

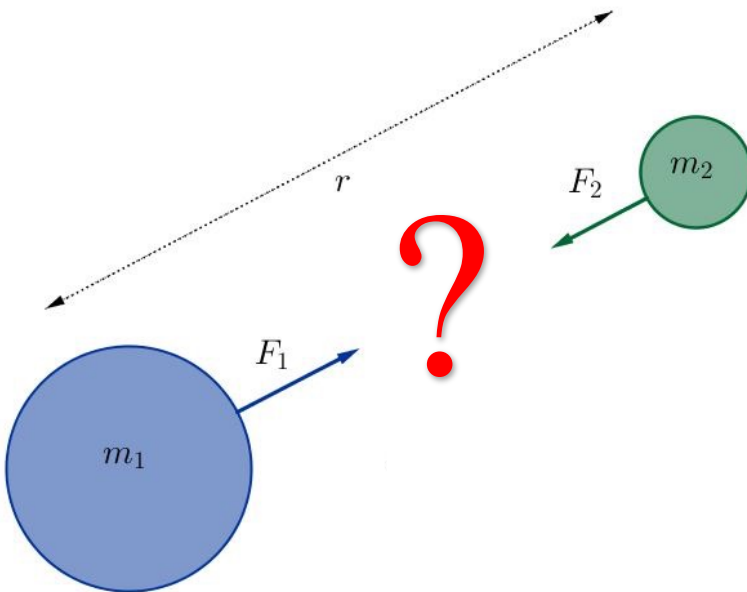
L'enigma dell'azione a distanza delle forze

Abbiamo visto che una delle proprietà comuni sia all'interazione gravitazionale che a quella elettrostatica (in quanto interazioni fondamentali) è la cosiddetta “**azione a distanza**”, cioè la capacità di tali tipi di forze di esercitare attrazione o repulsione *senza bisogno di un contatto diretto* tra gli oggetti coinvolti nell'interazione, e che l'enigma di questa azione a distanza è stato risolto, nell'Ottocento, per mezzo dell'introduzione del concetto di **CAMPO**.

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$



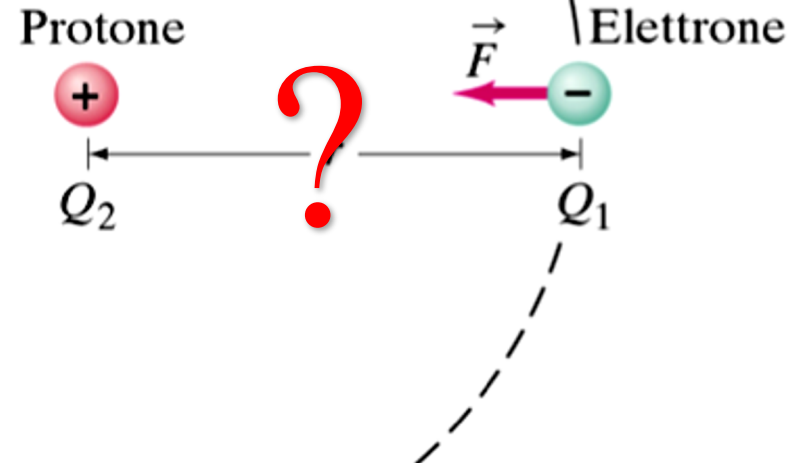
Newton



Coulomb



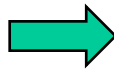
$$F = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$



L'introduzione del concetto di Campo

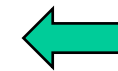
Abbiamo visto che una delle proprietà comuni sia all'interazione gravitazionale che a quella elettrostatica (in quanto interazioni fondamentali) è la cosiddetta “**azione a distanza**”, cioè la capacità di tali tipi di forze di esercitare attrazione o repulsione *senza bisogno di un contatto diretto* tra gli oggetti coinvolti nell'interazione, e che l'enigma di questa azione a distanza è stato risolto, nell'Ottocento, per mezzo dell'introduzione del concetto di **CAMPO**.

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$



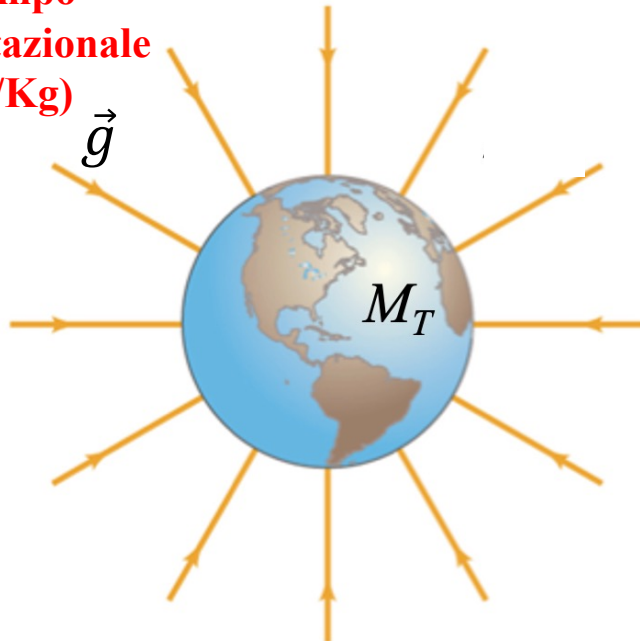
$$g = \frac{F}{m} = G \frac{M_T}{r^2}$$

$$E = \frac{F}{q} = k \frac{Q}{r^2}$$



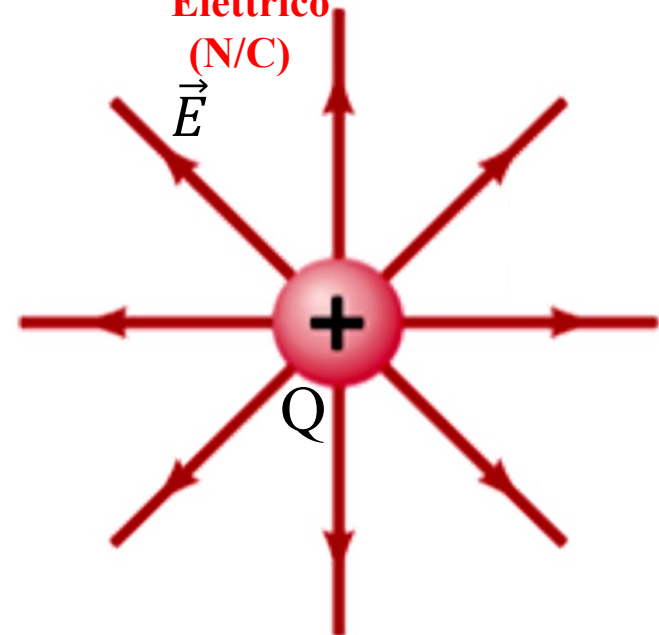
$$F = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

**Campo
Gravitazionale
(N/Kg)**



Michael Faraday
(1791-1867)

**Campo
Elettrico
(N/C)**

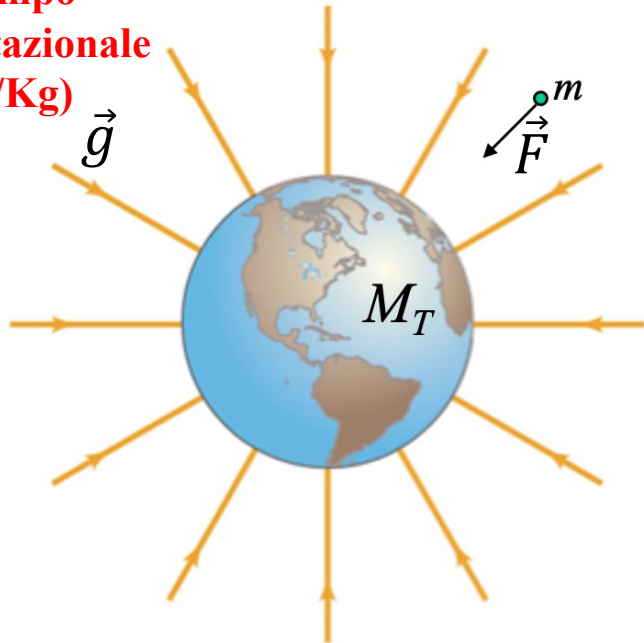


L'introduzione del concetto di Campo

Abbiamo visto che una delle proprietà comuni sia all'interazione gravitazionale che a quella elettrostatica (in quanto interazioni fondamentali) è la cosiddetta “**azione a distanza**”, cioè la capacità di tali tipi di forze di esercitare attrazione o repulsione *senza bisogno di un contatto diretto* tra gli oggetti coinvolti nell'interazione, e che l'enigma di questa azione a distanza è stato risolto, nell'Ottocento, per mezzo dell'introduzione del concetto di **CAMPO**.

