

UNIVERSITÁ DEGLI STUDI DELL'AQUILA

*Scuola di Specializzazione per la Formazione
degli Insegnanti nella Scuola Secondaria*

*Analogia tra il circuito elettrico e il
circuito idraulico*

Prof. Umberto Buontempo

*di Alessandra Bazzucchi
IX Ciclo, I anno
Indirizzo FIM, A.A. 2007-2008*

Lo studio di un circuito elettrico, ovvero delle proprietà relative alla corrente elettrica che vi fluisce ed ai componenti che costituiscono il circuito (conduttori, resistenze, interruttori, generatori etc.) può essere paragonato, con le dovute differenze, allo studio di un circuito idraulico, ovvero al flusso di un fluido attraverso condutture.

Di un circuito elettrico, infatti, possiamo facilmente apprezzarne gli effetti, come l'accensione di una lampadina o di un elettrodomestico, il riscaldamento di un elemento (es. la stessa lampadina, un alimentatore, un asciugacapelli, etc.) Comprendere le cause richiede invece allo studente una minima capacità di astrazione.

L'analogia idraulica può essere utile per semplificare questo compito di astrazione e per comprendere meglio alcune proprietà relative alla corrente ed ai componenti di un circuito elettrico.

CORRENTE ELETTRICA

Si può paragonare la **corrente elettrica**, generata dal movimento di portatori di carica elettrica (elettroni) in materiali conduttori, al flusso di un liquido attraverso un tubo.

Consideriamo due serbatoi (Figura 1) contenenti un liquido (es. acqua), collegati tramite un tubo. Per fare scorrere l'acqua nel tubo occorre che il liquido si trovi a livelli diversi nei serbatoi, in modo che un volume d'acqua posto ai due livelli abbia una differenza di energia potenziale.

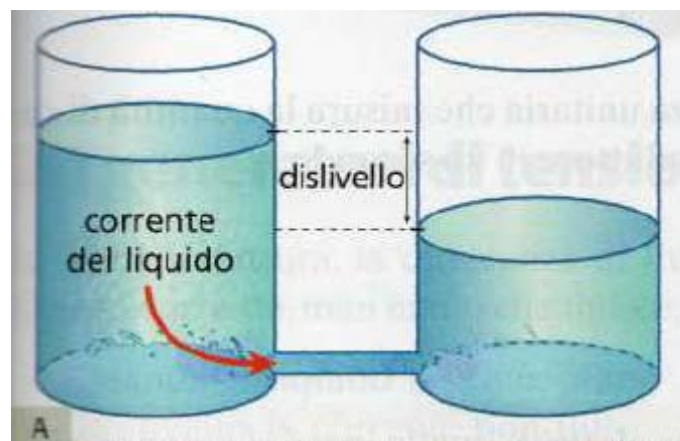


Figura 1 - Flusso di un liquido fra due serbatoi

Così come la differenza di livello tra due liquidi è in grado di creare una corrente del liquido, è necessaria una differenza di potenziale elettrico per far muovere le cariche.

La quantità di acqua che passa nel tubo nell'unità di tempo viene chiamata **portata**, cioè $q = V/t$ dove V è il volume dell'acqua e t è il tempo. In modo analogo si definisce **intensità di corrente elettrica** la quantità di cariche elettriche che transitano nella sezione di un conduttore nella unità di tempo, ovvero $i = Q/t$

Nel Sistema Internazionale, la carica elettrica si misura in coulomb (simbolo C), e la corrente elettrica in Ampère (simbolo A).

DIFFERENZA DI POTENZIALE

La differenza di livello esistente fra due serbatoi (Figura 1) genera un flusso del liquido nel momento in cui li colleghiamo tramite una conduttura. Questo flusso tende ad annullare nel tempo il dislivello iniziale, finché il liquido non scorre più raggiunte le condizioni di equilibrio (dislivello nullo, Figura 2).

