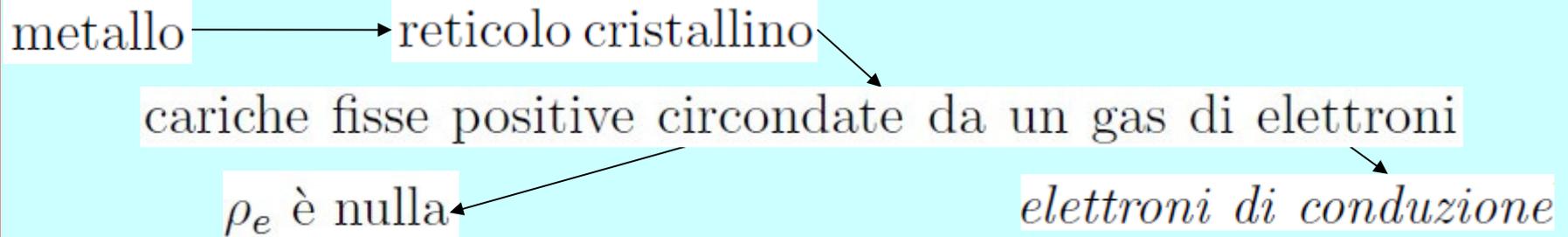


Conoscenze iniziali

- Concetto di carica e unità di misura ( $\approx 10 \text{ C} !!!$)
- Legge di Coulomb
- Concetto di campo elettrico e linee di forza
- Moto di una carica in un campo elettrico
- Teorema di Gauss e applicazioni (campo generato da una distribuzione di carica a simmetria sferica, campo generato da una lamina piana uniformemente carica e campo generato da due lastre piane uniformemente cariche).
- Potenziale elettrostatico, proprietà (principio di sovrapposizione) ed esempi (carica puntiforme).
- Superfici equipotenziali
- Elettrostatica di un conduttore
- Condensatori e concetto di capacità. Condensatori in serie e parallelo. Energia accumulata in un condensatore. Polarizzazione dei dielettrici ed effetto sulla capacità.

Conoscenze iniziali

Aspetti microscopici della conduzione in conduttori di tipo ohmico (metalli)



A temperatura diversa dallo zero assoluto gli atomi oscillano e gli elettroni si muovono a caso nel cristallo

distribuzione della velocità termica degli elettroni $\frac{1}{2}m_e\bar{v}^2 = \frac{3}{2}kT$

$k = 1.38 \cdot 10^{-23} J/K$ costante di Boltzman $m_e = 9.109 \cdot 10^{-31} Kg$

$(\bar{v}^2)^{\frac{1}{2}} (300 K) \simeq 1.2 \times 10^5 m/s$ x10 (teoria corretta)

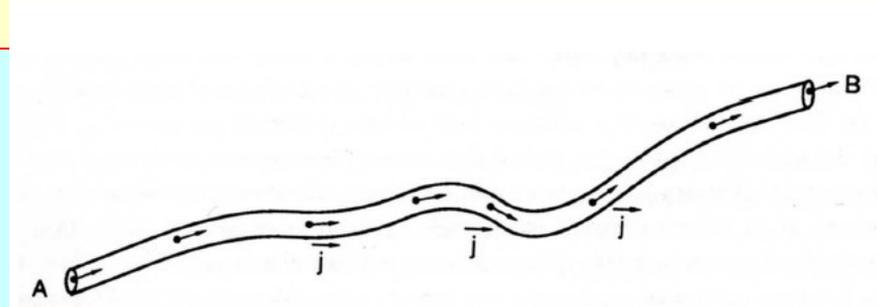
Conoscenze iniziali

All'applicazione di un campo da parte di un generatore il conduttore viene percorso da una corrente e in ogni punto del conduttore è possibile

definire il vettore densità di corrente \vec{j} tramite la relazione dove ρ_p è la densità dei portatori di carica moltiplicata

per la loro carica e \vec{v} è il vettore velocità dei portatori.

L'intensità di corrente attraverso una superficie S del conduttore è data da



$$\vec{j} = \rho_p \vec{v}$$

$$i = \int_S \vec{j} \cdot \vec{n} dS = \left(\frac{dq}{dt} \right)_S$$

Dal principio di conservazione della carica segue che

$$\text{div } \vec{j} = \vec{\nabla} \cdot \vec{j} = \frac{\partial j_x}{\partial x} + \frac{\partial j_y}{\partial y} + \frac{\partial j_z}{\partial z} = -\frac{\partial \rho_e}{\partial t}$$

dove ρ_e è la densità di carica elettrica di volume (diversa da ρ_p)

Considereremo nel seguito solo casi stazionari per i quali

$$\frac{\partial \rho_e}{\partial t} = 0 \longrightarrow \text{div } \vec{j} = 0$$

ovvero \vec{j} solenoidale, tubi di flusso \rightarrow flusso di \vec{j} ($= i$) costante

