

# L'elettricità:

## Storia e caratteristiche dell'energia elettrica.



**INTRODUZIONE ALL'ARGOMENTO:** questa ricerca si propone di esporre le tappe fondamentali delle ricerche sull'elettricità, che hanno aperto la strada all'utilizzo di questa risorsa così importante e che in poco tempo si è affermata come sorgente principale di energia. La conquista dell'energia elettrica ha dato l'avvio a un progresso tecnologico esponenziale, dalla seconda rivoluzione industriale, al moderno sviluppo dell'elettronica, che ancora oggi, offre prodotti competitivi per il mercato. L'elettricità è la nostra fonte energetica principale, le sue applicazioni spaziano in svariati campi e la sua scoperta ha certamente rivoluzionato la nostra vita.

**STRUTTURA DELLA RICERCA:** il mio lavoro espone i passi principali verso la conoscenza e la padronanza di questa forma di energia: si sono volute evidenziare le scoperte e le osservazioni più significative integrando la descrizione con citazioni tratte dagli scritti degli scienziati stessi e riportate in lingua originale (Inglese, Francese e Latino) Si è voluto poi porre in evidenza quale sia stata la sua importanza storica e come abbia influenzato la vita delle persone. In più si è riservata una parte per spiegare quanto le nuove scoperte abbiano influenzato l'autrice di Frankenstein, Mary Shelley, che dall'elettricità immagina addirittura di poter generare vita. Una sezione è poi dedicata alla presenza dell'elettricità in natura, per sottolineare come questa proprietà sia molto diffusa.

#### **INDICE:**

- L'ELETTRICITÀ: principali caratteristiche fisiche;
- STORIA DELL'ELETTRICITÀ:
  - Conoscenze nel mondo antico;
  - Conoscenze nel Medioevo;
  - La svolta di Gilbert e le scoperte del Seicento;
  - Otto von Guericke e Francis Hauksbee: le prime macchine elettrostatiche;
  - Stephen Gray: conduttori e isolanti;
  - Charles François Cisternay Du Fay: i due tipi di elettricità;
  - La bottiglia di Leida: il primo condensatore;
  - Gli studi di Benjamin Franklin;
  - Le osservazioni di Giambattista Beccaria;
  - Charles Augustin de Coulomb: la forza elettrica;
  - Le invenzioni di Alessandro Volta;
  - Dal fluido elettrico agli elettroni;
- L'ELETTRICITÀ NELLA VITA COMUNE:
  - Circuiti elettrici e le leggi di Ohm;
  - Le prime applicazioni (motori elettrici, effetto Joule, lampade e centrali elettriche di Edison);
  - La seconda rivoluzione industriale;
  - La casa elettrica di Figini e Pollini;
  - L'elettricità domestica;
- ELETTRICITÀ IN NATURA:
  - Luigi Galvani e l'elettricità animale;
  - Influenza del galvanismo in Frankenstein di Mary Shelley;
  - L'elettricità negli animali;
  - L'elettricità nell'atmosfera: i fulmini;
  - L'elettricità nei minerali: la piezoelettricità;
- CONCLUSIONI
- FONTI

#### **L'ELETTRICITÀ:**

Il termine *elettricità* deriva dal greco ἤλεκτρον (*élektron*) che significa *ambra*. Le prime scoperte sull'elettricità avvennero proprio grazie a questa resina che, se strofinata, è in grado