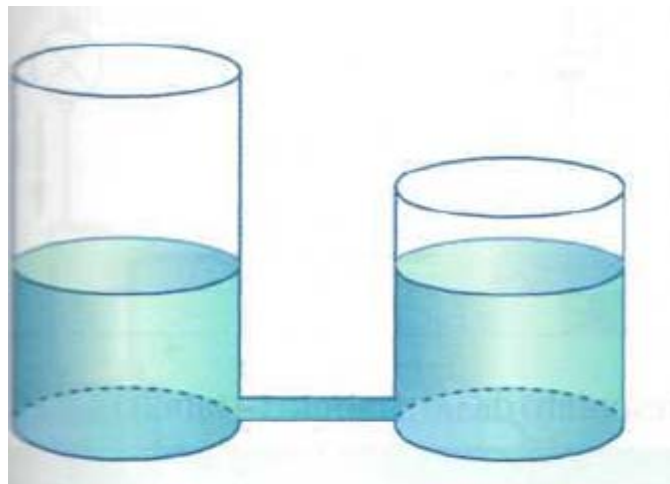


Figura 2 - In condizioni di equilibrio il liquido non scorre nella conduttura

Per mantenere la corrente del liquido, occorre che sia ripristinato il dislivello, compito svolto da una pompa idraulica.

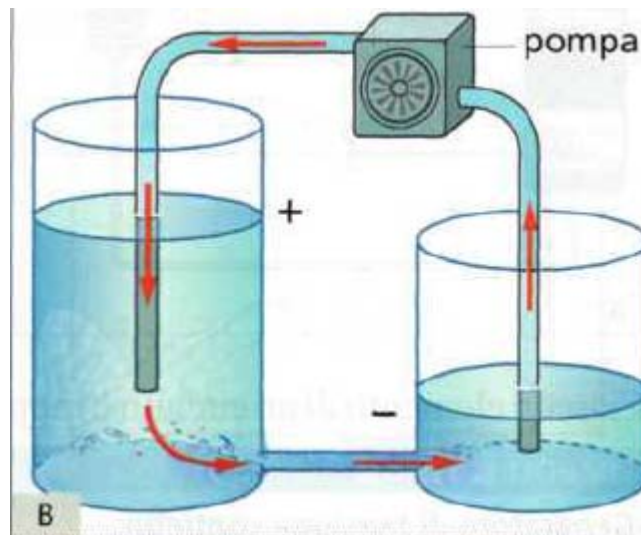


Figura 3 - Pompa idraulica

La pompa toglie l'acqua dove il livello è basso e la trasporta dove il livello è alto, mantenendo costante il dislivello che causa il flusso del liquido. Per svolgere tale compito, la pompa deve fornire la necessaria energia (pressione). Tanto maggiore è il dislivello da mantenere fra i due serbatoi, tanto maggiore sarà l'energia che deve fornire la pompa.

La pompa è caratterizzata dalla differenza di pressione ai suoi due estremi, che indichiamo con Δp , pari al rapporto tra l'energia (E) necessaria per mandare in circolo un volume d'acqua e il volume stesso (V), cioè $\Delta p = E/V$.

In modo simile, la **differenza di potenziale** elettrico (o tensione) genera una corrente elettrica. Man mano che fluisce, la corrente tende ad annullare la differenza di potenziale iniziale, a meno che non intervenga un componente con compito analogo a quello della pompa idraulica. Tale compito è svolto da un *generatore di tensione elettrico*, un dispositivo che consente di mantenere ai suoi capi una differenza di potenziale costante e quindi un flusso di corrente all'interno del circuito.

Nel caso *ideale*, il generatore ha una resistenza interna nulla e fornisce una differenza di potenziale costante per un tempo indeterminato qualunque sia la corrente da cui è attraversato (in realtà è sempre presente una resistenza interna che, durante il funzionamento, rende la differenza di potenziale effettiva un pò più piccola di quella nominale).

RESISTENZA ELETTRICA

La resistenza “idraulica” indica la difficoltà che incontra il liquido al suo passaggio nella tubazione, ad esempio dovuta ad una strozzatura. Più in generale, la resistenza idraulica può dipendere da differenti fattori: viscosità del liquido, curve nelle tubazioni, filtri, materiale poroso che interagisce per attrito e rallenta il flusso del liquido, altri ostacoli presenti nelle condutture.

Per un sistema idraulico composto da una pompa e un tubo in cui scorre del liquido vale la *legge di Poiseuille*, che afferma che la portata in un condotto è direttamente proporzionale alla differenza di pressione applicata ai capi del condotto, cioè:

$$\Delta p = Q \cdot R$$

dove Δp è la variazione di pressione tra due punti situati rispettivamente all'ingresso ed all'uscita del tubo, Q è la portata del tubo e R è la resistenza idraulica pari a $R = \frac{8\eta L}{\pi r^4}$, dove L è la lunghezza del tubo, r il suo raggio, η il coefficiente di viscosità del fluido.

