

Dall'Elettrostatica all'Elettrodinamica



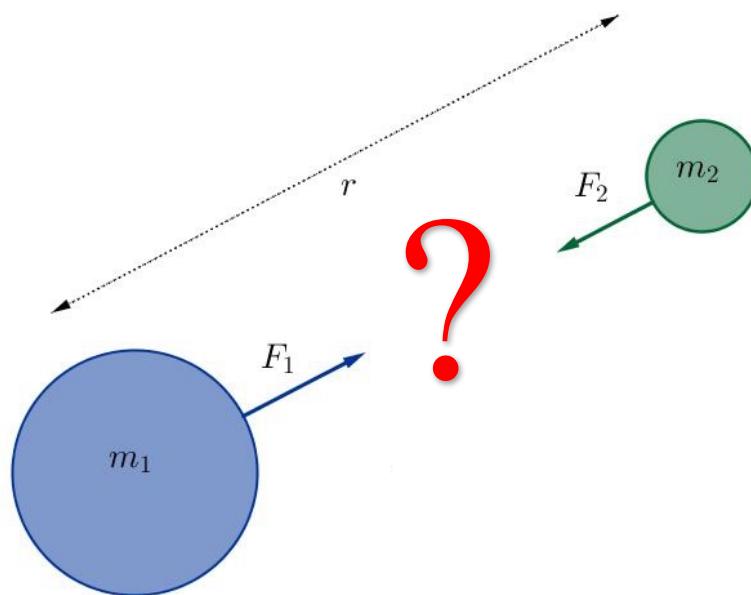
L'enigma dell'azione a distanza delle forze

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



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

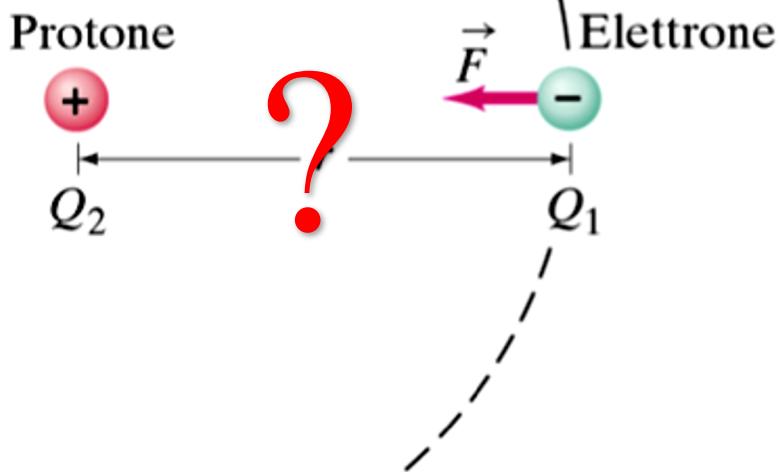
Protone



Q_2



Q_1

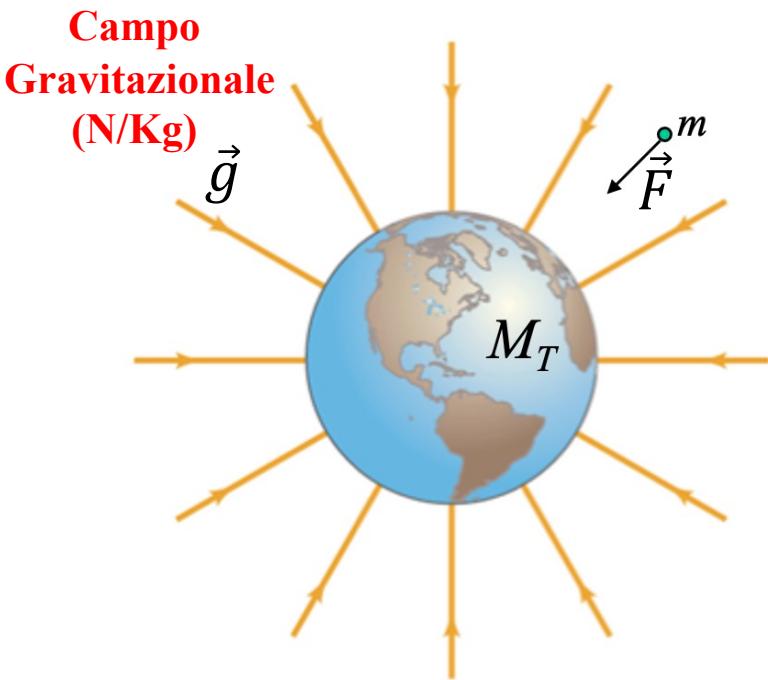


L'introduzione del concetto di Campo

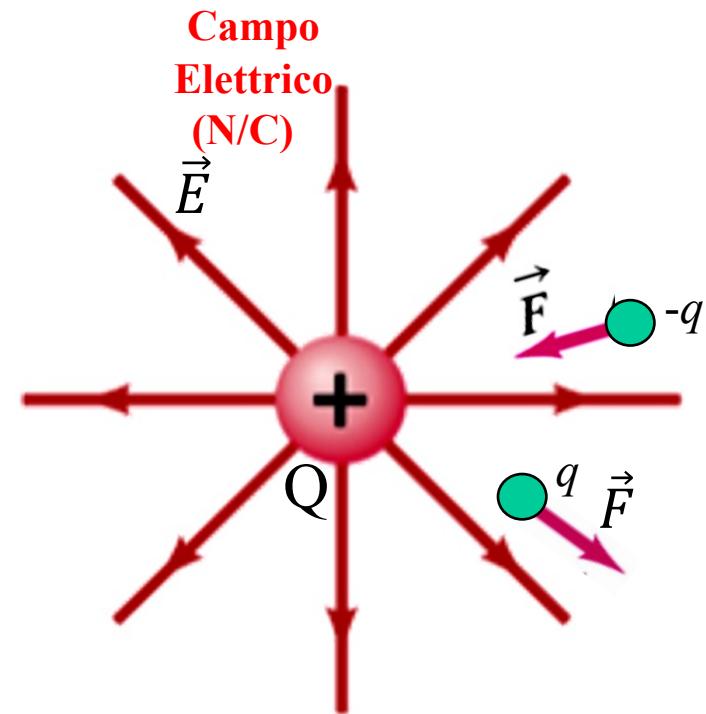
Abbiamo visto che una delle proprietà comuni sia all'interazione gravitazionale che a quella elettrostatica (in quanto interazioni fondamentali) è la cosiddetta “**azione a distanza**”, cioè la capacità di tali tipi di forze di esercitare attrazione o repulsione *senza bisogno di un contatto diretto* 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**.