di attrarre a sé piccoli oggetti (pagliuzze o pezzetti di carta). L'elettricità è infatti una proprietà fisica della materia che le permette di attirare, ma anche respingere, altri corpi. Questo avviene grazie alla *carica elettrica* delle particelle che compongono la materia: elettroni e protoni. Non si può dare una definizione precisa di carica ma è possibile misurarla e utilizzarla. Si sa inoltre che esistono due tipi diversi di carica: la carica positiva (+), associata al nucleo dell'atomo, o meglio, ai protoni; la carica negativa (-), associata agli elettroni. Due cariche dello stesso segno di respingono, mentre due cariche di segno opposto si attraggono, producendo effetti di attrazione e repulsione tra corpi *elettrizzati*. Si dice che un corpo è elettrizzato quando assume una carica elettrica; tutti i corpi sono formati da elettroni e protoni, (che sono dotati di una carica elettrica), ma di solito i corpi non sono elettrizzati, questo perché le cariche degli elettroni e dei protoni si bilanciano a vicenda; per caricare un corpo occorre uno spostamento di cariche: se ad esempio strofiniamo tra loro due oggetti alcuni elettroni di uno vengono acquisiti dall'altro cosicché in uno si avrà un eccesso di carica + e nell'altro un eccesso di carica -; i corpi così caricati sono in grado di attrarre corpi di carica opposta. La carica inoltre può essere trasferita da un corpo carico a uno neutro per contatto o per induzione, cioè avvicinando un corpo carico a uno scarico: in questo caso le cariche opposte alla carica del corpo gli si avvicinano mentre quelle uguali si allontanano creando un eccesso di carica da un lato e un eccesso di carica opposta dall'altro.

Una carica, che sia positiva o negativa, genera un campo di forze detto campo elettrico, che è definito come l'effetto che ha una carica di prova  $Q$ , su una carica esploratrice  $q$ , ed è dato dal rapporto tra la forza elettrica (determinata dalla legge di Coulomb:  $F=KqQ/d^2$ ) e la carica esploratrice. Sappiamo inoltre che la circuitazione del campo elettrico è nulla lungo un qualsiasi percorso chiuso, e che quindi la forza elettrica è una forza conservativa. Essendo conservativa, possiamo definire un'energia potenziale elettrica ( $U$ ), come la grandezza tale che dette  $U_A$  e  $U_B$  le energie potenziali in  $A$  e in  $B$ , la differenza  $U_A-U_B$  risulti uguale al lavoro ( $L$ ) compiuto dalla forza elettrica per portare una carica di prova da  $A$  a  $B$ .

Tuttavia nella pratica si preferisce utilizzare un'altra grandezza: il *potenziale elettrico*, definito come energia per unità di carica:  $V=U/q$ . Il potenziale si indica con la lettera  $V$  e si misura in Volt. Ma se consideriamo che  $U_A-U_B=L$  allora è vero che  $V_A-V_B=L/q$ ; questa differenza è detta differenza di potenziale (o tensione) ed è indicata anche con l'abbreviazione d.d.p.

## STORIA DELL'ELETTRICITÀ:

### Le conoscenze nel mondo antico.

Alcune leggende, sorte dall'errata interpretazione di alcuni geroglifici nel tempio di Dendera (una località dell'Egitto posta sulla riva occidentale del Nilo a circa 615 km da Il Cairo), fanno credere che gli antichi egizi già conoscessero le proprietà elettriche. In questo tempio infatti è presente un bassorilievo in cui si vede un oggetto che sembra assomigliare a un tubo di Crookes (il precursore del tubo catodico, costituito da un tubo a vuoto con tre elettrodi, costruito per studiare la luminescenza del fosforo). Si tratta invece della rappresentazione di un mito egizio legato a Osiride: la nascita di un serpente da un fiore di loto.



Un altro indizio dell'ipotesi che gli antichi conoscessero l'elettricità viene dal ritrovamento della cosiddetta "Pila di Baghdad". La Pila di Baghdad è un reperto archeologico emerso nel 3 corso degli scavi a Kuyut Rabbou'a, vicino a Baghdad, nel 1936. L'oggetto, databile all'epoca dei Parti, è un vaso di argilla gialla delle dimensioni di una mano, con un coperchio d'asfalto;

al suo interno si trovò un cilindretto di rame (lungo 9 cm e largo 26 mm), all'interno del quale era presente una barra di ferro. La somiglianza con una tradizionale pila a carbone/zinco destò scalpore. Si tentò di far funzionare la pila di Baghdad ottenendo una piccola tensione, ma è impensabile raggiungere dei valori notevoli con le soluzioni conosciute all'epoca.

Le proprietà elettriche dell'ambra, invece, erano note fin dall'antichità nel mondo greco e latino, fu infatti il filosofo Talete di Mileto, nel VI secolo a.C., il primo a notarle. E di questo parlano anche Lucrezio nel *De rerum Naturae* e Plinio il Vecchio nel *Historia Naturalis*; Seneca invece si occupa di fulmini nel suo *Naturales Quaestiones*.

