

## Lezione 38: la corrente elettrica

### 38.1. Un fulmine è come una scintilla

Un fulmine è una grande scintilla elettrica. Non diversa, in linea di principio, da quella che scocca tra gli elettrodi della candela, e che accende la miscela di aria e carburante in un motore a benzina.

Eppure i minuti dettagli del meccanismo che innesca un fulmine sono ancor oggi argomento di accese discussioni. Quel che è certo è che i fulmini scoccano perché nelle nubi temporalesche le cariche elettriche si separano: quelle positive più concentrate in alto, quelle negative in basso. Mentre la nuvola si muove, una carica opposta, quindi positiva, viene indotta sul terreno più in basso. Si produce così una differenza di potenziale, tra le nuvole e il terreno, grande fino a cento milioni di volt. Tra gli elettrodi di una candela, per far scoccare la scintilla, basta una differenza di potenziale di qualche migliaio di volt. È facile spiegare il perché: la scintilla che scocca nel cilindro è lunga più o meno un millimetro, i fulmini si estendono per diversi chilometri.

La carica che si muove tra gli elettrodi della candela è piccola, quel tanto che basta per innescare l'esplosione. La carica trasportata da un fulmine è molto grande: può arrivare fino a 5 coulomb. L'energia che si riversa in questa immane scintilla si può calcolare moltiplicando la carica per la differenza di potenziale, dunque:

$$100 \text{ milioni di volt} \times 5 \text{ coulomb} = 500 \text{ milioni di joule}$$

È un'energia grande o piccola? Per rispondere conviene convertirla nell'unità che si usa nei nostri contatori elettrici: il chilowattora. Basta moltiplicare per il fattore di conversione  $1 \text{ kwh}/3600000 \text{ J}$ : quindi 500 milioni di joule sono più di 100 chilowattora. Tenuto conto che una famiglia media consuma circa 6 chilowattora al giorno di energia elettrica, ciò significa che un fulmine medio produce energia sufficiente per una ventina di giorni.

### 38.2. Scintille con un condensatore

Per produrre scintille artificiali occorre separare le cariche positive da quelle negative: è proprio quello che si fa quando si carica un condensatore. Il prototipo del moderno condensatore fu la Bottiglia di Leida, così chiamata perché inventata presso l'università di quella città olandese, alla metà del diciottesimo secolo. Si tratta di un involucro cilindrico isolante, di solito fatto di vetro, rivestito con due armature

metalliche, poste all'interno ed all'esterno dell'involucro. L'aspetto è mostrato nella prossima figura (► fig.38.1)

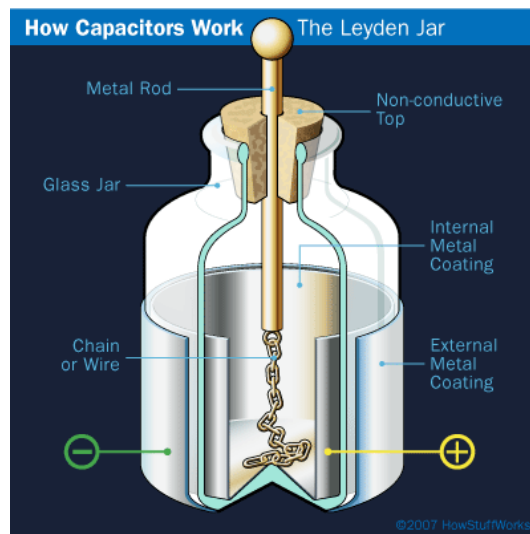


Fig.38.1 Una bottiglia di Leida

La bottiglia veniva caricata con una macchina elettrostatica, che separava cariche elettriche strofinando in continuazione un corpo isolante messo in rotazione mediante una manovella. La carica prodotta veniva trasferita per contatto all'asta metallica, che tramite la catena, caricava l'armatura metallica più interna. Le armature, come detto, sono separate da uno spesso strato di vetro isolante, ma se le colleghiamo a due fili conduttori, vediamo che avvicinando le estremità libere dei due fili si formano scintille più o meno grandi, dovute al rapido moto delle particelle cariche nell'aria.

Benjamin Franklin, nel 1750, propose l'idea di usare una bottiglia di Leida per immagazzinare la carica elettrica trasportata da un fulmine, raccolta attraverso un aquilone.