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \rightarrow g = \frac{F}{m} = G \frac{M_T}{r^2}$$

$$E = \frac{F}{q} = k \frac{Q}{r^2} \leftarrow F = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$



Michael Faraday
(1791-1867)

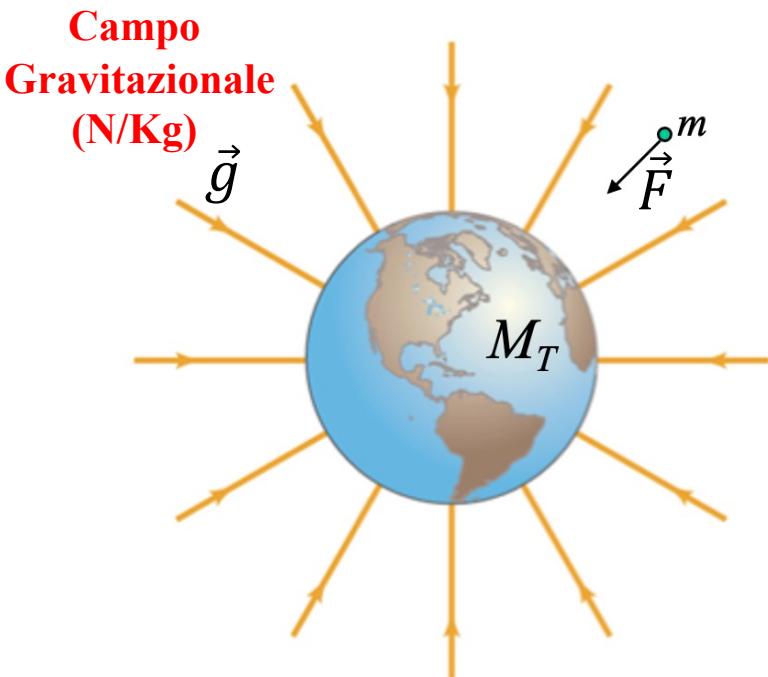


L'introduzione del concetto di Campo

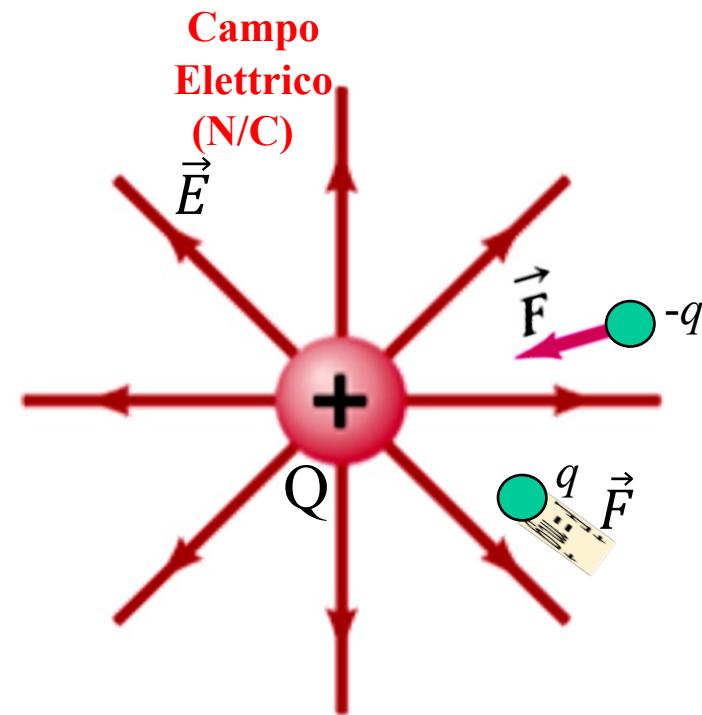
Abbiamo visto che una delle proprietà comuni sia all'interazione gravitazionale che a quella elettrostatica (in quanto interazioni fondamentali) è la cosiddetta “**azione a distanza**”, cioè la capacità di tali tipi di forze di esercitare attrazione o repulsione *senza bisogno di un contatto diretto* 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**.

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

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



Michael Faraday
(1791-1867)



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**.

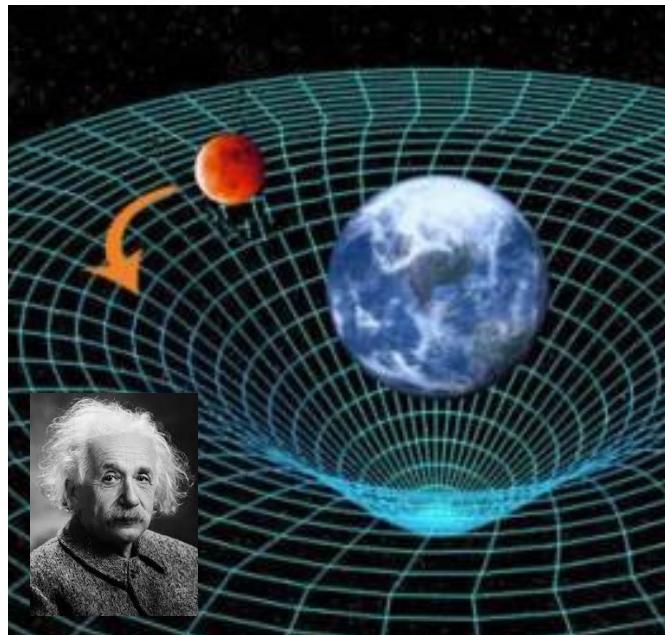
$$\vec{F} = m\vec{g}$$

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

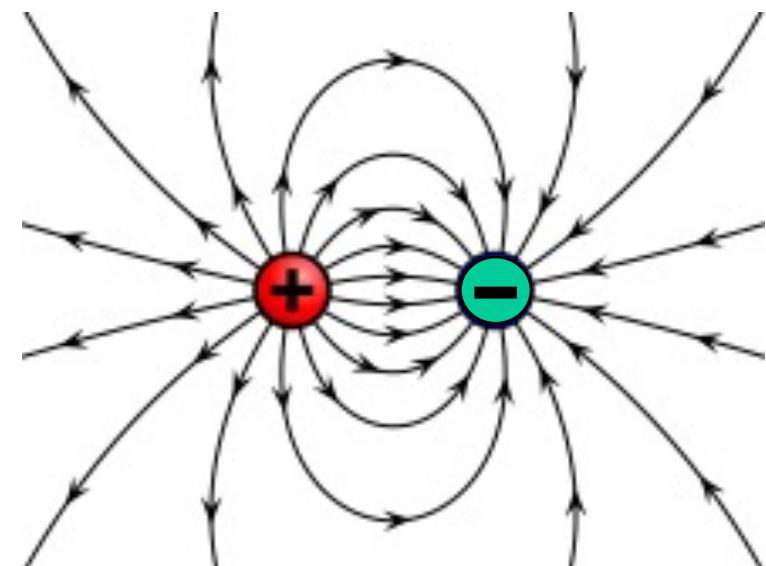
$$E = \frac{F}{q} = k \frac{Q}{r^2}$$



$$\vec{F} = q\vec{E}$$



Michael Faraday
(1791-1867)

