# Info generali sul corso

**Programma FISII (docente dott. G. Pugliese):**
1. Corrente Elettrica
2. Forza magnetica e Campo magnetico
3. Sorgenti del campo Magnetico. Legge di Ampere

**ESONERO**

4. Campi Elettrici e magnetici variabili nel tempo
5. Equazioni di Maxwell

**ESONERO**

**Programma Fisica applicata: (docente DOTT. Silvia Rainò)**
1. Rifrazione e riflessione
2. Ottica Geometrica

**ESONERO**

3. Onde Elettromagnetiche
4. Interferenza
5. Diffrazione

**ESONERO**

**Libri di testo:**
Mazzoldi-Nigro-Voci. Elementi di Fisica: Elementi di Fisica Elettromagnetismo ed onde (Editore: EdiSES)

**Sito web** per materiale didattico e comunicazioni dei docenti:
**Per fis II**: http://www.ba.infn.it/~pugliese/

# Info generali sul corso

**Esoneri/esami:**

1. Il superamento di entrambi gli esoneri (ad Aprile e Luglio) consente di accedere direttamente alla prova orale (unica per entrambi i moduli).
2. Gli esoneri verranno considerati validi fino all'ultima sessione di luglio.
3. A luglio ci saranno due sessioni di prova (sia scritta che orale). Lo scritto verrà conservato per la sola durata della sessione.
4. Stesso discorso per le sessione di Settembre.

# Richiami: conduzione elettrica

I materiali conduttori solidi sono costituiti da un reticolo spaziale a cui vertici si trovano gli ioni positivi ed al cui interno si muovo gli elettroni liberi.

Nei metalli, per es. nel RAME, il numero di elettroni per unità di volume (supponendo un elettrone libero per atomo, l'ordine di grandezza è lo stesso per tutti i conduttori metallici):

$$\mathrm{n} = \frac{N_A \rho}{A} = \frac{6.022 \cdot 10^{26} \cdot 8.96 \cdot 10^{3}}{63.55} = 8.49 \cdot 10^{28} \, \mathrm{elettroni/m^3}$$

$N_A$ : num di Avogadro (num. di molecole x mole)

$A$ : num. di massa (num. di kg x mole)

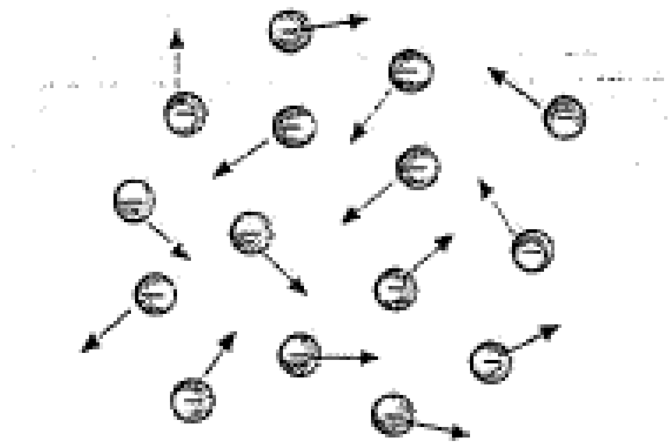
$\rho$ : densità (kg/m$^3$)

# Richiami: conduzione elettrica

$$\tau = 10^{-18} m^3 = 1 \mu m^3$$

$$N = n\tau \cong 10^{29} 10^{-18} = 10^{11} \text{elettroni}$$

Il moto degli e- liberi nel conduttore in equilibrio elettrostatico è disordinato:

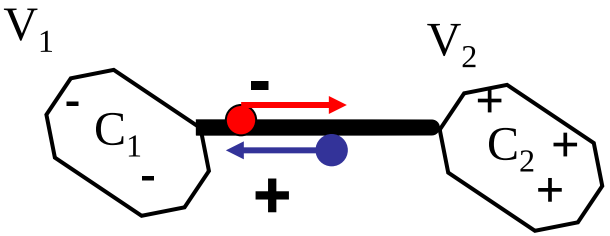


$v_d = 0$

$$\vec{v}_m = \frac{1}{N} \sum_i \vec{v}_i = 0$$

# Richiami: corrente elettrica

- Dati due conduttori carichi isolati tra loro $C_1$ e $C_2$ a potenziali $V_1$ e $V_2$ ($V_2 > V_1$). Se si mettano in contatto, tramite un conduttore:
- Fase transitoria: sotto l'azione del campo **E** (dovuto a $\Delta V$) si ha un flusso di elettroni da $V_1$ a $V_2$. Si raggiunge una situazione di equilibrio quando entrambi sono allo stesso V.

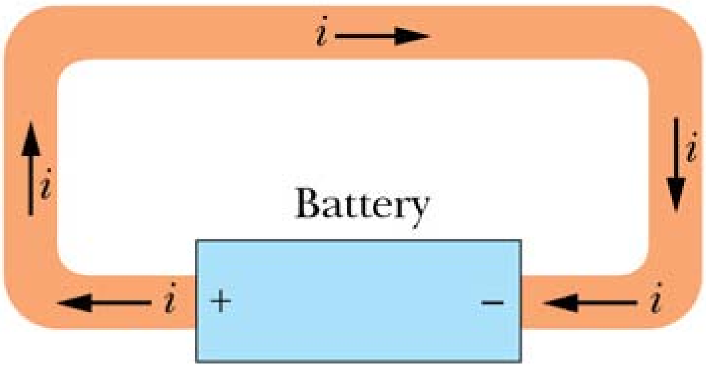


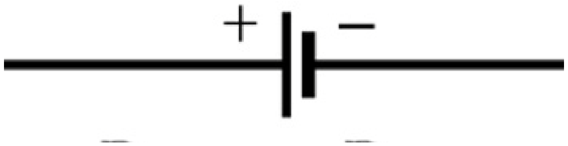

- La quantità totale di carica non cambia → principio di conservazione della carica → la carica si ridistribuisce in modo che il campo all'interno = 0.
- Moto ordinato di elettroni: una **CORRENTE ELETTRICA.**
- **Dura per un tempo molto breve…**

# Richiami: generatore di corrente

Per mantenere la differenza di potenziale tra due punti del conduttore occorre un **generatore di forza elettromotrice f.e.m..**

- il generatore primo fu inventato nel 1800 da Alessandro Volta!!
- in generale il suo funzionamento di basa sul principio che  il lavoro necessario per mantenere il moto ordinato di cariche è ottenuto trasformando energia chimica in energia elettrica.



