

Laboratorio di Fisica II

Docenti: Marco Capitanio marco.capitanio@unifi.it
tel. 055-4572054
Andrea Stefanini andrea.stefanini@unifi.it
tel. 055-4572269
(per urgenze 3491290998)

Il semestre

4 Esperienze

Lunedì e Giovedì ore 14:30 – 18:30 a partire dal 15 Maggio (da confermare)

- Misura di forza elettromotrice e resistenza con metodo potenziometrico
- Misura del campo magnetico con sonda di Hall
- Misure di impedenza con ponti in corrente alternata

Una a scelta tra

- Misure su circuiti risonanti
- Misure con filtri

Le esperienze di laboratorio saranno realizzate dagli studenti in gruppi di 3/4 componenti (conferma dei gruppi di Laboratorio di Ottica salvo esplicita richiesta)

Testi

Testi utilizzati per le lezioni

“Esperimenti di elettricità e magnetismo” – G.Poggi

La versione aggiornata è disponibile in formato .pdf sul sito Moodle

dove sono anche disponibili

- Programma del corso**
- Dispense**
- Schede tecniche degli strumenti di laboratorio**
- ecc.....**

Sul sito saranno inoltre rese disponibili, dopo lo svolgimento delle lezioni, le file .pdf delle presentazioni .ppt mostrate in aula

Obbligo di frequenza

Presenza (attiva) ai 4 turni di esperienza

Esami


Procedura standard

- Prova pratica (di ammissione alla prova orale)
- Prova orale

Modalità alternativa

- Prova scritta intermedia individuale
- Almeno 3 relazioni sufficienti sulle esperienze, relazioni da consegnarsi entro 7 giorni dalla realizzazione delle corrispondenti esperienze -> le relazioni saranno valutate e avranno un peso sulla valutazione finale
- Prova orale (bonus di esenzione dalla prova pratica valido per 2 appelli nelle sessioni estiva ed autunnale)

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

In ogni punto di un conduttore percorso da corrente è possibile definire il vettore densità di corrente \vec{j}

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

Dal principio di conservazione della carica segue che

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

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

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

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

Considereremo nel seguito solo casi stazionari per i quali

$$\frac{\partial \rho_e}{\partial t} = 0$$

ovvero

$$\text{div } \vec{j} = 0$$

\vec{j} solenoidale, tubi di flusso
→ flusso di $\vec{j} = i$ costante

Conoscenze iniziali

Conduzione nei metalli. All'interno di un conduttore (moto viscoso)

$\vec{E}_e + \vec{E}_d = 0$ con \vec{E}_e campo elettrico applicato dal generatore e \vec{E}_d campo resistente dato nei conduttori ohmici da

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

Si ha quindi $\vec{v}_d = \mu \vec{E}_e$

da cui segue $\vec{j} = \rho_p \vec{v}_d \longrightarrow \vec{j} = \sigma \vec{E}_e$
Legge di Ohm

Inoltre, per un dP tangente al conduttore

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

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 ($\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$)

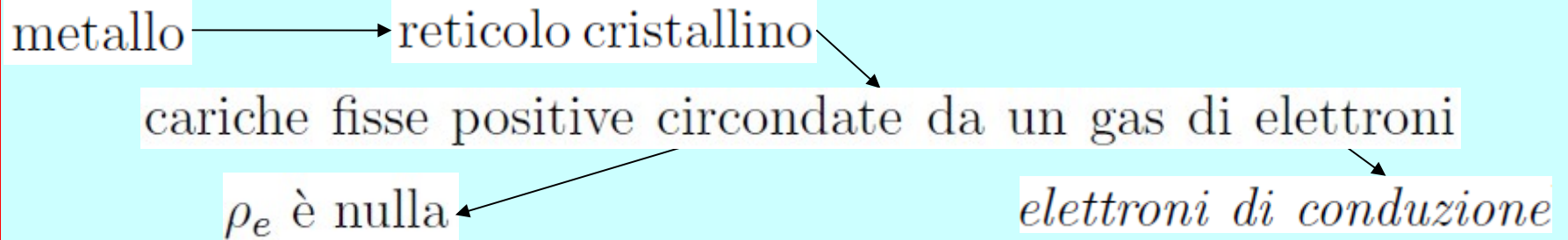
$\rho = 1/\sigma$ resistività del materiale ($\Omega \text{ cm}$)

	ρ [$\Omega \cdot \text{cm}$]	α [$^{\circ}\text{C}^{-1}$]	
Argento	$1.60 \cdot 10^{-6}$	$3.8 \cdot 10^{-3}$	Indip. da T
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%)	$45.0 \cdot 10^{-6}$	$0.1 \cdot 10^{-4}$	T = 20°C minima
Costantana (Cu 60%, Ni 40%)	$50.0 \cdot 10^{-6}$	$0.1 \cdot 10^{-3}$	