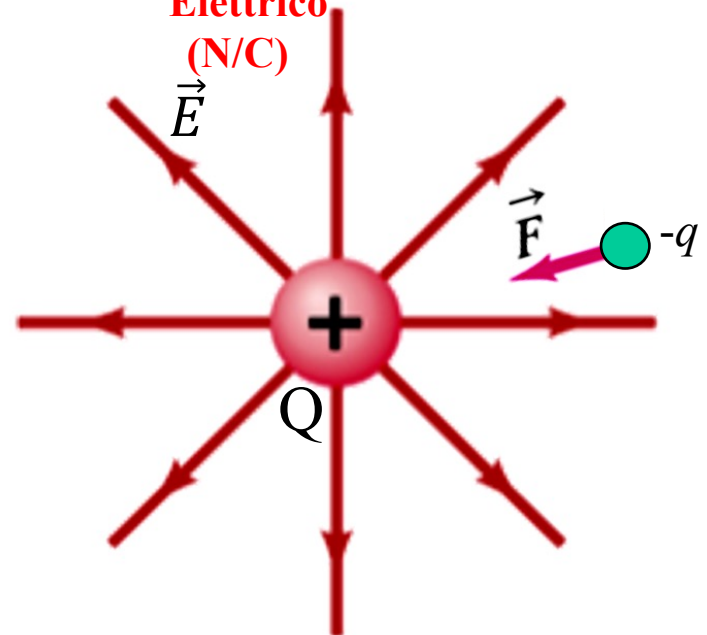
$$\vec{F} = m\vec{g} \quad \leftarrow \quad g = \frac{F}{m} = G \frac{M_T}{r^2} \quad \leftarrow \quad E = \frac{F}{q} = k \frac{Q}{r^2} \quad \rightarrow \quad \vec{F} = q\vec{E}$$

**Campo
Gravitazionale
(N/Kg)**



Michael Faraday
(1791-1867)

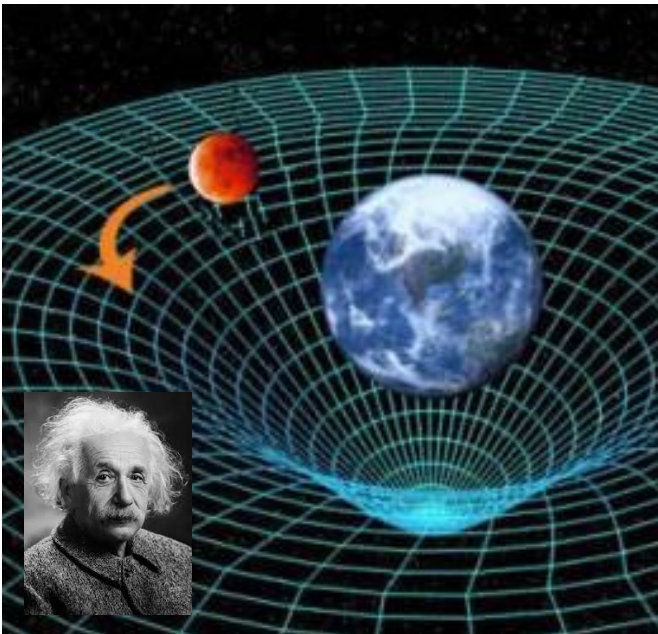
**Campo
Elettrico
(N/C)**



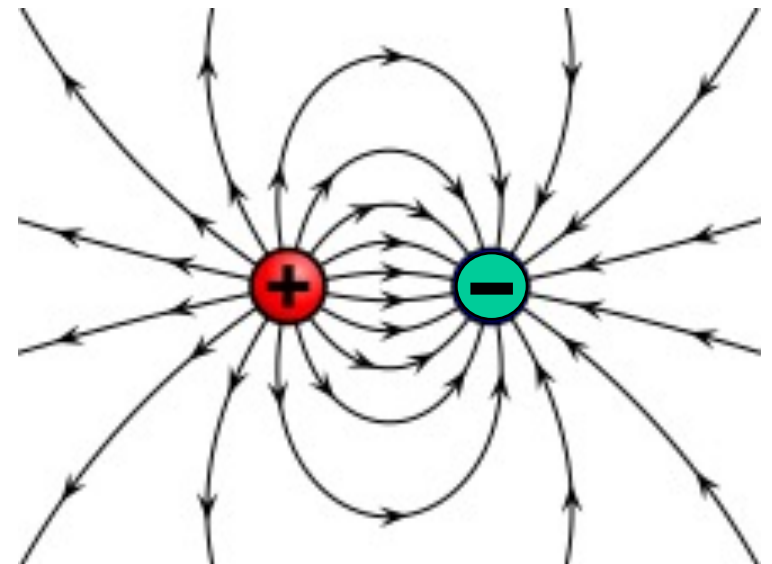
L'introduzione del concetto di Campo

Abbiamo visto che una delle proprietà comuni sia all'interazione gravitazionale che a quella elettrostatica (in quanto interazioni fondamentali) è la cosiddetta “**azione a distanza**”, cioè la capacità di tali tipi di forze di esercitare attrazione o repulsione *senza bisogno di un contatto diretto* tra gli oggetti coinvolti nell'interazione, e che l'enigma di questa azione a distanza è stato risolto, nell'Ottocento, per mezzo dell'introduzione del concetto di **CAMPO**.

$$\vec{F} = m\vec{g} \quad \leftarrow \quad g = \frac{F}{m} = G \frac{M_T}{r^2} \quad \leftarrow \quad E = \frac{F}{q} = k \frac{Q}{r^2} \quad \rightarrow \quad \vec{F} = q\vec{E}$$



Michael Faraday
(1791-1867)

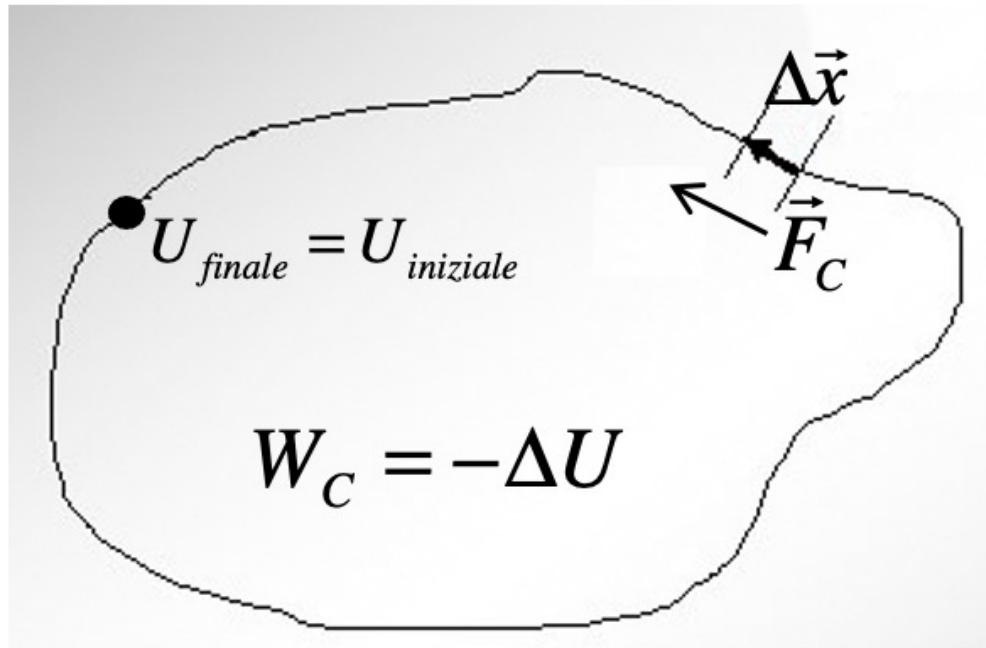


Lavoro del Campo Elettrico ed Energia Potenziale Elettrica

Passiamo adesso a considerare gli **aspetti energetici dei fenomeni elettrici**, anticipando che, come abbiamo già visto accadere in meccanica, anche in elettrostatica l'approccio energetico si rivelerà di grande utilità. Al fine di estendere il **principio di conservazione dell'energia** anche ai fenomeni elettrici, è innanzitutto necessario definire il concetto di **energia potenziale elettrica**. A questo proposito ricordiamo che l'energia potenziale esiste soltanto per le **forze conservative**, per le quali il lavoro compiuto su un oggetto che si muove tra due punti non dipende dal percorso effettuato.

Es: Essendo il lavoro fatto dalle forza conservative indipendente dal percorso ma solo dal punto iniziale e finale, per un percorso chiuso esso è sempre uguale a zero

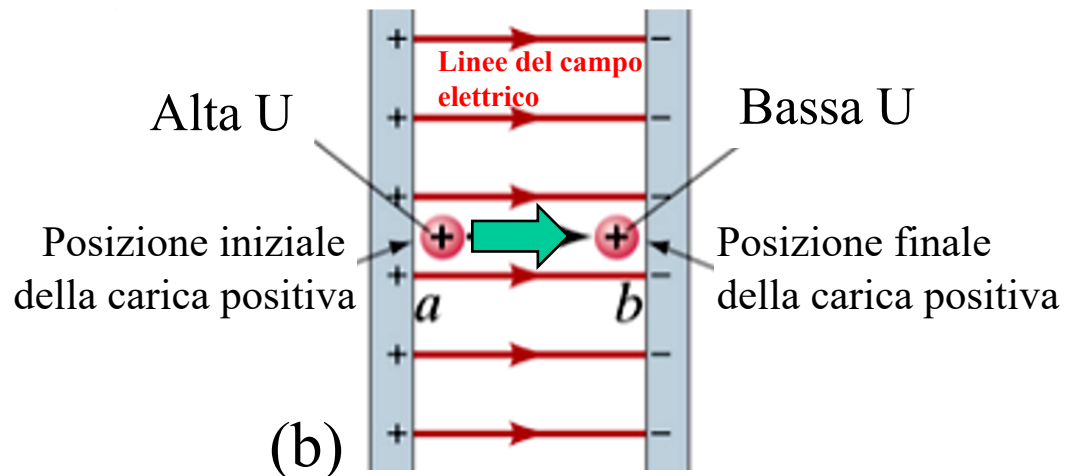
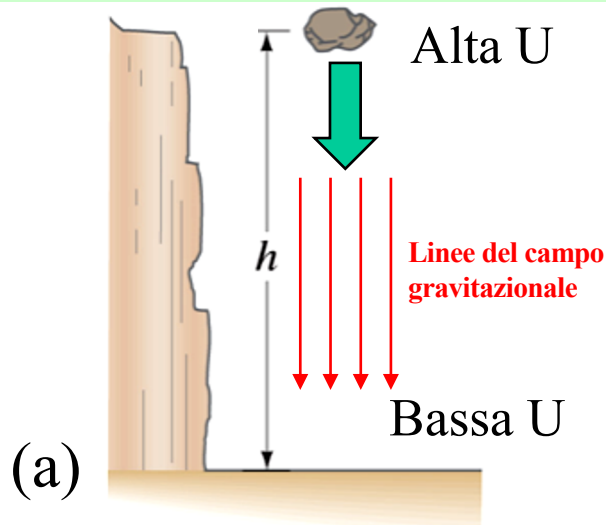
$$W_C = \sum \vec{F}_C \cdot \Delta\vec{x} = -\Delta U = 0 \quad \text{essendo } U_{\text{finale}} = U_{\text{iniziale}}$$



Lavoro del Campo Elettrico ed Energia Potenziale Elettrica

Passiamo adesso a considerare gli **aspetti energetici dei fenomeni elettrici**, anticipando che, come abbiamo già visto accadere in meccanica, anche in elettrostatica l'approccio energetico si rivelerà di grande utilità. Al fine di estendere il **principio di conservazione dell'energia** anche ai fenomeni elettrici, è innanzitutto necessario definire il concetto di **energia potenziale elettrica**. A questo proposito ricordiamo che l'energia potenziale esiste soltanto per le **forze conservative**, per le quali il lavoro compiuto su un oggetto che si muove tra due punti non dipende dal percorso effettuato.