*[..] Nec folia tantum aut stramenta ad se rapere, sed aeris etiam ac ferri laminas, quod Diocles quidem et Theophrastus credit."*

**Plinio il Vecchio, *Historia Naturalis*, XXXVII,53**

Traduzione: [l'ambra] non attirava a se soltanto pagliuzze, ma anche lamine di rame o di ferro, secondo ciò che credono Diocle e Teofrasto.

*"Tria sunt quae accidunt, fulgurationes, fulmina, tonitura, quae una facta serius audiuntur. Fulguratio ostendit ignem, fulminatio emittit"[12,1]*

Traduzione: sono tre [i fenomeni] che avvengono: i lampi, i fulmini e i tuoni, che prodotti assieme si sentono più tardi. Il lampo mostra il fuoco, il fulmine lo emette.

*"Esse illum ignem calor ostendit, qui non est nisi ex eo. Ostendit effectus: magnorum enim saepe incendiorum causa fulmen fuit, silvae illo concrematae et urbium partes;"[21,2]*

Traduzione: il calore dimostra che quello (il fulmine) è fuoco, che non si produce se non da lui. Lo dimostrano gli effetti: infatti spesso un fulmine fu causa di grandi incendi; da esso furono bruciate foreste e parti di città;

*"Fulgurat, cum repentinum late lumen emicuit; id evenit ubi in ignem aer extenuatis nubibus vertitur."[57,1]*

Traduzione: lampeggia, quando all'improvviso emette una luce in una vasta area; ciò avviene quando l'aria, per rarefazione delle nubi è tramutata in fuoco.

**L. A. Seneca, *Naturales Quaestiones*, II**

### **Conoscenze nel Medioevo.**

Nel Medioevo gli studi sulle proprietà dell'ambra non proseguirono, fatta eccezione per le osservazioni del monaco inglese conosciuto come il Venerabile Beda (672 ca.-735). Egli notò fenomeni di attrazione in un particolare tipo di carbone, il gaietto, ma non riuscì a dare una spiegazione al fenomeno.

### **La svolta di Gilbert e le scoperte del Seicento.**

William Gilbert (1544-1603) fu un medico alla corte della regina Elisabetta I, nonché uno studioso dei fenomeni magnetici. Egli osservò che le proprietà dell'ambra si manifestavano anche in altri materiali come il vetro e lo zolfo. Inoltre espose l'ipotesi che si trattasse di fenomeni di magnetismo, ritenendo invece che l'attrazione fosse dovuta a un fluido, emanato da tali corpi *elettrizzati*, che si aggrappava ai corpi che incontrava trascinandoli finché la loro energia glielo avesse permesso. Fu egli stesso poi, che coniò il termine latino *electricus* dal nome greco dell'ambra.

Gilbert però (che ancora non conosceva il principio di azione-reazione di Newton) credeva che l'attrazione fosse unilaterale e invece gli Accademici del Cimento (società scientifica

fondata a Firenze nel 1657 e formata dagli allievi di Galileo) dimostrarono che l'attrazione era reciproca.

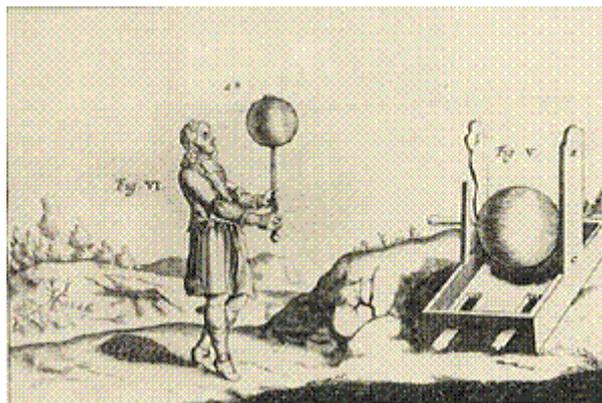
*“Appesa l'ambra ad un filo, in modo ch'ella stia pendola in aria o messa in bilico a guisa di ago magnetico, quand'ella è strofinata e calda si fa incontro a que' corpi che a proporzionata distanza se le presentano, e a' loro moti prontamente obbedisce”*

*Saggi di naturali esperienze fatte nell'accademia del Cimento, Firenze, 1841*

Si pensava inoltre (gli stessi Galileo e Cartesio lo credevano) che nei fenomeni elettrici fosse coinvolta l'aria, che si sarebbe spostata con il calore prodotto dallo strofinio, trasportando con sé i piccoli corpuscoli. Ma un esperimento dello scienziato irlandese Robert Boyle (1627-1691) smentì quest'ipotesi, dimostrando che i fenomeni elettrici avvengono anche nel vuoto.

