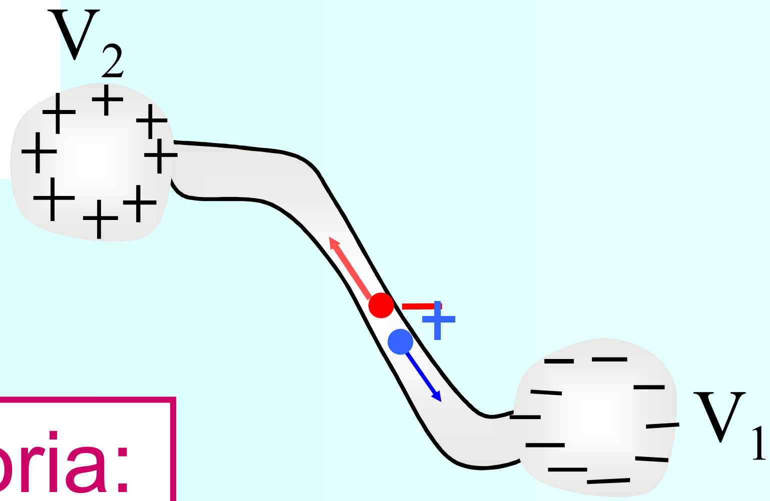
CORRENTE ELETTRICA

•Sistema formato da due conduttori carichi a potenziali V_1 e V_2 isolati tra loro

•Li colleghiamo mediante un conduttore



Fase transitoria:

sotto l'azione del campo elettrico
un **flusso di cariche mobili**
si muove da V_1 a V_2

il sistema raggiunge uno stato di equilibrio con un unico **valore di potenziale**

Cessa il moto ordinato degli elettroni
Durante il processo
la quantità totale di carica del sistema non varia:

principio di conservazione della carica elettrica

La carica del sistema si ridistribuisce in modo che all’interno del conduttore sia $\boxed{E_{INT} = 0}$

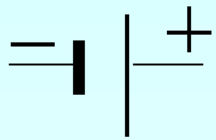
Per mantenere stazionario in un conduttore
il flusso di carica, "corrente elettrica",
è necessario **mantenere costante**
la differenza di potenziale ai suoi capi,
riportando un certo numero di cariche positive
dal conduttore a potenziale più basso
a quello a potenziale più alto
oppure di cariche negative nel verso opposto

Questo processo
richiede un'azione di tipo non elettrostatico
che sia in grado di far muovere le cariche
contro la forza esercitata dal campo **E**

Dispositivi in grado di produrre una corrente elettrica nei circuiti:

sorgenti di forza elettromotrice o **generatori**(es. pila di Volta)

Simbolo



Si definisce

intensità di corrente elettrica
la quantità di carica che attraversa una data superficie S all' interno del conduttore nell'unità di tempo

$$\boxed{I = \frac{\Delta q}{\Delta t}}$$

Per fenomeni variabili nel tempo $I = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}$

dq carica infinitesima che attraversa la superficie S nel tempo dt

Unità di misura dell' intensità di corrente nel S.I.:

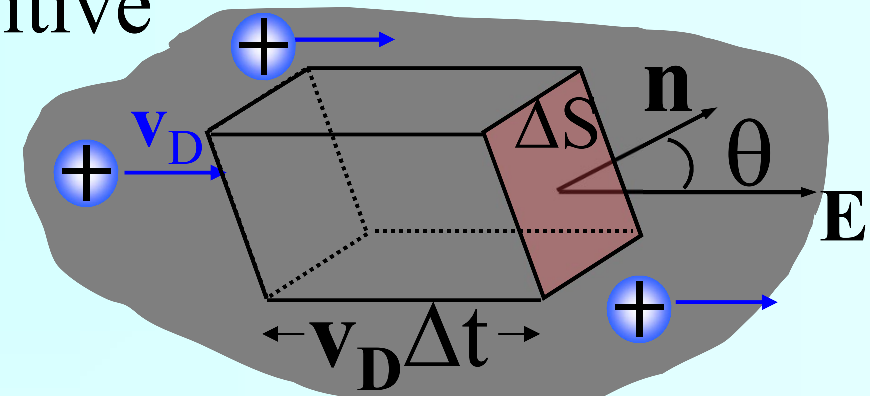
Ampére = intensità di corrente corrispondente al passaggio di un Coulomb in un secondo

