

Laboratorio di Elettromagnetismo

- Scopo del corso:
 - Imparare come si fanno misure di tipo elettrico,
 - Come funzionano gli strumenti e come si connettono tra di loro
- Importanza del corso
 - La maggior parte dei sensori di osservabili fisiche sono trasduttori, che convertono l'osservabile fisica in una quantità elettrica (carica, corrente, tensione ...)
 - Meglio si misurano le quantità elettriche, meglio si misura l'osservabile fisica che ci interessa.

Corso di laboratorio di elettromagnetismo

- Il corso è basato su
 - Lezioni in Aula
 - Esperienze di Laboratorio.
- Nelle lezioni in aula si daranno tutte le informazioni (complementari a quanto avete già studiato in elettromagnetismo) necessarie a
 - Capire come funzionano gli strumenti di misura
 - Capire come si fanno (ed ottimizzano) le misure
- Quanto fatto in aula viene poi applicato in laboratorio

Corso di laboratorio di elettromagnetismo

6/7 Esperienze di Laboratorio presso i laboratori di Via Tiburtina:
Il mercoledì pomeriggio, calendario provvisorio (a partire dalla terza/quarta lezione).

- **Misure in Corrente Continua**
- **Oscilloscopio, generatore di segnali e RC/CR**
- **RCL - 1**
- **RCL - 2**
- **Capacimetro**
- **Linea di ritardo**
- **Esonero**
- **Prova pratica**

Quaderni di laboratorio

Saranno di gruppo e devono essere consegnati al termine dell'esercitazione. Come impostazione, i quaderni saranno più dei "logbook" che delle vere relazioni, anche se conterranno, oltre ai dati, delle rapide elaborazioni sui dati stessi

Relazione

La relazione è individuale su un tema, riguardante una o più esercitazioni, assegnato dal docente, ed è basata sui dati raccolti durante le esercitazioni e registrati nel logbook. Dovrà essere portata all'orale, insieme al quaderno.

Assenze

Le esercitazioni hanno carattere di lavoro di gruppo. È ammessa una sola assenza, che va comunque recuperata tempestivamente. Eventuali eccezioni, opportunamente giustificate, saranno trattate individualmente.

Circuiti elettrici

- Un circuito elettrico è un insieme di elementi collegati tra loro allo scopo di trasferire energia elettrica.
- L'energia elettrica può essere immagazzinata sotto forma di campo elettrico o campo magnetico; può derivare da energia chimica o radiativa e può produrre calore o movimento. Per questo è importante saperla trasferire ed utilizzare al meglio.

Circuiti elettrici

- Un circuito elettrico è un insieme di **elementi** collegati tra loro allo scopo di trasferire energia elettrica.
- Gli elementi fondamentali ideali di un circuito elettrico possono essere
 - **Attivi**: quando forniscono energia agli altri elementi, ad esempio generatori di tensione elettrica, generatori di corrente, batterie etc.
 - **Passivi**: quando dissipano o immagazzinano energia: resistori, condensatori, induttori

Correnti elettriche

- Una corrente elettrica e' un movimento di cariche elettriche.
- Noi avremo a che fare col movimento di elettroni in conduttori e semiconduttori
- e^- : $(1.60217653 \pm 0.00000014) \times 10^{-19}$ Coulomb
- Per noi: 1.6×10^{-19} Coulomb

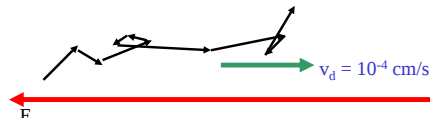
Correnti elettriche

- Moto di un elettrone in un metallo:
- Agitazione termica



L' elettrone urta continuamente contro gli atomi del reticolo cristallino, e viene deviato in una direzione qualsiasi. il moto medio e' casuale (browniano)
 $\langle v^2 \rangle^{1/2} = 10^6$ cm/s

- Agitazione termica in presenza di un campo elettrico: si instaura una lenta velocita' di deriva



