

Il Corso di Fisica per Scienze Biologiche

- Prof. Attilio Santocchia
- Ufficio presso il Dipartimento di Fisica (Quinto Piano) Tel. 075-585 2708
- E-mail: attilio.santocchia@pg.infn.it
- Web: <http://www.fisica.unipg.it/~attilio.santocchia>
- Testo: Fondamenti di Fisica (Halliday-Resnick-Walker, Casa Editrice Ambrosiana)

Circuiti Elettrici

- ◆ La corrente elettrica è un flusso ordinato di cariche elettriche all'interno di un conduttore. La sua intensità è definita dalla legge:
- ◆ In base alla dipendenza temporale di i :
 - $i(t) = \text{cost} \rightarrow$ è detta **stazionaria o continua**
 - $i = i(t) \rightarrow$ è detta **variabile**
 - $i = i_0 \cdot \sin(\omega t) \rightarrow$ è detta **alternata**
- ◆ L'unità di misura della corrente è l'**Ampere** (simbolo A). Dalla definizione di i possiamo dire che in un conduttore passa una corrente di un Ampere quando in un secondo transita una carica di un Coulomb.
- ◆ Ma in realtà nel S.I. la corrente elettrica è presa come grandezza fondamentale (e l'Ampere come sua unità di misura) e il coulomb può essere di conseguenza definito dalla: $q = \int i(t) dt$
- ◆ Essendo la corrente elettrica un flusso di cariche elettriche in un conduttore occorre definire il verso di tale flusso. Per convenzione si prende il verso di i concorde con il moto delle cariche positive.
- ◆ In un metallo i portatori liberi di carica sono gli elettroni, e quindi la corrente avrà verso opposto al moto effettivo dei portatori di carica

$$i = \frac{dq}{dt}$$

Generatori di f.e.m

- ◆ Ci sono dispositivi, come le pile e gli accumulatori che mantengono, tramite reazioni chimiche, una costante differenza di potenziale fra i propri elettrodi. Sono detti **sorgenti** o **generatori di forza elettromotrice**.
- ◆ Essenzialmente, a spese della loro energia chimica, trasportano al loro interno cariche positive verso potenziali maggiori e cariche negative verso potenziali inferiori, cioè al contrario del moto spontaneo di tali cariche
- ◆ Se colleghiamo un conduttore all'esterno della pila, fra l'elettrodo a potenziale maggiore (polo +) e quello a potenziale inferiore (polo -) si ha un flusso di cariche che cerca di riportare le cariche positive verso l'elettrodo negativo e cariche negative verso il polo positivo. Se il conduttore esterno è un metallo sono solo gli elettroni a muoversi.
- ◆ L'energia chimica, spesa per accumulare le cariche sugli elettrodi, o, equivalentemente, l'energia potenziale elettrostatica delle cariche sugli elettrodi, in cosa si trasforma?
 - Se applichiamo solo un conduttore, si trasforma in energia termica (effetto Joule) del conduttore stesso (file elettriche, stufette,...)
 - Se applichiamo un motore elettrico si trasforma anche in lavoro

Potenza nei Circuiti Elettrici

- ◆ La potenza dissipata da un circuito in cui scorre una corrente elettrica i indotta da una differenza di potenziale ΔV costante del tempo è data dal prodotto $i\Delta V$

$$\begin{aligned} P &= \frac{dL}{dt} = \frac{d}{dt}(\Delta U) = \frac{d}{dt}(q\Delta V) = \Delta V \frac{dq}{dt} = i\Delta V \\ &= \frac{dL}{dt} = \frac{d(\Delta U)}{dt} = \frac{d(\Delta U)}{dq} \frac{dq}{dt} = iV(t) \end{aligned}$$

- ◆ Per mantenere una corrente costante occorre spendere energia (energia fornita dal generatore di f.e.m.)
- ◆ La relazione è valida anche per tensioni/correnti variabili nel tempo... si parla quindi di potenza media e/o istantanea

