

La legge di Ohm

La legge di Ohm è una formula utilizzata per calcolare il rapporto tra tensione, corrente e resistenza all'interno di un circuito elettrico.

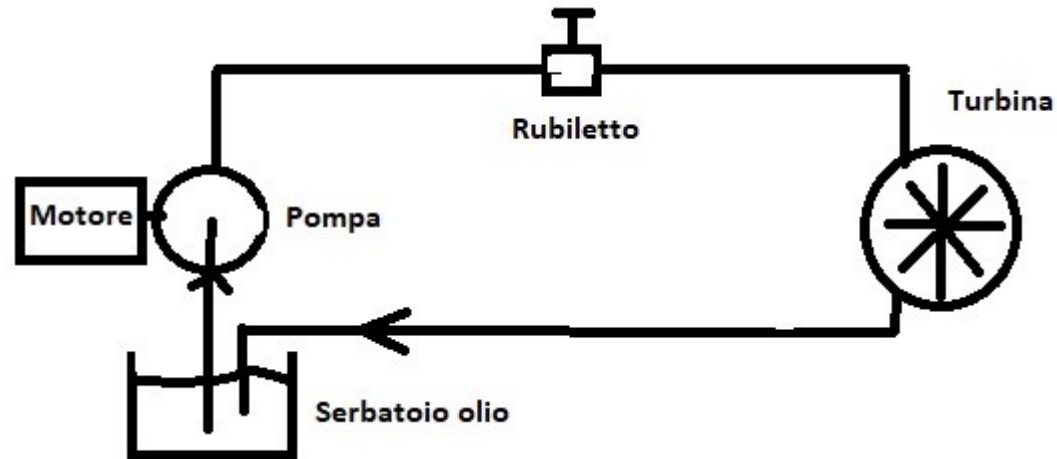
Per gli studenti di elettronica, la legge di Ohm ($E = IR$) è di importanza fondamentale quanto lo è l'equazione della relatività di Einstein ($E = mc^2$) per i fisici.

In elettrotecnica ci sono altre leggi non meno importanti.

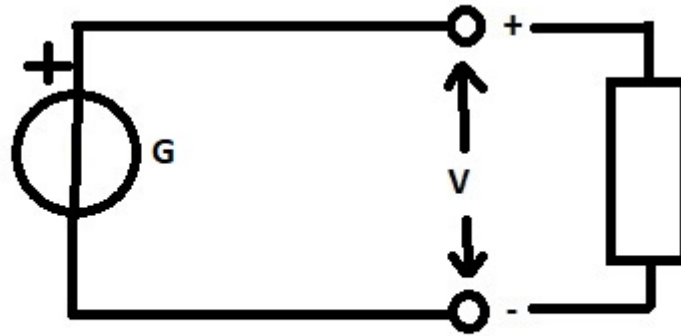
Quelle più strettamente legate alla legge di Ohm sono: la prima e seconda legge di Kirchhoff e la legge di Joule.

La prima legge di Kirchhoff riguarda le correnti nei nodi, la seconda legge di Kirchhoff riguarda le tensioni nelle maglie e la legge di Joule riguarda invece la potenza impegnata nel circuito. La conoscenza di queste poche regole permettono di risolvere e verificare la maggior parte dei problemi di elettrotecnica.

Un circuito analogo al circuito elettrico è quello idraulico che permette di capire il significato e il ruolo delle grandezze in gioco:



La pompa aspira l'olio che viene spinto verso la turbina, se il rubinetto è aperto, l'olio può fluire verso la turbina per ritornare al serbatoio. L'olio può muoversi se la pompa lo spinge con una **PRESSIONE**, la quantità di olio messo in movimento dipende dalla pressione, dalla dimensione dei tubi, dall'attrito dei tubi e dal lavoro che la turbina deve svolgere.



Il circuito elettrico è analogo a quello idraulico: la tensione elettrica è la **Forza Elettromotrice** che spinge la corrente nel circuito, analoga alla pressione della pompa che è la forza che spinge l'olio. La corrente è analoga all'olio, dipende dalla forza con cui viene spinto e dallo sforzo che si deve fare per attraversare il circuito questo sforzo è proporzionale alla resistenza del circuito. Tanto più spingo e minore è la resistenza, maggiore è l'olio/corrente che passa nel circuito.

