- esistono opportuni dispositivi, chiamati generatori di tensione, in grado di mantenere una differenza di potenziale costante fra i loro capi;
- i conduttori permettono di 'trasportare' le differenze di potenziale (vedi esperimento in aula con batteria e fili);
- quando una carica q va da un conduttore all'altro, la cui differenza di potenziale vale ΔV, il campo elettrico compie su di essa un lavoro pari a $q\,\Delta V$, indipendentemente dal percorso effettuato (forza conservativa!).

(Vedremo inoltre in seguito resistenze e condensatori.)

17.5

Differenza di energia potenziale e differenza di potenziale per forze elettriche. Materiali conduttori, mobilità delle cariche elettriche e superfici equipotenziali (introduzione qualitativa, tanto per convincersi che le superfici equipotenziali esistono e che, tramite conduttori le differenze di potenziale possono essere trasportate in punti diversi).
Generatore: dispositivo in grado di mantenere ai suoi capi una differenza di potenziale (potenziale più alto: 'polo positivo'; potenziale più basso: 'polo negativo'; siccome il potenziale è definito a meno di una costante additiva, si sceglie usualmente lo zero in corrispondenza del polo 'negativo') e di trasportare, al suo interno, delle cariche positive dal polo negativo a quello positivo (lavoro fatto contro la forza del campo elettrico, che invece tende naturalmente a far spostare cariche positive dal potenziale più alto al più basso; tale lavoro richiede una forza all'interno del generatore che lo compie: 'forza elettromotrice'). La differenza di potenziale fra il polo positivo e quello negativo del generatore viene indicato con f (per ricordarsi che si tratta di una forza elettromotrice), ma in pratica si usa anche il generico simbolo V (che però non va inteso come potenziale elettrostatico assoluto).

17.6

Se gli estremi del generatore sono connessi fra di loro "si può" registrare uno scorrimento di cariche dal polo positivo al polo negativo, ovvero una corrente elettrica (definita come la quantità di carica che scorre nell'unità di tempo, ovvero $\mathrm{d}q/\mathrm{d}t$, la cui intensità è misurata in Ampère, A, corrispondente ad un Coulomb al secondo). Il passaggio o meno di corrente e la sua intensità dipendono dal tipo di materiale:

alcuni matriali presentano un piccolo impedimento (**resistenza**) al passaggio di corrente, altri un grande impedimento ed altri ancora non permettono il passaggio delle cariche ('isolanti'). **Legge di Ohm**:

$$I_{A\to B} = \frac{V_A - V_B}{R}, \tag{340}$$

ove R è la resistenza elettrica del materiale, misurata in Ohm (Ω, una resistenza di $1\,\Omega$ fa passare un flusso di cariche di $1\,\mathrm{A}$ fra una differenza di potenziale di $1\,\mathrm{V}$). Attenzione al segno: se $V_A - V_B > 0$ la corrente è positiva (ovvero scorre da A a B), altrimenti negativa.
In genere V_A corrisponde al polo positivo e V_B al negativo ed R è la resistenza globale al passaggio di cariche da un polo all'altro. In questo caso la (340) diventa $I = f/R$, con I positiva.
Si noti come la (340) venga spesso riscritta semplicemente come $I = \Delta V/R$ o semplicemente $I = V/R$.
Nota: dal punto di vista fisico sono gli elettroni a muoversi, ed essi vanno dal polo negativo a quello positivo, ma nello studio dei circuiti si usa semplicemente una corrente convenzionale positiva.

17.7

Lavoro compiuto dalla **forza elettromotrice** f per trasportare (all'interno del generatore) un elemento di carica $\mathrm{d}q$ dal polo negativo al polo positivo:

$$\mathrm{d}L|_{GEN} = -\,\mathrm{d}L|_{C.E.} = dE_p|_{C.E.} = \mathrm{d}q\,\Delta V = \mathrm{d}q \cdot f\,, \tag{341}$$

ovvero è richieta dal generatore una potenza di

$$P_{GEN} = \frac{\mathrm{d}L_{GEN}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} \cdot f = I \cdot f\,. \tag{342}$$

Quando invece le cariche positive si muovono da polo positivo al polo negativo è il campo elettrico a compiere lavoro positivo $\mathrm{d}q \cdot f$, a cui corrisponde una potenza $I \cdot f$.
Che fine fa il lavoro compiuto dal campo elettrico? $\rightarrow$ analogia meccanica: impianto di risalita e sciatori che tornano alla posizione di partenza sciando:

$$\mathrm{d}L|_{Motore} = -\,\mathrm{d}L|_{Grav.} = \Delta E_p|_{Grav.} = \mathrm{d}m \cdot (g \cdot h) \tag{343}$$

$$P_M = \frac{\mathrm{d}L_M}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} \cdot (g \cdot h)\,. \tag{344}$$