La legge di Ohm

- Sia τ il tempo medio tra due urti e v_d la velocita' di deriva: il libero cammino medio sara' $L = \tau v_d$.
- Il moto tra due urti e' dovuto alla forza del campo elettrico $\mathbf{F} = -e\mathbf{E}$, e sara' quindi uniformemente accelerato con $\mathbf{a} = -e\mathbf{E}/m$.
- La velocita' media sara' $\mathbf{v}_d = \mathbf{a}\tau = -(e\mathbf{E}/m)\tau$.
- La densita' di corrente sara' quindi $\mathbf{J} = -en\mathbf{v}_d$ e quindi $\mathbf{J} = (e^2\tau n/m)\mathbf{E}$ ovvero $\mathbf{J} = \sigma\mathbf{E}$ dove con σ si e' indicata la conducibilita' elettrica, che e' una caratteristica del metallo (e puo' dipendere dalla temperatura, dall' intensita' del campo $\mathbf{E}$ e dalla direzione).
- In generale $\mathbf{J} = \underline{\sigma}(\mathbf{E})\mathbf{E}$ con $\underline{\sigma}$ tensore del 2° ordine.

Densita' di corrente

- Quantita' di corrente per unita' di tempo attraverso l'unita' di superficie (per una sezione trasversale). Se N e' il numero dei portatori di carica per m^2 , ognuno di essi di carica q , che si muovono nel conduttore con velocita' $\mathbf{v}_d$, la carica che fluisce nell' unita' di tempo attraverso una sezione A del conduttore e':

$$I = \int_A Nq\mathbf{v}_d \cdot \mathbf{n} dA$$

- si chiama allora densita' di corrente il vettore: $\mathbf{\bar{J}} = Nq\mathbf{v}_d$

- Questo e' un vettore che ha la stessa direzione e lo stesso verso della velocita' di deriva dei portatori di carica che a sua volta ha direzione uguale e concorde al campo elettrico se la carica q e' positiva e discorde se la carica q e' negativa. In ogni caso $\mathbf{J}$ e' parallelo e concorde ad $\mathbf{E}$ e si misura in A/m^2

Legge di Ohm

- Nel caso di un filo metallico omogeneo, isotropo, di sezione costante, e lineare, σ e' costante ed indipendente da $\mathbf{E}$ e dalla direzione.
- Il suo inverso e' detto resistivita': $\rho = 1/\sigma$.
- Sia l la lunghezza del conduttore e S la sezione. Appliciamo una differenza di potenziale ΔV ai capi del conduttore.

Legge di Ohm

$$\Delta V = \int_l \vec{E} \cdot d\vec{l} = El$$

$$I = \int_s \vec{J} \cdot \vec{n} da = JS$$

$$\text{ma } J = \sigma E \text{ e quindi } \frac{I}{S} = \sigma \frac{\Delta V}{l}$$

$$\text{e quindi } I = \frac{\sigma S}{l} \Delta V$$

$$\text{definendo la resistenza } R = \frac{l}{\sigma S}$$

$$\text{si trova la legge di Ohm } \Delta V = RI \quad \leftarrow$$

Correnti elettriche

- Vedremo che grazie alle correnti elettriche si possono trasferire energia ed informazioni all'interno di circuiti elettrici.
- Ci interessano quindi le relazioni tra differenza di potenziale e corrente per i diversi elementi di un circuito elettrico.
- Lo studio dei circuiti elettrici consiste nel saper calcolare e misurare le correnti e le tensioni in qualunque punto di un circuito comunque complicato.