Distribuzione volumetrica di carica elettrica
che si sposta all'interno di un conduttore:
n numero di portatori carichi per unità di volume

E campo applicato

$\mathbf{v_D}$ velocità delle cariche positive

$\mathbf{v_D}$ // **E** velocità di deriva



ΔS generica sezione
all'interno di un conduttore

n versore della direzione normale a ΔS

θ angolo fra **n** ed **E**

La quantità di carica Δq che attraversa ΔS
nell' intervallo di tempo Δt è contenuta
nel volume ΔV, definito da $v_D\Delta t$ e ΔS

$v_D \Delta t$ distanza percorsa dalle cariche nell'intervallo di tempo Δt

L'intensità di corrente I vale

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = nq \frac{(v_D \Delta t \Delta S \cos\theta)}{\Delta t} = nqv_D \Delta S \cos\theta$$

Definiamo il vettore **densità di corrente**

$$\mathbf{J} = nq\,\mathbf{v}_D$$

J intensità di corrente che attraversa una sezione di area unitaria, orientata secondo la direzione ed il verso della velocità delle cariche

Unità di misura: A/m^2

Quindi $I = \mathbf{J} \bullet \mathbf{n}\, \Delta S$

I = flusso del vettore **J** attraverso la superficie **ΔS**

Se **J** varia da punto a punto nel volume del conduttore

$$I = \int_S \mathbf{J} \bullet \mathbf{n}\, dS$$

Nei conduttori metallici la corrente è legata al moto di elettroni liberi per cui

$$\boxed{\mathbf{J} = -e\, n_- \mathbf{v}_-}$$

$-e$ = carica dell'elettrone

J ha sempre verso concorde con quello di **E**

Se la corrente è legata al moto di ioni
con carica diversa e con velocità diversa
(conduttore elettrolitico, semiconduttori…)
si sommano i contributi dei diversi portatori

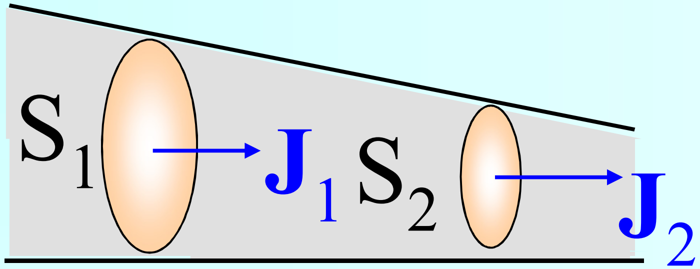
$$\mathbf{J} = -e\,\mathrm{n}_{-}\mathbf{v}_{-} + e\,\mathrm{n}_{+}\mathbf{v}_{+}$$

Nei conduttori metallici si assume
come verso della corrente elettrica
quello opposto al moto degli elettroni,
verso del moto di ipotetiche cariche positive

Corrente stazionaria

Conduttore percorso da corrente:

S_1, S_2 sezioni del conduttore che definiscono il volume dV



I_1, I_2 intensità di corrente attraverso S_1 ed S_2

$$I_1 = \int_{S_1} \mathbf{J}_1 \bullet \mathbf{n}_1 \, dS_1 \qquad I_2 = \int_{S_2} \mathbf{J}_2 \bullet \mathbf{n}_2 \, dS_2$$

Condizioni stazionarie:
la carica racchiusa nel volume non varia nel tempo

⇓

la carica che nell' unità di tempo entra nel volume deve essere uguale alla carica che nell' unità di tempo esce dal volume ⇒

$$\boxed{I_1 = I_2}$$

LEGGE DI OHM

Sperimentalmente è stato osservato che

in ogni punto di un conduttore
la densità di corrente **J**
risulta parallela al campo **E**

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$$ **legge di Ohm**

σ **conducibilità** del mezzo conduttore,
non dipende dal valore del campo elettrico applicato,
ma solo dalla natura del conduttore

σ tiene conto dell'interazione tra il reticolo cristallino e gli elettroni di conduzione, che ha luogo negli urti