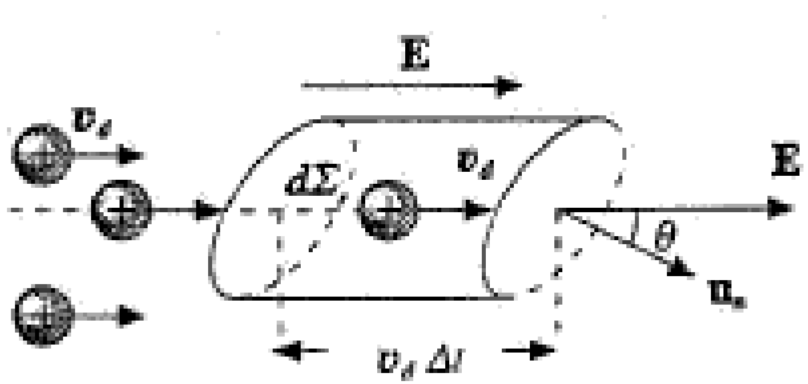



# Richiami: corrente elettrica

Sia ***n*** il numero di portatori di carica per unità di volume in una certa regione di un conduttore in cui agisca un **E**

I portatori saranno soggetti ad una forza elettrica, quindi si muoveranno con **velocità di deriva** $v_d$ // E, che da origine ad una corrente.

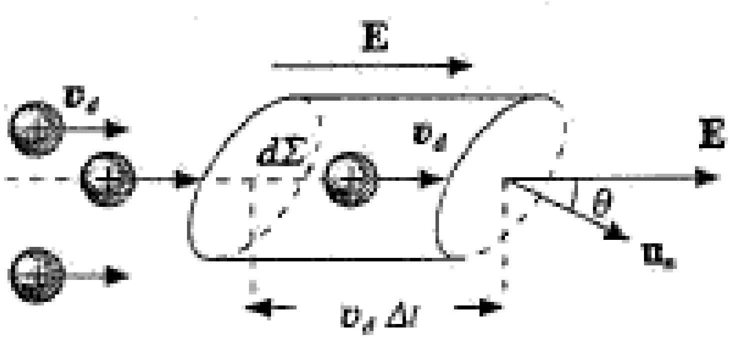
**Corrente elettrica:** è la quantità di carica che attraversa una data superficie Σ all'interno del conduttore nel tempo Δt:




$$\boxed{i = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}}$$

# Richiami: corrente elettrica

- Consideriamo una superficie infinitesima $d\Sigma$, la cui normale formi un angolo $\theta$ con il campo E.
- Nel tempo $\Delta t$ le cariche percorrono una distanza $v_d \Delta t$
- la carica che attraversa $d\Sigma$ in $\Delta t$ è quella contenuta nel volume :



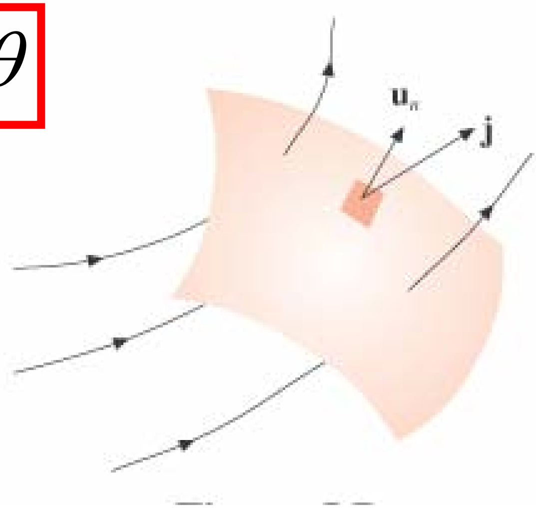

$$d\tau = \mathrm{v_d} \Delta t d\Sigma \cos\theta$$

$$dq = n_+ \mathrm{e} d\tau = n_+ \mathrm{e v_d} \Delta t d\Sigma \cos\theta$$

$$\boxed{di = n_+ \mathrm{e v_d} d\Sigma \cos\theta}$$

# Richiami: densità di corrente

L'intensità di corrente: $$\boxed{di = n_+ e v_d d\Sigma \cos\theta}$$




Definiamo il vettore **densità di corrente**:

$$\boxed{\vec{J} = n_+ e \vec{v}_d}$$

$$\Rightarrow \quad di = j d\Sigma \cos\theta = \vec{j} \cdot \vec{n} d\Sigma$$

Attraverso una superficie finita Σ $\Rightarrow$ $$\boxed{i = \int_\Sigma \vec{j} \cdot \vec{n} d\Sigma = \Phi_\Sigma(\vec{j})}$$

