Talvolta conviene esprimere la potenza dissipata per effetto Joule in funzione della tensione V agente ai capi della resistenza R come in figura 2.

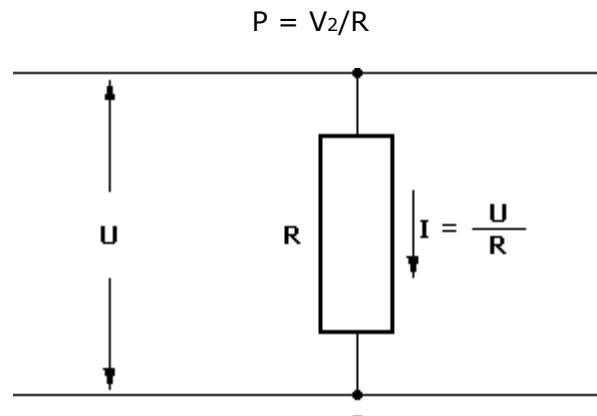


Figura 2 - Resistenza elettrica R alimentata alla tensione V (U nel disegno)

Avendosi in tal caso $I=V/R$ l'espressione della potenza assume la forma:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

L'effetto Joule è utilizzato, in particolare, oltre che in taluni forni industriali, nelle lampade ad incandescenza e in tutti gli apparecchi elettrici di riscaldamento a resistenza (ferri da stiro, stufe, bollitori, scaldabagni ecc.).

In questi apparecchi interessa concentrare la resistenza riscaldante nel minor spazio compatibile con la potenza dell'apparecchio e con le esigenze relative alla massima temperatura di esercizio che si vuol realizzare; tali resistenze vengono costruite in fili o nastri di metalli o di leghe speciali ad alta resistività atte a sopportare, senza ossidarsi o corrodersi, la temperatura di regime che deve essere raggiunta: così nelle lampade a incandescenza si usano filamenti di tungsteno, sotto vuoto o in gas inerte; nei comuni apparecchi di riscaldamento sono invece usate leghe di nichelcromo.

In tutte queste applicazioni la quantità di calore ΔQ_c che viene prodotta per effetto Joule in un tempo Δt prefissato si calcola immediatamente ricordando che in ogni trasformazione di energia in calore, la quantità di energia di 1 kWh produce una quantità di calore pari a 860 kcal: ne consegue che entro un apparecchio elettrotermico che assorbe una potenza elettrica P (kW), nel tempo di Δt ore viene generata una quantità di calore espressa dalla seguente relazione:

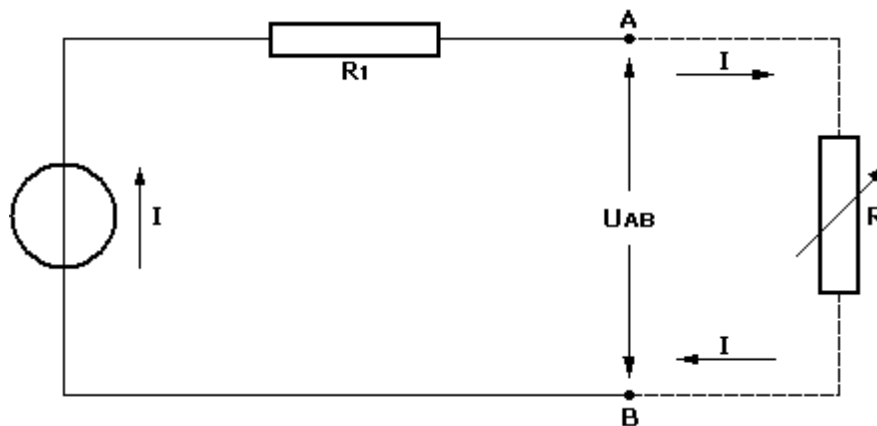
$$\Delta Q_c \text{ (kcal)} = 860 \times P \text{ (kW)} \times \Delta t \text{ (h)}$$

Nei circuiti elettrici che hanno tutt'altro scopo che quello di produrre del calore, l'effetto Joule rappresenta sempre una inevitabile perdita di potenza, che va a detrimento del rendimento dell'impianto.

Nei circuiti interni delle macchine elettriche, e lungo i fili delle linee di trasmissione dell'energia, si deve contenere questa perdita di potenza entro limiti tollerabili, proporzionando adeguatamente la sezione dei conduttori, anche al fine di contenere le sopraelevazioni di temperatura al disotto di quei valori oltre i quali sarebbe compromessa la buona conservazione degli isolamenti.

Bilancio delle potenze nei generatori

Si consideri un generatore elettrico avente una f.e.m. costante E e resistenza interna R_i , come in figura.



Se si ricorda che la f.e.m. è definita come il lavoro elettrico che corrisponde al trasferimento dell'unità di carica dal polo negativo al polo positivo, si comprende che, se il generatore viene attraversato nel verso della f.e.m. da una corrente I vuol dire che esso imprime a tale corrente un'energia al secondo, e cioè una potenza, pari al prodotto $E \times I$.

Ne segue che: **"La potenza generata da un generatore elettrico è rappresentata dal prodotto della sua f.e.m. E per la corrente I che esso eroga"**.

Indicando questa potenza con P_g si avrà quindi (in watt) $P_g = E I$

Se il circuito interno del generatore fosse privo di resistenza (e non provocasse quindi alcuna dissipazione d'energia elettrica in calore) l'intera potenza generata P_g sarebbe assunta come energia delle cariche elettriche uscenti dal morsetto positivo del generatore.