Unità di misura nel S. I.: $A/(V \cdot m)$

La legge di Ohm può essere espressa dalla relazione

$$\boxed{\mathbf{E} = \rho \mathbf{J}}$$

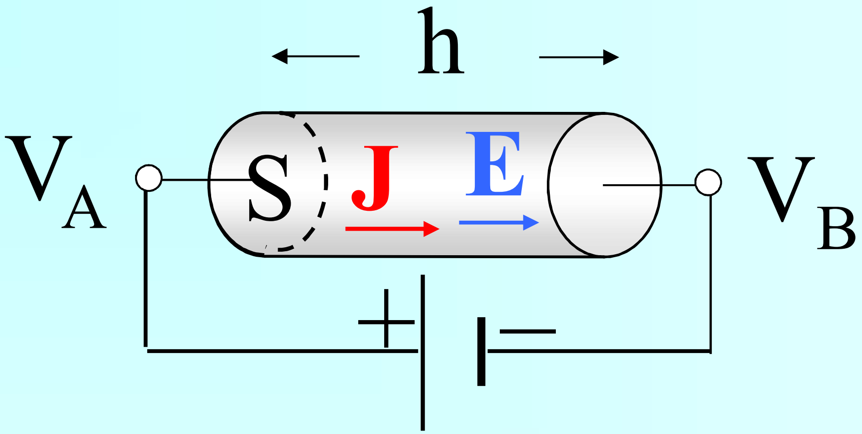
ρ resistività del mezzo, inverso della conducibilità

La legge di Ohm non è una legge generale

Conduttori ohmici

conduttori in cui è verificata la legge di Ohm

Conduttore metallico cilindrico di lunghezza h e sezione S collegato ad un generatore di f.e.m.



$V_A - V_B$ = d.d.p. ai capi del conduttore

Regime stazionario

I ha lo stesso valore attraverso ogni sezione

$$I = JS = \frac{S}{\rho} E \Rightarrow E = \frac{\rho}{S} I$$

$$V_A - V_B = \int_A^B \mathbf{E} \bullet d\mathbf{s} = E \cdot h$$

$$\boxed{\Delta V = \frac{\rho h}{S} I}$$

$$\boxed{\Delta V \propto I}$$

$$R = \frac{\rho h}{S}$$ resistenza del conduttore

$$\Delta V = RI$$ legge di Ohm

Unità di misura della resistenza: Ohm (Ω)

$$\boxed{\Omega = \frac{V}{A}}$$

Unità di misura della resistività ρ: $\Omega \cdot m$

Per un conduttore di sezione variabile

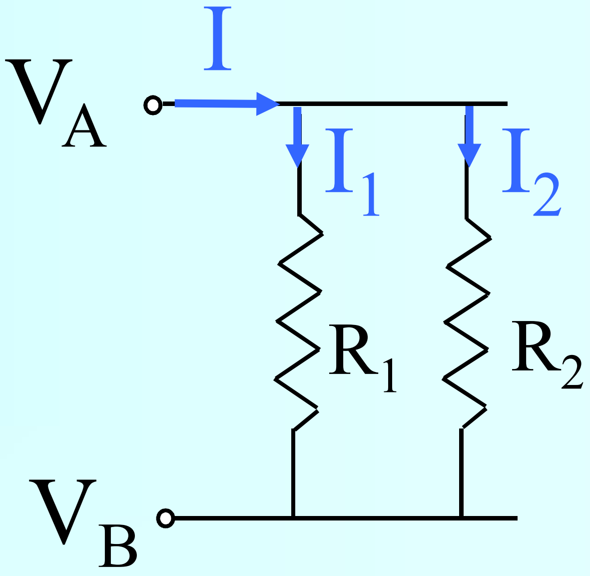
$$\boxed{R = \int_A^B \frac{\rho dh}{S}}$$

Collegamento di resistenze

In parallelo:
la d.d.p. è la stessa ai capi delle due resistenze

$$I_1 = \frac{\Delta V}{R_1}$$

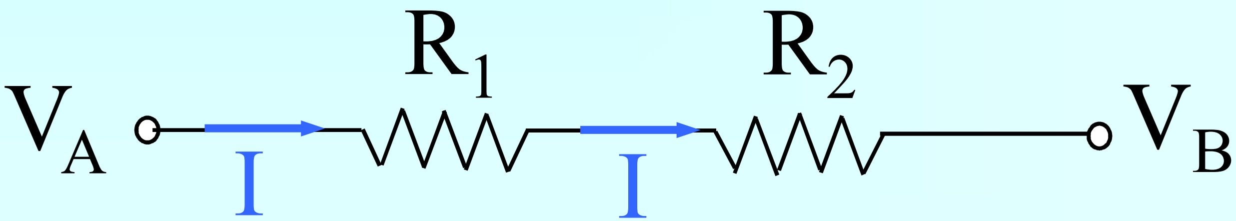
$$I_2 = \frac{\Delta V}{R_2}$$



Req = resistenza di un unico conduttore che, sottoposto alla stessa d.d.p. dei singoli conduttori, viene attraversato dalla corrente complessiva

$$I = I_1 + I_2 = \frac{\Delta V}{R_1} + \frac{\Delta V}{R_2} = \frac{\Delta V}{R_{eq}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