Densità di Corrente Elettrica

- ◆ La corrente elettrica è una grandezza che descrive il flusso di cariche elettriche
- ◆ In generale si parla di flusso attraverso un conduttore di una certa sezione
- ◆ Il vettore **densità di corrente elettrica** rappresenta la corrente elettrica che attraversa una sezione unitaria di superficie

$$i = \int \vec{J} \cdot d\vec{S}$$

- ◆ In generale gli elettroni all'interno di un conduttore si muovono in maniera casuale, in assenza di corrente il moto casuale totale degli elettroni rende nullo il trasferimento totale di carica
- ◆ In presenza di una corrente tutti gli elettroni tendono a spostarsi con una **velocità media \vec{v}_d detta di deriva**. Se considero quindi un conduttore di lunghezza L e sezione S e n è la densità di elettroni nel conduttore si ha:

$$q = ne(SL) \quad \Delta t = L/|\vec{v}_d|$$
$$i = \frac{q}{\Delta t} = \frac{ne(SL)}{L/|\vec{v}_d|} = ne|\vec{v}_d|S \Rightarrow |\vec{J}| = ne|\vec{v}_d| \Rightarrow \vec{J} = ne\vec{v}_d$$

Leggi di Ohm

- ◆ Applichiamo agli estremi di un conduttore metallico una *differenza di potenziale (ddp)* ΔV tramite un generatore di *fem*. All'interno del conduttore fluirà una corrente i .
- ◆ La **prima legge di Ohm** afferma che, mantenendo costanti le condizioni fisiche del conduttore (essenzialmente la temperatura), il rapporto fra la *ddp* imposta e la corrente che fluisce è costante:

$$R = \frac{\Delta V}{i}$$

- ◆ Tale costante è detta **Resistenza** del conduttore e si misura in ohm (simbolo Ω). Un conduttore ha resistenza di 1Ω quando è percorso da una corrente di un Ampere se ai suoi estremi è imposta una *ddp* di un Volt.
- ◆ Ovviamente la resistenza di un conduttore dipende anche dalle sue dimensioni fisiche (lunghezza, sezione). La **seconda legge di Ohm** esplicita la dipendenza della resistenza dalle caratteristiche geometriche del conduttore nella formula:

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

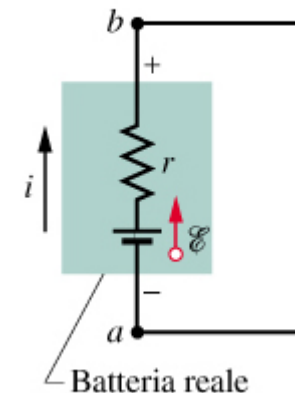
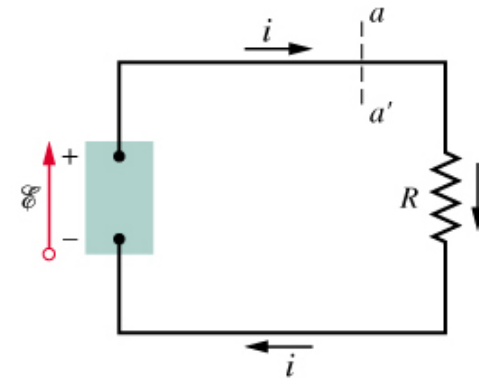
- ◆ dove l è la lunghezza del conduttore, S la sua sezione e ρ è detta resistività, cioè la resistenza di un conduttore di sezione e lunghezza unitaria. ρ dipende dal materiale di cui è fatto il conduttore e dalla temperatura.

Circuiti Elettrici

- ◆ La legge di Ohm è il punto di partenza per stabilire il comportamento di sistemi complessi di conduttori connessi tra di loro. Oltre alla **legge di Ohm** va impiegato il fatto che **le cariche non si creano e non si distruggono**.
- ◆ Questo fatto conduce alla conclusione che la corrente è costante in un conduttore.
- ◆ I primi circuiti che si studiano sono quelli in cui incontriamo componenti di tipo **lineare** e **passivo**.
- ◆ Per il momento studieremo circuiti in cui sono presenti **generatori** (di fem), **resistenze** e **condensatori**. Successivamente incontreremo anche le **induttanze**.
- ◆ Tutti questi componenti sono del tipo suddetto. Componenti non lineari sono ad esempio i **diodi** e i **transistor**. Lo studio di questi componenti viene fatto in elettronica.