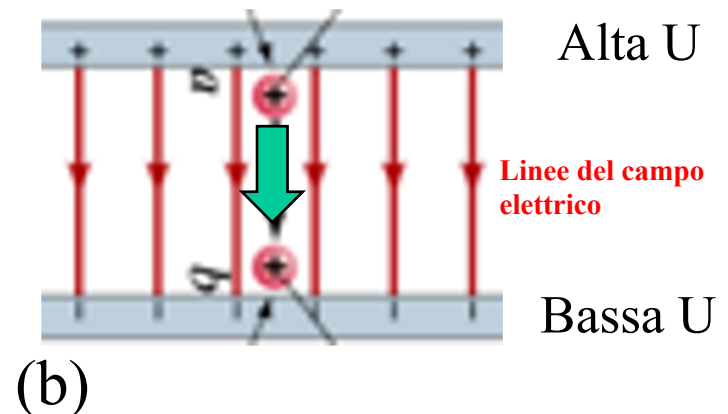
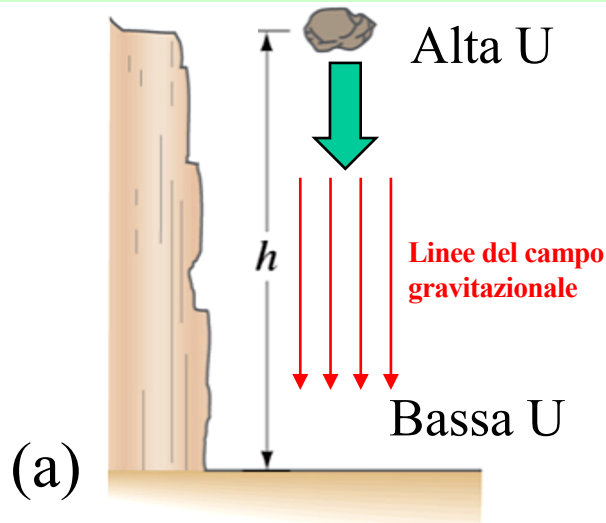
Ebbene, avendo la stessa forma funzionale della forza di gravità, si può dimostrare che **anche la forza elettrostatica è conservativa**: come accade dunque per una pietra (Fig.a) che, dopo essere stata sollevata da una forza esterna, cade grazie al lavoro della **forza di gravità** (lungo le linee del campo gravitazionale) riducendo così la sua energia potenziale gravitazionale, anche per una carica elettrica positiva (Fig.b), preventivamente spostata dal punto *b* al punto *a* tra le «armature» di un condensatore da una forza esterna, potrà dunque definirsi una **energia potenziale U** la cui variazione ΔU sarà uguale al lavoro W (cambiato di segno) compiuto dalla **forza elettrostatica** per farla «cadere» da *a* a *b* (lungo le linee del campo elettrico). Avremo dunque $\rightarrow \Delta U = -W$



Lavoro del Campo Elettrico ed Energia Potenziale Elettrica

Passiamo adesso a considerare gli **aspetti energetici dei fenomeni elettrici**, anticipando che, come abbiamo già visto accadere in meccanica, anche in elettrostatica l'approccio energetico si rivelerà di grande utilità. Al fine di estendere il **principio di conservazione dell'energia** anche ai fenomeni elettrici, è innanzitutto necessario definire il concetto di **energia potenziale elettrica**. A questo proposito ricordiamo che l'energia potenziale esiste soltanto per le **forze conservative**, per le quali il lavoro compiuto su un oggetto che si muove tra due punti non dipende dal percorso effettuato.

Ebbene, avendo la stessa forma funzionale della forza di gravità, si può dimostrare che **anche la forza elettrostatica è conservativa**: come accade dunque per una pietra (Fig.a) che, dopo essere stata sollevata da una forza esterna, cade grazie al lavoro della **forza di gravità** (lungo le linee del campo gravitazionale) riducendo così la sua energia potenziale gravitazionale, anche per una carica elettrica positiva (Fig.b), preventivamente spostata dal punto *b* al punto *a* tra le «armature» di un condensatore da una forza esterna, potrà dunque definirsi una **energia potenziale U** la cui variazione ΔU sarà uguale al lavoro W (cambiato di segno) compiuto dalla **forza elettrostatica** per farla «cadere» da *a* a *b* (lungo le linee del campo elettrico). Avremo dunque $\rightarrow \Delta U = -W$



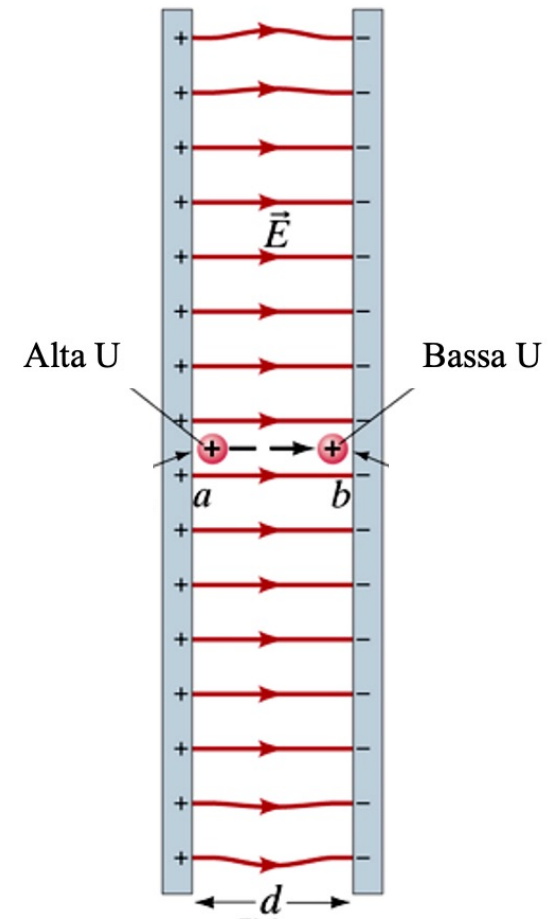
Energia Potenziale e Potenziale Elettrico

Più quantitativamente, essendo E il modulo del **campo elettrico uniforme** che si genera tra le due lastre piane parallele (armature) del condensatore, dotate di carica uguale ed opposta e poste alla distanza d , mettiamo una **piccola carica di prova q positiva** (ad es. una particella carica di massa m) nelle vicinanze dell'armatura positiva (nella posizione a): se la carica viene lasciata libera di muoversi, la **forza elettrostatica $F=qE$** compirà **lavoro** su di essa **accelerandola** (per la 2^a legge della dinamica) verso l'armatura negativa (posizione b), con accelerazione $a=F/m \rightarrow a=qE/m$.

Per definizione, diremo quindi che il **lavoro W compiuto dal campo elettrico E** per spostare la **carica q** su una **distanza d** sarà pari a $W=Fd=qEd$, da cui (essendo $\Delta U = -W$) la variazione di **energia potenziale elettrica** sarà: $\Delta U = -qEd$

Si noti che $\Delta U < 0$: infatti, dato che nel suo moto la particella accelera, la sua **energia potenziale** elettrica diminuirà, mentre la sua **energia cinetica** aumenterà della stessa quantità. Inoltre, in accordo con la legge di conservazione dell'energia, **la somma di energia cinetica e potenziale (energia totale) resterà costante!**

In analogia con la definizione di campo elettrico come forza per unità di carica, è utile definire a questo punto il cosiddetto **potenziale elettrico V** , o semplicemente **potenziale**, come l'**energia potenziale elettrica per unità di carica**, cioè $V=U/q$, che quindi non dipende dalla carica di prova q ma solo dalle cariche che generano il campo (in questo caso quelle sulle armature...).