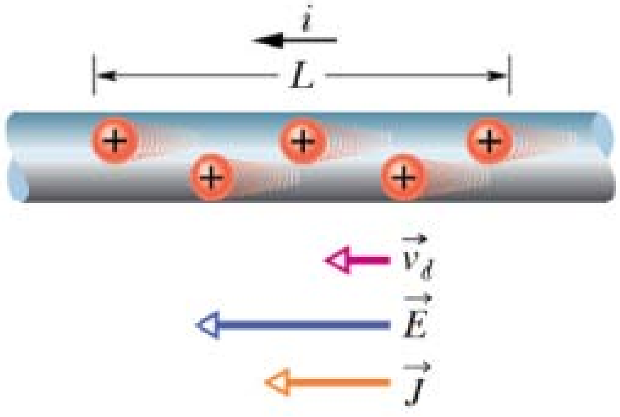
- **L' intensità corrente** è pari al flusso del vettore densità di corrente attraverso la superficie Σ

# Richiami: densità di corrente

Se Σ è ortogonale a J

$$\boxed{\begin{aligned} i &= j\Sigma \\ j &= \frac{i}{\Sigma} \end{aligned}}$$

➢**La densità di corrente:** è la corrente che attraversa l'unità di superficie perpendicolare alla direzione del moto delle cariche.




$$\boxed{\vec{J} = n_+ e \vec{v}_d}$$

# Richiami: densità di corrente

- Nei **conduttori metallici** la corrente è legata agli elettroni liberi (negativi)

$$\boxed{\vec{J} = -en_-\vec{v}_-}$$

(**J** ha sempre verso concorde ad **E**)

- **Nei fluidi ionizzati o nei semiconduttori** la corrente è dovuta sia ai portatori positivi che negativi:

$$\boxed{\vec{J} = -en_-\vec{v}_- + en_+\vec{v}_+}$$

- Su scala macroscopica non è possibile correlare il verso della corrente con il segno dei portatori di carica: ossia dato un campo gli stessi effetti si hanno se i portatori sono positivi o negativi.
- **Si assume come verso di percorrenza quello delle cariche positive**

# Richiami: corrente stazionaria

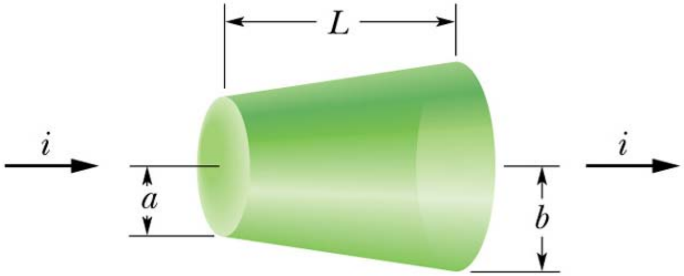
Consideriamo una regione di spazio di volume τ delimitato dalla superficie chiusa, Σ. La carica totale che passa nell'unità di tempo attraverso:

$$i = \oint \vec{j} \bullet \vec{n} d\Sigma$$

$$\begin{cases} \vec{j} \bullet \vec{n} d\Sigma > 0 \ \mathrm{q}_+ \text{ che esce o } \mathrm{q}_- \text{ che entra} \\ \vec{j} \bullet \vec{n} d\Sigma < 0 \ \mathrm{q}_+ \text{ che entra o } \mathrm{q}_- \text{ che esce} \end{cases}$$

**Per il principio di conservazione della carica:**

$$\boxed{i = \oint_{\Sigma} \vec{j} \bullet \vec{n} d\Sigma = -\frac{\partial q\,\mathrm{int}}{\partial t}}$$




*Se l'integrale è positivo la carica all'interno diminuisce e quindi derivata negativa*

# Richiami: corrente stazionaria

Se siamo in **condizioni di stazionarietà**, ossia la carica all'interno non varia:

$$i = \oint_{\Sigma} \vec{j} \bullet \vec{n} d\Sigma = 0$$

$$i = \oint_{\Sigma} \vec{j} \bullet \vec{n} d\Sigma = -\frac{\partial q \operatorname{int}}{\partial t}$$

$$\oint_{\Sigma} \vec{j} \bullet \vec{n} d\Sigma = -\int_{\tau} \frac{\partial \rho}{\partial t} d\tau$$

*T. Della divergenza*

$$\oint \vec{j} \bullet \vec{n} d\Sigma = \int_{\tau} \vec{\nabla} \cdot \vec{j} d\tau$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{j} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

**Equazione di continuità della corrente elettrica ..**

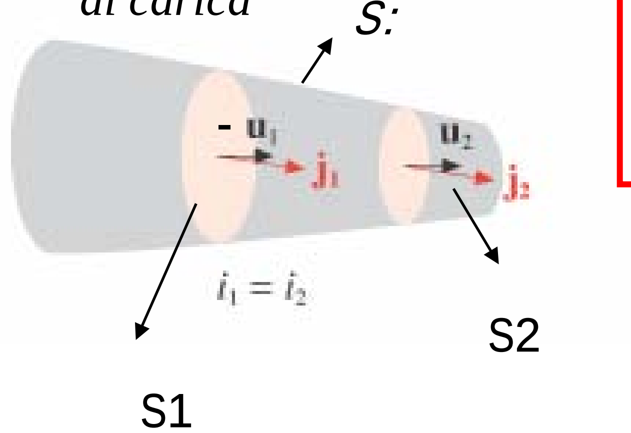
$$\vec{\nabla} \cdot \vec{j} = 0$$

**…in regime stazionario!**

# Corrente stazionaria

Conduttore percorso dalla densità di corrente **J,**

*attraverso cui non c'è flusso di carica*




$$i = \oint_S \vec{j} \bullet \vec{n} dS = \int_{S1} \vec{j}_1 \bullet \vec{n}_1 dS + \int_{S2} \vec{j}_2 \bullet \vec{n}_2 dS = 0$$

$$\boxed{I_1 = I_2}$$

In condizioni stazionarie l'intensità di corrente è la stessa attraverso ogni sezione del conduttore. Se il conduttore ha sezione variabile → la **densità di corrente** sarà maggiore dove la sezione è minore.