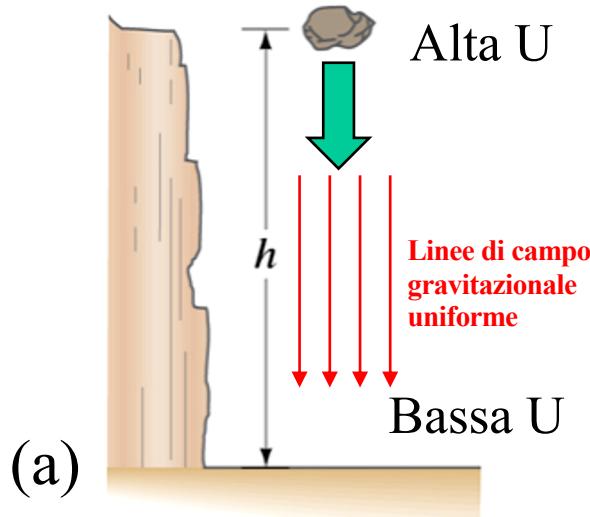


Campo Elettrico ed Energia Potenziale Elettrica

Avendo la stessa forma funzionale della forza di gravità, abbiamo dimostrato che **anche la forza elettrostatica è conservativa**: come accade dunque per la pietra in 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 la carica elettrica positiva in 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 $\rightarrow \Delta U = -W$

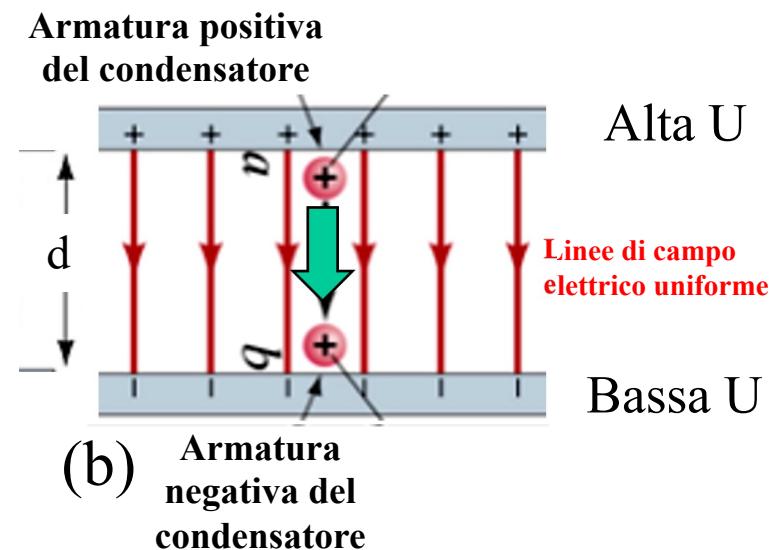
Energia potenziale gravitazionale

$$W=Fh=mgh \rightarrow \Delta U = -W = -mgh$$



Energia potenziale elettrica

$$W=Fd=qEd \rightarrow \Delta U = -W = -qEd$$



Il Potenziale Elettrico

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...).

Per la **differenza di potenziale** avremo quindi: $\Delta V = \Delta U/q$.

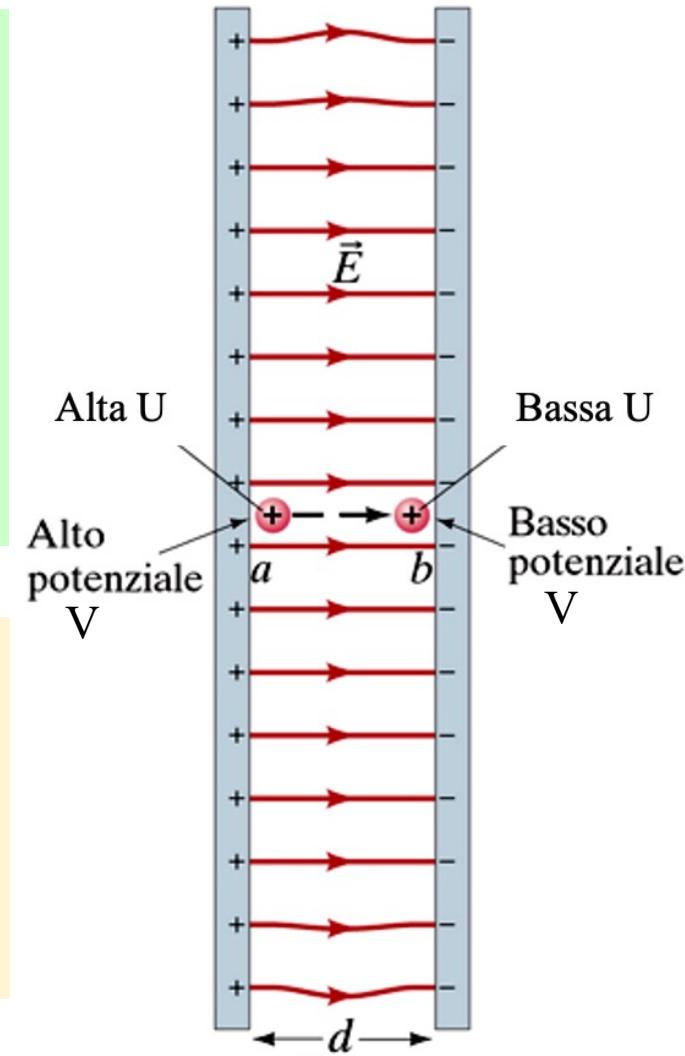
Invertendo queste relazioni si avranno ovviamente:

$$U=qV \text{ e } \Delta U=q\Delta V.$$



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**".