Conoscenze iniziali

quando si applica un campo elettrico \vec{E}_e

Velocità media di deriva $\longrightarrow \vec{j} = \rho_p \vec{v}_d$

Filo di Rame ($A = 63.6$) percorso da una corrente di 0.1 A

$$D = 0.01 \text{ cm}, S = 10^{-8} \text{ m}^2$$

$$v_d = j / \rho_p = i / (\rho_p S) = i / (eN S) \quad \text{dove } N = N_A \delta / A \quad \text{con } \delta \text{ densità di massa} \\ (8.9 \text{ g/cm}^3)$$

$$v_d = \frac{0.1}{eN \cdot 10^{-8}} = 7.4 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

ovvero circa 10 ordini di grandezza più piccola di quella termica!!!

Conoscenze iniziali

Conduzione nei metalli. All'interno di un conduttore a cui un generatore applica un campo elettrico $\vec{E}_e \rightarrow$ moto viscoso e vale:

$$\vec{E}_e + \vec{E}_d = 0$$

con \vec{E}_d campo resistente dato nei conduttori ohmici da

$$\vec{E}_d = -\frac{\vec{v}_d}{\mu}$$

Si ha quindi $\vec{v}_d = \mu \vec{E}_e$ ed essendo $\vec{j} = \rho_p \vec{v}_d$

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}_e$$

Legge di Ohm
con $\sigma = \mu \rho_p$

Quindi, per uno spostamento infinitesimo $d\vec{P}$ tangente al conduttore si ha

$$\frac{\vec{j} \cdot d\vec{P}}{\sigma} = \vec{E}_e \cdot d\vec{P} \longrightarrow \int_A^B \frac{\vec{j} \cdot d\vec{P}}{\sigma} = \int_A^B \vec{E}_e \cdot d\vec{P} = \varphi_A - \varphi_B$$

ovvero

$$i \int_A^B \frac{dl}{\sigma S} = \varphi_A - \varphi_B$$

$$R = \int_A^B \frac{dl}{\sigma S}$$

$$iR = \varphi_A - \varphi_B = V_{AB}$$

in gergo "caduta ohmica" o
"caduta di potenziale"

Conoscenze iniziali

$$R = \frac{l}{\sigma S}$$

R resistenza (Ω)

σ conducibilità del materiale ($\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$)

S sezione del conduttore

$\rho = 1/\sigma$ resistività del materiale ($\Omega \text{ cm}$) è funzione della temperatura T

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

con $T_0 = 20^\circ \text{C}$

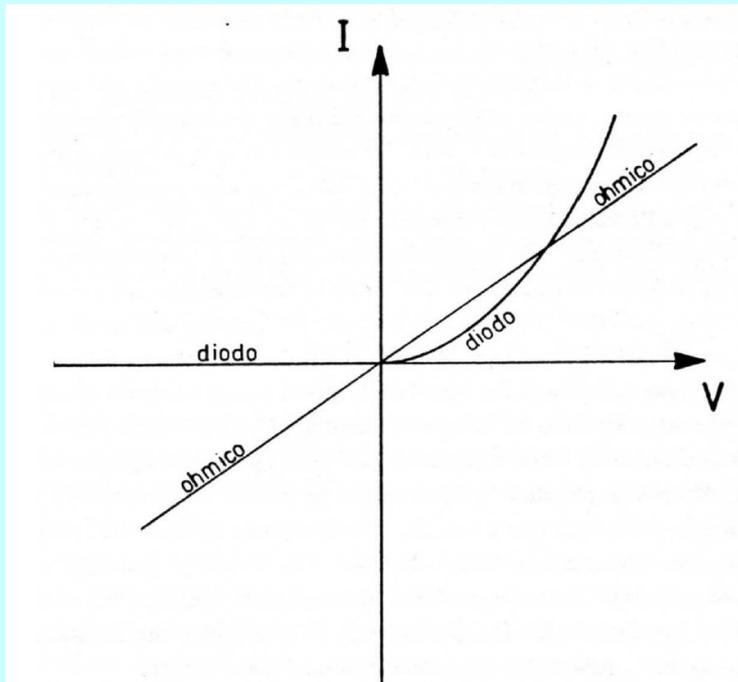
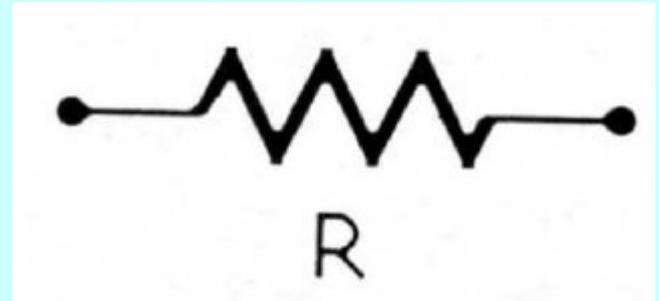
	$\rho_0 [\Omega \cdot \text{cm}]$	$\alpha [^\circ \text{C}^{-1}]$
Argento	$1.60 \cdot 10^{-6}$	$3.8 \cdot 10^{-3}$
Rame	$1.70 \cdot 10^{-6}$	$4.0 \cdot 10^{-3}$
Alluminio	$2.82 \cdot 10^{-6}$	$3.9 \cdot 10^{-3}$
Ferro	$9.60 \cdot 10^{-6}$	$6.0 \cdot 10^{-3}$
Manganina (Cu 85%, Mn 11%, Ni 4%)	$45.0 \cdot 10^{-6}$	$0.1 \cdot 10^{-4}$
Costantana (Cu 60%, Ni 40%)	$50.0 \cdot 10^{-6}$	$0.1 \cdot 10^{-3}$