Nel caso elettrico, la resistenza rappresenta, in modo analogo al caso idraulico, l'ostacolo che la corrente incontra al suo passaggio nel conduttore.

Gli elettroni, infatti, non scorrono del tutto liberamente nei conduttori ma incontrano una certa resistenza. Questa resistenza dipende dal tipo di materiale di cui è fatto il conduttore (gli elettroni sono particelle dotate di carica elettrica, che si muovono in uno spazio che contiene altre particelle dotate di carica elettrica, con cui interagiscono più o meno fortemente secondo la natura del conduttore) e dipende inoltre da altri fattori quali la sezione del conduttore (cavi sottili hanno una resistenza maggiore di cavi grossi) e la sua lunghezza (cavi lunghi hanno una resistenza maggiore di cavi corti). Il simbolo della resistenza elettrica è R e la sua unità di misura è l'Ohm (Ω).

Nei circuiti elettrici vale la **legge di Ohm**, analoga alla legge di Poiseuille relativa ai circuiti idraulici, che mette in relazione le tre grandezze elettriche fondamentali: l'intensità di corrente elettrica, la tensione e la resistenza

elettrica. Tale relazione afferma che l'intensità di corrente elettrica che percorre un circuito elettrico è direttamente proporzionale alla differenza di potenziale applicata ai suoi capi e inversamente proporzionale alla resistenza del circuito. Ciò significa che aumentando la tensione aumenta anche la corrente elettrica mentre aumentando la resistenza diminuisce la corrente elettrica. Se indichiamo con ΔV la tensione elettrica (d.d.p), con R la resistenza e con i l'intensità di corrente si ha:

$$\Delta V = i \cdot R$$

Un'altra analogia interessante riguardante la resistenza si può osservare in Figura 4.

Come indicato in precedenza, la resistenza idraulica è inversamente proporzionale alla sezione; se prendiamo un tubo che si biforca il liquido passerà per la maggior parte nel ramo a sezione maggiore e in minor parte nel ramo a sezione minore, perché quest'ultimo oppone una maggior resistenza al passaggio del liquido. Analogo comportamento si riscontra in un circuito elettrico, in cui la corrente fluirà preferibilmente attraverso la resistenza di minor valore; infatti, anche la resistenza elettrica, a parità di lunghezza e materiale, è inversamente proporzionale alla sezione del conduttore impiegato.

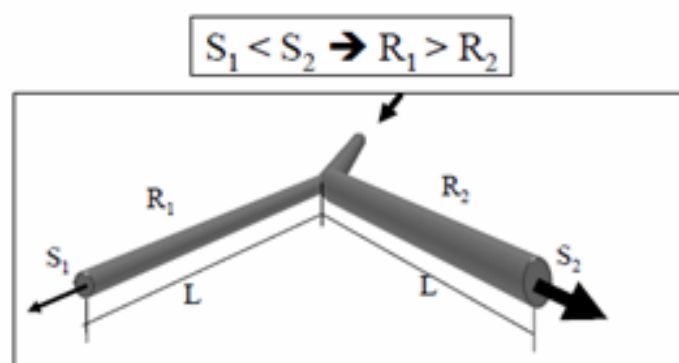


Figura 4 - Analogia idraulica della resistenza elettrica al variare della sezione

CONDENSATORE

I condensatori sono dei dispositivi costituiti da due conduttori appaiati, detti armature, separati da un sottile strato di materiale isolante. Sulle due armature si accumulano cariche di segno opposto in quantità uguale quando ad esse viene applicata una tensione. Essi sono caratterizzati da una costante, detta *capacità*, data da $C = Q/\Delta V$, dove Q è la carica accumulata sull'armatura e ΔV è la differenza di potenziale tra le due armature. Ricordiamo che la capacità di un condensatore dipende dalla sua forma e dalla sue dimensioni, ma non dalle grandezze elettriche (carica o differenza di potenziale).

Un condensatore può essere paragonato a una coppia di serbatoi per liquidi, per esempio a forma di parallelepipedo, identici. Se essi sono alla stessa altezza e contengono la stessa quantità di liquido, la differenza tra i livelli nei due serbatoi è nulla e, anche se collegati tramite un condotto, non c'è un flusso di liquido tra i serbatoi (condizione di equilibrio).