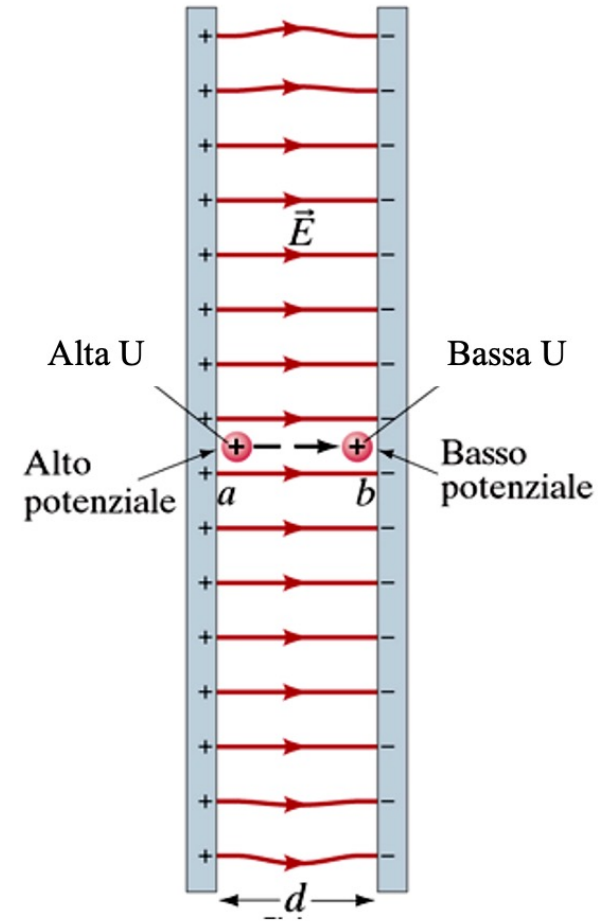


Il Potenziale Elettrico: $V=U/q$

Analogamente a quanto abbiamo visto valere per l'energia potenziale, che è sempre definita rispetto ad uno zero arbitrario, anche in questo caso ciò che è effettivamente misurabile non è il valore assoluto del potenziale in un punto ma piuttosto la **differenza di potenziale ΔV** tra due punti, ad esempio tra i punti a e b tra le due armature conduttrici della figura precedente. Data la solita **carica di prova positiva q** che si sposta dal punto a (ad alta energia potenziale U_a) al punto b (a bassa energia potenziale U_b) a causa della forza elettrostatica dovuta al campo elettrico presente tra le armature, avremo allora:

$$\Delta V = V_b - V_a = \frac{U_b}{q} - \frac{U_a}{q} = \frac{\Delta U}{q} = -\frac{W}{q}$$

dove W è il lavoro compiuto dal campo elettrico, che sarà quindi uguale a $W = -q\Delta V$. Ovviamente, se le cariche **positive** si muovono spontaneamente da punti a potenziale più alto a punti a potenziale più basso, quelle **negative** si muoveranno nel verso opposto, risalendo lungo le linee del campo.



Alessandro Volta
(1745-1827)

Dalla definizione di potenziale elettrico risulta che l'unità di misura della differenza di potenziale è (nel SI) il Joule/Coulomb, che prende il nome di **Volt** ($1V=1J/1C$) dallo scienziato italiano **Alessandro Volta** (per cui la differenza di potenziale viene spesso detta anche "voltaggio" o "tensione").

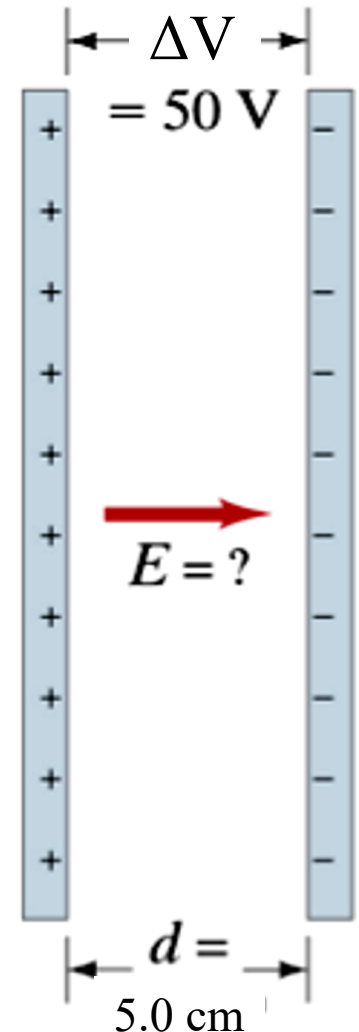
Relazione tra Campo Elettrico e Potenziale Elettrico

La relazione tra il potenziale elettrico, che è una grandezza scalare, e il campo elettrico, che è invece una grandezza vettoriale, risulta facilmente ricavabile dalle formule già viste. Infatti, dato ad esempio un **campo uniforme incognito** E tra due armature piane parallele, separate da una distanza totale $d=5.0$ cm, tra cui vi sia una differenza di potenziale $\Delta V=50V$, considerando che il lavoro compiuto dalla forza elettrostatica F per spostare una carica positiva q da un punto a potenziale più alto ad uno a potenziale più basso è anche uguale, come abbiamo già visto, alla forza per lo spostamento, avremo:

$$\begin{cases} W = -q\Delta V \\ W = Fd = qEd \end{cases} \rightarrow qEd = -q\Delta V \rightarrow E = -\frac{\Delta V}{d}$$

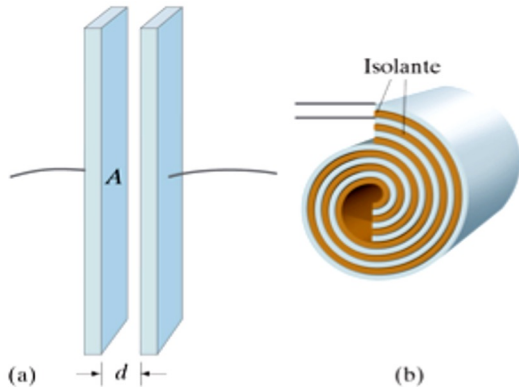
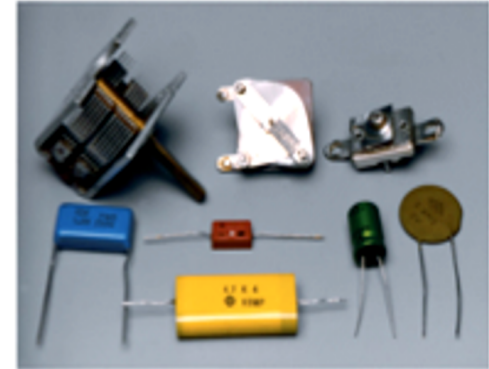
Quest'ultima è appunto la **relazione cercata tra l'intensità del campo elettrico e la differenza di potenziale**, nella quale il segno meno indica semplicemente che il verso del campo elettrico è sempre quello per il quale il potenziale V decresce (si noti che il campo elettrico, oltre che in N/C, può quindi anche essere misurato in **volt su metro**). Il campo incognito si può dunque calcolare facilmente:

$$\rightarrow |E| = \frac{50V}{0.05m} = 1000 \frac{V}{m}$$



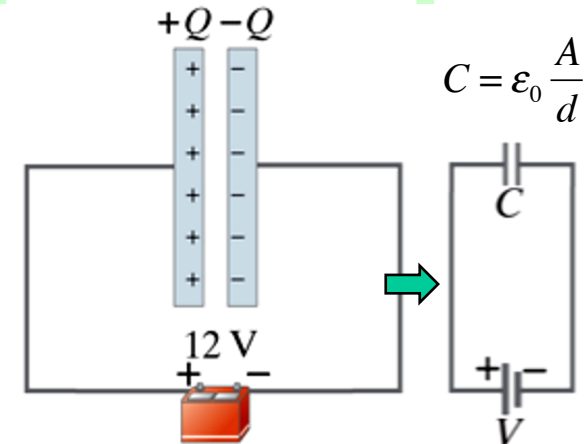
Capacità e Condensatori

Abbiamo più volte fatto riferimento al campo elettrico pressoché uniforme che si genera all'interno di due superfici conduttrici piane e parallele (armature) dotate di cariche uguali ma di segno opposto: un tale sistema è un esempio di **condensatore**, cioè di un dispositivo in grado di immagazzinare carica elettrica per poi rilasciarla al momento opportuno e che ha una vastissima applicazione nei circuiti elettrici ed elettronici moderni (dai flash delle macchine fotografiche alla memoria RAM dei calcolatori).



In un **condensatore tipico** le due armature, di area A e poste ad una (piccola) distanza d (fig.a) vengono spesso separate per mezzo di un sottile strato di materiale isolante e poi arrotolate in modo da formare un cilindro (fig.b). Se si applica una differenza di potenziale V a un condensatore scarico collegando le due armature (di area A e poste alla distanza d) ai poli di un generatore di tensione mediante fili conduttori, esso si caricherà rapidamente...

In particolare, una delle due armature acquisterà una carica Q negativa e l'altra una uguale carica Q positiva e tra le due armature si creerà la stessa **differenza di potenziale** (ad es. 12 V) presente tra i due poli del generatore: a questo punto si può verificare sperimentalmente che la carica Q sarà proporzionale alla tensione applicata V secondo la relazione $Q=CV$, dove C è la cosiddetta “**capacità**” del condensatore, che si misura in **Farad (F)** e che dipende solo dalle caratteristiche geometriche del condensatore.



Elettrodinamica: la Corrente Elettrica

Prima del 1800 la tecnologia coinvolta nello studio dell'elettricit  era molto primitiva e gli scienziati si limitavano a produrre elettricit  statica mediante strofinio dei corpi. Tutto cambi  all'improvviso quando nel 1801 **Alessandro Volta** present  a Napoleone Bonaparte la sua **pila elettrica** (cio  il primo esempio di generatore di tensione), che si dimostr  in grado di produrre per la prima volta un flusso continuo di carica, cio  quella che oggi chiamiamo una **corrente elettrica** continua.



Collegando i due elettrodi per mezzo di un conduttore si genera un movimento di elettroni

Schema della pila di Volta:

1. un elemento della pila;
2. strato di rame;
3. contatto negativo;
4. contatto positivo;
5. feltro o cartone imbevuto in soluzione acquosa (acqua e acido solforico);
6. strato di zinco.