### **Otto von Guericke e Francis Hauksbee: le prime macchine elettrostatiche.**

Otto Von Guericke (1602-1686) fu un fisico tedesco, importante nella storia dell'elettrologia per l'invenzione della *Sfera elettrostatica*. Essa non era altro che una semplice sfera di zolfo, della grandezza della testa di un bambino, che veniva fatta girare su un asse di legno che l'attraversava. Girando, la sfera si strofinava su una foglia di palma essiccata, producendo un crepitio e una luminescenza accompagnati dall'elettrizzazione del globo. Capì inoltre che l'elettrizzazione poteva essere trasportata su dei fili di lino (materiale conduttore).



*Macchina elettrostatica a strofinio di Otto von Guericke inventata nel 1660.*

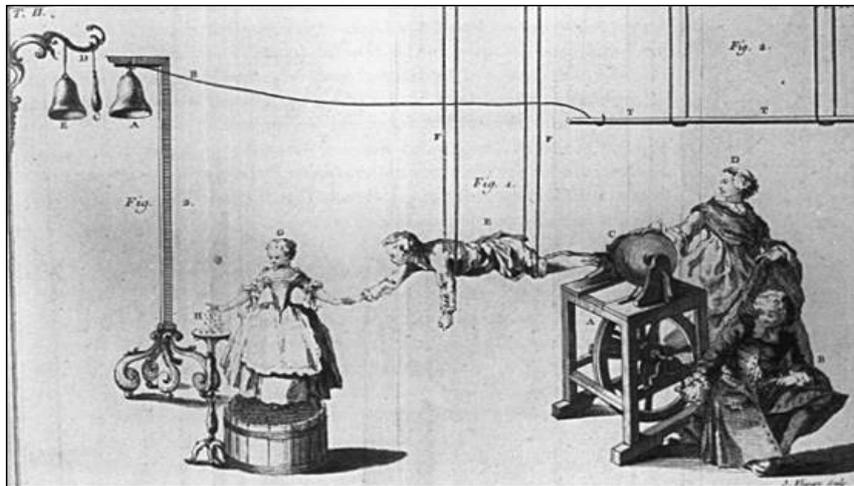
Francis Hauksbee (1660-1713) migliorò la macchina di Von Guericke, sostituendo con una sfera di vetro, la sfera di zolfo: questo materiale rendeva molto più evidenti i fenomeni di elettrizzazione. In più Hauksbee notò che, avvicinando il viso al globo elettrizzato, si riesce a percepire un soffio, che chiamò *vento elettrico*.

### **Stephen Gray: conduttori e isolanti.**

Stephen Gray (1666-1736) scoprì la conducibilità elettrica per un caso fortuito, durante uno dei suoi esperimenti di trasmissione di elettricità statica. Gray per la trasmissione si serviva di una corda sospesa con dei fili di seta (isolante), ma uno dei fili si ruppe e lo scienziato lo sostituì con un sottile filo d'ottone (conduttore): la trasmissione si interrompeva al livello della cordicella d'ottone. Da questa e da altre successive prove, Gray dedusse che vi erano materiali in grado di trasportare la "*virtù elettrica*" (che vennero poi chiamati dallo scienziato J.T. Desaguliers *conduttori*) e altri che mantenevano la *virtù* localizzata al loro interno (e furono chiamati *isolanti*). Altro merito di Gray fu quello di aver scoperto l'elettrizzazione

per induzione (o per influsso): quando un conduttore è posto in prossimità di un corpo carico, esso assume una carica di segno opposto al corpo carico in prossimità dello stesso, e una carica dello stesso segno nell'estremità più lontana.

Tra i suoi esperimenti provò persino, e con successo, a usare le persone come conduttori di elettricità, pratica che diventerà ben presto uno dei maggiori divertimenti delle classi aristocratiche.