Lavoro, Energia e *fem*

- ◆ Il generatore di *fem* (una batteria ad esempio) produce lavoro sulle cariche elettriche. In genere nelle batterie il lavoro viene fatto a discapito di reazioni chimiche in grado di produrre una *ddp*
- ◆ Un **generatore ideale** di *fem* non ha resistenza interna e la *ddp* disponibile ai capi del generatore è uguale alla *fem*. Un generatore di *fem* di 12 V quindi presenta sempre una *ddp* di 12 V a prescindere dalle condizioni esterne
- ◆ Un **generatore reale** di *fem* al contrario ha una resistenza interna che si oppone al passaggio di cariche.
 - Fino a quando gli elettrodi del generatore sono scollegati la *ddp* disponibile ai capi del generatore è uguale alla *fem*.
 - Quando il circuito viene chiuso invece il passaggio di corrente causa una caduta di potenziale ai capi della resistenza interna e quindi la *ddp* disponibile ai capi del generatore è sempre minore della *fem* e dipende dalla corrente che passa attraverso il circuito

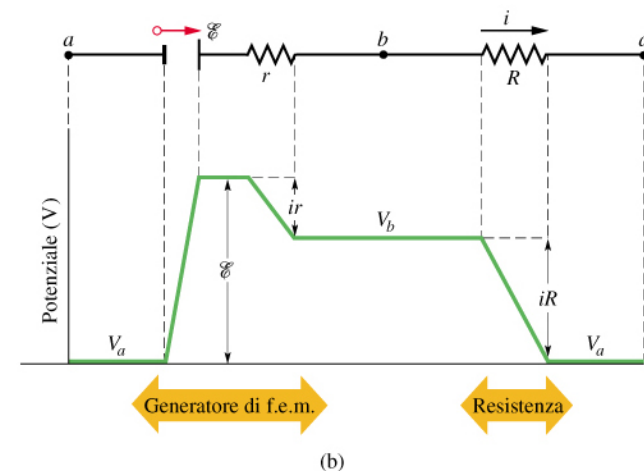
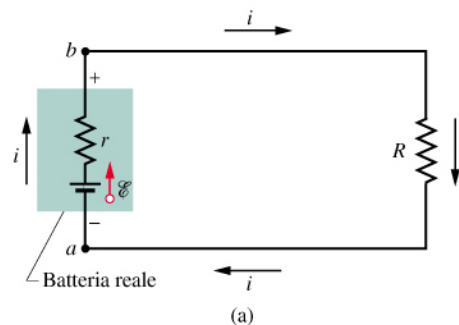


Soluzione di Circuiti Elementari

- ◆ Un circuito elementare è composto da generatori (batterie) e resistenze
- ◆ Per risolvere un circuito (cioè calcolare per ogni tratto del circuito il valore della corrente che vi passa) è sufficiente applicare i 2 principi che conosciamo: **conservazione della carica e dell'energia**.
- ◆ Il primo si traduce nella **legge delle maglie**: la somma algebrica delle differenze di potenziale rilevate su un circuito chiuso in un giro completo è nulla. Convenzioni:
 - se si passa attraverso una resistenza nel verso della corrente la ddp è $-iR$, altrimenti è $+iR$.
 - se si passa attraverso un generatore di fem nella direzione della freccia la variazione è $+E$, altrimenti è $-E$

$$E - ir - iR = 0 \Rightarrow$$

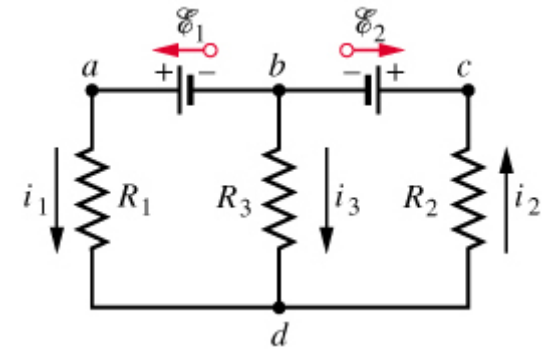
$$i = \frac{E}{r + R}$$



Soluzione di Circuiti Elementari

- ◆ Il principio della conservazione di carica si applica invece ai nodi di un circuito con la...