Si nota l'analogia fra la (344) e la (342). [Si veda anche il problema della potenza della diga, che dava la (301).] Il lavoro positivo fatto dal campo gravitazionale nel riportare gli sciatori alla base va a finire in calore dalle forze di attrito (momentaneamente esso produce anche energia cinetica, ma alla fine anche questa diventa nulla). Analogalmente, le cariche perdono energia cinetica per attrito e alla fine tutto il lavoro compiuto dal campo elettrico termina in calore, il quale riscalda il resistore: **effetto Joule**: la potenza $P = I\,f$ finisce finisce in calore.
Questa relazione è valida ai capi di ogni 'resistore' (elemento del circuito dodato di resistenza) e, scrivendola, come si usa abitualmente, usando il simbolo V per la differenza di tensione ai capi della resistenza e ricordandoci della legge di Ohm, otteniamo

$$\begin{aligned} P &= I\,V && (345)\\ &= \frac{V}{R}V = \frac{V^2}{R} && (346)\\ &= I\,R\,I = R\,I^2\,. && (347) \end{aligned}$$

(Si ricorda che, essendo P una potenza, viene misurata in Watt: $1\,\mathrm{W} = 1\,\mathrm{V} \times 1\,\mathrm{A}$.)

17.8

Soluzione di alcuni problemi (n. 6, 7 e 8) di questa lezione.
In particolare, discussione su implicazioni pratiche legate al secondo problema (batteria). Quanta acqua si puo' scaldare di tot gradi usando tutta l'energia di una batteria? Questioni riguardanti l'immagazzinamento di energia nei veicoli elettrici: energia per unita' di massa (espresse in J/kg, kwh/kg o Kcal/kg).
Per confronto, la benzina ha un 'potere energetico' di circa 10000 kcal/kg.

17.9

Resistenze in serie (ovvero attraversate dalla stessa corrente), ad esempio R_1, R_2 e R_3. Indicando per semplicità V_1, V_2 e V_3 le differenze di potenziale ai capi di ciascuna e con V la la differenza di potenziale ai capi della serie, dalla legge di Ohm abbiamo:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = I\,R_1 + I\,R_2 + I\,R_3 = I\,(R_1 + R_2 + R_3)\,. \qquad (348)$$

Ma, per definizione,la resistenza complessiva delle tre resistenze in serie, indicata con R_s è data da V/I. Otteniamo quindi

$$R_s = \frac{V}{I} = R_1 + R_2 + R_3 \,. \tag{349}$$

Vediamo quindi come più **resistenze in serie** si comportano ai fini della corrente che scorre nel circuito come se ci fosse una sola resistenza R_s, di valore pari alla somma delle resistenze. In generale:

$$R_s = \sum_i R_i \,. \tag{350}$$

17.10

Se siamo poi interessati a calcolare la tensione ai capi di ciascuna resistenza basterà applicare a ciascuna di esse la legge di Ohm: $V_i = R_i\, I$, etc., ovvero

$$V_i = R_i\, I = R_i\, \frac{V}{R_s} = R_i\, \frac{V}{\sum_i R_i} \tag{351}$$

$$= \frac{R_i}{\sum_i R_i}\, V \tag{352}$$

$$\Rightarrow\ V_i^{(serie)} \propto R_i\ : \tag{353}$$

la tensione V ai capi della serie è 'ripartita', fra le varie resistenze, proporzionatamente al valore di ciascuna resistenza: → **partitore** di tensione.
Esempi numerici.
Il modello di partitore di tensione giustifica il fatto che, nei normali circuiti a componenti discreti, i conduttori (fili di collegamenti) sono considerati equipotenziali in quanto la loro resistenza è estremamente minore di quella degli altri componenti e quindi la 'caduta' di potenziale lungo di essi è assolutamente trascurabile rispetto alle altre differenze di potenziale.

17.11

Resistenze in parallelo: stessa tensione V fra i capi delle resistenza, la corrente differisce da resistore a resistore (complementare delle resistenze in serie); la corrente totale si ripartisce nelle varie resistenze (il flusso totale di cariche si deve conservare), ovvero $\sum_i I_i = I$

$$V_i = V \tag{354}$$

$$I_i = \frac{V_i}{R_i} = \frac{V}{R_i} \tag{355}$$

$$I = \sum_i I_i = \sum_i \frac{V}{R_i} = V \sum_i \frac{1}{R_i}\,. \tag{356}$$

Ma V/I è per definizione la resistenza del sistema di resistenze messe in parallelo, ovvero

$$R_p = \frac{V}{I} = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{R_i}} \tag{357}$$

$$\frac{1}{R_p} = \sum_i \frac{1}{R_i} : \tag{358}$$

La reciproco della resistenza del parallelo è pari alla somma dei reciproci di ciascuna resistenza. Si capisce inoltre che la resistenza del parallelo è inferiore alla resistenza minima. Se si hanno n resistenze uguali R, la resistenza del parallelo vale R/n.
Esempio numerico: generatore da 10 V e tre resistenze, una da 2 Ω seguita dal parallelo di 2 Ω e 3 Ω. → Valutazione di resistenza equivalente, intensità di corrente, tensione ai capi di ogni resistenza, corrente e potenza per ogni resistenza, potenza totale.