Le scintille prodotte in questo modo, sia pur molto intense, sono comunque molto brevi: il condensatore si scarica rapidamente, quindi rapidamente si esaurisce la riserva di carica che si può mettere in moto. Per avere un flusso di carica che duri nel tempo bisognerebbe riuscire a mantenere costante la differenza di potenziale che mette in moto le cariche

### 38.3. La pila di Volta e le pile moderne

La pila di Volta fu il primo dispositivo elettrico capace di mantenere un flusso di carica costante nel tempo. La sua invenzione risale al 1799, e il suo aspetto è mostrato nella prossima figura (► fig.38.2)

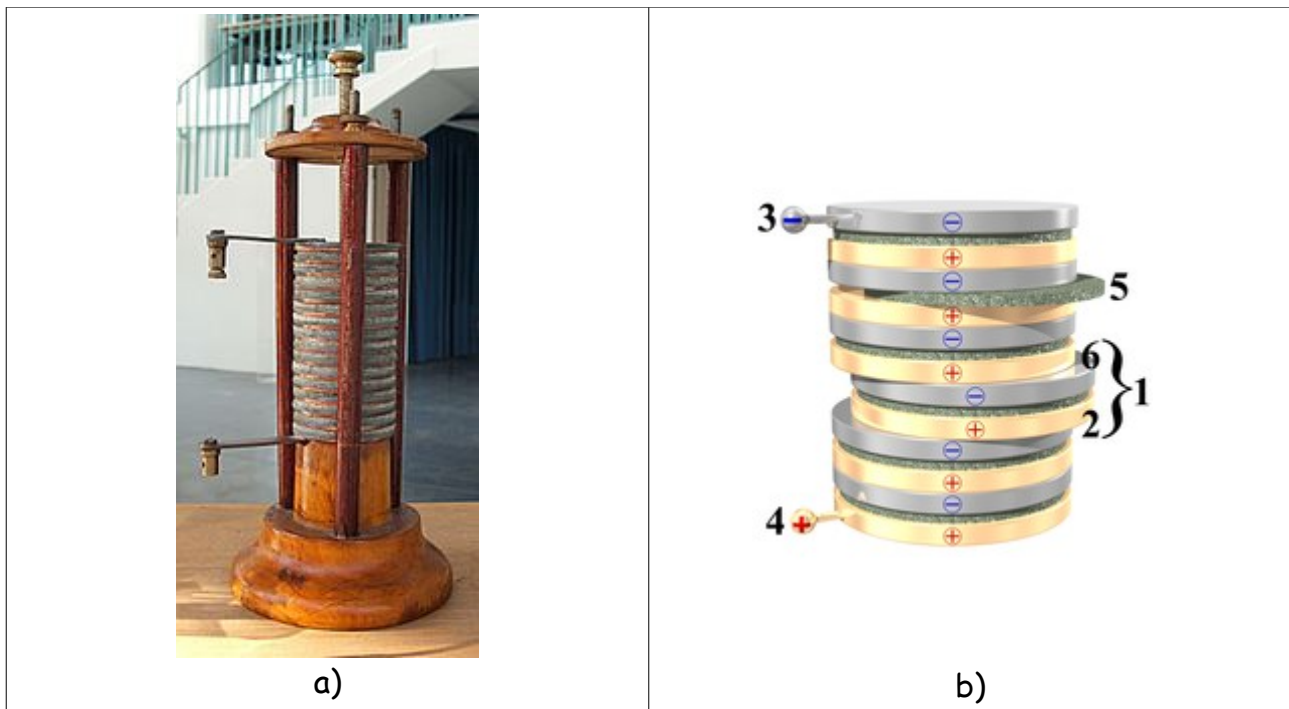


Fig.38.2 a) Pila di Volta in esposizione a Treviglio b) Schema della pila di Volta: 1. un elemento della pila; 2. strato di rame; 3. contatto negativo; 4. contatto positivo; 5. feltro o cartone imbevuto in una soluzione di acqua e sale; 6. strato di zinco.

La pila di Volta è costituita fondamentalmente da una colonna di più elementi simili sovrapposti, i cosiddetti *elementi voltaici*, ciascuno dei quali consiste in un disco di zinco sovrapposto ad uno di rame, uniti attraverso uno strato intermedio di feltro o cartone imbevuto in acqua salata o acidulata. Al posto del rame è possibile impiegare anche l'argento; al posto dello zinco si può usare anche lo stagno. Collegando gli estremi superiore ed inferiore della pila per mezzo di un conduttore elettrico si produce un circuito nel quale passa un flusso costante di carica, cioè una corrente continua.