La Pila di Volta

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



Alessandro Volta

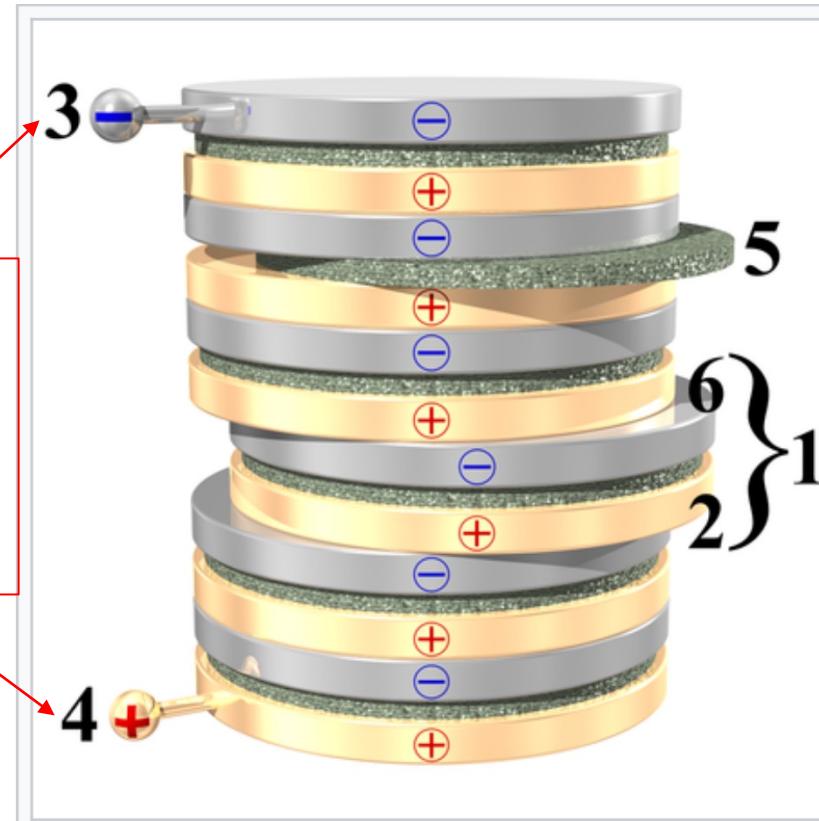


La Pila di Volta

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



Alessandro Volta



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.

In sostanza una **pila** (o batteria) elettrica trasforma **energia chimica** in **energia potenziale elettrica**, che si traduce in **energia cinetica** degli elettroni del conduttore (e che poi, come vedremo, verrà dissipata sotto forma di **calore**...).

La Pila di Volta

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



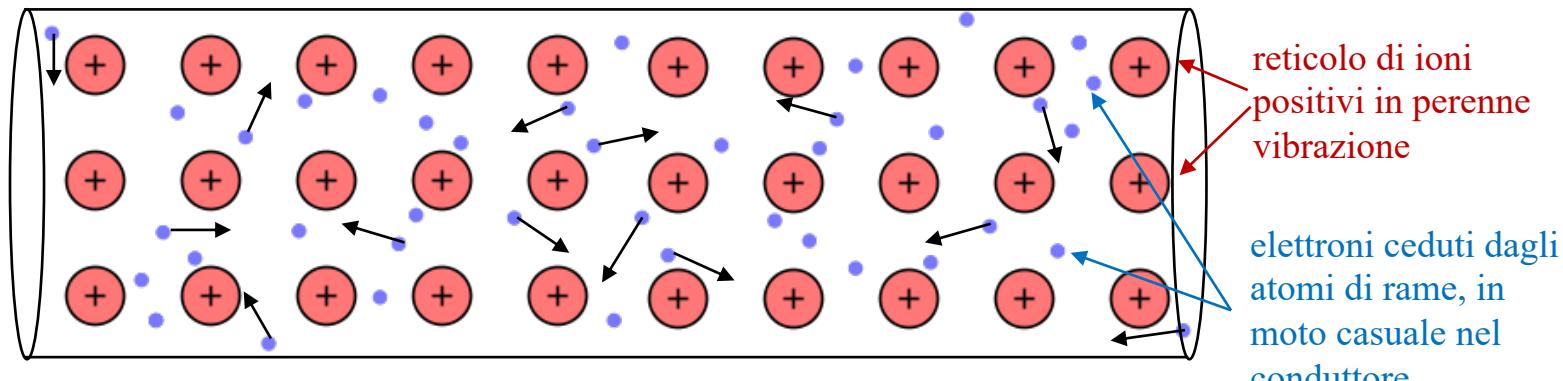
Alessandro Volta



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.



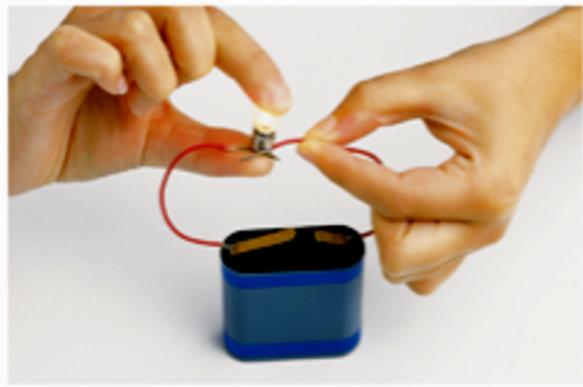
Struttura interna di un conduttore di rame in assenza di tensione

Elettrodinamica: la Corrente Elettrica

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



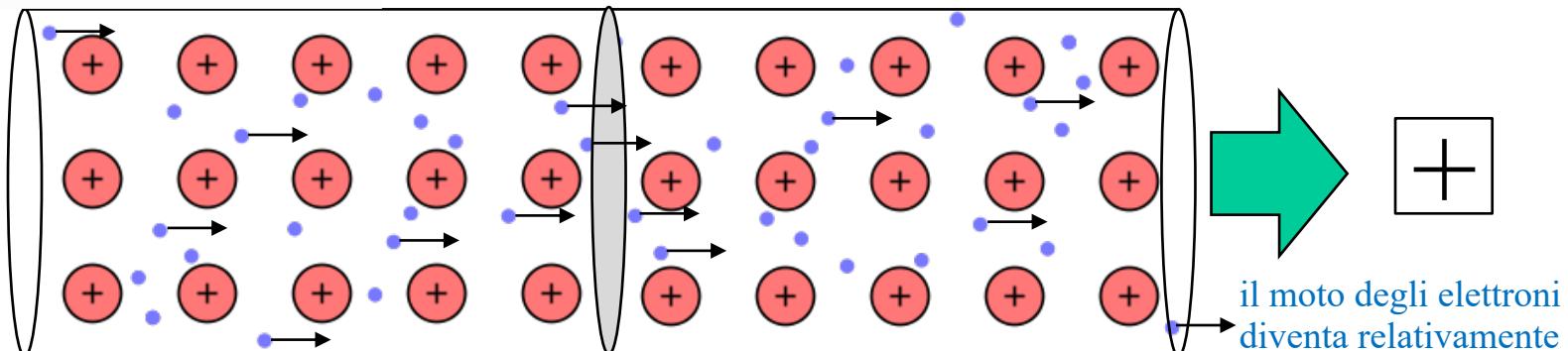
Alessandro Volta



La **corrente elettrica** che fluisce nel conduttore (filo di rame) viene definita come *la quantità di carica che attraversa la sezione trasversale del filo nell'unità di tempo*, cioè:

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

La sua **unità di misura** sarà dunque il Coulomb al secondo, detto **Ampère** (A): 1 A = 1 C/s (come già anticipato la corrente elettrica è una delle 7 grandezze fisiche fondamentali del SI)

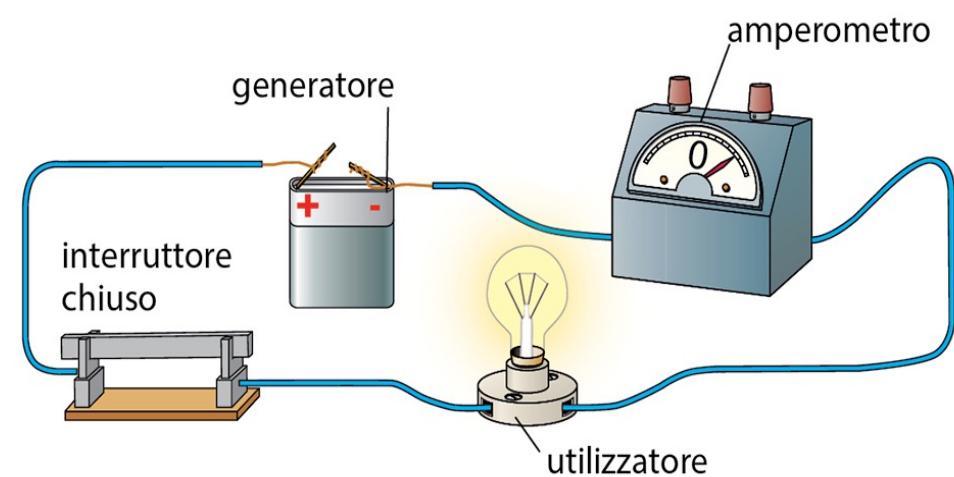
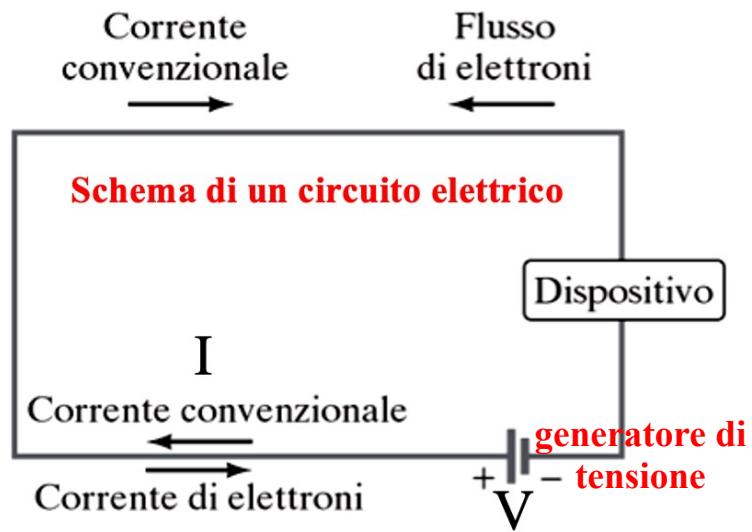


il moto degli elettroni diventa relativamente ordinato!

Struttura interna di un conduttore di rame in presenza di tensione

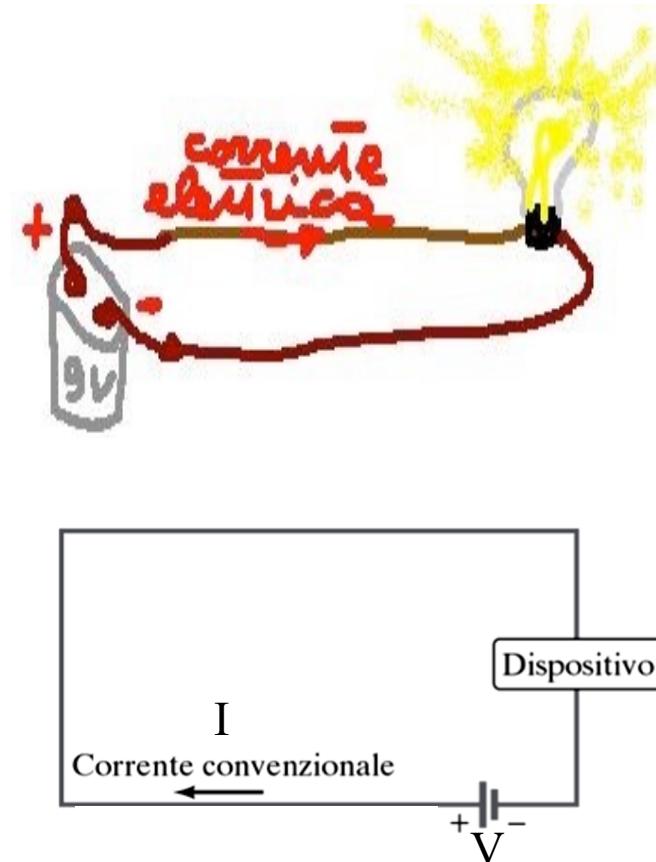
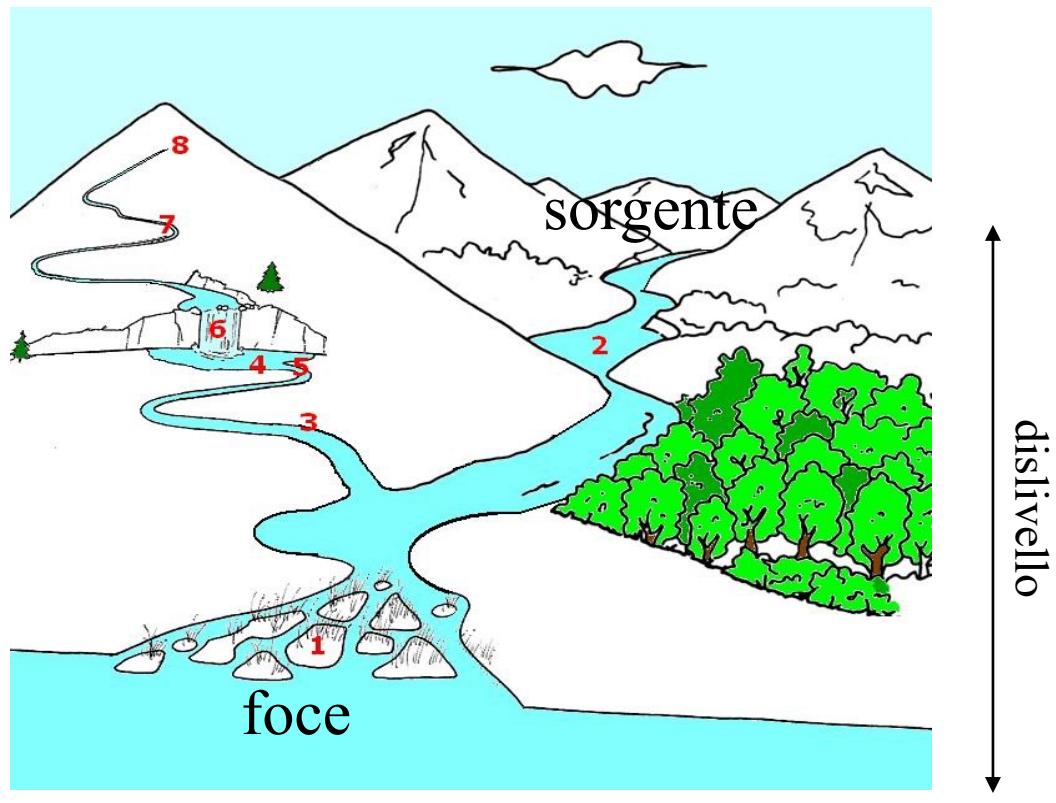
Elettrodinamica: la Corrente Elettrica