In serie:
resistenze collegate in modo da essere attraversate dalla stessa corrente I



Req = resistenza di un unico conduttore percorso dalla corrente I quando ai suoi capi è applicata una d.d.p. ΔV

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2)$$

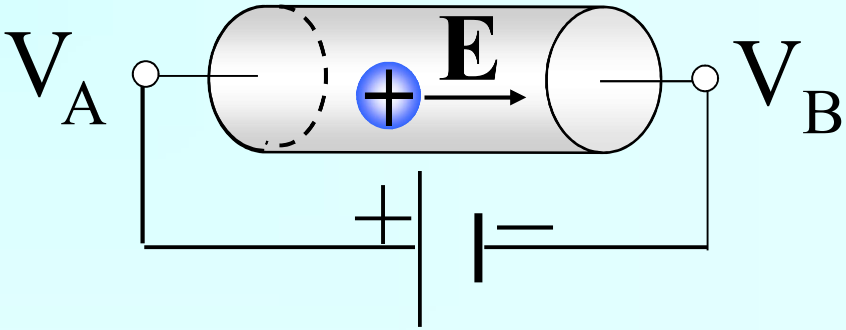
$$\Delta V = I\,R_{eq} \quad \Rightarrow \quad \boxed{R_{eq} = R_1 + R_2}$$

Energia dissipata nel passaggio di corrente

Quando una corrente attraversa un conduttore si ha dissipazione di energia

ΔV d.d.p. applicata tra le estremità del conduttore

$\Delta V = V_A - V_B$ = lavoro per trasportare l'unità di carica da A a B



$$dW = \Delta V\, dq = \Delta V\, I dt =$$

$$= \Delta V \frac{\Delta V}{R} dt = \frac{\Delta V^2}{R} dt = RI^2 dt$$

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{\Delta V^2}{R} = R\, I^2$$

potenza spesa dal campo elettrico
per mantenere la corrente =
potenza fornita agli elettroni
da un generatore esterno

A causa degli urti gli elettroni cedono continuamente l'energia acquistata al conduttore, la cui temperatura aumenta

In una situazione di equilibrio termico
la potenza ceduta dal conduttore all' esterno
sotto forma di calore è pari a quella dissipata
dagli elettroni nel processo di conduzione

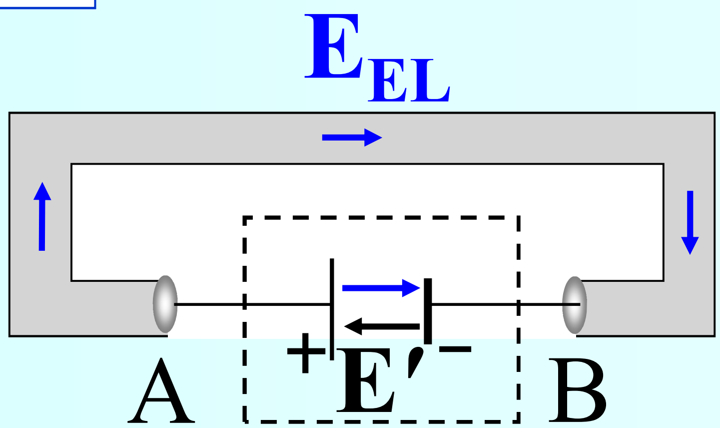
Effetto Joule

effetto di riscaldamento di un conduttore percorso da corrente

Joule per primo lo verificò sperimentalmente durante le misure eseguite per determinare l'equivalenza tra calore e lavoro