Elettrodinamica: la Corrente Elettrica

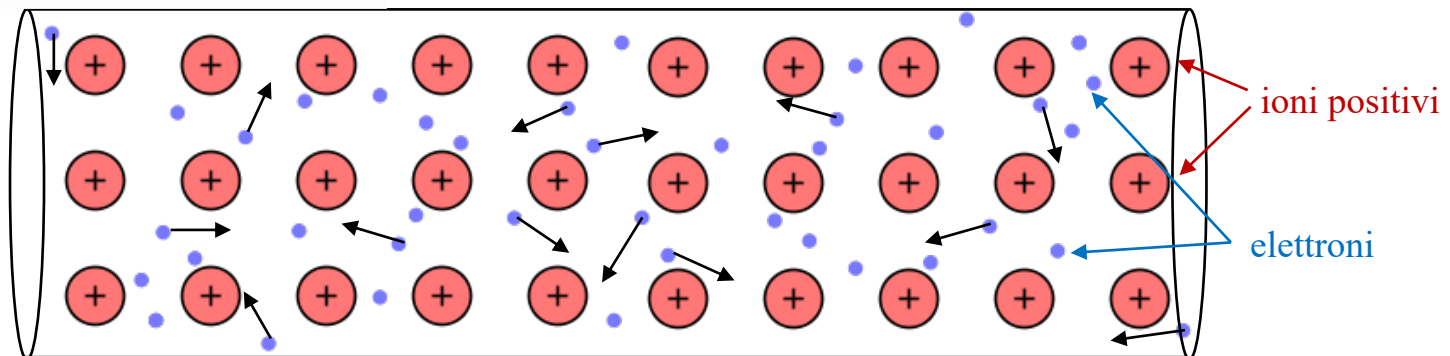
Prima del 1800 la tecnologia coinvolta nello studio dell'elettricit  era molto primitiva e gli scienziati si limitavano a produrre elettricit  statica mediante strofinio dei corpi. Tutto cambi  all'improvviso quando nel 1801 **Alessandro Volta** present  a Napoleone Bonaparte la sua **pila elettrica** (cio  il primo esempio di generatore di tensione), che si dimostr  in grado di produrre per la prima volta un flusso continuo di carica, cio  quella che oggi chiamiamo una **corrente elettrica** continua.



La **corrente elettrica** che fluisce nel conduttore (filo di rame) viene definita come *la quantit  di carica che attraversa la sezione trasversale del filo nell'unit  di tempo*, cio :

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

La sua **unit  di misura** sar  dunque il Coulomb al secondo, detto **Amp re** (A): $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$ (come gi  anticipato la corrente elettrica   una delle 7 grandezze fisiche fondamentali del SI)



Struttura interna di un filo elettrico in assenza di tensione

Elettrodinamica: la Corrente Elettrica

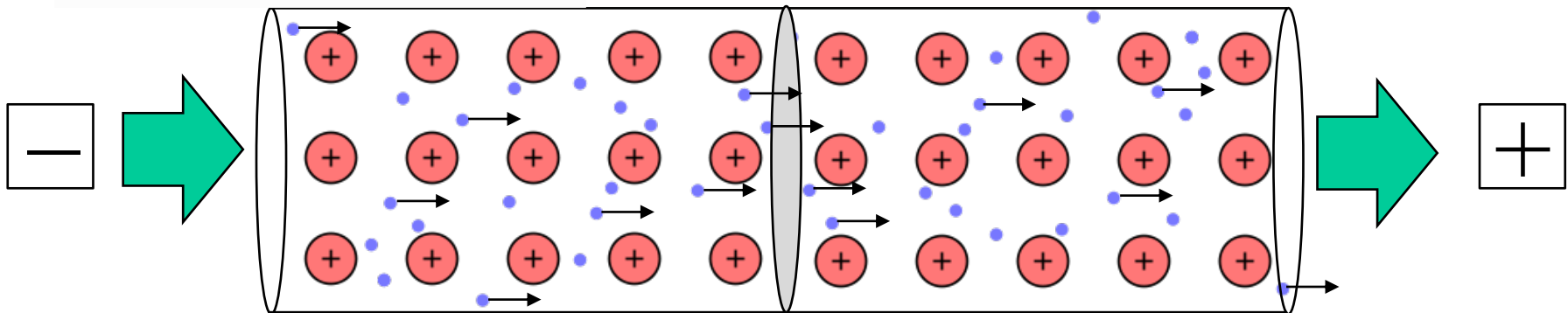
Prima del 1800 la tecnologia coinvolta nello studio dell'elettricit  era molto primitiva e gli scienziati si limitavano a produrre elettricit  statica mediante strofinio dei corpi. Tutto cambi  all'improvviso quando nel 1801 **Alessandro Volta** present  a Napoleone Bonaparte la sua **pila elettrica** (cio  il primo esempio di generatore di tensione), che si dimostr  in grado di produrre per la prima volta un flusso continuo di carica, cio  quella che oggi chiamiamo una **corrente elettrica** continua.



La **corrente elettrica** che fluisce nel conduttore (filo di rame) viene definita come *la quantit  di carica che attraversa la sezione trasversale del filo nell'unit  di tempo*, cio :

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

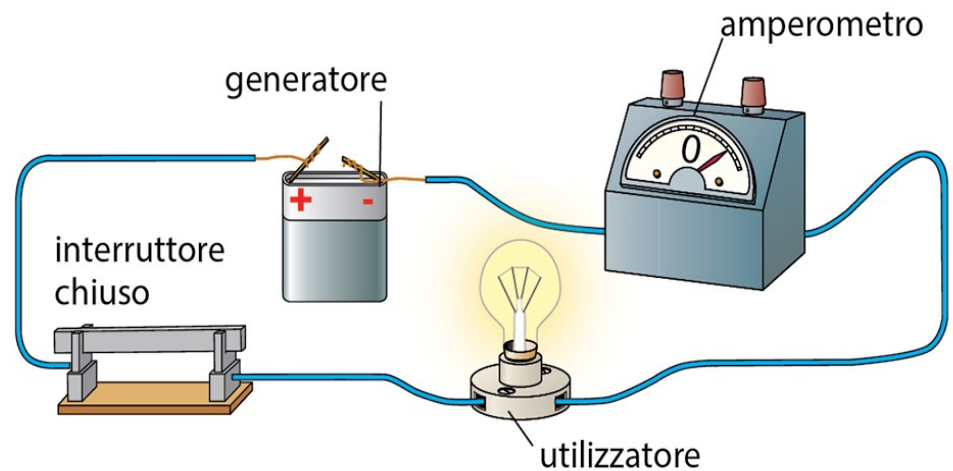
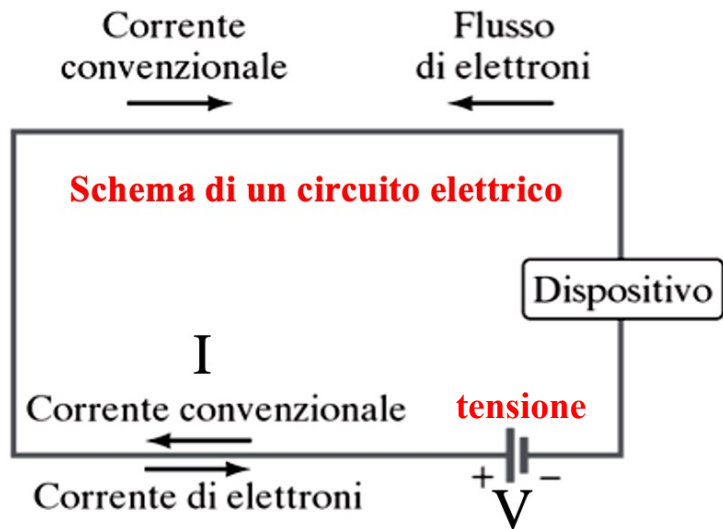
La sua **unit  di misura** sar  dunque il Coulomb al secondo, detto **Amp re** (A): $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$ (come gi  anticipato la corrente elettrica   una delle 7 grandezze fisiche fondamentali del SI)



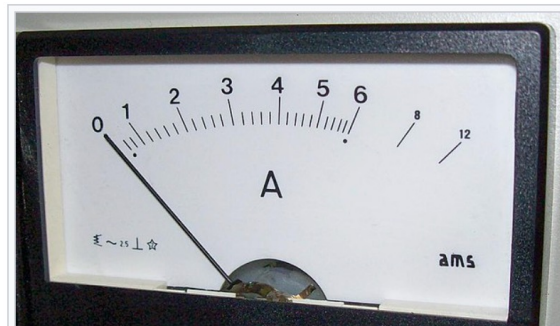
Struttura interna di un filo elettrico in presenza di tensione

Elettrodinamica: la Corrente Elettrica

Noi sappiamo che la carica che fluisce nel filo conduttore è trasportata dagli **elettroni liberi**, ma da un punto di vista pratico conviene pensare alla corrente elettrica I in un circuito come ad un **flusso di cariche positive uscente dal polo positivo ed entrante nel polo negativo della pila o batteria** (senso orario in figura). Si noti che la corrente I , detta anche “intensità di corrente”, pur essendo dotata di un verso, non è una grandezza vettoriale ma **scalare**. Uno degli strumenti più diffusi per la misura dell'intensità di corrente elettrica è l'**Amperometro**.