# Unità di misura per la CORRENTE

Nel S.I. l'unità di misura della **corrente elettrica** è l'ampere: A.
Si ha l'intensità di corrente di 1 A quando, attraverso una data superficie, passa la carica di 1 C in 1 s.

$$\boxed{A = \frac{C}{s}}$$

**Sottomultipli:**

1mA $10^{-3}$ A

1μA $=10^{-6}$A

1 nA = $10^{-9}$ A

**Multipli:**

1kA $10^{3}$A

1MA=$10^{6}$A

La **densità di corrente** si misura in A/$m^2$

# Legge di Ohm della conduzione elettrica

- **Legge di Ohm della conduttività elettrica:** sperimentalmente si osserva che, in regime stazionario, in un conduttore sottoposto ad una differenza di potenziale:

$$\boxed{\vec{J} = \sigma\vec{E}}$$

Dove σ: **conduttività elettrica** (caratteristica del mezzo)

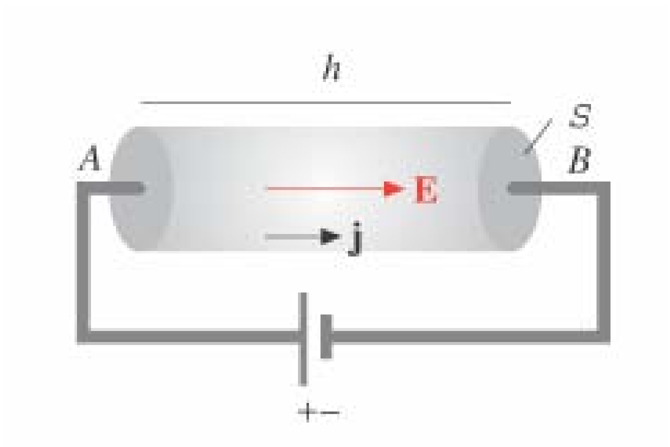
$$\Downarrow$$

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

- ρ è la **resistività del mezzo**: $\rho = \dfrac{1}{\sigma}$
- I conduttori che soddisfano la legge di ohm sono detti **conduttori Ohmici!**

# Conduttori metallici

**Conduttore metallico cilindrico** percorso da una corrente in **regime stazionario**




$V_a$ - $V_b$ = d.d.p. ai capi del conduttore

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

I = J S = (E/ρ) S → E = (ρ/S) I

$$V = V_A - V_B = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l} = Eh$$

V = (ρ/S) I h

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

R= resistenza del conduttore

# Legge di ohm per conduttori metallici

**Legge di Ohm per i conduttori metallici:** in regime stazionario il rapporto tra la d.d.p applicata ai capi di un conduttore metallico e l'intensità di corrente è pari alla **resistenza del conduttore**, che dipende solamente dalla natura del conduttore e dalle sue dimensioni.

$$\boxed{V = R\,I}$$

$$\boxed{R = \frac{\rho h}{S}}$$

**Unità di misura:**

1. La resistenza: $[R] = (ohm)\ \Omega = V/A$

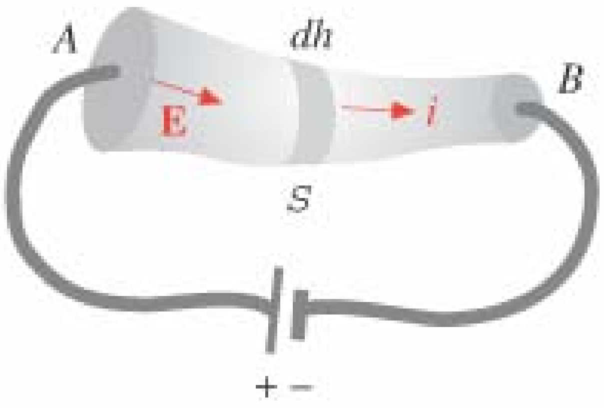
2. Le resistività:

$$\rho = \frac{RS}{h} = \left[\frac{\Omega m^2}{m} = \Omega m\right]$$

# Legge di ohm per conduttori metallici

Se la sezione del conduttore è variabile:

$$-dV = \vec{E} \cdot d\vec{s} = \rho \frac{dh}{S} i$$




*Integrando su tutto il conduttore:*

$$-\nabla V = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s} = Ri$$

*(i è la stessa in ogni sezione del conduttore)*

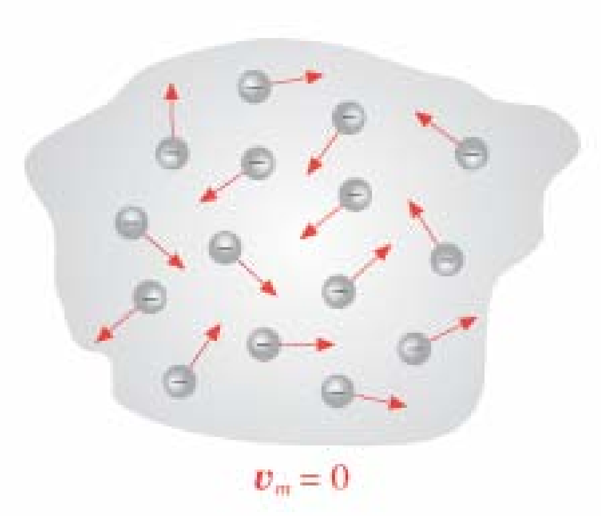
*POSTO:*

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

# Modello Classico della conduzione elettrica

Analizziamo il moto dei portatori di carica in un metallo da un punto di vista microscopico, secondo il modello di Drude-Lorentz (1906):