Noi sappiamo che la carica che fluisce nel filo conduttore è trasportata dagli **elettroni (cioè da cariche negative)**, 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**.



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.



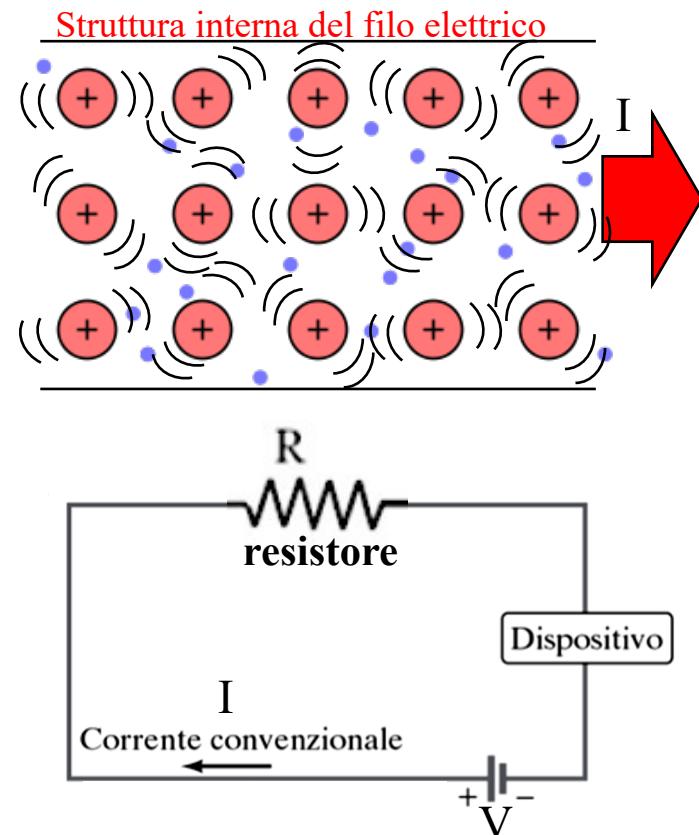
La Resistenza Elettrica

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 (evidentemente) costo, da utilizzare per i fili elettrici.



La Legge di Ohm

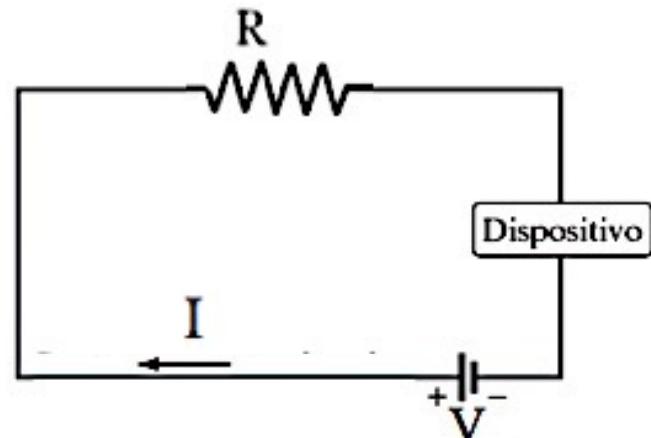
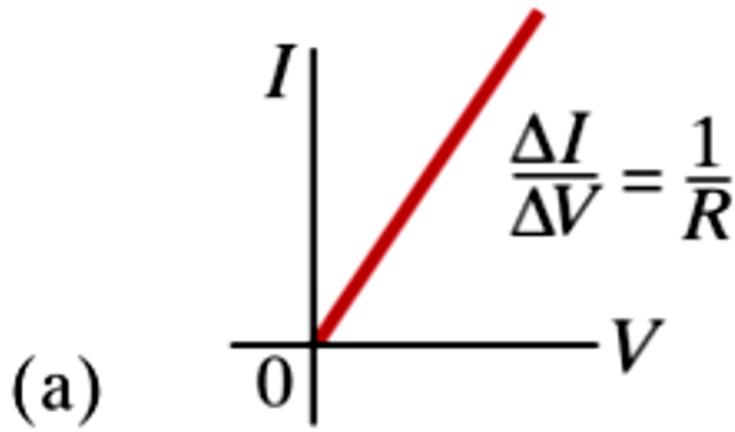
L'unità di misura della resistenza prende il nome dal fisico tedesco **Georg Simon Ohm** il quale fu il primo a mostrare sperimentalmente che la corrente **I** che scorre in un filo metallico è direttamente proporzionale alla tensione **V** applicata ed inversamente proporzionale alla resistenza **R** 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 (a) di una retta $I = (1/R)V$ (del tipo $y = mx$) passante per l'origine e di coefficiente angolare pari a $1/R$. 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**.