Se, mediante una pompa idraulica, trasferiamo del liquido da un serbatoio all'altro, si produce una differenza di livello, tanto più grande quanto più piccola è la sezione dei parallelepipedi. Collegando i due serbatoi dopo aver prodotto un certo dislivello, si ha un flusso di liquido che dura finché si è ristabilito l'equilibrio.

Un analogo comportamento è riscontrabile in un condensatore.

Lo spostamento di liquido tra i due serbatoi, tramite una pompa, corrisponde al processo di carica del condensatore, ottenuto collegando un generatore al condensatore; la quantità di acqua in eccesso in un serbatoio rispetto all'altro è analoga alla carica Q del condensatore, la differenza di livello alla differenza di potenziale ΔV . La minore o maggiore sezione orizzontale dei serbatoi corrisponde alla minore o maggiore capacità del condensatore.

Con il condensatore carico, togliendo dal circuito la batteria si crea una corrente elettrica che passa attraverso la resistenza scaricando il condensatore (processo di *scarica*).

Per riassumere i processi di carica e scarica di un condensatore, consideriamo il semplice circuito di Figura 5, in cui è riportato un condensatore (serbatoi nel

caso idraulico), un generatore di tensione G (pompa), due interruttori (valvole/rubinetti) oltre un amperometro A che ha il compito di misurare l'intensità di corrente elettrica.

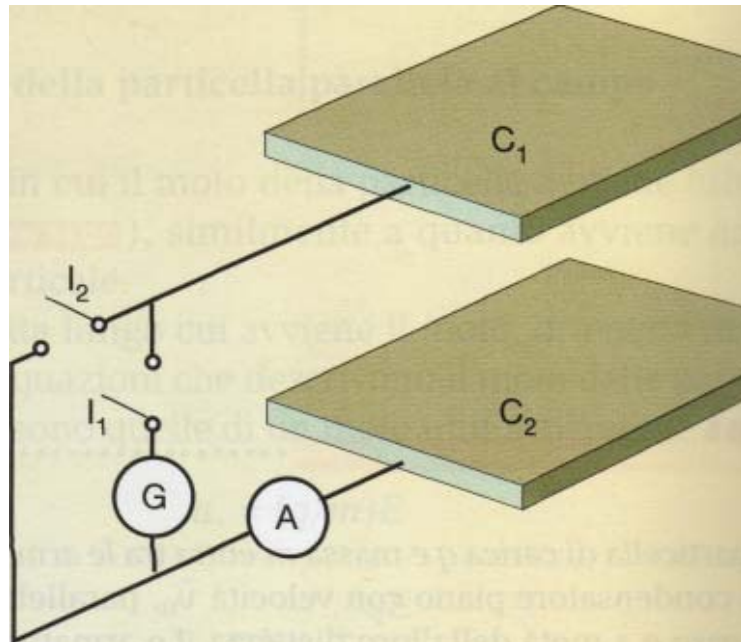


Figura 5 - Circuito con condensatore

Consideriamo inizialmente l'interruttore I_2 chiuso e l'interruttore I_1 aperto; in questa posizione l'amperometro A non registra alcuna corrente, il circuito elettrico è in uno stato statico caratterizzato da flusso nullo di carica elettrica (serbatoi con stesso livello).

Invertiamo ora il ruolo dei due interruttori, in modo da avere I_1 chiuso e I_2 aperto: l'amperometro registra ora un flusso transitorio di carica elettrica da C_1 a C_2 , il cui andamento è indicato in Figura 6 dal tratto BC della curva. La corrente fluisce dal conduttore collegato al polo negativo del generatore verso il conduttore collegato al polo positivo: si ha così uno spostamento di carica elettrica dal primo al secondo conduttore (processo di carica del condensatore).