Forza elettromotrice

Circuito percorso da corrente



$\mathbf{E}_{EL}$ campo elettrostatico **diretto sempre** da A a B

Lungo un percorso AB all'interno del conduttore per la legge di Ohm

$$V_A - V_B = \int_A^B \mathbf{E}_{EL} \bullet d\mathbf{s} = RI$$

Se $\mathbf{E}_{EL}$ fosse l' unico campo presente in tutto il circuito, avente resistenza totale R_{TOT}, risulterebbe

$$\oint \mathbf{E}_{EL} \bullet d\mathbf{s} = R_{TOT} I$$

in contrasto con

$$\boxed{\oint \mathbf{E}_{EL} \bullet d\mathbf{s} = 0}$$

($\mathbf{E}_{EL}$ campo conservativo)

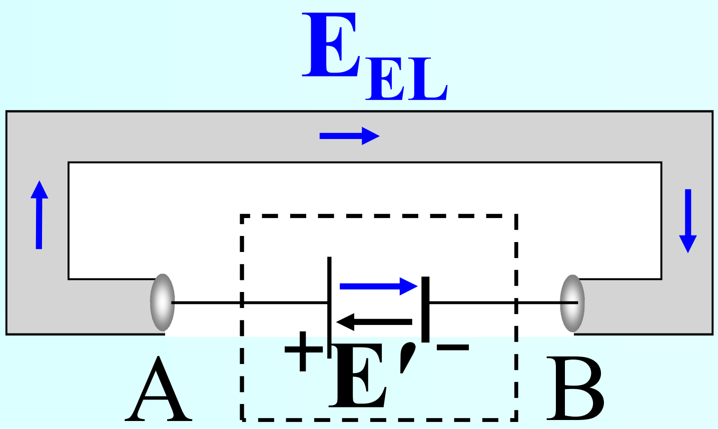
Ci deve essere una regione del circuito in cui non è valida la legge di Ohm

Nella regione del circuito in cui è valida la legge di Ohm la corrente scorre verso punti a potenziale minore per l' azione del campo elettrostatico

Nell' altra regione del circuito
per far circolare la corrente
deve esistere una **forza non elettrostatica**

Tale regione è sede **di una forza elettromotrice**

E' campo elettromotore



E' non conservativo muove le cariche positive all' interno del generatore, contro $\mathbf{E}_{EL}$, verso punti a potenziale maggiore

Il campo risultante $\mathbf{E}_{EL}$ + $\mathbf{E}'$ determina il moto delle cariche nel circuito

Lungo il circuito chiuso

$$\oint (\mathbf{E}_{EL} + \mathbf{E}') \bullet d\mathbf{s} = R_{TOT} I$$

legge di Ohm generalizzata

Essendo $\oint \mathbf{E}_{EL} \bullet d\mathbf{s} = 0$

$$\oint (\mathbf{E}_{EL} + \mathbf{E}') \bullet d\mathbf{s} = \oint \mathbf{E}' \bullet d\mathbf{s} = \varepsilon$$

$$\varepsilon = \oint \mathbf{E}' \bullet d\mathbf{s}$$

forza elettromotrice (f.e.m)

$$\varepsilon = R_{TOT} I$$

ε si misura in volt

f.e.m. presente in un tratto di circuito BA

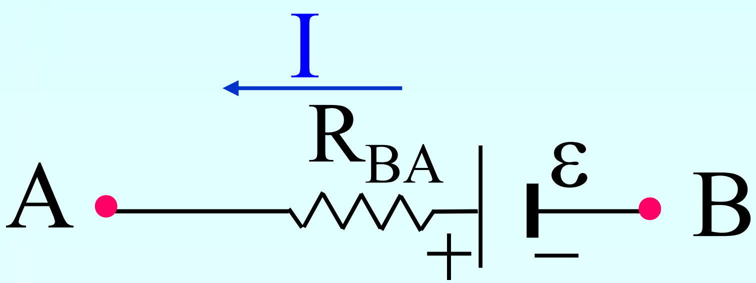
$$\varepsilon = \int_B^A \mathbf{E}' \bullet d\mathbf{s}$$

calcolata lungo una linea interna al generatore

Applichiamo **la legge di Ohm generalizzata al tratto di circuito BA** di resistenza R_{BA}

$$\int_B^A \left(\mathbf{E}_{EL} + \mathbf{E}'\right) \bullet d\mathbf{s} = IR_{BA} \quad \Rightarrow$$

$$\int_B^A \mathbf{E}_{EL} \bullet d\mathbf{s} + \int_B^A \mathbf{E}' \bullet d\mathbf{s} = IR_{BA} = V_B - V_A + \varepsilon$$



$$\boxed{\varepsilon = V_A - V_B + IR_{BA}}$$

$$\boxed{V_A - V_B = \text{d.d.p. tra i morsetti A e B del generatore}}$$

$$\boxed{\varepsilon \neq V_A - V_B}$$

La d.d.p. tra i morsetti di un generatore non coincide con la sua f.e.m. ε in presenza di corrente:

si può pensare che la corrente incontri una resistenza nell'attraversare il generatore