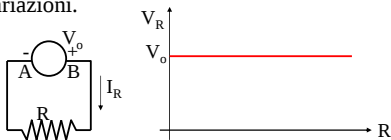
- Per gli elementi passivi valgono le seguenti relazioni, note dallo studio dell'elettromagnetismo:

		
$V = RI;$ Legge di Ohm $I = V / R;$	$V = \frac{1}{C} \int_0^t Idt;$ Def. di $C=Q/V$ $I = C \frac{dV}{dt};$	$V = L \frac{dI}{dt}$ Legge di Lenz $I = \frac{1}{L} \int_0^t Vdt$

- Dove:
 - V = differenza di potenziale ai capi dell'elemento considerato,
 - I = intensità di corrente che attraversa l'elemento stesso,
 - R = resistenza,
 - C = capacità,
 - L = coefficiente di autoinduzione (o induttanza), t = tempo

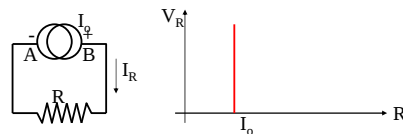
Generatore ideale di tensione

- E' una sorgente di energia capace di mantenere una differenza di potenziale costante tra due punti A e B, indipendentemente da ciò che viene connesso tra quei due punti.
- Se si connette un circuito elettrico tra quei due punti, il generatore farà scorrere corrente nel circuito in modo che ΔV_{AB} rimanga costante, indipendentemente dai componenti del circuito e dalle loro variazioni.
- Esempio:



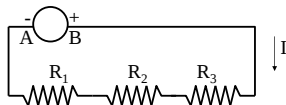
Generatore ideale di corrente

- E' una sorgente di energia capace di erogare una corrente di intensità I_o costante, iniettandola in un punto A e ricevendone altrettanta in un punto B, indipendentemente da ciò che viene connesso tra A e B.
- Se si connette un circuito elettrico, il generatore varierà la tensione ΔV_{AB} in modo che I rimanga costante, indipendentemente dai componenti del circuito e dalle loro variazioni.
- Esempio:



Semplici circuiti elettrici

- Circuito con resistenze in serie



$$V_1 = R_1 I; \quad V_2 = R_2 I; \quad V_3 = R_3 I; \quad \text{ma}$$

$$V_1 + V_2 + V_3 = V; \quad \text{quindi}$$

$$R_1 I + R_2 I + R_3 I = V \quad \text{da cui}$$

$$V = RI \quad \text{con} \quad R = R_1 + R_2 + R_3; \quad R = \sum_i R_i$$

Semplici circuiti elettrici

- Circuito con resistenze in parallelo

$$I_1 = V_1 / R_1; \quad I_2 = V_2 / R_2; \quad I_3 = V_3 / R_3;$$

$$\text{ma} \quad V_1 = V_2 = V_3 = V;$$

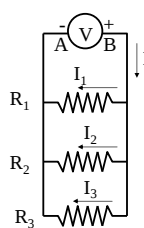
$$\text{inoltre} \quad I_1 + I_2 + I_3 = I \quad \text{da cui}$$

$$I = V / R_1 + V / R_2 + V / R_3 =$$

$$= V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \quad \text{da cui}$$

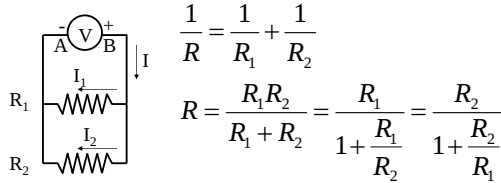
$$V = RI \quad \text{con}$$

$$\frac{1}{R} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right); \quad \frac{1}{R} = \sum_i \frac{1}{R_i}$$



Semplici circuiti elettrici

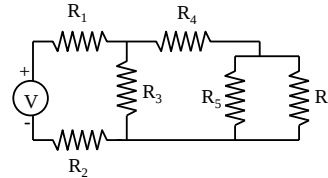
- Parallelo di due resistenze



- Il denominatore e' sempre >1, quindi R e' sempre inferiore alla piu' piccola delle resistenze componenti il circuito.

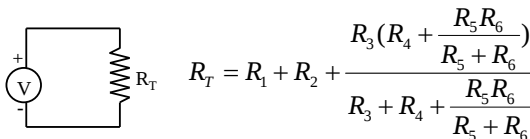
Rete

- Una connessione di circuiti serie e parallelo si chiama rete. Applicando ripetutamente le formule di serie e parallelo si puo' ricavare la resistenza equivalente.