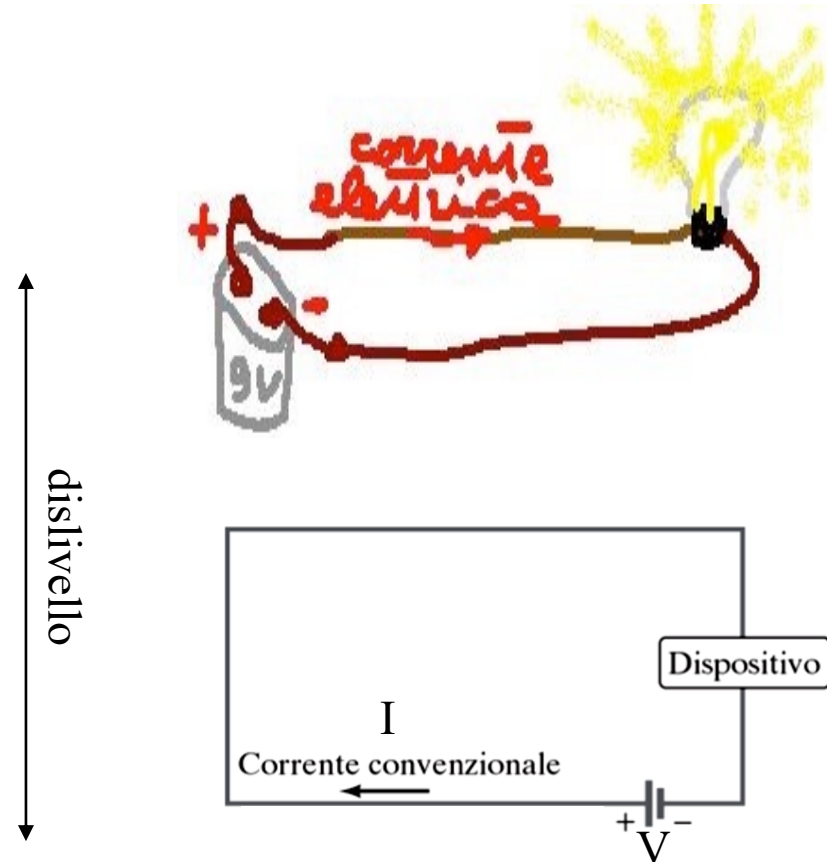
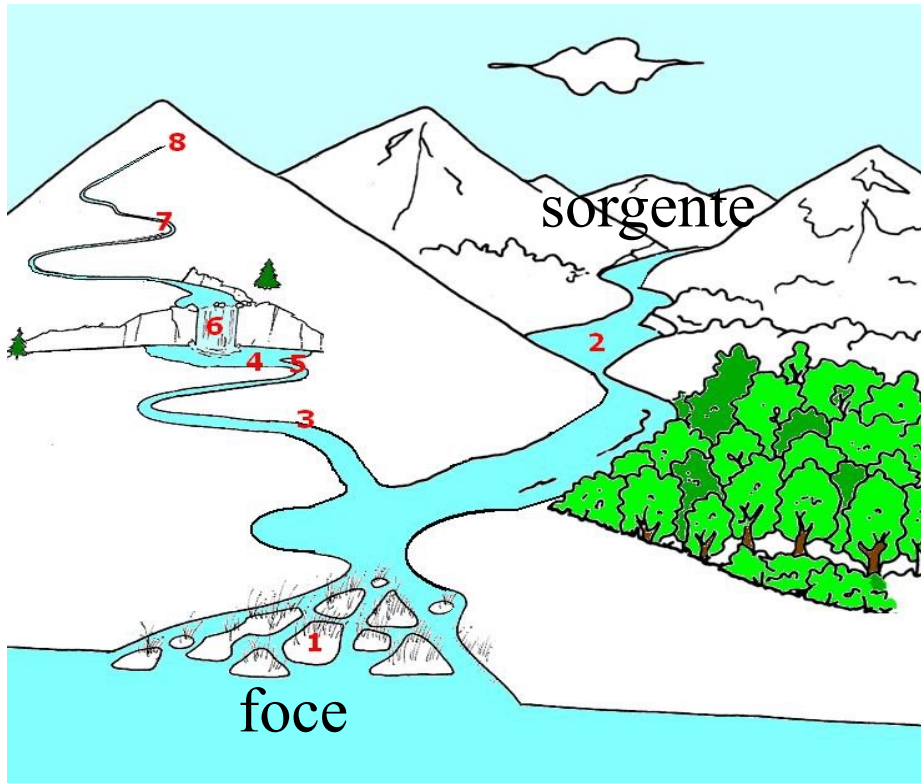
André-Marie Ampère



Il quadrante di un amperometro.

Corrente e Tensione (analogia gravitazionale)

E' abbastanza intuitivo rendersi conto che, in un circuito, l'intensità della corrente elettrica dipende dalla **tensione** (cioè dalla differenza di potenziale elettrico o **voltaggio**) applicata ai capi del circuito. Per convincersene è utile l'**analogia con la corrente d'acqua** che scorre in un fiume a causa del dislivello (differenza di potenziale gravitazionale) tra la sorgente situata in montagna e la foce del fiume situata in pianura: anche in questo caso un **aumento del dislivello** (della differenza di potenziale) produce un aumento del flusso d'acqua nel letto del fiume, proprio come un **aumento del voltaggio** (detto anche "caduta di potenziale") produce un aumento del flusso di elettroni nel filo conduttore.



La Resistenza Elettrica

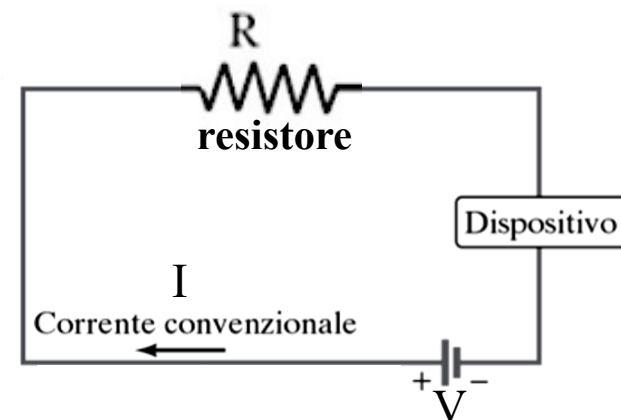
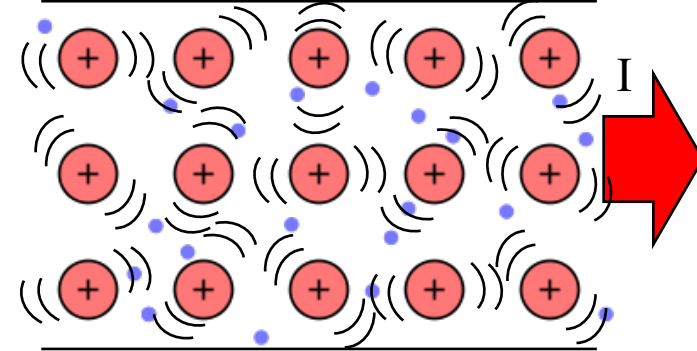
Ma l'analogia non finisce qui: infatti, così come le sponde di un fiume e le rocce presenti sul fondo offrono resistenza allo scorrere dell'acqua rallentandola, allo stesso modo il flusso di elettroni che percorre un filo elettrico incontrerà una **resistenza** a causa dei continui urti degli **elettroni** con gli **ioni positivi** (per di più sempre in moto vibratorio a causa dell'agitazione termica) del reticolo cristallino caratteristico della struttura del filo conduttore. **Nel caso del filo elettrico questa resistenza viene indicata con R** e gli esperimenti mostrano che è inversamente proporzionale all'area A della sezione trasversale del filo e direttamente proporzionale alla sua lunghezza L con una costante di proporzionalità ρ intrinseca del materiale e detta **resistività** (crescente con la temperatura):

$$R = \rho L / A$$

Sostanza	Resistività, ρ ($\Omega \cdot m$)
Argento	$1,59 \cdot 10^{-8}$
Rame	$1,72 \cdot 10^{-8}$
Oro	$2,44 \cdot 10^{-8}$
Alluminio	$2,82 \cdot 10^{-8}$
Tungsteno	$5,6 \cdot 10^{-8}$
Ferro	$10,0 \cdot 10^{-8}$
Nichel-cromo	$100 \cdot 10^{-8}$
Carbonio	$3500 \cdot 10^{-8}$

L'unità di misura della resistenza R è l'**ohm** (Ω) mentre quella della resistività è evidentemente $\Omega \cdot m$. Nella tabella qui a fianco trovate i valori della resistività a 20°C per i conduttori più comuni. Come si vede, il rame è il metallo più conveniente, in termini di resistività e costo) da utilizzare per i fili elettrici.

Struttura interna del filo elettrico



La Legge di Ohm

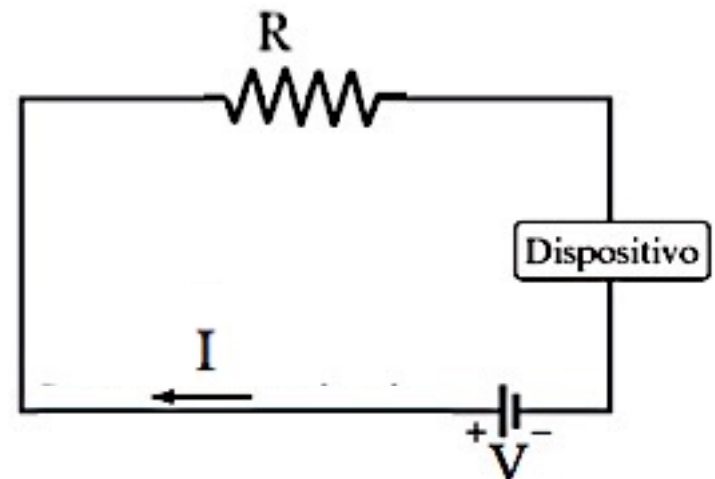
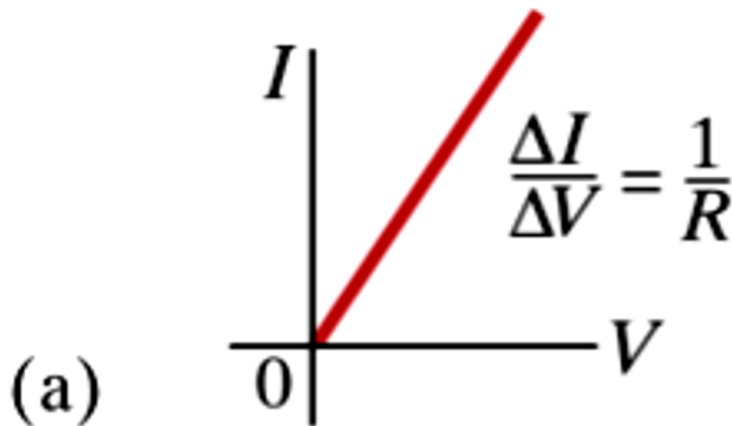
L'unità di misura della resistenza prende il nome dal fisico tedesco **Georg Simon Ohm** il quale fu il primo a mostrare sperimentalmente che **la corrente I che scorre in un filo metallico è direttamente proporzionale alla tensione V applicata ed inversamente proporzionale alla resistenza R** del conduttore secondo la celebre relazione conosciuta appunto come **legge di Ohm**: $V = RI \rightarrow I = \frac{V}{R}$



Georg Simon Ohm
(1787-1854)

Nota: a volte questa relazione viene chiamata «prima legge di Ohm» mentre la relazione tra resistenza e resistività vista nella slide precedente viene chiamata «seconda legge di Ohm».