- gli ioni sono fissi
- gli $e^-$ si muovono attraverso il reticolo in modo disordinato
- nel loro moto gli $e^-$ subiscono continue "interazioni o urti"

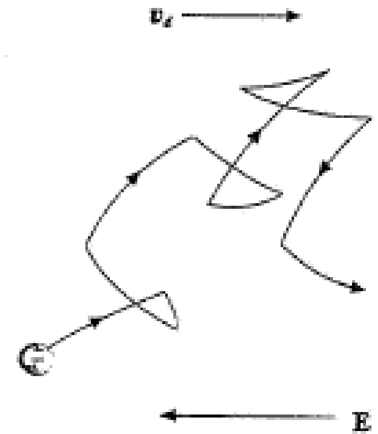



Nel rame o argento: $n \cong 10^{29}\,\mathrm{ele/m^3}$

Moto disordinato con urti con gli ioni fissi $\Leftrightarrow$ $\vec{v}_m = \frac{1}{N}\sum_i \vec{v}_i = 0$

$\tau$ tempo medio tra due urti $\quad$ $l$: libero cammino medio

# Modello Classico della conduzione elettrica




In presenza di un $\vec{E}$ $\Rightarrow$ $\vec{a} = -\frac{e}{m}\vec{E}$

Alla distribuzione casuale ed isostropa della velocità si sovrappone una velocità di deriva: $\vec{v}_d$

Essendo questa piccola rispetto a quella propria degli e, il tempo τ tra due urti non cambia:

$$\Rightarrow \quad \vec{v}_{i+1} = \vec{v}_i - \frac{e}{m}\vec{E}\tau$$

Prima i+1 urto

Dopo i urto

$$\vec{v}_d = \frac{1}{N}\sum_i \vec{v}_{i+1} = \cancel{\frac{1}{N}\sum_i \vec{v}_i} - \frac{e}{m}\vec{E}\tau = -\frac{e}{m}\vec{E}\tau \quad \Rightarrow \quad \boxed{\vec{v}_d = -\frac{e}{m}\tau\vec{E}}$$

Su N urti

Dopo ogni urto la distribuzione della velocità è casuale

# Conduttività e Legge di Ohm

$$\boxed{\vec{J} = -en_{-}\vec{v}_d = \frac{ne^2}{m}\tau\,\vec{E} = \sigma\vec{E}}$$

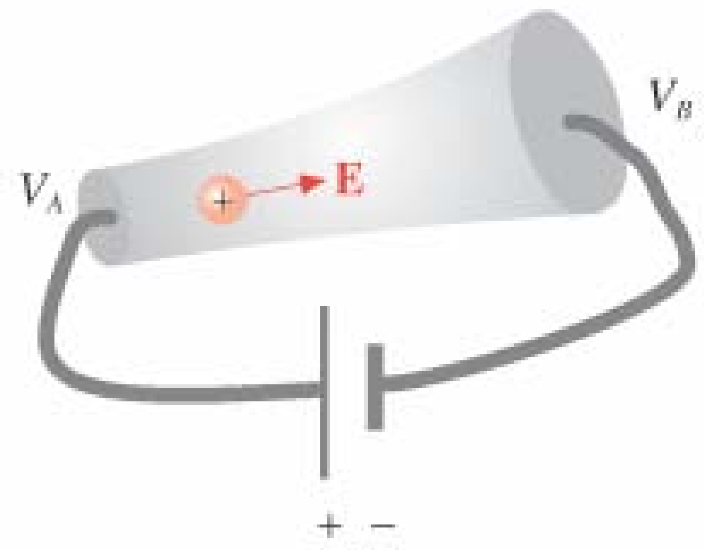
- σ è la **conduttività del mezzo** (dipende dalla natura del conduttore).
- $$\boxed{\vec{J} = \sigma\vec{E}}$$ **Legge di ohm della conduzione elettrica**
- $$\sigma \propto e^2 \Rightarrow \vec{J} \,//\, \vec{E}$$ $$\boxed{\sigma = \frac{ne^2}{m}\tau}$$
- **La potenza** spesa dalla Forza per mantenere in moto la carica *e*

$$\boxed{\begin{aligned} &P = \vec{F}\cdot\vec{v}_d = e\vec{E}\cdot\vec{v}_d \\ &P_{tot} = ne\vec{E}\cdot\vec{v}_d = ne\vec{v}_d\cdot\vec{E} = \vec{J}\cdot\vec{E} \\ &P_{tot} = \sigma E^2 = \sigma\frac{J^2}{\sigma^2} = \rho J^2 \end{aligned}}$$

e per unità di volume

# Effetto Joule (1)

Calcoliamo la potenza spesa per far circolare la ***i*** nel conduttore di sezione Σ lungo *dh*

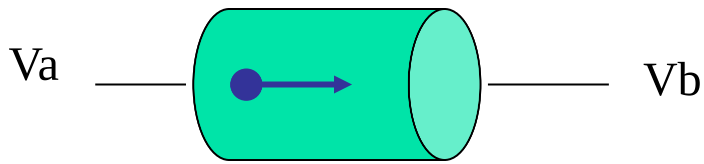



$$\boxed{P_{tot} = \rho J^2}$$

$$dP = P_{tot}\Sigma dh = \rho\frac{i^2}{\Sigma^2}\Sigma dh = \rho\frac{dh}{\Sigma}i^2$$

$$\boxed{P = i^2\int_A^B \rho\frac{dh}{\Sigma} = Ri^2 = Vi}$$

# Effetto Joule (2)




Per spostare la carica dq da A e B, viene compiuto il lavoro:

$dW = \Delta V\ dq = \Delta V\ i\ dt$

La potenza spesa dal campo per far circolare la corrente i $\rightarrow$

$P = dW / dt = \Delta V\ i$

Se vale le legge di ohm:

$$\boxed{P = RI^2 = \Delta V^2 / R}$$

- A causa degli urti gli elettroni cedono l'energia acquistata al conduttore, dando luogo ad un aumento di temperatura.
- L'effetto di riscaldamento di un conduttore percorso da corrente si chiama **effetto Joule**

# Effetto Joule

Il **lavoro compiuto** per far passare una corrente i attraverso un conduttore metallico per un tempo t:

$$\boxed{W = \int_0^t P dt = \int_0^t R i^2 dt}$$

Se i è costante:

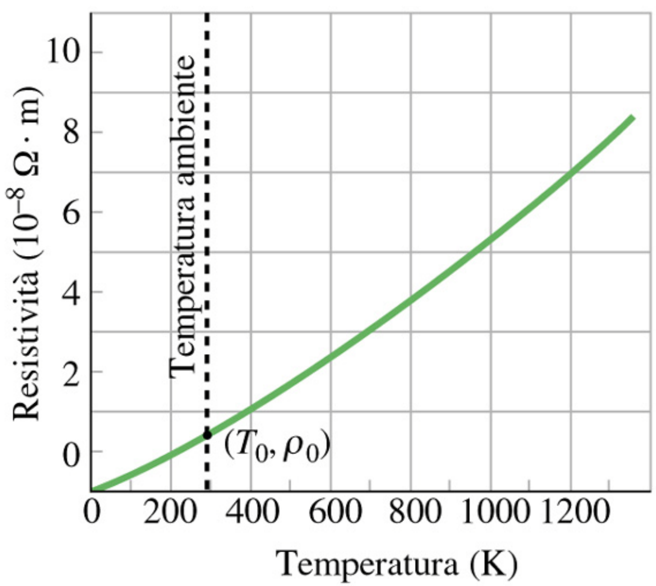
$$W = R i^2 t$$

***I semiconduttori*** *hanno una resistività molto bassa, quasi nulla. Hanno il grosso vantaggio che non occorre spendere questa potenza per mantenere la corrente (ma bisogna mantenere i cavi a bassissime temperature!!)*

# Resistenza e Temperatura

La **resistività** (e quindi la resistenza) di conduttori, semiconduttori e isolanti dipende dalla temperatura:

•La resistività di un ***conduttore metallico*** è piccola e generalmente cresce linearmente con la temperatura. La resistività, che spesso nelle tabelle è riportata a 20 °C, può essere quindi convertita ad altre temperature con una semplice espressione.




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

$$\text{dove } \Delta t = t - 20°C$$

$$\alpha : \text{coefficiente termico}$$

$$\alpha = \frac{1}{\rho_{20}} \frac{\Delta\rho}{\Delta t}$$

# Resistenza e Temperatura

**Tabella 6.1 Resistività e coefficienti termici della resistività**

| Materiale | Resistività ($\Omega \cdot m$) | Coefficiente termico ($°C^{-1}$) |
|---|---|---|
| argento | $1.59 \cdot 10^{-8}$ | $4.1 \cdot 10^{-3}$ |
| rame | $1.67 \cdot 10^{-8}$ | $6.8 \cdot 10^{-3}$ |
| oro | $2.35 \cdot 10^{-8}$ | $4.0 \cdot 10^{-3}$ |
| alluminio | $2.65 \cdot 10^{-8}$ | $4.3 \cdot 10^{-3}$ |
| tungsteno | $5.65 \cdot 10^{-8}$ | $4.5 \cdot 10^{-3}$ |
| zinco | $5.92 \cdot 10^{-8}$ | $4.2 \cdot 10^{-3}$ |
| nichel | $6.84 \cdot 10^{-8}$ | $6.9 \cdot 10^{-3}$ |
| ferro | $9.71 \cdot 10^{-8}$ | $6.5 \cdot 10^{-3}$ |
| platino | $10.6 \cdot 10^{-8}$ | $3.9 \cdot 10^{-3}$ |
| stagno | $11.0 \cdot 10^{-8}$ | $4.7 \cdot 10^{-3}$ |
| niobio | $12.5 \cdot 10^{-8}$ | |
| piombo | $20.7 \cdot 10^{-8}$ | $3.4 \cdot 10^{-3}$ |
| mercurio | $98.4 \cdot 10^{-8}$ | |
| carbonio (grafite) | $1.38 \cdot 10^{-5}$ | $-0.5 \cdot 10^{-3}$ |
| germanio | $0.46$ | $-48 \cdot 10^{-3}$ |
| silicio | $2.30 \cdot 10^{3}$ | $-75 \cdot 10^{-3}$ |
| acqua | $2 \cdot 10^{5}$ | |
| vetro | $10^{10} \div 10^{14}$ | |
| zolfo | $2 \cdot 10^{15}$ | |
| quarzo fuso | $10^{16} \div 10^{17}$ | |

**Conduttori**

**Semi - conduttori**

**isolanti**

# Resistenza e Temperatura

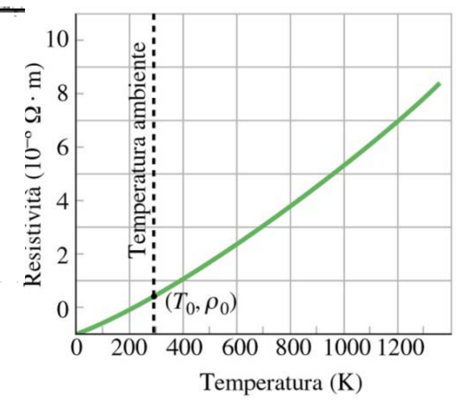
• In alcuni metalli (x es. il mercurio) la resistività decresce fortemente in vicinanza dello zero assoluto, saltando ad un valore approssimativamente nullo, al di sotto di un temperatura detta critica, $T_C$: si è in condizioni di ***superconduttività***. Più recentemente questo fenomeno è stato osservato anche con alcune ceramiche a temperature più elevate (170 K) (**superconduttività ad alta temperatura**) .