D'altra parte, la presenza di una certa resistenza interna R_i provoca una caduta di tensione interna pari a $R_i I$ e la tensione disponibile ai morsetti si riduce al valore

$$U_{AB} = V_{AB} = E - R_i I$$

Corrispondentemente la potenza elettrica P che esce effettivamente dal generatore e che è assorbita dal circuito esterno è determinata dalla seguente relazione

$$P = V_{AB} I = E I - R_i I^2$$

Si può dunque affermare che la potenza erogata da un generatore è data dal prodotto della tensione ai morsetti per la corrente, ed è uguale alla potenza elettrica che esso genera diminuita dalla perdita interna per effetto Joule

$$P_i = R_i I^2$$

Il rapporto fra la potenza erogata P e la potenza generata P_g definisce il rendimento η del generatore. E' in pratica

$$\eta = \frac{P}{P_g} = \frac{U_{AB}}{E} = \frac{E_i - R_i I}{E} = 1 - \frac{R_i I}{E}$$

Il valore della corrente I che è erogata dal generatore dipende dal valore della resistenza esterna R in base alla relazione

$$I = \frac{E}{R_i + R}$$

Per valori diversi della resistenza R , diverse risultano le condizioni di lavoro del generatore e, in particolare, diverse sono le perdite interne e il rendimento: se la resistenza di carico è elevata, minore sarà la corrente erogata, minori risulteranno le perdite interne e maggiore sarà il rendimento; il contrario avviene se la resistenza R presenta valori ridotti.

La massima corrente che un generatore può erogare, senza che il rendimento scenda al di sotto di un valore prefissato, dipende dalle sue dimensioni costruttive.

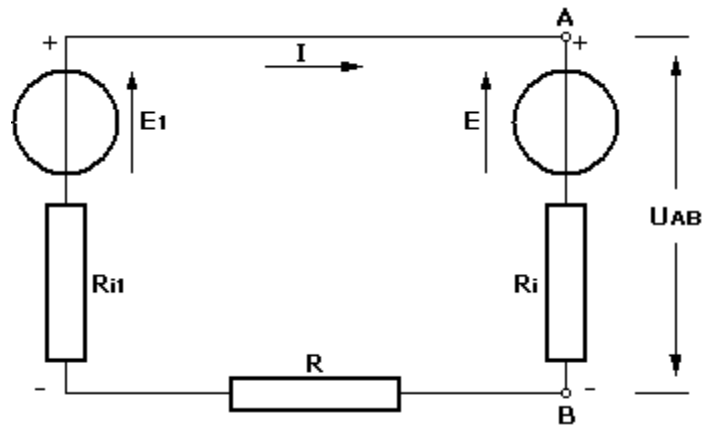
Così ogni generatore è caratterizzato dalla sua f.e.m. e dalla massima corrente che esso può erogare con un dato rendimento, la quale è designata come la corrente di pieno carico o corrente nominale I_n del generatore.

Se il generatore eroga una corrente maggiore, si dice che esso lavora in sovraccarico.

In tali condizioni il rendimento diminuisce tanto più quanto maggiore è il sovraccarico, e la buona conservazione del generatore può risultare compromessa in conseguenza della eccessiva sopraelevazione di temperatura provocata dalle maggiori perdite.

Potenza assorbita da una f.c.e.m.

Si consideri un generatore AB avente f.e.m. E e resistenza interna R_i , che si trovi collegato in opposizione a un altro generatore avente f.e.m. E_1 maggiore di E , e resistenza interna R_{i1} .



In tal caso la corrente circola nel verso della f.e.m. prevalente, e perciò nel verso opposto all'altra, la quale agisce pertanto come una forza controelettromotrice (f.c.e.m.).

Posto quindi $E_1 > E$, nel circuito chiuso formato dai due generatori si costituisce una corrente I espressa dalla seguente relazione

$$I = \frac{E_1 - E}{R_T}$$

Essendo R_T la somma di tutte le resistenze dell'intero circuito.

Nel generatore AB la corrente entra dal morsetto a potenziale maggiore V_A ed esce da quello a potenziale minore V_B : ciò significa che questo generatore assorbe la potenza

$$P_a = V_{AB} I$$

D'altra parte se la corrente I entra per il morsetto positivo di questo generatore vuol dire che la tensione V_{AB} vince la f.c.e.m. E e che la contrasta e vince in più la caduta interna $R_i I$. Si ha così

$$V_{AB} = E + R_i I$$

Corrispondentemente anche la potenza elettrica assorbita P_a viene a suddividersi nei due termini della somma:

$$P_a = V_{AB} I = E I + R_i I^2$$

Il secondo termine rappresenta la potenza:

$$P_i = R_i I^2$$

Che è dissipata in calore per effetto joule nella resistenza interna R_i .

Il primo termine $PE=EI$ esprime invece la potenza elettrica che resta impegnata a vincere la f.c.e.m. che contrasta la corrente, in altre parole rappresenta la potenza assorbita da questa f.c.e.m..

Questa potenza elettrica deve trasformarsi in energia d'altra forma, attraverso quello stesso processo fisico da cui prende origine la f.c.e.m.: ad esempio, nel circuito interno di un motore elettrico si origina una f.c.e.m. che si oppone alla

corrente; l'energia elettrica che occorre spendere per vincere questa f.c.e.m si trasforma in energia meccanica che viene trasmessa all'asse del motore