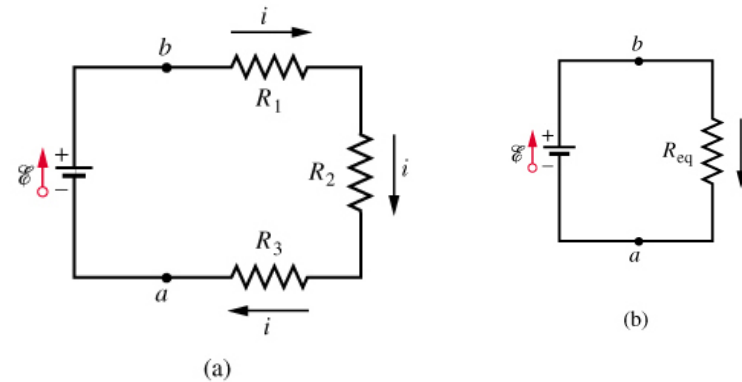
- **Legge dei nodi:** La somma della correnti che entrano in un nodo deve essere uguale alla somma delle correnti che escono dal nodo stesso
- Ad esempio, applicando la legge dei nodi al nodo d della figura risulta essere $i_1+i_3=i_2$



- ◆ Dalle due leggi appena esposte (note anche come rispettivamente secondo e primo principio di Kirchhoff) si deducono immediatamente le leggi per le resistenze equivalenti
- ◆ Le resistenze possono infatti essere combinate in **serie** (la stessa corrente passa attraverso le resistenze) o in **parallelo** (la stessa ddp viene applicata ai capi delle resistenze)

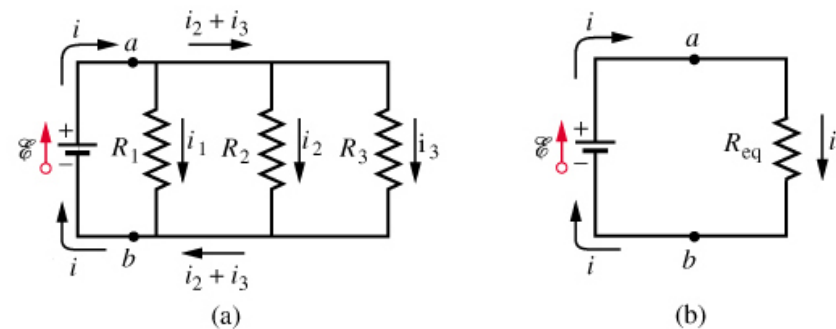
Resistenze in Serie e Parallelo

- ◆ Per le resistenze in serie si calcola facilmente la resistenza equivalente osservando che la corrente che passa attraverso il circuito è la stessa. Quindi dalla legge delle maglie risulta



$$E - iR_1 - iR_2 - iR_3 = 0 \Rightarrow i = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{E}{R_{eq}} \Rightarrow R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

- ◆ Per le resistenze in parallelo la *ddp* è la stessa ai capi del circuito; quindi anche in questo caso applicando la legge di Ohm e la legge dei nodi si ha:



$$i = i_1 + i_2 + i_3 \Rightarrow \frac{E}{R_{eq}} = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2} + \frac{E}{R_3} \Rightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Circuito RC