*Il ragazzo, sostenuto da fili di seta (materiale isolante), è elettrizzato dalla macchina, quando tocca la fanciulla anche lei viene elettrizzata ma non riceve la scossa perché sta su un supporto isolante; la ragazza, grazie all'elettrizzazione, è in grado di attirare dei pezzettini di carta.*

Nei salotti aristocratici divenne di moda l'uso dell'elettricità per intrattenere gli ospiti con scherzi anche di cattivo gusto: per esempio si usava elettrizzare le posate per dare la scossa ai commensali oppure si elettrizzava una dama (che ovviamente stava su un supporto isolante) e si chiedeva a qualche gentiluomo di baciarle la mano: ovviamente ne restava elettrizzato. Oltre al diletto con l'elettricità si cercò di ottenere anche un guadagno, per questo nel Settecento si diffusero molti “dottori” che promettevano cure miracolose con l'elettricità, purtroppo i risultati furono deludenti, se non dannosi.

### **Charles François Cisternay Du Fay: i due tipi di elettricità.**

Charles Du Fay (1698-1739) era un chimico francese dell'Accadémie des Sciences che proseguì gli studi di Gray: il suo merito è quello di aver capito che esistono due tipi di stati elettrici. Du Fay pensava inizialmente che i corpi elettrizzati attirassero i corpi non elettrizzati e respingessero quelli elettrizzati, ma alcune esperienze provarono che non era esattamente così. Mediante strofinio elettrizzò un tubo di vetro e in seguito (per contatto) una foglia d'oro; strofinò poi, elettrizzandola, un pezzo di gomma copale (un tipo di resina); secondo le sue aspettative la foglia e la gomma avrebbero dovuto respingersi, e invece si attirarono. La stessa cosa accade anche con altri materiali (ambra e cera), ma il vetro e il cristallo di rocca respingevano la foglia. Du Fay capì dunque che dovevano esserci due tipi diversi di elettricità: una caratteristica dell'ambra e della gomma, che chiamò *elettricità resinosa* (che in futuro verrà indicata col segno -); e una caratteristica del vetro e del cristallo di rocca, che chiamò *elettricità vetrosa* (che indichiamo ora col segno +).

*preceding one, and which casts a new Light on the Subject of Electricity. This Principle is, that there are two different Electricities, very different from one another; one of which I call vitreous Electricity, and the other resinous Electricity. The first is that of Glass, Rock-Crystal, Precious Stones, Hair of Animals, Wool, and many other Bodies; The second is that of Amber Copal, Gum-Lack, Silk, Thread, Paper, and a vast Number of other Substances. The characteristic of these two electricity is, that a body of the vitreous electricity, for example, repels all such as are of the same electricity, and, on the contrary, attracts all those of resinous electricity”*  
**C.F.Cisternay Du Fay, A discourse concerning electricity, in Philosophical Transaction, Volume 38, Parigi, 1733**

Traduzione: la fortuna mi ha messo sulla strada un altro principio, più universale e notevole del precedente, e che getta una nuova luce sull'elettricità. Questo principio consiste nel fatto che ci sono due diverse elettricità, molto diverse tra loro; una di queste la chiamo “*elettricità vetrosa*” e l'altra “*elettricità resinosa*”. La prima è quella del vetro, del cristallo di rocca, delle pietre preziose, del pelo degli animali, della lana, e molti altri corpi; la seconda è quella dell'ambra copale, della gomma-lacca, della seta, del piombo, della carta, e di un gran numero di altre sostanze. La caratteristica di queste due elettricità è che un corpo di elettricità vetrosa, per esempio, respinge tutto ciò che è della stessa elettricità e, al contrario, attrae tutto ciò che è di elettricità resinosa.

Opera di Du Fay sono anche alcuni strumenti utili, ancora oggi, per studiare i fenomeni elettrici: l'elettrometro a palline di sambuco, e l'elettrometro a foglie d'oro. Essi sono gli antenati dei più recenti elettroforo, elettrometro e bilancia di torsione.