Perché in un conduttore di resistenza R collegato ad un generatore circoli una corrente stazionaria $\boxed{I \neq 0}$

deve essere necessariamente

$$\boxed{\varepsilon \neq V_A - V_B}$$

Misura della f.e.m.

Per $I = 0$ $\varepsilon = V_A - V_B$

f.e.m. = d.d.p. misurata ai capi del generatore **a circuito aperto**

Sperimentalmente si può verificare che nella maggior parte dei generatori, **la corrente erogata cresce proporzionalmente** alla differenza tra la f.e.m. ε e la d.d.p. $V_A - V_B$ cioè alla parte della f.e.m. spesa internamente al generatore

$$\boxed{\varepsilon - (V_A - V_B) = Ir}$$

r resistenza interna del generatore

Ir	caduta di potenziale sulla resistenza interna al generatore

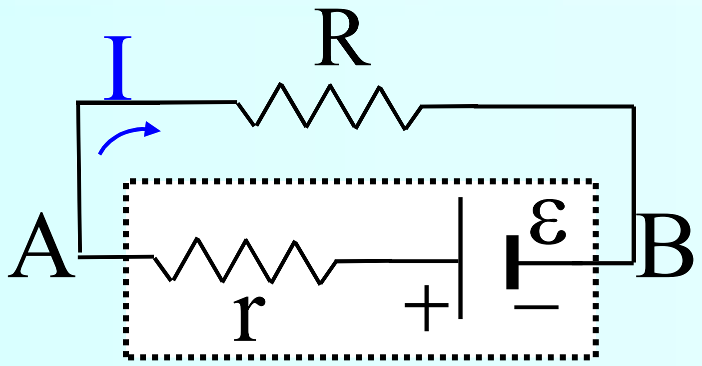
Ogni generatore si può quindi schematizzare

come un generatore ideale

che ai suoi capi fornisce una d.d.p. = ε,

collegato in serie ad una resistenza interna r

Infatti tra i punti A e B:



nel conduttore esterno

$$V_A - V_B = RI_{A\to B}$$

all'interno del generatore

$$V_A - V_B = \varepsilon - rI_{B\to A}$$

$$I_{B\to A} = I_{A\to B} = I$$

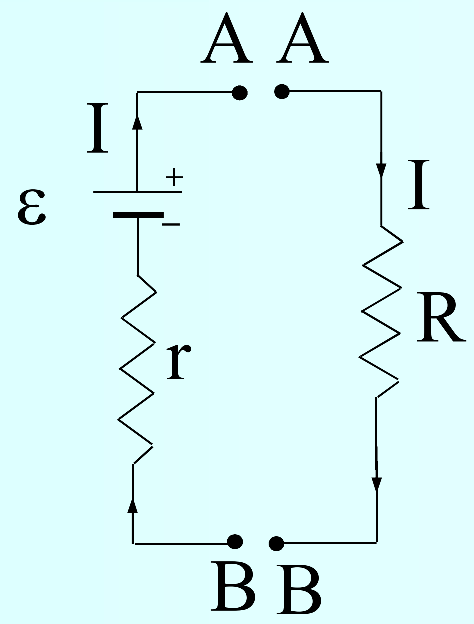
Dall'uguaglianza delle d.d.p. ⇒ $\varepsilon = (R + r)I$

$$\varepsilon \cdot I = RI^2 + rI^2$$

La potenza fornita dal generatore viene dissipata nel circuito per effetto Joule

Definizione di resistenza interna

$$I = \frac{\varepsilon}{r + R}$$



Se mettiamo in corto circuito
i morsetti A e B di un generatore

$V_A – V_B$ risulta nulla e la corrente nel circuito è limitata solo dalla resistenza interna del generatore

Tale corrente viene detta corrente di corto circuito e vale

$$I_{CC} = \frac{\varepsilon}{r} \qquad r = \frac{\varepsilon}{I_{CC}}$$