17.12 Problemi

1. Un filo conduttore è percorso da una corrente elettrica di 10 A. Calcolare la carica elettrica che attraversa una sezione del filo in 10 minuti. Sapendo che una carica elementare ha una carica di $1.6\,10^{-19}$ C, calcolare il numero di cariche elementari che ha attraversato tale sezione di filo.

2. I poli di un generatore da 4.5 V sono connessi fra di loro da una resistenza di 100 Ω. Calcolare la corrente corrente elettrica che scorre nella resistenza e la potenza dissipata.

3. Sul problema precedente: assumendo che nel generatore (una batteria) sia accumulata una energia di 3600 J, calcolare per quanto tempo la batteria può alimentare il circuito (si assuma che la tensione rimanga costante finché c'è energia e poi cessi improvvisamente).

4. Una macchinetta di caffè da viaggio è alimentata dalla batteria della macchina (12 V) ed è in grado di scaldare 100 g di acqua da 20 ^oC a 100 ^oC in cinque minuti. Calcolare: la potenza elettrica erogata dalla resistenza che scalda l'acqua e il valore di tale resistenza.

5. Quanto ci si mette a scaldare la stessa quantità di acqua se la macchinetta viene fatta funzionare a 240 V? (Ammesso che non si rompa...). Nota: si consideri la tensione di 240 V (che è alternata), come se fosse una semplice differenza di tensione continua (si può dimostrare che in effetti, ai fini del riscaldamento di una resistenza esse sono equivalenti, ma questo fa al di là di questo corso).

6. Una resistenza di 10 Ω è percorsa da una corrente di 0.5 A. Assumendo che la resistenza pesi 0.1 g, il materiale abbia un calore specifico 1/10 di quello dell'acqua e la resistenza non sia raffreddata, si calcoli quanto tempo impiega la resistenza a raggiungere la temperatura di 250 ^oC da una temperatura iniziale di 20 ^oC.

7. Le caratteristiche di una batteria per automobile (12 V) sono "330 A" (la corrente massima in grado di erogare) e "61 A·h" (ovvero riesce a fornire 1 A per 61 ore, o 61 A per 1 ora, etc). Assumendo tali valori e un comportamento ideale della batteria (niente resistenze interne) calcolare la potenza massima che la batteria riesce a fornire e l'energia (chimica) immagazzinata in essa.

8. Sul problema precedente: di quanti gradi si riesce a scaldare l'acqua di uno scaldabagno da 80 litri usando (con efficienza unitaria!) tutta l'energia di una batteria da 12V e 61 A·h?

9. Tre resistenze, di valore 1, 2 e 3 Ω sono connesse in serie e collegate ad un generatore di tensione di 10 V. Calcolare la corrente che passa nel circuito, la tensione ai capi di ciascuna resistenza e la potenza dissipata da ciascuna di esse.

10. Quattro resistenze uguali, ciascuna da 40 Ω, sono collegate fra di loro in modo che i punto di collegamento formino i vertici di un quadrato (c'è una resistanza fra A e B, una fra B e C, una fra C e D e una fra D ed A). Calcolare quanto vale la resistenza fra A e C e quella fra A e B.

11. Uno studente misura il valore di una resistenza nominale di 1 MΩ con un 'multimetro' digitale, mantenedo il contatto fra i capi del resistore e i puntali del multimetro mediante la pressione delle dita. Lo strumento misura

700 kΩ. Determinare la resistenza offerta dal corpo dello studente (fra una mano e l'altra) al passaggio della corrente.

12. Una stufetta da 1000 W è alimentata da una batteria di automobile. Determinare la resistenza elettrica della stufetta e l'intensità di corrente erogata dalla batteria.

13. Sul problema precedente. Si immagini che la batteria sia collegata alla batteria mediante una coppia di cavi, ciascuno di lunghezza 2 m, diametro 2 mm e resistività $\rho = 1.7 \times 10^{-8}\,\Omega\cdot$m. Determinare la tensione ai capi della resistenza della stufetta, la potenza elettrica dissipata dalla stufetta e quella dissipata dai cavi.

18 Lunedi 14/5, 16:00–18:00

18.1

Breve ripasso su forze (gravitazionali o elettriche) dovute a gusci sferici e cenni al[l'esistenza del] teorema di Gauss (formulazione di quest'ultimo fuori programma).

18.2

Resistenza di un conduttore cilindrico omogeneo ($\approx$ filo) di lunghezza l e sezione S (area di base del cilindro di 'altezza' l):

$$R = \frac{\rho\, l}{S}\,, \tag{359}$$

ove ρ è una costante che dipende dai diversi materiali (e un po' dalla temperatura), chiamata resistività. La (359) è nota come seconda legge di Ohm.

18.3

Esercizi su semplici circuiti.

18.4

Commenti su 'partitori di tensione'.