• La grande resistività dei ***semiconduttori*** decresce per riscaldamento.

• Negli ***isolanti*** la fortissima resistività decresce con l'aumentare della temperatura.

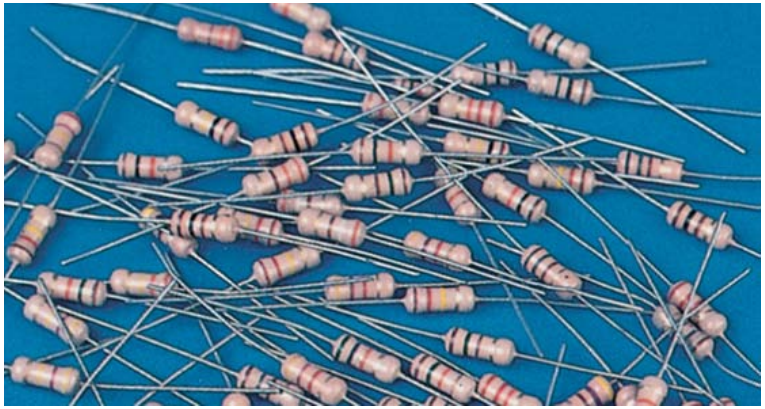
**Tabella 6.2 Temperatura critica di alcuni superconduttori**

| Materiale | $T_c$ (K) | Materiale | $T_c$ (K) |
|---|---|---|---|
| $Nb_3Ge$ | 23.2 | stagno | 3.72 |
| $Nb_3Sn$ | 18.1 | alluminio | 1.18 |
| niobio | 9.25 | zinco | 0.88 |
| piombo | 7.23 | cadmio | 0.52 |
| mercurio | 4.15 | iridio | 0.14 |



# Circuiti elettrici

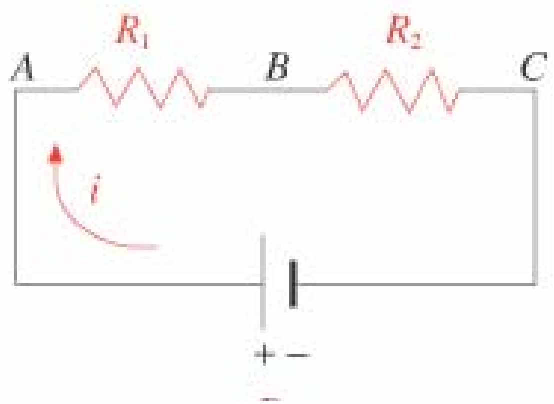
Nei circuiti elettrici vengono impiegati i **resistori**, ossia, conduttori ohmici caratterizzati da un determinato valore della resistenza e dal valore massimo della potenza che può essere dissipata.



Più resistori possono essere collegati insieme:

1. **In serie**
2. **In parallelo**

# Collegamenti R in serie




**In regime stazionario la i è la stessa:**

Legge di ohm:

$$V_A - V_B = R_1 i$$
$$V_B - V_C = R_2 i$$

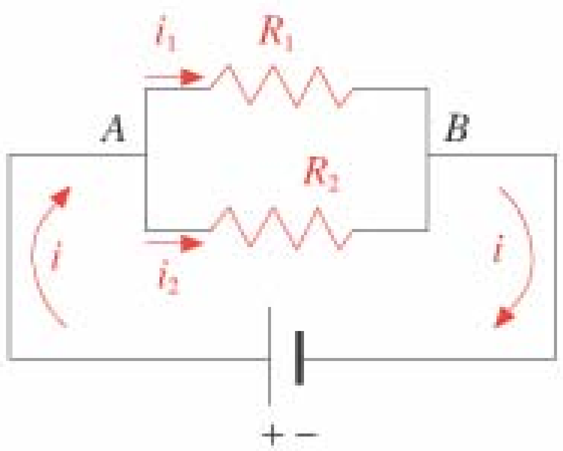
$$\boxed{V_A - V_C = (R_1 + R_2) i = R_{equi} i}$$

$$\boxed{R_{equi} = (R_1 + R_2)}$$

La potenza totale spesa:

$$P = (V_A - V_C) i = R_{eq} i^2 = P_1 + P_2$$

# Collegamenti R in parallelo




**Le due R hanno la stessa d.d.p.**

Poiché la corrente è stazionaria:

$$i = i_1 + i_2$$

$$\boxed{i = \frac{\Delta V}{R_1} + \frac{\Delta V}{R_2} = \Delta V\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \frac{\Delta V}{R_{equi}}}$$

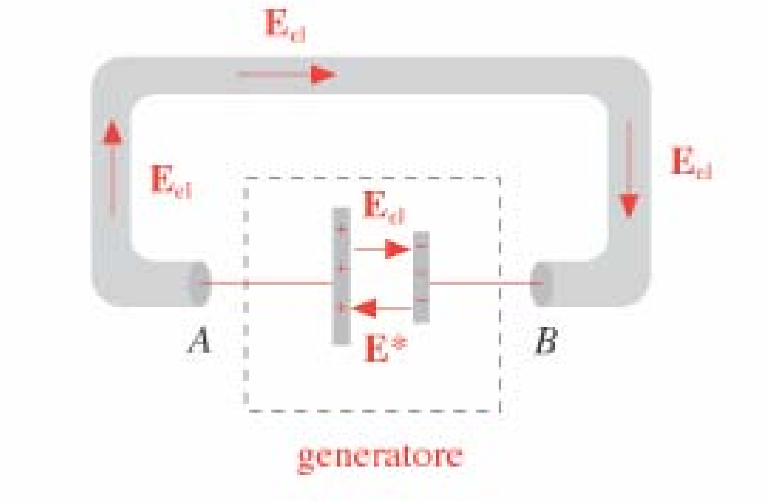
$$\boxed{\frac{1}{R_{equi}} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)}$$