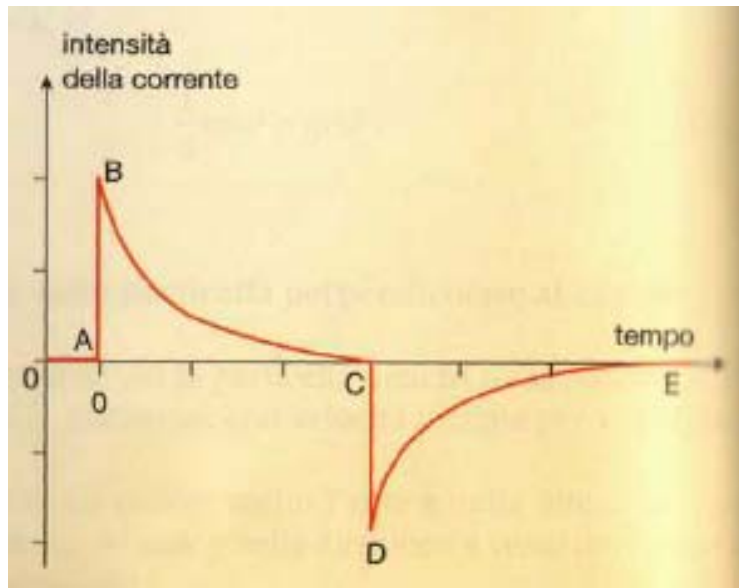


Figura 6 - Andamento della corrente del circuito con condensatore

Dopo un certo intervallo di tempo la corrente si riduce a zero: lo stato del sistema diventa stazionario e la carica fluita da un conduttore all'altro resta immagazzinata sul conduttore collegato al polo positivo del generatore. Quest'ultimo conduttore possiede perciò, rispetto alla situazione iniziale, un eccesso di carica elettrica. L'altro conduttore presenta invece un difetto di carica (situazione simile ai serbatoi con differente livello di liquido).

Invertiamo ora di nuovo il ruolo dei due interruttori, in modo da avere I_2 chiuso e I_1 aperto: si osserva, in base alle indicazioni dell'amperometro A, che nel circuito avviene un nuovo flusso di carica da C_2 a C_1 (tratto DE in Figura 6), in verso opposto rispetto al flusso precedente, così da ripristinare la situazione di equilibrio iniziale (processo di scarica del condensatore).

L'andamento della d.d.p. ai capi di un condensatore reale, durante le operazioni di carica e scarica, è riportato in Figura 7.

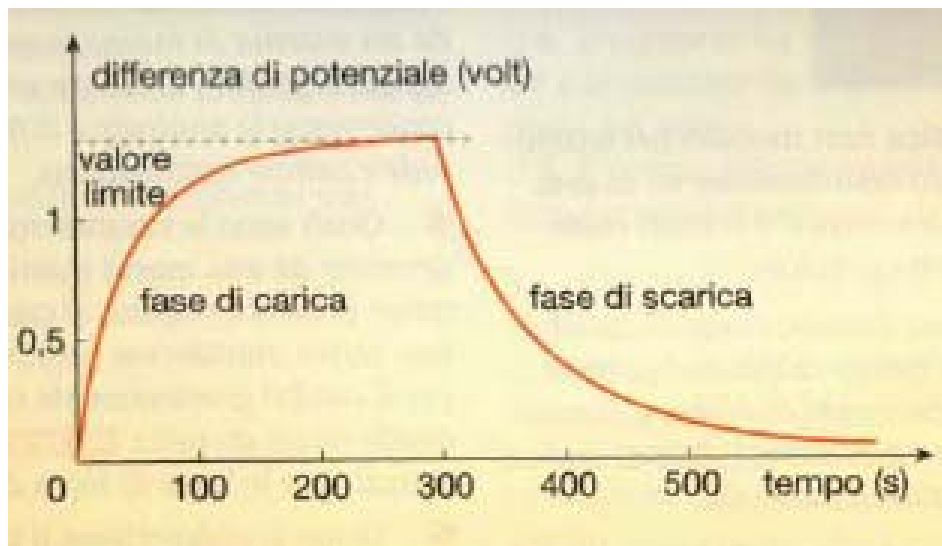


Figura 7 - d.d.p. ai capi del condensatore (fase di carica e scarica)

CIRCUITO ELETTRICO

Il circuito elettrico è un percorso chiuso nel quale si muovono gli elettroni. Alcuni elementi che possiamo trovare in un circuito elettrico sono stati descritti nei paragrafi precedenti: conduttori, interruttori, resistori, generatori e condensatori.

In particolare, in un circuito possiamo avere un utilizzatore che ha la funzione di assorbire e quindi utilizzare l'elettricità. Sono utilizzatori ad es. le lampade, gli elettrodomestici, ecc.