dipende da T

$T = 20^\circ \text{C}$ minima

Conoscenze iniziali

Conduttore di resistenza R
zig-zag \rightarrow parte con resistenza finita,
(ex: filo di manganina $L=1\text{m}$, $S_m=10^{-4}\text{ m}^2$)
Tratti rettilinei "reofori" \rightarrow resistenza "nulla"
(ex: fili di rame $L \ll 1\text{m}$, $S \gg S_m$)

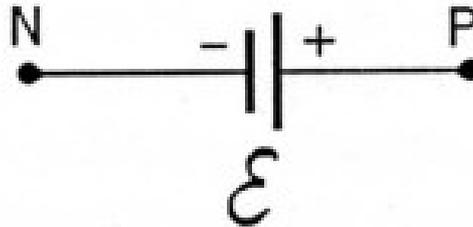


$I = f(V)$ "curva caratteristica"

Conduttore "ohmico" ($I = V/R$)
è lineare e bilaterale

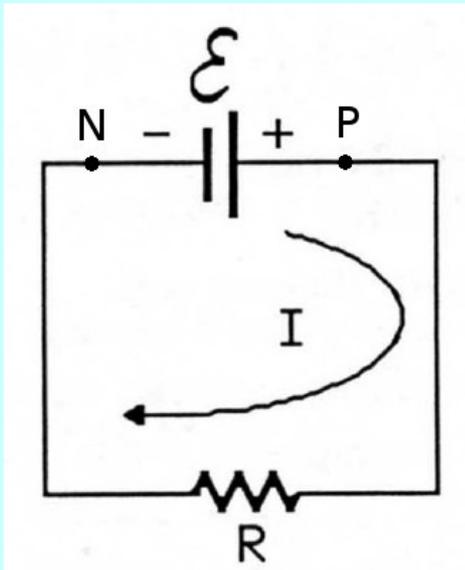
Generatore di forza elettromotrice

Dispositivo che mantiene una differenza di potenziale tra due suoi conduttori detti "poli" o "terminali" → + "positivo", - "negativo"



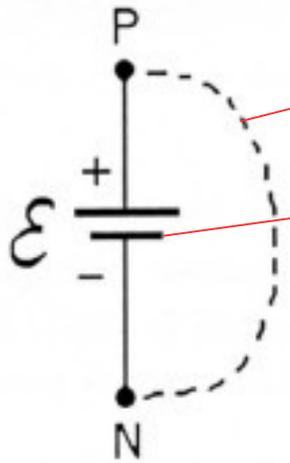
$$\varepsilon = \phi_P - \phi_N$$

costante



La corrente I scorre anche dentro il generatore ma in verso non "naturale" (dal - al +)
→ Campo E_g interno al generatore, aggiuntivo a quello elettrico E_e , che fa lavoro sulle cariche e mantiene la differenza di potenziale ε tra i terminali

Generatore di f.e.m. in condizioni statiche



$$\int_{P_{esterno}}^N \vec{E} \cdot d\vec{P} = \int_{P_{esterno}}^N \vec{E}_e \cdot d\vec{P} = \varphi_P - \varphi_N = \mathcal{E}$$

$$\int_{N_{interno}}^P \vec{E} \cdot d\vec{P} = \int_{N_{interno}}^P (\vec{E}_e + \vec{E}_g) \cdot d\vec{P} = \int_{N_{interno}}^P \vec{E}_e \cdot d\vec{P} + \int_{N_{interno}}^P \vec{E}_g \cdot d\vec{P} =$$