La potenza totale spesa:

$$P = R_1 i_1^{\ 2} + R_2 i_2^{\ 2} = R_1 \frac{V^2}{R^2{}_1} + R_2 \frac{V^2}{R^2{}_1} =$$

$$= V^2\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \frac{V^2}{R_{eq}} = R_{eq} i^2$$

# Forza Elettromotrice



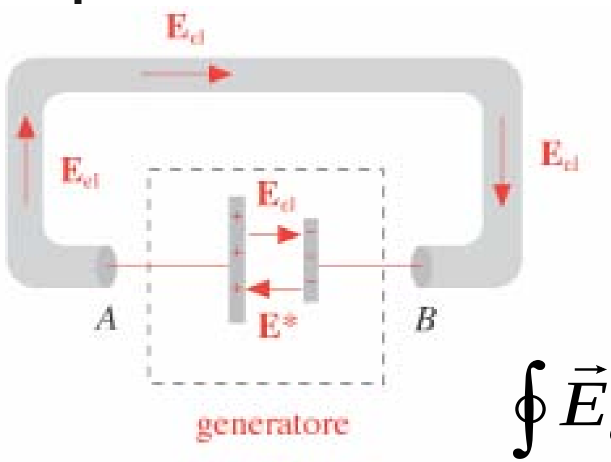

**Circuito chiuso**

$$V_A - V_B = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s} = Ri$$

$$\boxed{\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = R_T i}$$

- per **avere corrente** che circoli nel circuito serve una **f.e.m.**
- **un Campo E** la cui circuitazione non sia nulla
- **forze** di natura quindi **non elettrostatica** (NON conservative)
- il **dispositivo** che genera questa f.e.m, può sfruttare azioni meccaniche o reazioni chimiche o qualunque altro meccanismo.

# Forza Elettromotrice




- il campo elettrostatico $\mathbf{E}_{el}$ è sempre diretto da A → B sia nel conduttore che nel generatore.
- la sua circuitazione = 0

$$\oint \vec{E}_{el} \cdot d\vec{s} = \int_A^B (\vec{E}_{el} \cdot d\vec{s})_{ext} + \int_B^A (\vec{E}_{el} \cdot d\vec{s})_{\text{int}} = 0$$

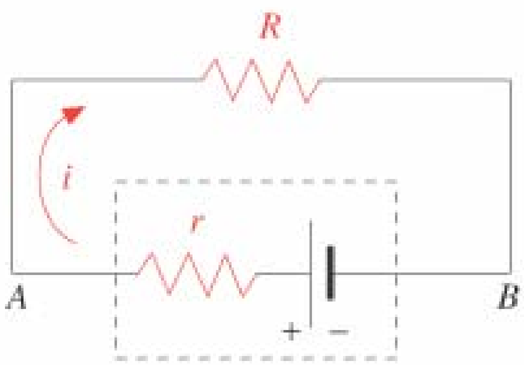
- nel generatore deve esserci un campo E* non elettrostatico **(campo elettromotore)** che faccia muovere le cariche.

$$\mathcal{E} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \int_A^B \vec{E}_{el} \cdot d\vec{s} + \int_B^A (\vec{E}_{el} + \vec{E}^*) \cdot d\vec{s} = \int_B^A \vec{E}^* \cdot d\vec{s}$$

- Il campo E è: non conservativo e la f.e.m coincide con la tensione del campo elettromotore calcolata lungo la linea interna che va da B ad A

# Forza Elettromotrice

➢ La corrente che attraversa il conduttore esternamente circola anche nel generatore da B ad A. Definiamo **la resistenza interna dal generatore**:



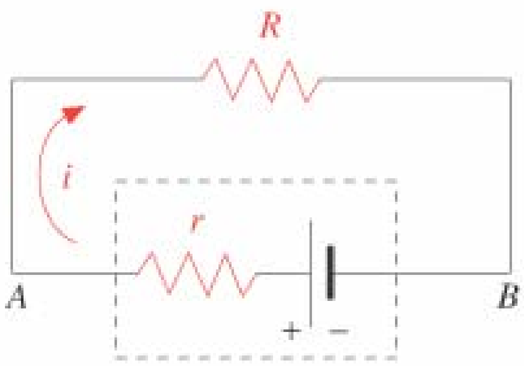

$$\int_B^A (\vec{E}_{el} + \vec{E}^*) \cdot d\vec{s} = ri$$

$$\mathcal{E} = \int_A^B \vec{E}_{el} \cdot d\vec{s} + \int_B^A (\vec{E}_{el} + \vec{E}^*) \cdot d\vec{s} = Ri + ri$$

$$\boxed{i = \frac{\mathcal{E}}{(r+R)}}$$

➢ La corrente che circola nel circuito è data dal rapporto tra la f.e.m fornita dal generatore e la resistenza totale.

# Forza Elettromotrice




$$\boxed{\mathcal{E} = Ri + ri}$$

$$V_A - V_B = Ri = \mathcal{E} - ri$$

➢ *A circuito aperto, ossia i = 0 la f.e.m. è pari alla d.d.p. misurata ai capi del generatore.*

$$\mathcal{E} i dt = Ri^2 dt + ri^2 dt \qquad \mathcal{E} i = Ri^2 + ri^2$$

➢ *il lavoro o la potenza fornito dal generatore viene dissipato nelle resistenze del circuito*