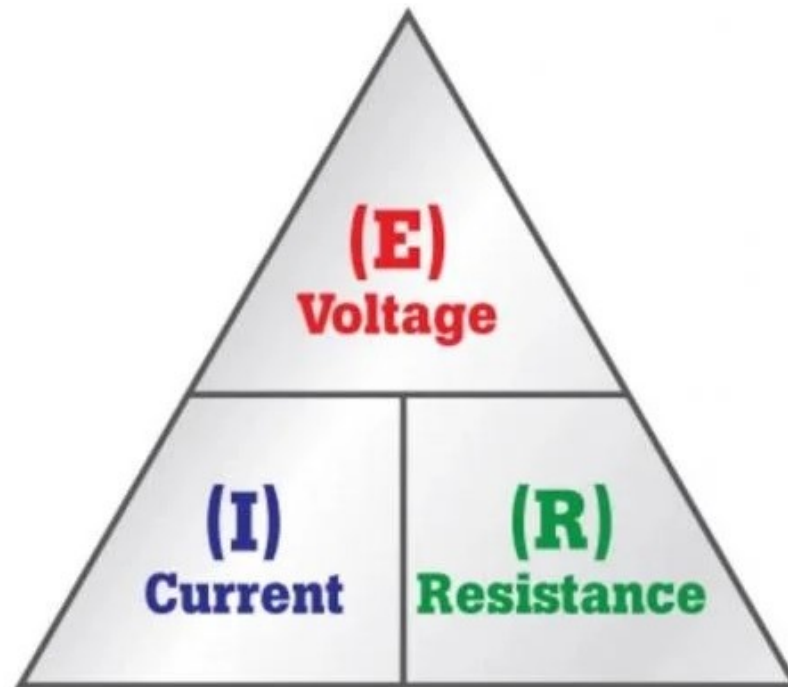
Legge di Ohm generalizzata: $E = I \times R$

Vale a dire, tensione = corrente x resistenza oppure volt = ampere x ohm oppure $V = A \times \Omega$.

La legge di ohm, così denominata dal nome del fisico tedesco Georg Ohm (1789-1854), si riferisce alle grandezze fondamentali che agiscono nei circuiti:

- I simboli sono:
- **E** Indica la tensione che alimenta il circuito. Viene indicata anche con f.e.m. **forza elettromotrice**. Si misura in **Volt** (simbolo **V**)
- **I** Indica la corrente. La I sta per **intensità** di corrente. Si misura in **Ampere** (simbolo **A**)
- **R** Indica la resistenza del circuito. E' l' elemento che "resiste" opponendosi al passaggio della corrente. Si misura in **Ohm** il cui simbolo è la lettera greca omega (**Ω**)
-
-

Metodo per calcolare i valori delle
grandezze:



Basta coprire l'elemento da calcolare



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

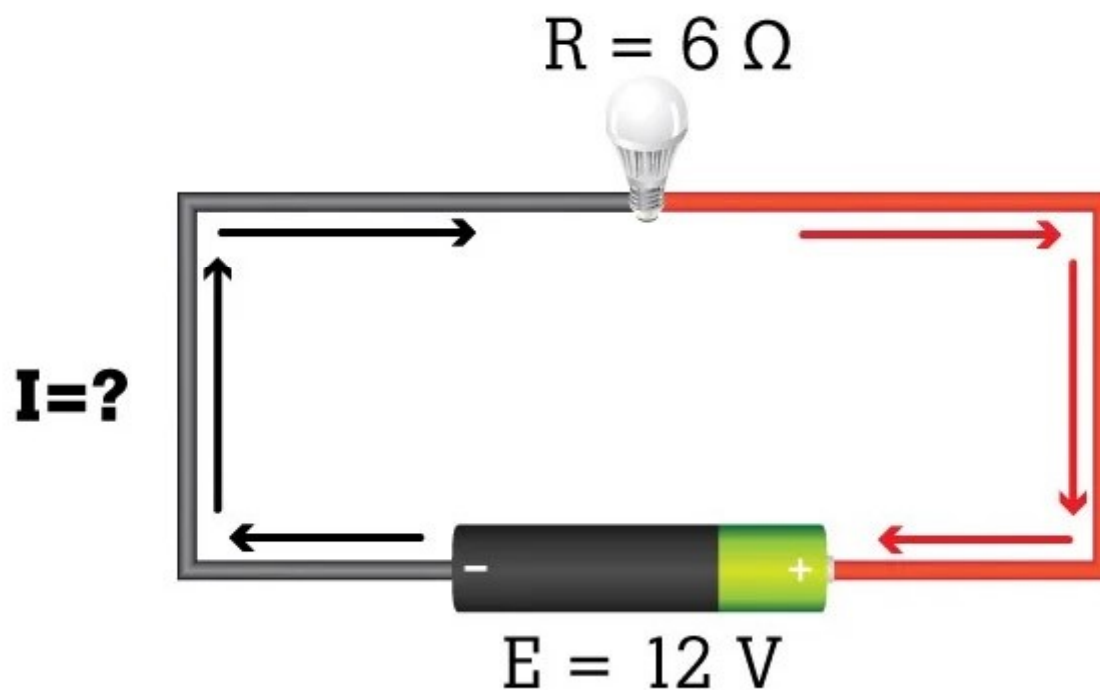


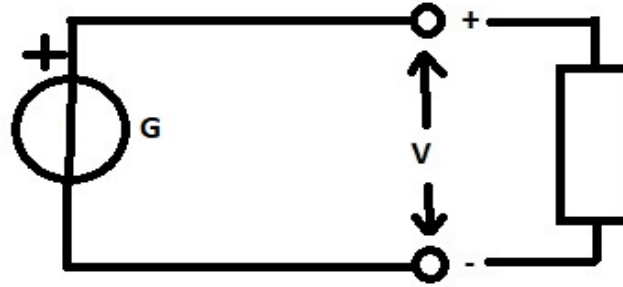
$$I = \frac{E}{R}$$



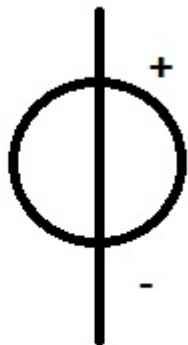
$$E = I R$$

Per calcolare il valore della Corrente I applicando le formule appena viste: $I = E / R \rightarrow 12 / 6 = 2 \text{ A}$



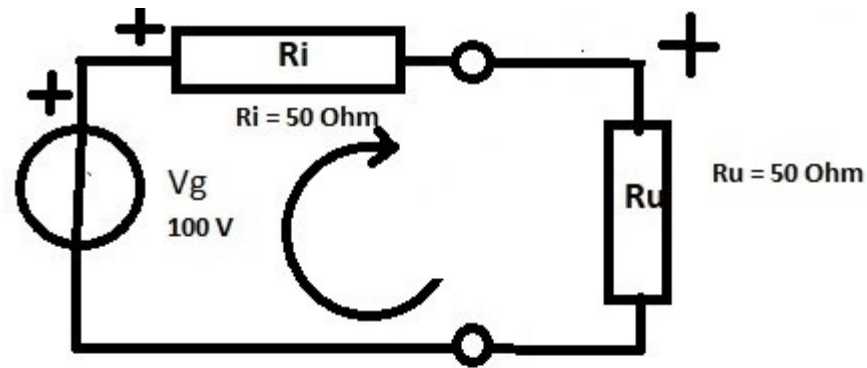


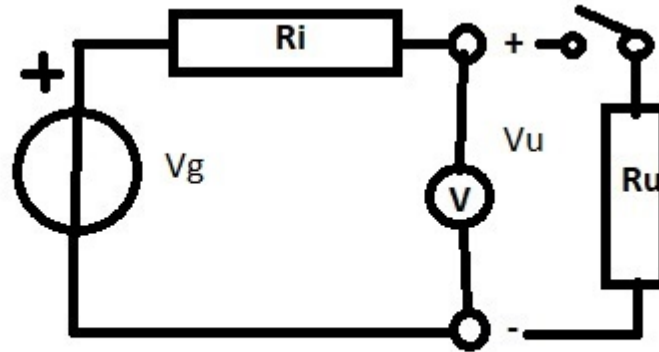
Questo circuito è costituito da un generatore ideale e da una resistenza. Il generatore è detto ideale perché non ha resistenza interna. La corrente I che attraversa il circuito è data dalla legge di Ohm: $I = V / R$. Il generatore essendo ideale, mantiene la sua tensione costante, quindi la corrente I dipende esclusivamente dalla resistenza. Maggiore è R , minore è la I , maggiore è V , maggiore sarà la I .



Questo è il simbolo con cui viene indicato il generatore ideale. La linea che connette il polo positivo con quello negativo indica la resistenza interna, che in un generatore ideale vale 0 (zero) quindi un corto circuito.

Per convenzione, il polo positivo di un generatore è il polo da cui esce la corrente, il polo positivo di un utilizzatore, che sia una resistenza, motore o lampada, è invece il polo in cui entra la corrente.





Questo circuito, invece rappresenta la realtà: il generatore è un generatore reale, composto da un generatore ideale più la sua resistenza interna R_i . Il voltmetro misura la tensione di uscita V_u del generatore. Quando l'interruttore è aperto, indicherà il valore di V_g . Chiudendo l'interruttore il voltmetro indicherà una tensione più bassa. Perché?