Le pile moderne, come quella di Volta, sono dispositivi che convertono energia chimica in energia elettrica. L'energia chimica è immagazzinata sotto forma di reagenti: nella pila di Volta, per esempio, i reagenti sono lo zinco e l'idrogeno dell'acqua che imbeve i dischi di feltro. A mano a mano che la reazione chimica procede, la quantità di reagenti si riduce, fino a quando la conversione di energia chimica in energia elettrica non è più possibile. Diciamo allora che la pila è "scarica": ciò non vuol dire che non contiene più carica al suo interno, ma che non è più in grado di fare avvenire la reazione chimica che produce la separazione e il movimento delle cariche elettriche.

#### 38.4. Pile in serie e pile in parallelo

Un singolo elemento della pila di Volta produce tra i suoi terminali una differenza di potenziale  $\Delta V = 0.76 \text{ V}$ . Una moderna pila zinco-carbone produce una differenza di

potenziale maggiore:  $\Delta V = 1.5 \text{ V}$ . Se vogliamo ottenere differenze di potenziale più grandi dobbiamo collegare tra di loro più elementi in serie: dobbiamo cioè collegare l'elettrodo positivo di ciascuno con l'elettrodo negativo del successivo. Gli elementi della pila di Volta sono evidentemente collegati tra di loro proprio in questo modo: i sei elementi della figura 38.2b producono tra i terminali una differenza di potenziale  $\Delta V = 6 \cdot 0.76 \text{ V} = 4.56 \text{ V}$ .

Le pile possono essere collegate anche in parallelo (► fig.38.3): lo si fa collegando gli elettrodi positivi tra loro e quelli negativi tra loro. La differenza di potenziale generata da due pile in parallelo è la stessa di quella di una sola di esse, ma l'energia disponibile è doppia. Una maggior quantità di energia significa una maggiore durata.

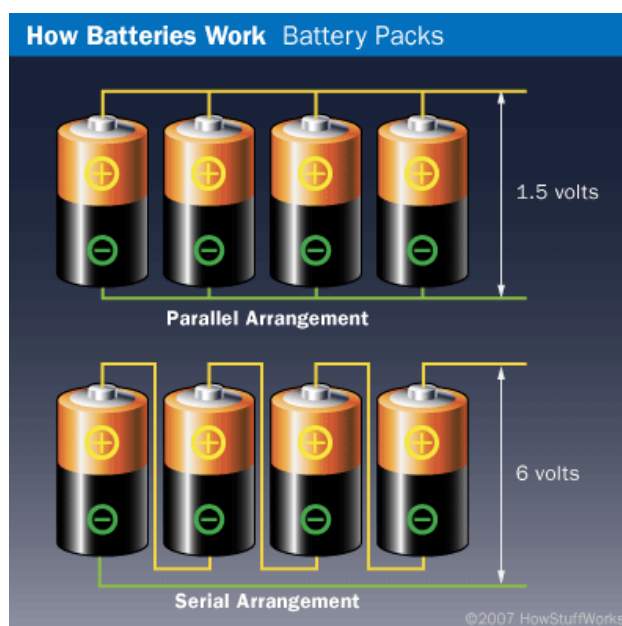


Fig.38.3 Pile in serie e in parallelo

### 38.5. L'intensità della corrente e l'ampère

Una pila è in grado di mantenere un flusso di carica costante nel tempo. Se per esempio colleghiamo i terminali della pila al filamento di una lampadina, vediamo che la lampadina si illumina a causa del flusso di carica che ne attraversa il filamento. *L'intensità della corrente elettrica* è la grandezza fisica che misura la quantità di carica che fluisce nell'unità di tempo. Viene indicata con la lettera maiuscola  $I$ . Se in un tempo  $t$  fluisce in un conduttore la quantità di carica  $Q$ , l'intensità media di corrente è data dal rapporto tra la carica  $Q$  e il tempo  $t$ .