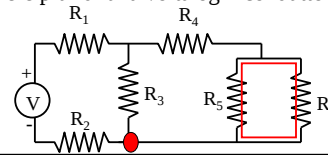
Rete

- Una connessione di circuiti serie e parallelo si chiama rete. Applicando ripetutamente le formule di serie e parallelo si puo' ricavare la resistenza equivalente.



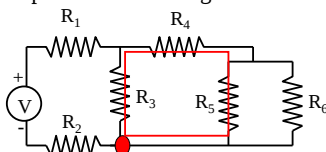
Principi di Kirchhoff

- Una rete qualunque di conduttori puo' essere sempre pensata come costituita da nodi e da maglie.
- Un **nodo** e' un punto in cui convergono piu' conduttori
- Una **maglia** e' il percorso che si ottiene partendo da un nodo e muovendosi lungo i conduttori della rete in modo da tornare al punto di partenza senza percorrere piu' di una volta ogni conduttore.



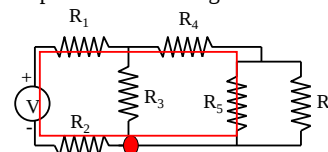
Principi di Kirchhoff

- Una rete qualunque di conduttori puo' essere sempre pensata come costituita da nodi e da maglie.
- Un nodo e' un punto in cui convergono piu' conduttori
- Una maglia e' il percorso che si ottiene partendo da un nodo e muovendosi lungo i conduttori della rete in modo da tornare al punto di partenza senza percorrere piu' di una volta ogni conduttore.



Principi di Kirchhoff

- Una rete qualunque di conduttori puo' essere sempre pensata come costituita da nodi e da maglie.
- Un nodo e' un punto in cui convergono piu' conduttori
- Una maglia e' il percorso che si ottiene partendo da un nodo e muovendosi lungo i conduttori della rete in modo da tornare al punto di partenza senza percorrere piu' di una volta ogni conduttore.

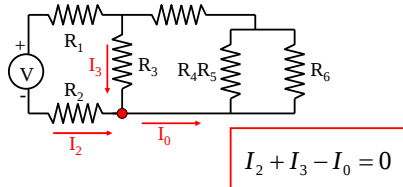


Primo Principio di Kirchhoff

- La somma algebrica delle correnti confluenti in un nodo di un circuito elettrico e' sempre nulla:

$$\sum_k I_k = 0$$

- Si intendono positive le correnti entranti e negative quelle uscenti.



Primo Principio di Kirchhoff

- Questa legge deriva dal fatto che la carica non si puo' accumulare nei nodi: in un certo intervallo di tempo la carica che entra deve essere uguale a quella che esce.

Secondo Principio di Kirchhoff

- Lungo una qualsiasi maglia di un circuito elettrico e' nulla la somma di tutte le differenze di potenziale ai capi degli elementi che la costituiscono.

$$\sum_i V_i = 0$$

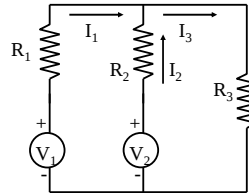
- Se si indicano con V_i le ddp dei generatori e con $R_j I_j$ le cadute di tensione sulle resistenze, la stessa legge si puo' scrivere come:

$$\sum_i V_i = \sum_j R_j I_j$$

- Deriva direttamente dalla applicazione della legge di Ohm ai singoli elementi della maglia

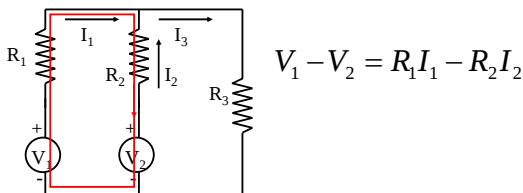
Esempio sui Principi di Kirchhoff

- Questa relazione si utilizza fissando un verso arbitrario di percorrenza della maglia, e considerando positive tutte le ddp che tendono a far circolare la corrente in tale verso, e negative le altre; stesso criterio per i prodotti RI
- Esempio: vogliamo trovare le correnti I_1, I_2, I_3 .