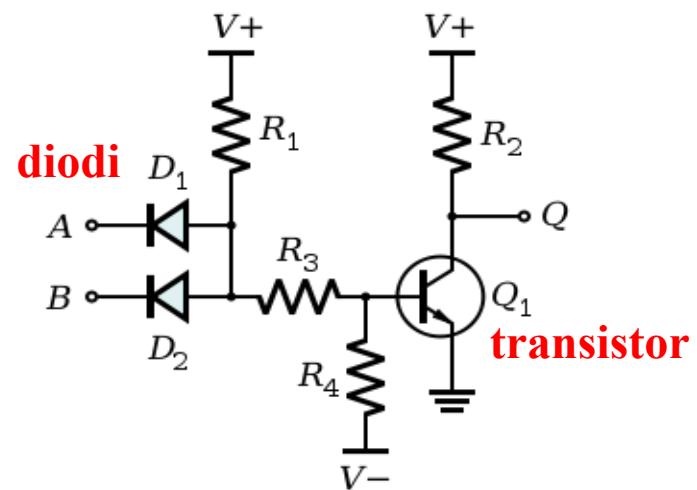
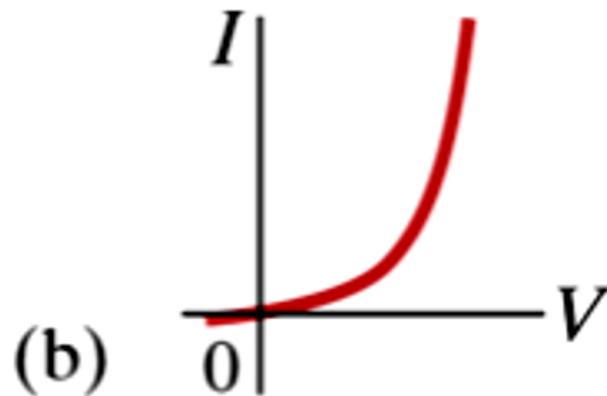


La Legge di Ohm

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**: $V = RI \rightarrow I = \frac{V}{R}$



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**.



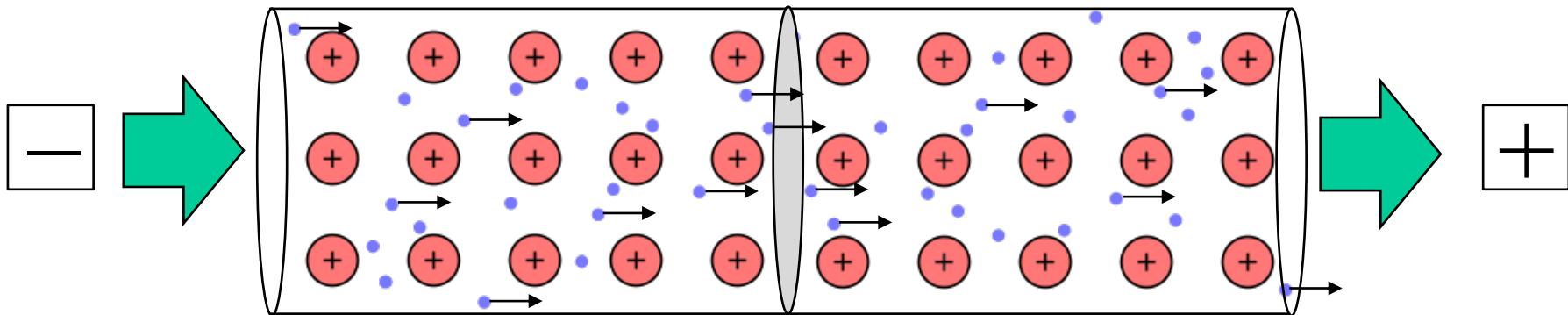
La Legge di Ohm

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)

In ogni caso, al passaggio della corrente, la **resistenza** del filo elettrico, e di eventuali dispositivi ad esso collegati, produce una caduta di potenziale che trasforma l'**energia potenziale elettrica** in **energia termica**, ossia – dal punto di vista microscopico – trasforma l'**energia cinetica** degli elettroni, che costituiscono la corrente elettrica e che urtano con gli ioni in vibrazione del reticolo, in **energia interna** del conduttore o dei dispositivi, che quindi si surriscaldano (facendo così aumentare ulteriormente la vibrazione degli ioni, e quindi la temperatura, la resistività e la resistenza del conduttore): in altre parole, sintetizzando, l'**energia elettrica** fornita dal generatore di tensione (pila, batteria, etc.) viene sempre **dissipata** durante il passaggio della corrente e viene trasformata in **calore**. Questo processo viene chiamato «**effetto Joule**» (e deriva, in ultima analisi, dal 2° principio della termodinamica).



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 $\rho=1.72 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$:

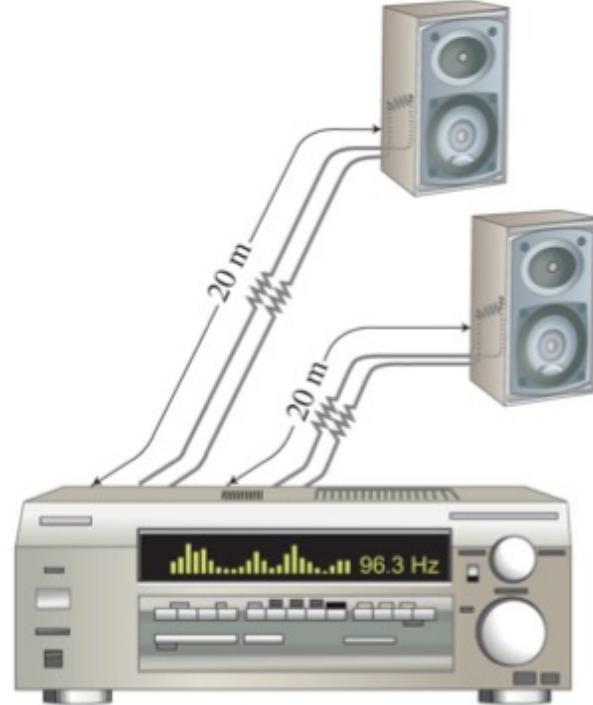
$$R = \rho \frac{L}{A} \rightarrow A = \rho \frac{L}{R} = \frac{(1.72 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m})(20\text{m})}{(0.10\Omega)} = 3.4 \cdot 10^{-6} \text{m}^2$$

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:

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

(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:

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



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:

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

$$P = IV$$

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**.

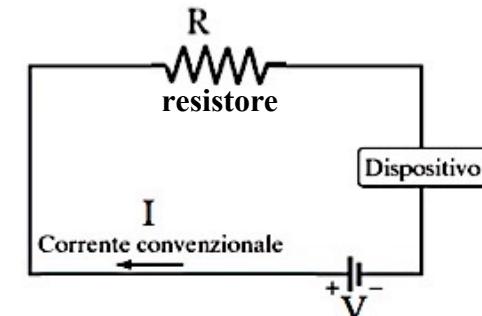
La rapidità con cui viene dissipata/trasformata l'energia elettrica in un **resistore** di resistenza R presente in un circuito può essere espressa in **due modi diversi** sostituendo nell'equazione $P=IV$ l'espressione $V=IR$:

$$P = IV = I(RI) = I^2R$$

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



James Watt
(1736-1819)