La corrente nel circuito dipenderà dalla resistenza totale:

$$R_t = R_i + R_u$$

legge di Ohm: $I = V_g / R_t$

La tensione ai capi di R_i : $V_{r_i} = R_i \times I$

Quella ai capi di R_u : $V_{ru} = V_u = R_u \times I$.

Il voltmetro misurerà la tensione V_u ai capi della R_u .

Facciamo un esempio pratico:

Il generatore genera una tensione di 100 V, la sua resistenza interna E' di 1 ohm. La R_u invece è di 99 ohm

Calcoliamo la resistenza totale, che è la somma della R_i e della R_u

$$R_t = R_i + R_u = 1 + 99 = 100 \text{ ohm}$$

Applichiamo la legge di Ohm per calcolare la I :

$$I = V_g / R_t = 100 / 100 = 1 \text{ A}$$

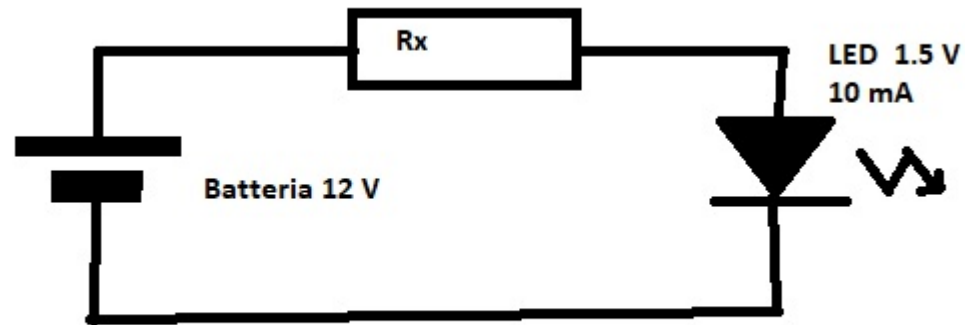
Ora calcoliamo la tensione ai capi di R_i , applicando sempre la legge di Ohm: $V_{ri} = R_i \times I = 1 \times 1 = 1 \text{ V}$

Ora la tensione ai capi di R_u : $V_u = R_u \times I = 99 \times 1 = 99 \text{ V}$

La tensione V_u può essere dedotta anche facendo la differenza tra V_g e V_{ri} : $V_u = V_g - V_{ri} = 100 - 1 = 99 \text{ V}$

Riepilogando: quando un generatore reale alimenta un carico, la tensione ai suoi morsetti di uscita si riduce di un valore pari alla c.d.t. (**Caduta Di Tensione**) sulla sua resistenza interna. Per la legge di Ohm la c.d.t sulla R_i è tanto maggiore quanto è maggiore è la I che il generatore deve erogare: se il generatore dovesse erogare 2 A, la c.d.t. sarà $R_i \times I = 1 \times 2 = 2 \text{ V}$ quindi su R_u ci sarà $100 - 2 = 98 \text{ V}$. Se la corrente fosse di 10 A, la c.d.t. sarà $1 \times 10 = 10 \text{ V}$ e su R_u ci sarà $100 - 10 = 90 \text{ V}$.

Cosa possiamo dedurre: qualunque resistenza attraversata da una corrente si genera ai suoi capi una cdt direttamente proporzionale al valore della I e al valore della R , calcolabile appunto, con la legge di Ohm.



Un altro esempio pratico che sicuramente ci sarà capitato di risolvere: calcoliamo il valore da dare alla resistenza R_x affinché siano rispettati i dati del diodo LED che normalmente sono 1.5 V e 10 mA. La tensione della batteria è 12 V.

Dobbiamo calcolare la C.D.T. ai capi di R_x :

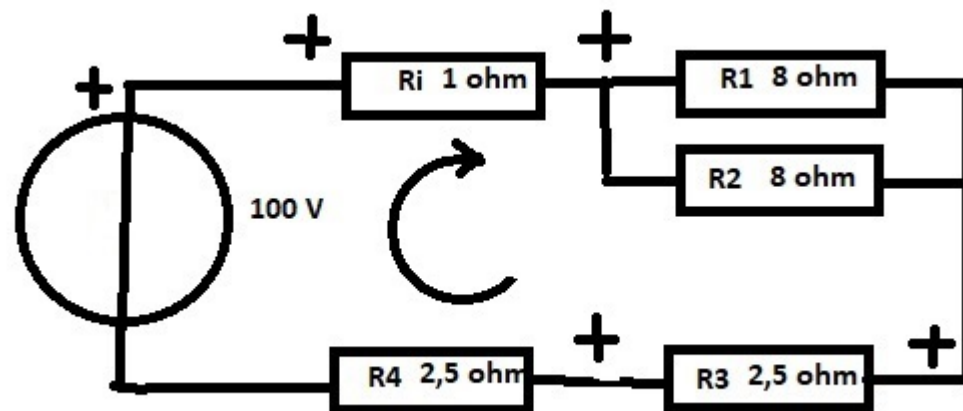
$$V_{rx} = V_b - V_{led} = 12 - 1.5 = 10.5 \text{ V}$$