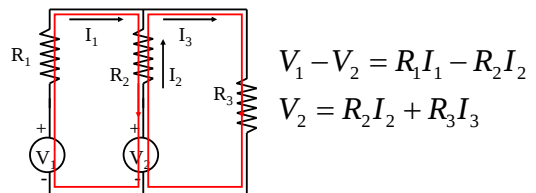
Esempio sui Principi di Kirchhoff

- Questa relazione si utilizza fissando un verso arbitrario di percorrenza della maglia, e considerando positive tutte le ddp che tendono a far circolare la corrente in tale verso, e negative le altre; stesso criterio per i prodotti RI
- Esempio: vogliamo trovare le correnti I_1, I_2, I_3 .



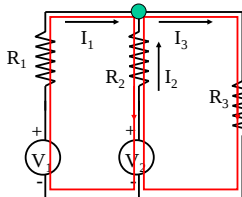
Esempio sui Principi di Kirchhoff

- Questa relazione si utilizza fissando un verso arbitrario di percorrenza della maglia, e considerando positive tutte le ddp che tendono a far circolare la corrente in tale verso, e negative le altre; stesso criterio per i prodotti RI
- Esempio: vogliamo trovare le correnti I_1, I_2, I_3 .



Esempio sui Principi di Kirchhoff

- Questa relazione si utilizza fissando un verso arbitrario di percorrenza della maglia, e considerando positive tutte le ddp che tendono a far circolare la corrente in tale verso, e negative le altre; stesso criterio per i prodotti RI
- Esempio: vogliamo trovare le correnti I_1, I_2, I_3 .



$$V_1 - V_2 = R_1 I_1 - R_2 I_2$$

$$V_2 = R_2 I_2 + R_3 I_3$$

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

Esempio sui Principi di Kirchhoff

$$V_1 - V_2 = R_1 I_1 - R_2 I_2$$

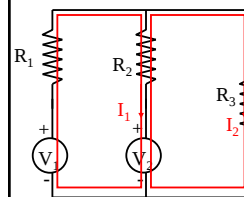
$$V_2 = R_3 I_1 + (R_3 + R_2) I_2$$

e' un sistema lineare a 2 eq. e 2 inc. da cui si trovano I_1, I_2 e poi $I_3 = I_1 + I_2$ in funzione delle V e delle R

Metodo delle Maglie

- Nella precedente applicazione abbiamo utilizzato delle correnti fisiche I_1, I_2, I_3 .
- La linearita' delle leggi fisiche in gioco permette di utilizzare correnti fittizie, dette **correnti di maglia**, per risolvere il circuito.
- Si fissano delle correnti di maglia con verso arbitrario, e si applica il secondo principio considerando positivi:
 - Le ddp dei generatori che tendono a far circolare la corrente di maglia nel verso prefissato
 - I prodotti RI per i quali il verso di I e' concorde con quello della corrente di maglia.

Metodo delle Maglie

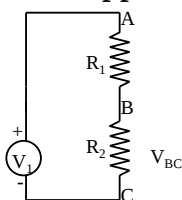


$$V_1 - V_2 = (R_1 + R_2) I_1 - R_2 I_2$$

$$V_2 = -R_2 I_1 + (R_2 + R_3) I_2$$

- Attenzione: le I di adesso non sono le I di prima !
- La corrente fisica che scorre davvero in un elemento del circuito e' la somma algebrica di tutte le correnti di maglia che ci scorrono.

Applicazione 1: Il partitore



- Determinare la ddp ai capi della R_2
- Si risolve direttamente:

$$I = \frac{V}{R_1 + R_2}$$

$$V_B - V_C = R_2 I = \frac{V R_2}{R_1 + R_2}$$

- E' un circuito utilissimo, perche' permette, partendo da una tensione V, di ottenerne un'altra di un valore qualsiasi compreso tra 0 e V: basta scegliere una R_2 opportuna !