- ◆ Un circuito RC è composto da una resistenza e da un condensatore
- ◆ L'effetto di un condensatore all'interno di un circuito è quello di bloccare il passaggio di corrente continua
- ◆ Il condensatore interviene quando siamo in regime variabile (ovvero quando il circuito viene aperto o chiuso tramite un interruttore)
- ◆ Per calcolare l'andamento della corrente si ricorre alla definizione di capacità di un condensatore: $C=q/V$ e si applica la legge delle maglie

$$E - iR - \frac{q}{C} = 0 \text{ ma ricordo che } i = \frac{dq}{dt} \Rightarrow E - R \frac{dq}{dt} - \frac{q}{C} = 0$$

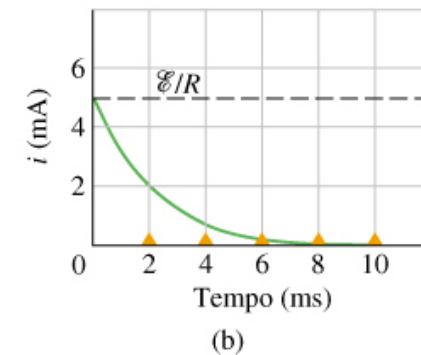
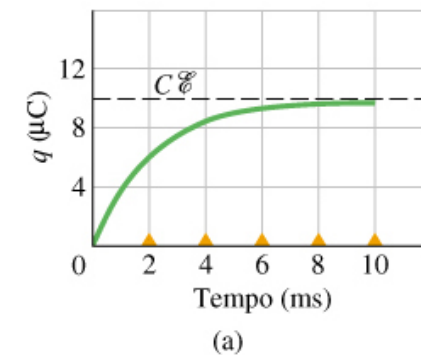
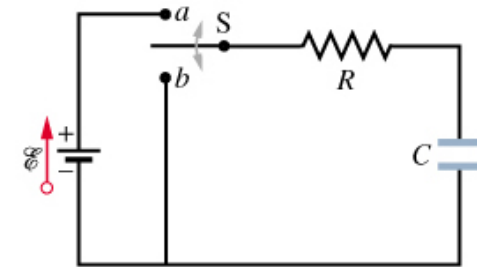
Una soluzione generica è $q(t) = q_{ini} + q_0 e^{-\alpha t}$... sostituisco ...

$$E - Rq_0(-\alpha)e^{-\alpha t} - \frac{q_{ini}}{C} - \frac{q_0}{C}e^{-\alpha t} = 0 \quad \dots \text{ che è vera se e solo se } \dots$$

$$E - \frac{q_{ini}}{C} = 0 \quad \text{e} \quad \left(Rq_0\alpha - \frac{q_0}{C} \right) e^{-\alpha t} = 0 \Rightarrow q_{ini} = CE \quad \text{e} \quad \alpha = \frac{1}{RC}$$

La condizione iniziale infine ci dice che: $q(0) = CE - q_0 e^{-\frac{1}{RC} \cdot 0} = 0 \Rightarrow q_0 = CE$

$$\text{cioè } q(t) = CE \left(1 - e^{-\frac{1}{RC}t} \right) \Rightarrow i(t) = \frac{dq}{dt} = \frac{E}{R} e^{-\frac{1}{RC}t} \Rightarrow V_C(t) = \frac{q}{C} = E \left(1 - e^{-\frac{1}{RC}t} \right)$$



Corrente Alternata

- ◆ Fino ad ora abbiamo parlato di corrente in regime stazionario (quindi i costante nel tempo)
- ◆ Abbiamo però anche visto che il condensatore opera attivamente solo in presenza di variazioni di corrente
- ◆ In effetti un altro settore fondamentale da studiare è quello in cui la corrente (o la ddp) varia nel tempo
- ◆ Il caso più interessante è quello in cui la corrente (o la ddp) varia in **regime sinusoidale**, cioè quando si ha $i(t)=i_0\cos(\omega t)$ e/o $V(t)=V_0\cos(\omega t)$
- ◆ In questo caso la corrente viene chiamata **alternata** e viene indicata **AC** dall'inglese *Alternating Current* (al contrario della corrente continua **DC** *Direct Current*)