Applichiamo la legge di Ohm per calcolare la R_x :

$$R_x = V_x / I = 10.5 / 0.01 = 1050 \text{ ohm}$$

che arrotondiamo al valore standard di 1000 ohm (1 K Ω)

Conoscendo la FEM e la CDT, possiamo parlare ora della seconda Legge di Kirchhoff:



La seconda legge di Kirchhoff dice che in una maglia (il circuito dell' esempio) la somma algebrica delle cdt e delle fem è uguale a 0 (zero) o per semplificare la somma delle cdt è uguale alla somma delle fem.

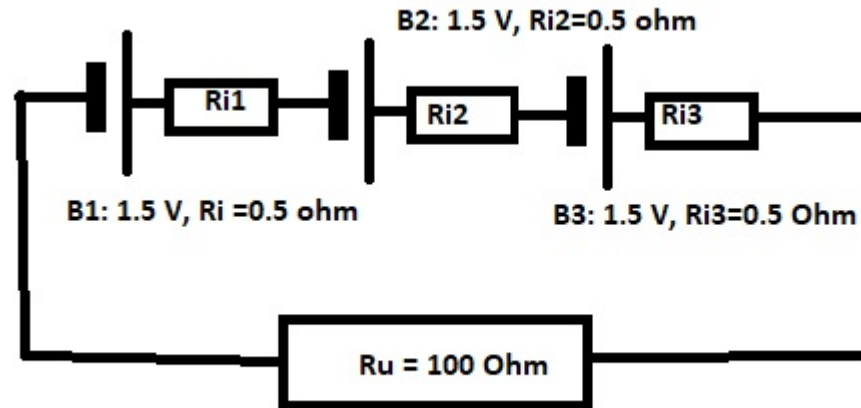
Applicando le formule che conosciamo, otteniamo la resistenza totale che è 10 ohm ($R_i + R_1 // R_2 + R_3 + R_4 = 1 + 4 + 2,5 + 2,5$)

Con $R_1 // R_2$ si intende il parallelo di R_1 ed R_2

Per la legge di Ohm: $I = V/R = 100 / 10 = 10 \text{ A}$

La cdt su R_i : $1 \times 10 = 10 \text{ V}$, su $R_1 // R_2$ $4 \times 10 = 40 \text{ V}$, su R_3 $2,5 \times 10 = 25 \text{ V}$, su R_4 $2,5 \times 10 = 25 \text{ V}$.

Facciamo la somma delle cdt: $10 + 40 + 25 + 25 = 100 \text{ V}$ uguale alla fem del generatore 100 V, come volevasi dimostrare.



Un altro caso molto comune: una serie di pile da 1.5 V, ognuna con la propria resistenza interna, che alimentano una resistenza: la resistenza totale, poiché sono tutte in serie, è la somma delle resistenze presenti nel circuito quindi: $0.5 + 0.5 + 0.5 + 100 = 101.5 \Omega$
 Applicando la seconda legge di Kirchhoff la tensione totale sarà la somma delle f.e.m.: $1.5 + 1.5 + 1.5 = 4.5 \text{ V}$

Applichiamo la legge di Ohm: $I = V_t / R_t = 4.5 / 101.5 = 0.04433$ A che corrispondono a 44.33 mA.

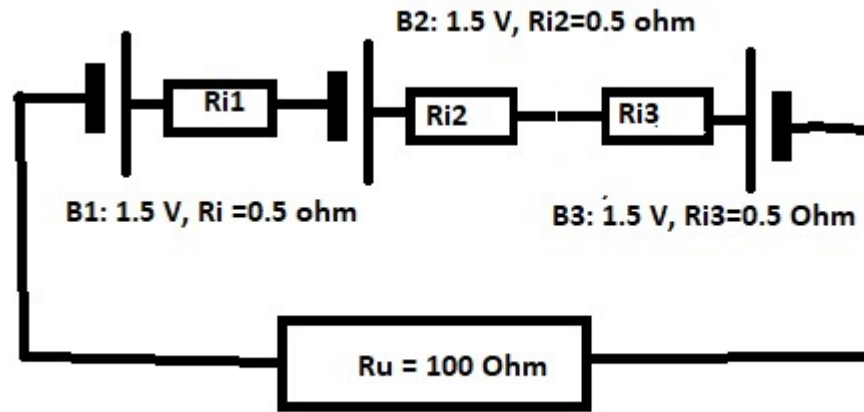
Facciamo i cosiddetti “conti della serva”:

Calcoliamo tutte le cadute di tensione ai capi di ogni resistenza:

$V_1 = R_1 \times I = 0.5 \times 0.04433 = 0,022165$ V che diventano 0,066495 V

poiché le 3 pile sono uguali. La CDT su R_u : $100 \times 0.04433 = 4,433$ V

Sommiamo le CDT: $4.433 + 0,066495 = 4.49$ V che è praticamente la somma delle f.e.m. Questo valore è leggermente diverso perché abbiamo arrotondato i risultati.



Un altro esempio simile al precedente: una pila è stata inserita in modo anomalo: questa volta la tensione totale sarà: $1.5 + 1.5 - 1.5 = 1.5$ V
 La tensione su R_u sarà ancora più bassa dovuto anche alle cdt sulle resistenze interne

La legge di Joule

Per introdurre il concetto di energia e potenza, faccio questo esempio:

Dobbiamo spostare 1 mc di sabbia. Possiamo adoperare un cucchiaino da caffè faremo poca fatica impiegando una considerevole quantità di tempo, se usiamo una cazzuola aumentiamo la fatica, ma riduciamo il tempo, se usiamo un badile, aumenta la fatica ma riduciamo ulteriormente il tempo. L'energia è il metro cubo di sabbia, la potenza è lo sforzo richiesto, più siamo potenti (più sforzo) minore è il tempo che impiegheremo per spostare la sabbia.

In elettrotecnica il lavoro o energia è il JOUL indicato con J ed è il prodotto tra la potenza e il tempo. La potenza si misura in WATT indicato con la lettera W. Quindi $J = W * T$ (in secondi). Una resistenza che dissipa una potenza di 1 W, per un'ora, assorbe l'energia di 3600 Joule: $1 W \times 3600 (1 h = 3600 sec) = 3600 J$. Il contatore dell'ENEL

misura l' energia in KWh (kiloWatt per ora), misurare l' energia in J sarebbe improponibile, 1 KW per 1 ora (1KWh) sarebbero:
 $3600 \text{ (sec. in 1 h)} \times 1000 = 3,6 \text{ MJ (3,6 MegaJoul)}$

Se dobbiamo scaldare 100 litri d' acqua avremo bisogno di una certa quantità di energia per esempio 1 KWh, kilowattora. Lo possiamo fare con una resistenza da 1 W oppure con una resistenza da 1 KW, il tempo necessario è sicuramente diverso. L' **energia** per scaldare l' acqua è la stessa, ma il tempo è minore con una resistenza da 1 KW.

La legge di Joule (viene chiamata anche effetto Joule) esprime il lavoro che una corrente esegue nell' unità di tempo.

Tralasciando le definizioni accademiche e andando al nocciolo, la potenza assorbita da un utilizzatore o quella erogata da un generatore è il prodotto della tensione che alimenta il circuito e la corrente che lo attraversa.

La potenza, indicata dalla lettera **P** la cui unità di misura è il WATT

Indicata dalla lettera **W**, sarà **$P = V \times I$**

Quindi la potenza che deve erogare un generatore da 100 V per far passare una corrente di 10 A su una resistenza sarà:

$$P = V \times I = 100 \times 10 = 1000 \text{ W (1 Kw)}$$

Giochiamo un po' con le formule avvalendoci anche della legge di Ohm:

$$P = V \times I \quad (1)$$

Dalla legge di Ohm, la corrente I dipende dalla resistenza e quindi:

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

Sostituendo nella formula della potenza la corrente con la formula appena descritta, avremo:

$$P = V \times \frac{V}{R} \quad \text{quindi} \quad P = \frac{V \times V}{R} = \frac{V^2}{R} \quad (2)$$

Sempre dalla legge di Ohm, la tensione $V = R \times I$, sostituiamo nella formula della potenza la V con quanto sopra, otterremo:

$$P = R \times I \times I \rightarrow P = R \times I^2 \quad (3)$$

Riepilogando: per quanto visto sopra, possiamo risalire alla potenza conoscendo la Tensione e la Corrente , oppure la Resistenza e la corrente o conoscendo la Tensione e la resistenza.