Consideriamo la Figura 8. Possiamo fare un'analogia tra il circuito elettrico e quello idraulico. La corrente elettrica, dovuta allo spostamento di elettroni nei conduttori, si muove in modo analogo all'acqua nella tubazione del circuito idrico. I fili conduttori corrispondono ai tubi nei quali scorre il liquido, l'interruttore elettrico funziona in modo analogo ad un rubinetto, al generatore corrisponde la pompa, alla lampada il serbatoio.

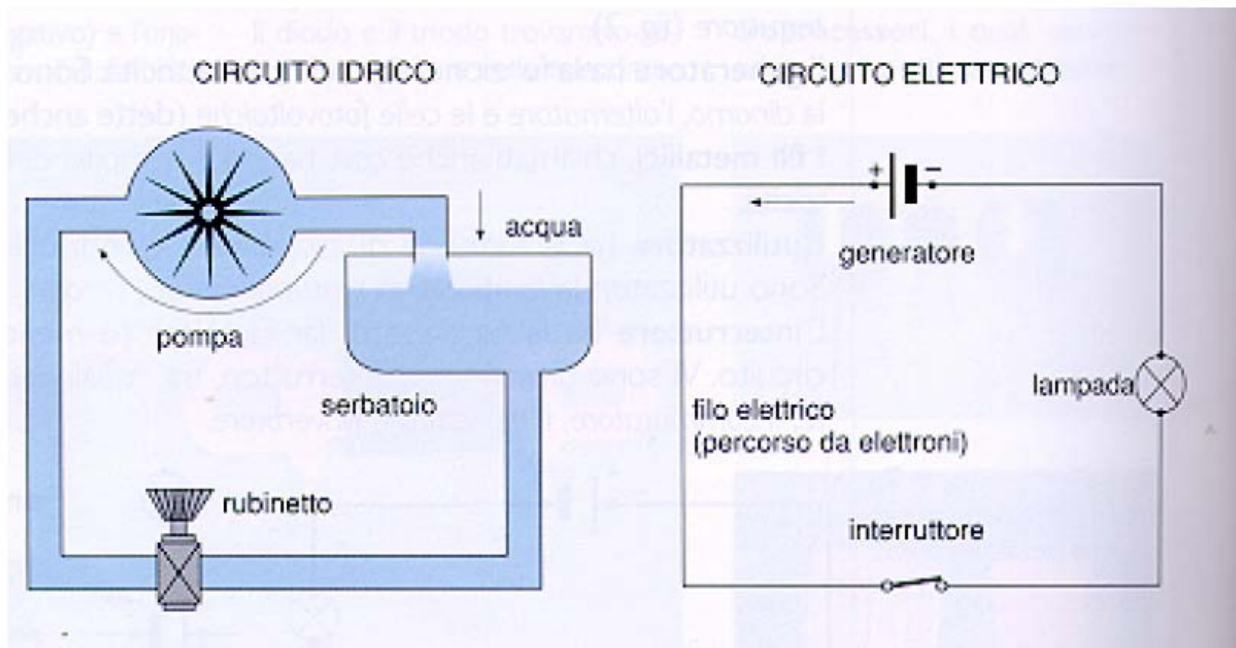


Figura 8 - Analogia tra circuito elettrico ed idraulico

Una differenza che si può notare tra il circuito elettrico e quello idraulico, è che mentre nel primo l'interruttore deve essere chiuso perché possa passare elettricità, nel secondo il rubinetto deve essere aperto perché possa passare l'acqua.

Affinché i due circuiti possano funzionare e fornire l'acqua o la corrente ai rispettivi utilizzatori è necessario che vi siano dei componenti in grado di fornire energia, ovvero la pompa e il generatore rispettivamente.

Se manca la pompa, l'acqua non si muove avendo continuo bisogno di essere rifornita dell'energia che ha perso nel passaggio attraverso i tubi. Inoltre, l'acqua non si consuma, ma passa sempre, fino a che la pompa viene spenta, oppure viene interrotto il flusso di acqua con il rubinetto.

Analogamente, la lampadina si accende solo se il circuito è chiuso e, se non ci fosse il generatore non ci sarebbe la corrente e la lampadina si spegnerebbe. Per mantenere accesa la lampadina, è necessario rifornire continuamente l'energia che si perde nel passaggio delle cariche elettriche attraverso i fili, e soprattutto attraverso gli utilizzatori.