$$= \varphi_N - \varphi_P + \int_{N_{interno}}^P \vec{E}_g \cdot d\vec{P} = 0$$

Conduttore in condizioni statiche

$$\vec{E} = \vec{E}_e + \vec{E}_g = 0$$

$$\int_{N_{interno}}^P \vec{E}_g \cdot d\vec{P} = \mathcal{E}$$

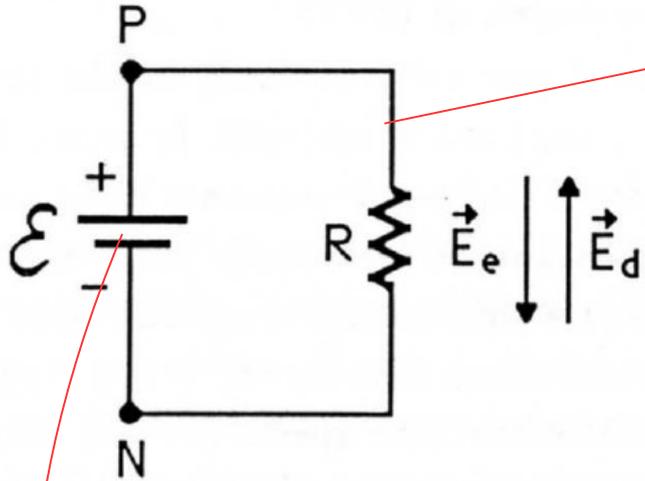
\vec{E}_g all'esterno del generatore è nullo

$$\oint \vec{E}_g \cdot d\vec{P} = \mathcal{E}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{P} = \mathcal{E}$$

In condizioni statiche E_g si oppone, all'interno del generatore, ad E_e ma non fa lavoro

Generatore di f.e.m. chiuso su un conduttore



Esterno

$$\vec{E}_e + \vec{E}_d = 0$$

$$\int_{P_{est}}^N \vec{E}_e \cdot d\vec{P} + \int_{P_{est}}^N \vec{E}_d \cdot d\vec{P} = 0$$

$$\varphi_P - \varphi_N = \mathcal{E} = - \int_{P_{est}}^N \vec{E}_d \cdot d\vec{P}$$

$\varphi_P - \varphi_N$ uguaglia il lavoro resistente sulla carica unitaria dovuto alle forze di attrito nel conduttore

Interno

$$\text{dovrà sempre essere } \vec{E}_e + \vec{E}_g = 0$$

ma ora il campo \vec{E}_g compie il lavoro \mathcal{E} sulla carica unitaria per portarla da N a P

\vec{E}_g può essere dovuto ad effetti elettrochimici (pile)
oppure elettromeccanici (dinamo)

Generatore reale di f.e.m.

La fem fornita non è però indipendente da I e si ha $\varepsilon' = \varepsilon - \Delta\phi(I)$

In molti casi $\Delta\phi(I)$ è dovuta a effetto ohmico (dissipativo) e quindi, all'interno del generatore, avremo

$$\vec{E}_e + \vec{E}_g + \vec{E}_d = 0$$

Facendo la circolazione sul circuito completo

$$\int_{N_{int}}^P \vec{E}_e \cdot d\vec{P} + \int_{N_{int}}^P \vec{E}_g \cdot d\vec{P} + \int_{N_{int}}^P \vec{E}_d \cdot d\vec{P} + \int_{P_{est}}^N \vec{E}_e \cdot d\vec{P} + \int_{P_{est}}^N \vec{E}_d \cdot d\vec{P} = 0$$

$= 0$

$$\mathcal{E} = - \int_{N_{int}}^P \vec{E}_d \cdot d\vec{P} - \int_{P_{est}}^N \vec{E}_d \cdot d\vec{P} \longrightarrow \mathcal{E} = I(\rho + R)$$

ρ rappresenta la cosiddetta "resistenza interna del generatore"

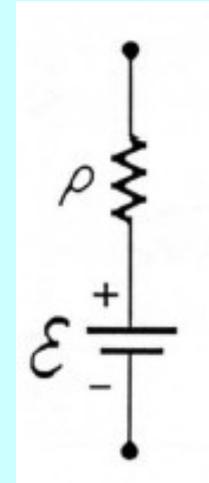
Generatore reale di f.e.m.

Ai terminali di uscita del generatore avremo

$$\mathcal{E}' = \mathcal{E} - I\rho$$

Pile $\rightarrow \rho$ variabile tra 0.1Ω (AA alkaline e NiMH) e circa 30Ω (ZnC)

Battery	Internal Resistance
9-V zinc carbon	35Ω
9-V lithium	16Ω to 18Ω
9-V alkaline	1Ω to 2Ω
AA alkaline	0.15Ω
AA NiMH	0.02Ω
D Alkaline	0.1Ω
D NiCad	0.009Ω
D SLA	0.006Ω
AC13 zinc-air	5Ω
76 silver	10Ω
675 mercury	10Ω



In laboratorio:
Generatori stabilizzati di fem
di alcuni V $\rightarrow \rho < 1 \Omega$