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

La corrente si misura in ampere, che si indicano con la lettera  $A$  maiuscola:

$$1 \text{ A} = 1 \text{ C} / 1 \text{ s}$$

## 38.6. L'analogia idraulica

Poiché il flusso di cariche in un circuito elettrico non si vede, è utile averne un'immagine intuitiva paragonandolo al flusso di acqua in un sistema chiuso di tubi. Osservate la figura (► fig.38.4):

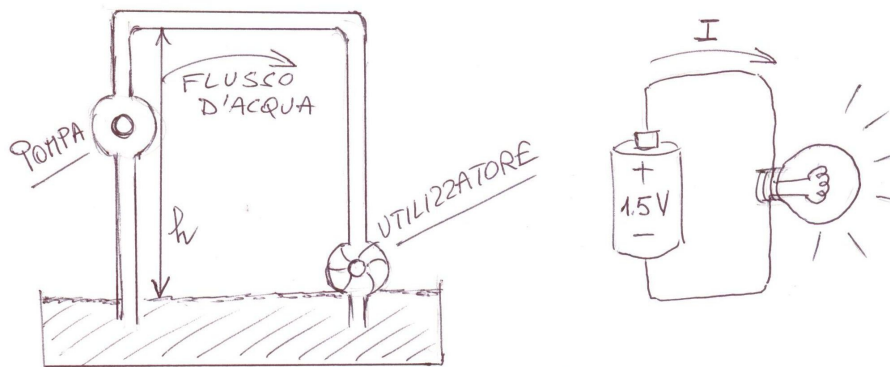


Fig.38.4 L'analogia idraulica

La corrente elettrica che passa in un conduttore è paragonata al flusso di acqua che passa in un tubo. La pila fornisce energia al circuito, ossia permette alle cariche di fluire nel filo sotto l'azione del campo elettrico. In modo analogo la pompa, che porta l'acqua a un livello più alto, fa sì che essa ridiscenda sotto l'azione del campo gravitazionale. La pila crea una differenza di potenziale elettrico per le cariche così come la pompa crea una differenza di potenziale gravitazionale per le particelle di acqua.

L'energia elettrica trasportata dalle cariche attraverso il filo fa accendere una lampadina. Analogamente l'energia potenziale gravitazionale viene trasformata nell'energia cinetica di un mulino ad acqua. Se tra gli elettrodi della pila c'è solo un filo conduttore, la pila si scarica in breve tempo e cede tutta la sua energia al filo che si scalda. Anche se togliamo il mulino l'acqua scende velocemente al livello iniziale e la sua energia si perde quando raggiunge la vasca per azione dell'attrito dell'acqua stessa.

Proviamo a sviluppare i dettagli dell'analogia.

Due sono le caratteristiche fondamentali di una pompa idraulica: il dislivello  $h$  (misurato in m) a cui è in grado di sollevare l'acqua, e la portata d'acqua  $I = m/t$  che è capace di assicurare, cioè il rapporto tra la massa  $m$  di acqua sollevata e il tempo  $t$  impiegato a sollevarla, misurato in kg/s. Il prodotto tra il dislivello  $h$  e il campo gravitazionale  $g$  rappresenta perciò la differenza di potenziale gravitazionale che la pompa può far superare all'acqua che solleva:  $\Delta V = gh$  (e si misura, come sappiamo, in J/kg). Se moltiplichiamo portata e differenza di potenziale troviamo:

$$I \cdot \Delta V = mgh/t = EP_{\text{gravitazionale}}/t = \text{potenza della pompa}$$

cioè l'energia per unità di tempo che la pompa trasferisce all'acqua che solleva, e quindi all'utilizzatore.

Per una pompa di tipo elettrico, per esempio una pila, abbiamo un'ovvia corrispondenza: l'intensità di corrente  $I = Q/t$  è analoga alla portata, la differenza di potenziale elettrico  $\Delta V$  è analoga alla differenza di potenziale gravitazionale. C'è però una differenza essenziale: l'intensità di corrente  $I$  dipende dall'utilizzatore (come vedremo meglio nel prossimo paragrafo). Se moltiplichiamo intensità di corrente e differenza di potenziale troviamo:

$$I \cdot \Delta V = \Delta V \cdot Q/t = E_{\text{Elettrica}}/t = \text{potenza della pila}$$

cioè l'energia per unità di tempo che la pila trasferisce alla carica che sposta, e quindi all'utilizzatore.

Una stessa pompa idraulica può alimentare due diversi utilizzatori, così come possiamo usare una stessa pila per alimentare due lampadine. Utilizzatori e lampadine si possono collegare in due modi diversi, proprio come abbiamo visto per le pile.