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

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

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

velocità media di deriva data dalla legge di Ohm: $\vec{v}_d = \mu \vec{E}_e$

filo di Rame percorso da una corrente di 0.1 A

$$L = 1 \text{ m}, D = 0.01 \text{ cm}$$

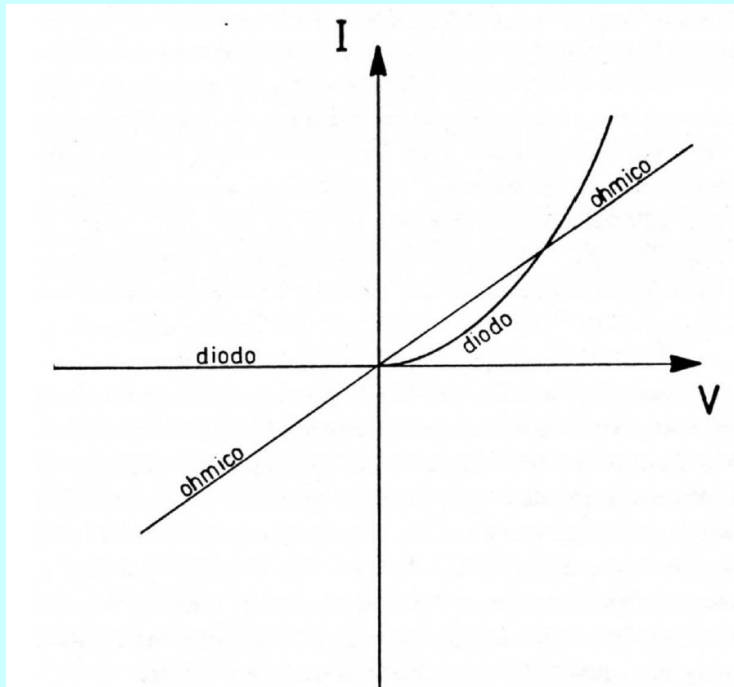
$$v_d = i / (\rho_p S) = i / (eN S) = i / (e N_A \delta S / A) \quad \text{con } \delta \text{ densità di massa}$$

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

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

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 $L \ll 1\text{m}$, $S \gg S_m$)

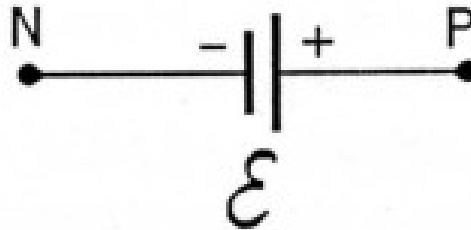


Conduttore "ohmico" è
lineare e bilaterale

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

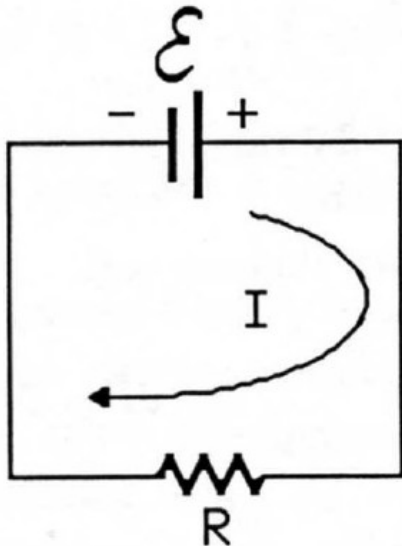
Generatore di forza elettromotrice

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



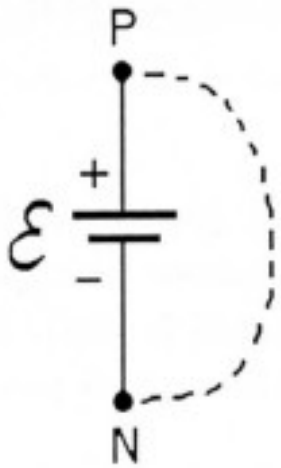
$$\varepsilon = \phi_P - \phi_N$$

costante



La corrente I scorre anche dentro il generatore
ma in verso non “naturale”
→ 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



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

$$\begin{aligned} \int_{N_{interno}}^P \vec{E} \cdot d\vec{P} &= \int_{N_{interno}}^P (\vec{E}_e + \vec{E}_g) \cdot d\vec{P} = \int_{N_{interno}}^P \vec{E}_e \cdot d\vec{P} + \int_{N_{interno}}^P \vec{E}_g \cdot d\vec{P} = \\ &= \varphi_N - \varphi_P + \int_{N_{interno}}^P \vec{E}_g \cdot d\vec{P} = 0 \end{aligned}$$

Conduttore in condizioni statiche

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

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

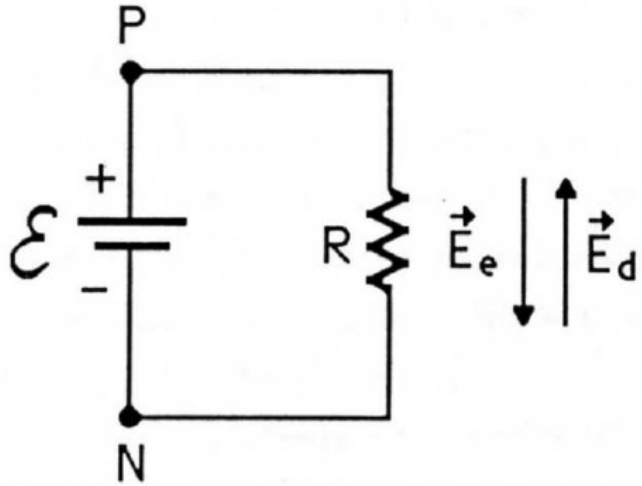
\vec{E}_g all'esterno del generatore è nullo

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

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

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

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

ma ora il campo E_g compie il lavoro ε sulla carica unitaria per portarla da N a P

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 ad effetto ohmico e quindi, all'interno del generatore, avremo

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

Facendo la circolazione sul circuito completo

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

$$\varepsilon = - \int_{N_{int}}^P \vec{E}_d \cdot d\vec{P} - \int_{P_{est}}^N \vec{E}_d \cdot d\vec{P}$$

$$\varepsilon = I(\rho + R)$$

ρ rappresenta la cosiddetta "resistenza interna del generatore"

Ai capi del generatore avremo

$$\varepsilon' = \varepsilon - I\rho$$

Generatori di fem di alcuni V $\rightarrow \rho < 1 \Omega$ - Pile $\rho \gg 1 \Omega$