$$P = V \times I \quad P = R \times I^2 \quad P = V^2 / R$$

Le formule inverse:

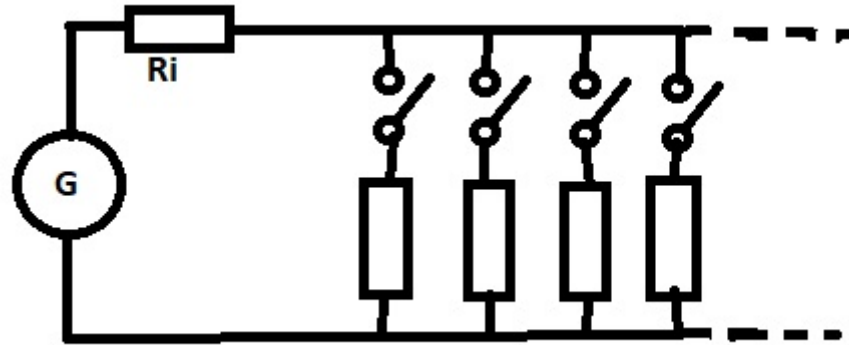
Conosco P e V posso risalire alla I e alla R:

$$I = P / V \quad (f1) \quad R = V^2 / P \quad (f2)$$

Conosco P e R posso risalire alla I e alla V:

$$V^2 = P \times R \rightarrow V = \text{radice quadrata di } (P \times R) \quad (f3)$$

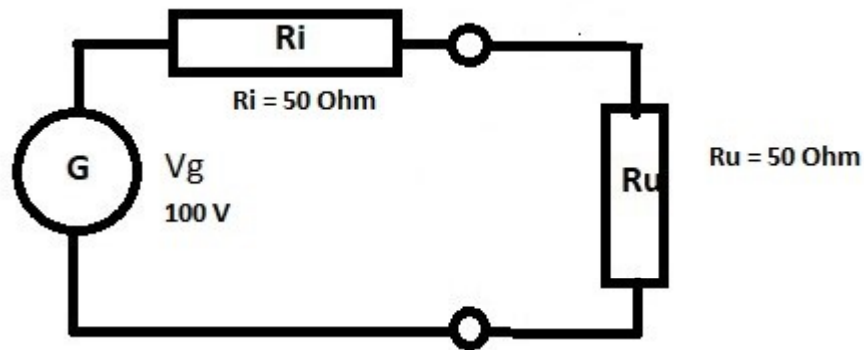
$$I^2 = P / R \rightarrow I = \text{radice quadrata di } (P / R) \quad (f4)$$



Il circuito sopra, rappresenta Invece un impianto di generazione. La potenza erogata dal generatore dipende da quanti interruttori chiudiamo. La tensione deve rimanere costante, cambia la resistenza di carico e quindi la corrente e In conseguenza la potenza erogata. **Idealmente** la potenza del generatore È infinita, più ne chiediamo, più ne riceviamo.

Questo non vale per il finale RF di una radio. Il carico di un finale radio è sempre 50 Ohm, e l' unico modo per aumentare la potenza di uscita è Aumentare la tensione di uscita

Massimo trasferimento di energia: si ottiene quando la resistenza interna del generatore , R_i , è uguale alla resistenza dell' utilizzatore R_u . Vediamo, con le conoscenze acquisite, se ciò corrisponde al vero.



$$R_t = R_i + R_u = 50 + 50 = 100\ \Omega$$

Calcoliamo la corrente: $I = V / R_t = 100 / 100 = 1\text{ A}$

Calcoliamo la potenza dissipata dalla R_u : $P = R \times I^2 = 50 \times 1^2 = 50 \text{ w}$

Ricalcoliamo la potenza della R_u quando questa vale 25 ohm:

$$R_t = R_i + R_u = 50 + 25 = 75 \text{ ohm}$$

Ricalcoliamo la corrente $I = V_g / R_t = 100 / 75 = 1.33333 \text{ A}$

Ricalcoliamo la potenza: $P = R_u \times I^2 = 25 \times 1.3333^2 = 44.44 \text{ W}$

Rifacciamo i calcoli stavolta con $R_u = 75 \text{ ohm}$:

$$R_t = R_i + R_u = 50 + 75 = 125 \text{ ohm}$$

La corrente vale $I = V_g / R_t = 100 / 125 = 0.8 \text{ A}$

La potenza : $P = R_u \times I^2 = 75 \times 0.8^2 = 48 \text{ W}$

Come potete notare, il massimo trasferimento di potenza si ha quando la resistenza interna del generatore è uguale alla resistenza dell' utilizzatore.