Il primo modo è il collegamento in serie (► fig.38.5):

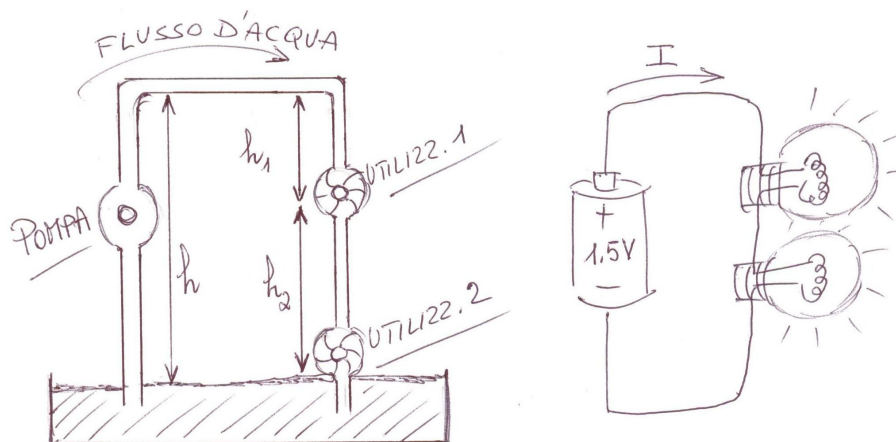


Fig.38.5 Il collegamento in serie

I due utilizzatori del circuito idraulico sono percorsi dallo stesso flusso d'acqua, ma sfruttano due distinte altezze di caduta,  $h_1$  e  $h_2$ , la cui somma è uguale a  $h$ . Le due lampadine sono attraversate dalla stessa corrente  $I$ , ma sono sottoposte a due distinte differenze di potenziale,  $\Delta V_1$  e  $\Delta V_2$ , la cui somma è pari alla differenza di potenziale  $\Delta V = 1.5 \text{ V}$  che c'è tra i terminali della pila.

Il secondo modo è il collegamento in parallelo (► fig.38.6):

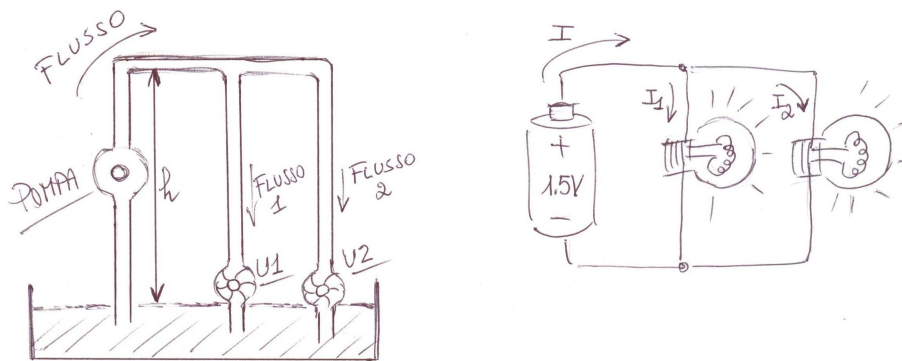


Fig.38.6 Il collegamento in parallelo

I due utilizzatori del circuito idraulico sfruttano la stessa altezza di caduta  $h$ , ma sono attraversati da due distinti flussi d'acqua, la cui somma è uguale al flusso che attraversa la pompa. Le due lampadine sono sottoposte alla stessa differenza di potenziale  $\Delta V = 1.5 \text{ V}$  che c'è tra i terminali della pila, ma sono percorse da due distinte correnti  $I_1$  e  $I_2$ , la cui somma è uguale alla corrente  $I$  che attraversa la pila.

### 38.7. La resistenza elettrica

Una lampadina alimentata da una pila (come nelle comuni torce) può durare accesa alcune ore, prima che la pila si scarichi. La pila si scarica invece in breve tempo se colleghiamo tra loro i suoi elettrodi con un filo di rame. A parità di differenza di potenziale, le intensità di corrente che fluiscono nella lampadina e nel filo di rame sono differenti.

Posto un conduttore tra due poli di una batteria la cui differenza di potenziale è  $V$ , in esso fluisce una intensità di corrente  $I$ , che dipende dal conduttore. Si definisce *resistenza* del conduttore il rapporto, indicato con la lettera  $R$  maiuscola, tra la differenza di potenziale  $V$  e l'intensità di corrente  $I$ :

$$R = \frac{V}{I}$$

L'unità di misura della resistenza è l'ohm ( $\Omega$ ):

$$1 \Omega = 1 \text{ V} / 1 \text{ A}$$

Gli elettroni che attraversano un filo conduttore urtano contro i suoi atomi trasferendo loro parte dell'energia cinetica. Ecco allora come funziona la lampadina: il filamento è così sottile che al passaggio di corrente si scalda immediatamente e l'energia degli elettroni è tale da farlo diventare incandescente.