Dunque, a parità di tensione V applicata, l'intensità della corrente elettrica I sarà tanto più piccola quanto maggiore è la resistenza R del filo elettrico mentre, a parità di R, I crescerà **in modo lineare** al crescere della differenza di potenziale V: graficamente la legge di Ohm viene di solito rappresentata riportando **la corrente I in funzione della differenza di potenziale V** e dunque corrisponde al grafico di una retta $I=(1/R)V$ passante per l'origine e di coefficiente angolare pari a $1/R$ (a). **La legge di Ohm $V=RI$ consente anche di calcolare la «caduta di potenziale» V ai capi di un filo elettrico (o di un dispositivo) di resistenza R percorso da una corrente I.**



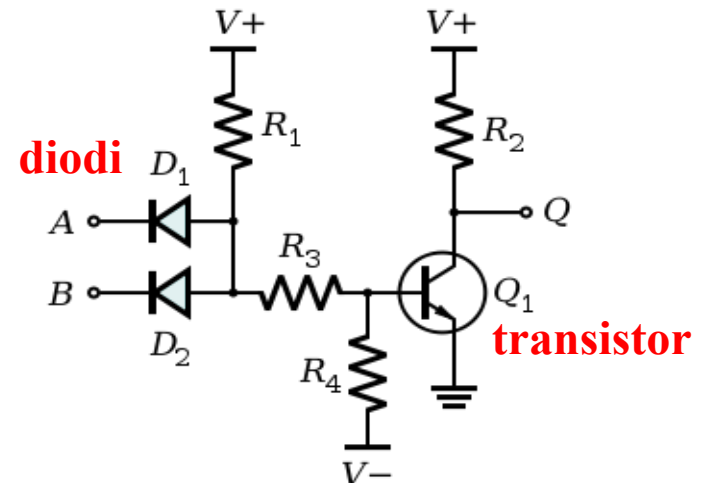
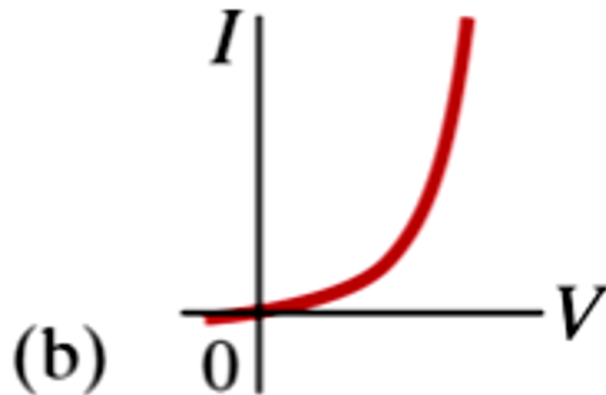
La Legge di Ohm

L'unità di misura della resistenza prende il nome dal fisico tedesco **Georg Simon Ohm** il quale fu il primo a mostrare sperimentalmente che **la corrente I che scorre in un filo metallico è direttamente proporzionale alla tensione V applicata ed inversamente proporzionale alla resistenza R** del conduttore secondo la celebre relazione conosciuta appunto come **legge di Ohm**: $V = RI \rightarrow I = \frac{V}{R}$



Georg Simon Ohm
(1787-1854)

Questa legge non è però universale ma vale solo per una certa classe di materiali e dispositivi (cui appartengono i conduttori metallici) detti appunto **ohmici**, per i quali la resistenza R è indipendente dalla tensione V . Esistono infatti molti altri materiali non metallici e molti dispositivi elettronici, quali ad esempio **diodi e transistor**, per i quali la resistenza non resta costante al variare di V e che dunque non seguono la legge di Ohm ma mostrano una dipendenza più complicata, di tipo **non lineare**, tra corrente e tensione (b). Si parla in questo caso di materiali o dispositivi **non ohmici**.



Esercizio

Supponete di dover collegare l'amplificatore dello stereo a **due altoparlanti**. (a) Assumendo che ciascun filo sia lungo 20 m, determinate il **diametro dei cavi** di rame in modo che la resistenza di ciascun cavo non ecceda il valore di 0.10Ω . (b) Calcolate la **caduta di potenziale** ai capi di ciascun filo, supponendo che in essi circoli una corrente $I=4.0 \text{ A}$.

(a) Dalla definizione di resistenza R ricaviamo l'area A della sezione circolare del filo di rame sapendo che la resistività del rame è $\rho=1.72 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$:

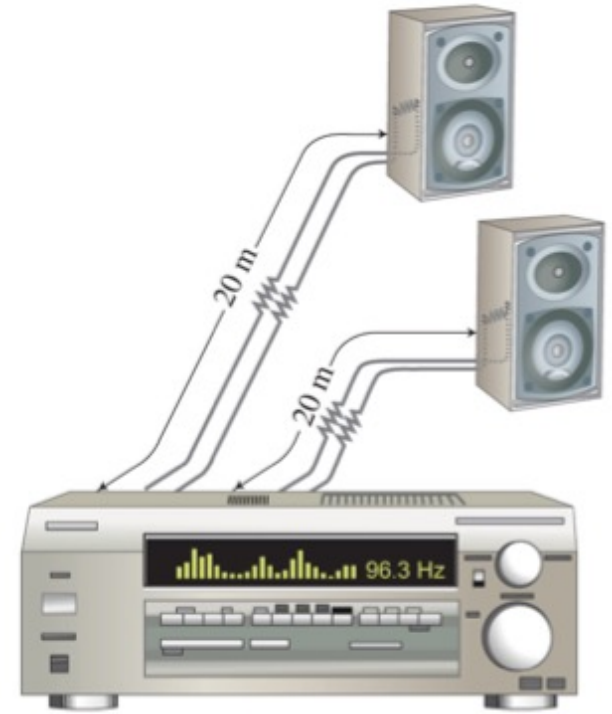
$$R = \rho \frac{L}{A} \rightarrow A = \rho \frac{L}{R} = \frac{(1.72 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m)(20m)}{(0.10 \Omega)} = 3.4 \cdot 10^{-6} m^2$$

da cui, essendo l'area della sezione circolare di raggio r pari a $A=\pi r^2$ ed essendo il diametro $d=2r$, avremo che quest'ultimo non dovrà essere inferiore a un paio di millimetri circa:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 1.04 \cdot 10^{-3} m = 1.04 mm \rightarrow d = 2r = 2.1 mm$$

(b) La caduta di potenziale lungo i fili di connessione, che riduce di conseguenza – sia pur leggermente – l'intensità del suono emesso, è facilmente ricavabile dalla legge di Ohm:

$$V = RI = (0.10 \Omega)(4.0 A) = 0.40 V$$



La Potenza Elettrica

Per descrivere matematicamente la dissipazione/trasformazione di energia nei dispositivi elettrici è utile ricorrere al concetto di **potenza P**, una grandezza fisica la cui definizione generale è quella di lavoro compiuto nell'unità di tempo (**P=Lavoro/tempo**) e che in elettrodinamica è definita come **l'energia potenziale ΔU dissipata da una carica elettrica in moto in un campo elettrico nell'unità di tempo**. Per determinare la potenza di un dispositivo elettrico è sufficiente ricordare che la variazione di energia potenziale di una carica Q che si muove attraverso una differenza di potenziale V è pari a $\Delta U=QV$ e dunque la velocità di dissipazione di tale energia, cioè la potenza, sarà data da:

$$P = \frac{\text{energia trasformata}}{\text{tempo}} = \frac{QV}{t} \quad \dots\text{ma } Q/t \text{ è l'intensità di corrente } I \text{ e dunque: } \boxed{P = IV}$$

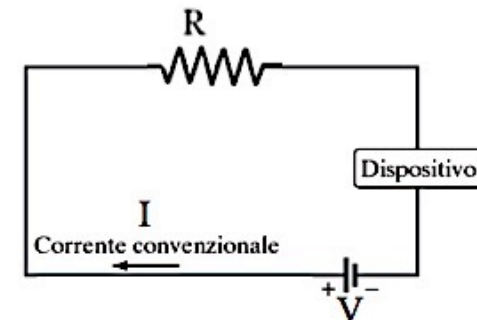
Questa relazione è del tutto generale e permette quindi di calcolare **la rapidità con cui l'energia viene dissipata/trasformata in un generico dispositivo elettrico** se si conosce il valore della corrente I che lo attraversa e la differenza di potenziale V presente ai suoi capi. La potenza così espressa è anche uguale alla **potenza fornita dall'alimentazione**, ovvero erogata da una batteria. L'unità di misura della potenza elettrica (e per la potenza in generale) nel sistema SI è il **Watt** ($1W=1J/s$), dal nome dell'ingegnere scozzese **James Watt**.



James Watt
(1736-1819)

La rapidità con cui viene dissipata/trasformata l'energia elettrica in un resistore di **resistenza R** presente in un circuito può essere espressa in **due modi diversi** sostituendo nell'equazione $P=IV$ l'espressione $V=IR$:

$$P = IV = I(IR) = I^2R \qquad P = IV = \left(\frac{V}{R}\right)V = \frac{V^2}{R}$$



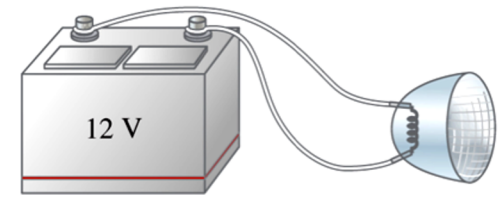
Esercizio

Calcolare la resistenza di un **faro d'automobile** da 40W progettato per funzionare a 12V.