ATTENZIONE! Il massimo trasferimento di potenza non significa massimo rendimento del generatore.

Nel caso di massimo trasferimento la resistenza interna dissipa la stessa potenza dell' utilizzatore (50 W). Se il generatore è il finale di un trasmettitore questo assorbirebbe dall' alimentatore 50 W + 50 W totale 100 W. Il rendimento è il rapporto tra la potenza utilizzata e quella assorbita: $\eta = P_u / P_a = 50 / 100 = 50\%$

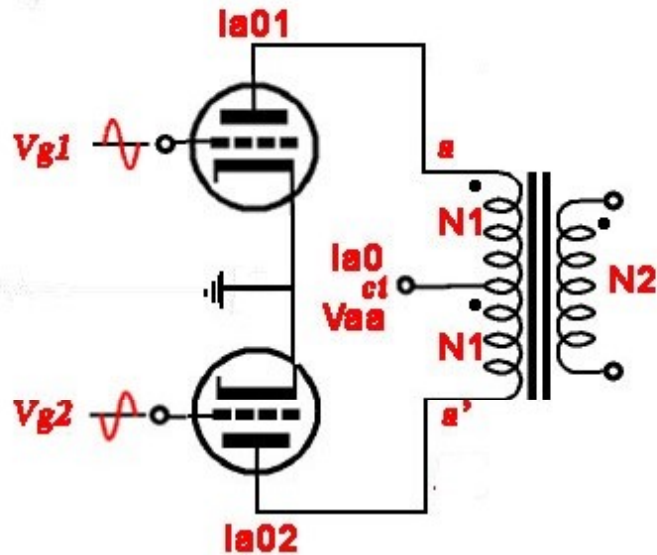
Calcoliamo la tensione presente al connettore dell' antenna di un finale radio che è in grado di erogare 100 W sul carico di 50 Ohm:
Dalla formula (f3) la tensione sarà:

Radice quadrata di $(P \times R) = (100 \times 50) = \text{rad.q}(5000) = 70.71 \text{ V}$

Se il finale erogasse 1000 W si otterrà $\text{rad.q}(1000 \times 50) =$
 $= \text{rad.q}(50000) = 223,60 \text{ V}$.

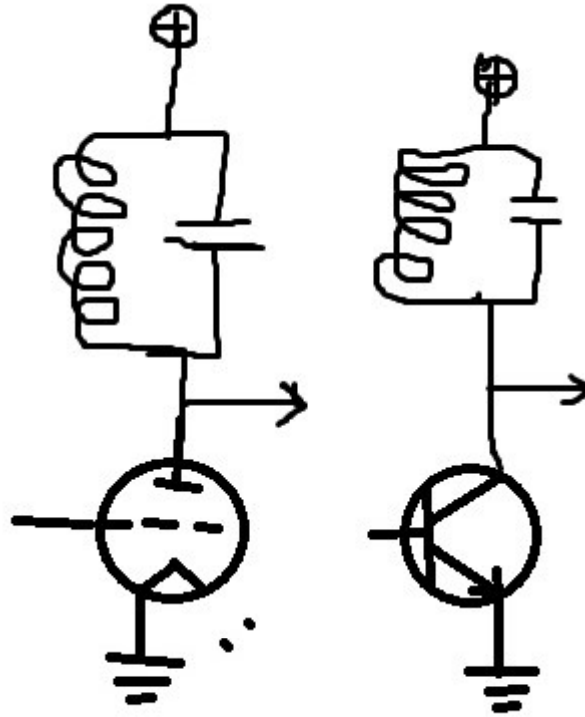
Quindi attenti a dove mettete le mani quando trasmettete...

Come può una radio alimentata a 12 V erogare una potenza di 100 W su un carico di 50 Ohm che come abbiamo visto occorrono più di 70 V?



L' elettronica ci viene in aiuto. Questo è lo schema di principio di un amplificatore in configurazione push-pull. Il rapporto spire del trasformatore di uscita è tale da avere in uscita una tensione maggiore di quella di alimentazione. I finali a valvole, normalmente lavorano già con tensioni elevate e quindi possono più facilmente erogare tensioni elevate come più di 220 V su un carico di 50 Ohm per 1 KW.

Se non si vuole usare il trasformatore in uscita, bisogna inevitabilmente alimentare il finale con una tensione più alta.



Questi sono schemi di principio di finali a valvole e a transistor. Per poter aumentare la potenza di uscita su un carico che vale sempre 50 Ohm, dobbiamo inevitabilmente aumentare la tensione di Alimentazione del finale.