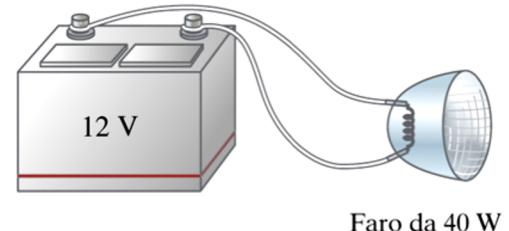


Esercizio

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

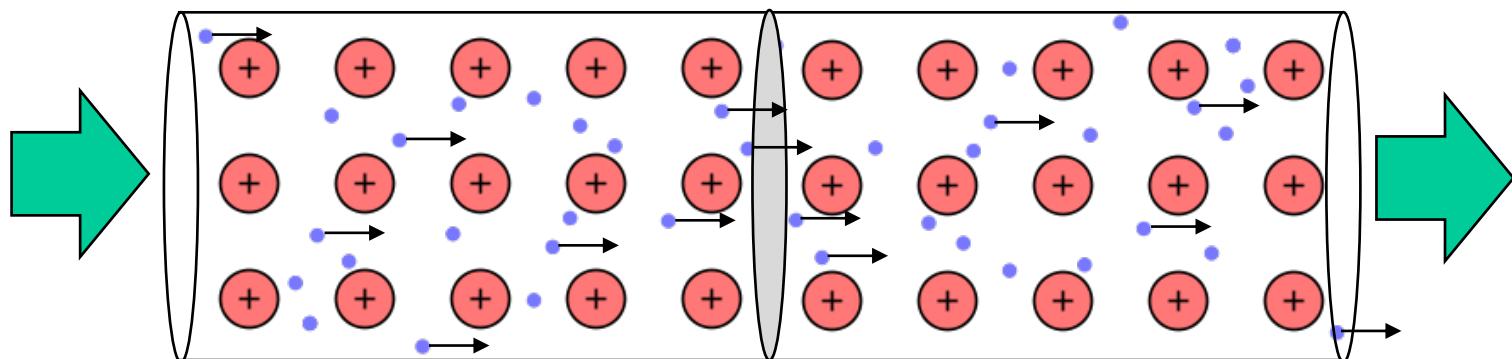
Utilizziamo la seconda equazione per la potenza nei resistori e risolviamola rispetto ad R:

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



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 poiché 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.

$$R = \rho L / A$$



Struttura interna del 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 $10^9 J$ attraverso una differenza di potenziale di $5 \cdot 10^7 V$ in un intervallo di tempo $t=0.2 s$. Calcolare: (a) la carica totale Q scambiata tra il suolo e la nube; (b) la corrente; (c) la potenza media dell'evento.

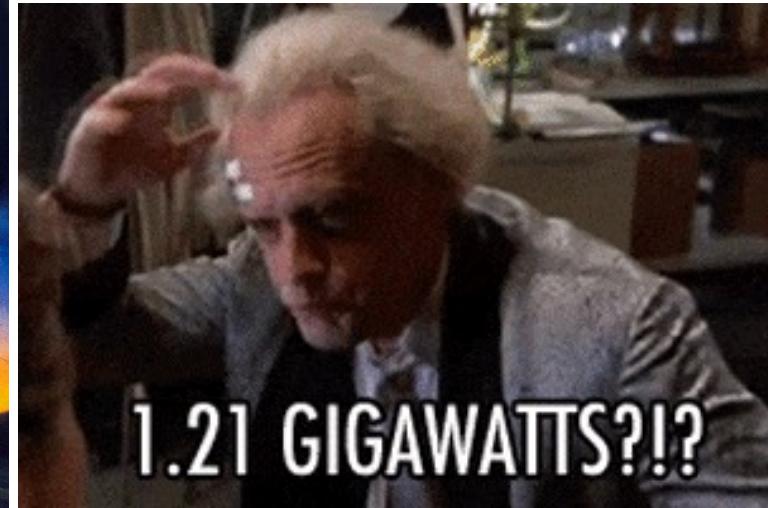
$$(a) Q = \frac{\Delta U}{V} \approx \frac{10^9 J}{5 \cdot 10^7 V} = 20 C$$

$$(b) I = \frac{Q}{t} \approx \frac{20 C}{0.2 s} = 100 A$$

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



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 $10^9 J$ attraverso una differenza di potenziale di $5 \cdot 10^7 V$ in un intervallo di tempo $t=0.2 s$. Calcolare: (a) la carica totale Q scambiata tra il suolo e la nube; (b) la corrente; (c) la potenza media dell'evento.

$$(a) Q = \frac{\Delta U}{V} \approx \frac{10^9 J}{5 \cdot 10^7 V} = 20 C$$

$$(b) I = \frac{Q}{t} \approx \frac{20 C}{0.2 s} = 100 A$$

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



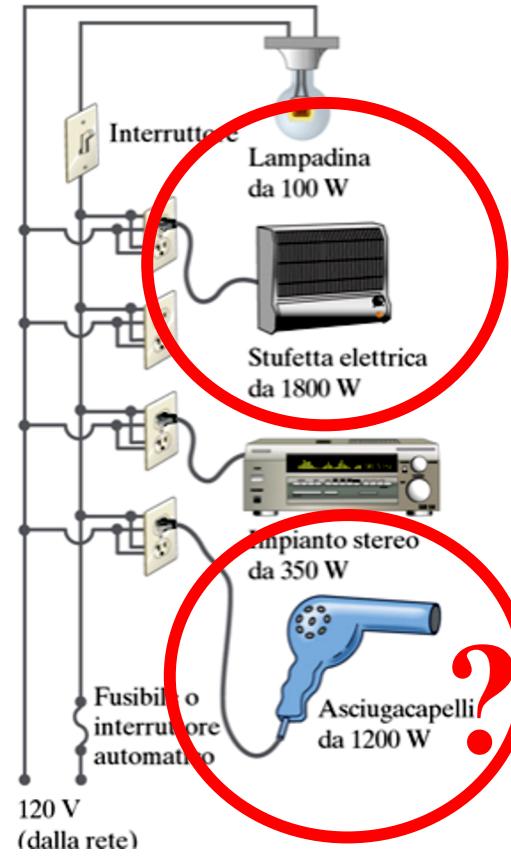
Nella trilogia **“Ritorno al Futuro”** (1985-1990), di Robert Zemeckis, la macchina del tempo è stata costruita da Doc usando come base una normale DeLorean DMC-12, che per spostarsi nel tempo necessita di una potenza elettrica di 1,21 Gigawatt, che nel 1955 poteva essere fornita appunto solo da un fulmine!



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 fornitrice di elettricità come importo delle bollette non è la potenza erogata bensì la quantità di energia elettrica effettivamente consumata. Poichè 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 fornitrice di solito utilizzano una unità di misura più grande, il **kilowattora** (kWh):

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



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