Utilizziamo la seconda equazione per la potenza nei resistori e risolviamola rispetto ad R:

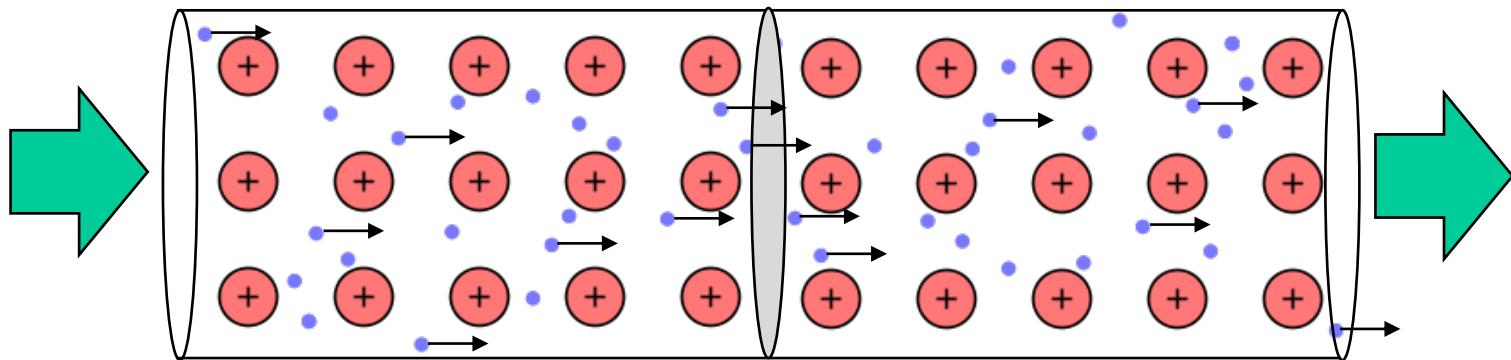
$$P = \frac{V^2}{R} \rightarrow R = \frac{V^2}{P} = \frac{(12V)^2}{(40W)} = 3.6\Omega$$

Si noti che questa è la resistenza quando la lampadina del faro è accesa già da un po' di tempo. Quando la lampadina è fredda, infatti, la resistenza è più bassa (in quanto la resistività ρ dipende dalla temperatura) e poichè la corrente è tanto più alta quanto minore è la resistenza, è più facile che la lampadina si bruci nel momento in cui viene accesa.



Faro da 40 W

$$R = \rho L / A$$



Struttura interna di un filo elettrico percorso da corrente

Esercizio

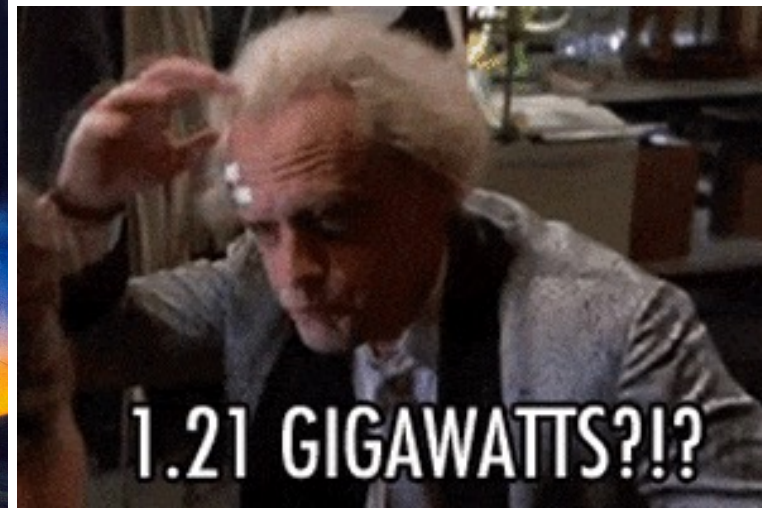
Il **fulmine** è uno spettacolare esempio di scarica elettrica naturale. Tipicamente l'energia ΔU trasferita al suolo da un fulmine è di circa 10^9J attraverso una differenza di potenziale di $5 \cdot 10^7 \text{V}$ in un intervallo di tempo $t=0.2 \text{s}$. Calcolare: (a) la carica totale Q scambiata tra il suolo e la nube; (b) la corrente; (c) la potenza media dell'evento.

$$(a) \quad Q = \frac{\Delta U}{V} \approx \frac{10^9 \text{J}}{5 \cdot 10^7 \text{V}} = 20 \text{C} \quad (b) \quad I = \frac{Q}{t} \approx \frac{20 \text{C}}{0.2 \text{s}} = 100 \text{A}$$

$$(c) \quad P = \frac{\Delta U}{t} = \frac{10^9 \text{J}}{0.2 \text{s}} = 5 \cdot 10^9 \text{W} = 5 \text{ GW} \quad \text{oppure} \quad P = IV = (100 \text{A})(5 \cdot 10^7 \text{V}) = 5 \text{ GW}$$



Nella trilogia “**Ritorno al Futuro**” (1985-1990), di Robert Zemeckis, la macchina del tempo è stata costruita da Doc usando come base una normale DeLorean DMC-12, che per spostarsi nel tempo necessita di una potenza elettrica di 1,21 Gigawatt, che nel 1955 poteva essere fornita appunto solo da un fulmine!



Esercizio

Il **fulmine** è uno spettacolare esempio di scarica elettrica naturale. Tipicamente l'energia ΔU trasferita al suolo da un fulmine è di circa 10^9J attraverso una differenza di potenziale di $5 \cdot 10^7 \text{V}$ in un intervallo di tempo $t=0.2 \text{s}$. Calcolare: (a) la carica totale Q scambiata tra il suolo e la nube; (b) la corrente; (c) la potenza media dell'evento.

$$(a) \quad Q = \frac{\Delta U}{V} \approx \frac{10^9 \text{J}}{5 \cdot 10^7 \text{V}} = 20 \text{C} \quad (b) \quad I = \frac{Q}{t} \approx \frac{20 \text{C}}{0.2 \text{s}} = 100 \text{A}$$

$$(c) \quad P = \frac{\Delta U}{t} = \frac{10^9 \text{J}}{0.2 \text{s}} = 5 \cdot 10^9 \text{W} = 5 \text{ GW} \quad \text{oppure} \quad P = IV = (100 \text{A})(5 \cdot 10^7 \text{V}) = 5 \text{ GW}$$

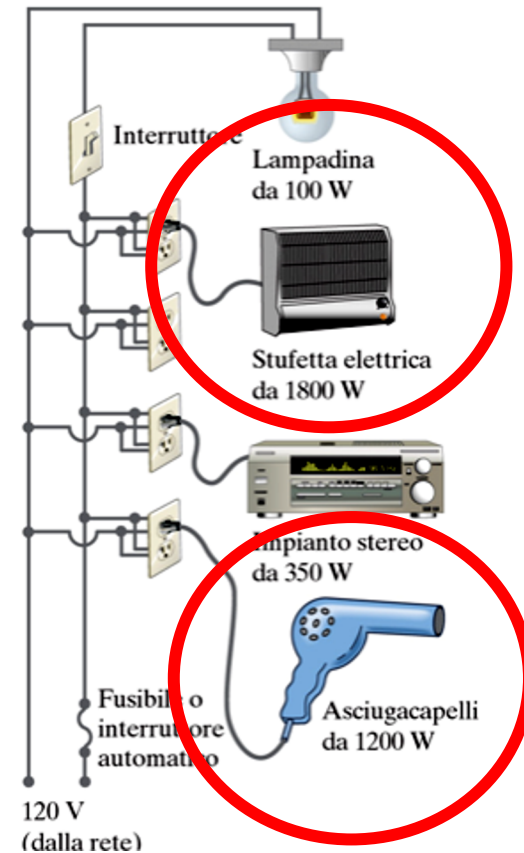
Nella trilogia “**Ritorno al Futuro**” (1985-1990), di Robert Zemeckis, la macchina del tempo è stata costruita da Doc usando come base una normale DeLorean DMC-12, che per spostarsi nel tempo necessita di una potenza elettrica di 1,21 Gigawatt, che nel 1955 poteva essere fornita appunto solo da un fulmine!



Potenza negli impianti domestici

Gli impianti domestici sono progettati in modo che la tensione ai capi di ciascun dispositivo connesso alla rete sia quella standard fornita dalla compagnia elettrica (220V in Italia, 120V negli USA). Normalmente un **impianto domestico tipico** ha una potenza di circa 3 kW (3000W), ma ciò che paghiamo alle compagnie fornitrici di elettricità come importo delle bollette non è la potenza erogata bensì la quantità di energia elettrica effettivamente consumata. Poiché la potenza è la velocità alla quale l'energia viene consumata ($P=\Delta U/t$), *per calcolare l'energia elettrica totale dissipata da un qualsivoglia dispositivo elettrico è sufficiente moltiplicare la sua potenza per il tempo di funzionamento* ($\Delta U=P*t$). Esprimendo la potenza in watt e il tempo in secondi l'energia dovrebbe essere espressa in Joule ($1J=1W*s$) ma le aziende fornitrici di solito utilizzano una unità di misura più grande, il **kilowattora** (kWh):

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} * 3600 \text{ s} = 3.60 * 10^6 \text{ J}$$



Esercizio

Una **stufa elettrica** alimentata a 220 V assorbe 8.2 A di corrente. Calcolare la **potenza** e il **costo mensile** (30 giorni) se viene lasciata in funzione per 3 ore al giorno e se il prezzo stabilito dalla compagnia fornitrice di energia elettrica è di 9.2 centesimi di euro per kWh.

La **potenza** trasformata dalla stufa è: $P = IV = (8.2A)(220V) = 1800W = 1.80kW$

Il tempo di funzionamento mensile, espresso in ore, è di $(3.0h/giorno)(30giorni)=90h$, che a 0.092 €/kWh dà una **spesa mensile complessiva** di $(1.80kW)(90h)(0.092 \text{ €/kWh}) = 15 \text{ €}$.