### **La bottiglia di Leida: il primo condensatore.**

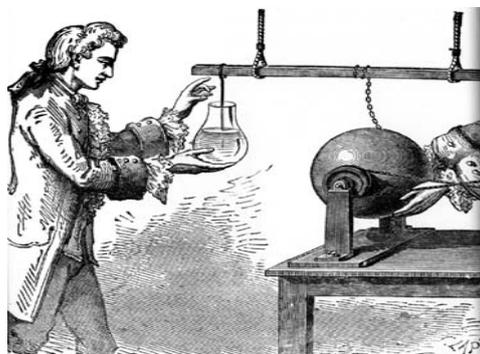
Negli anni '40 del Settecento le macchine elettrostatiche di Von Guericke e di Hauksbee vennero migliorate, ma la vera rivoluzione si ebbe con l'invenzione della *bottiglia di Leida*.

Questo apparecchio prende il nome dal luogo in cui il professor Pieter Van Musschenbroek (1692-1761) ne scoprì le straordinarie proprietà. Gray e Du Fay avevano provato che era possibile elettrizzare l'acqua, ma l'effetto si disperdeva nel tempo a causa, pensavano, dell'evaporazione del fluido elettrico: si pensava infatti, in accordo con le teorie cartesiane, che le proprietà elettriche fossero dovute al movimento di un certo fluido, messo in moto dallo strofinio, e che nel suo flusso trascinasse i piccoli corpuscoli che incontrava.

Durante un esperimento per studiare la conducibilità dell'acqua, Musschenbroek, prese incautamente in mano la bottiglia con cui stava facendo le prove, alla cui sommità era presente un'asta con un pomello conduttore, e al cui interno era presente una lamina d'ottone, collegata a una macchina elettrostatica e immersa in acqua: il professore ricevette una forte scossa, che lo fece cadere per terra. Il motivo di tutto ciò rimaneva inspiegabile con le conoscenze dell'epoca.

La prima spiegazione si deve a Benjamin Franklin: Franklin ritenne che (secondo il principio della conservazione della carica, che dimostrerà nel 1750) la quantità di fluido elettrico acquistata dalla superficie interna del vetro era pari a quella persa dalla superficie opposta. Infatti, come dimostrò l'esperimento di van Musschenbroek, per caricare una bottiglia di Leida, oltre al contatto tra il cilindro di ferro conduttore e l'acqua contenuta nella bottiglia, c'è bisogno del contatto diretto tra la superficie esterna del vetro della bottiglia e la macchina elettrostatica, ad esempio tramite la terra. Nell'esperimento, la macchina elettrostatica funzionò da pompa trasferendo fluido elettrico al cilindro di ferro conduttore e da questo all'acqua contenuta all'interno della bottiglia e quindi alla superficie interna del vetro, sottraendone la stessa quantità alla superficie

esterna del vetro della bottiglia attraverso il percorso di terra che coinvolgeva il corpo di colui che teneva la bottiglia in mano. La forte scossa avvenne nel momento in cui Musschenbroek toccò con l'altra mano il cilindro di ferro.



*I disegni raffigurano l'esperimento di Musschenbroek, che afferra (incautamente) la bottiglia collegata a una macchina elettrostatica.*

La bottiglia di Leida costituisce un passo importante per la storia dell'elettrologia, in quanto costituisce il primo esempio di condensatore.

**Un condensatore** è un apparecchio costituito da due piastre conduttrici, dette armature, poste a distanza ravvicinata alle quali si frappone un materiale dielettrico (come possono essere l'aria, l'acqua o il vetro). Quando un condensatore viene connesso a una tensione, le due armature iniziano ad accumulare cariche: una si carica positivamente, l'altra negativamente. Le cariche positive, generando un campo elettrico, attirano le cariche negative (e viceversa); il dielettrico ha la funzione di impedire il trasferimento delle cariche.

Il condensatore è utile perché è in grado di immagazzinare una notevole quantità di carica sotto forma di energia potenziale elettrica. (è come una molla compressa). La capacità di immagazzinare carica, in fisica è definita *capacità elettrica* ed è espressa dal rapporto tra la carica (sulle armature, considerata in valore assoluto) e la differenza di potenziale ai capi del condensatore:  $C = Q/V$ . La capacità si misura in Farad (F).

Nella bottiglia di Leida il vetro della bottiglia fungeva da dielettrico mentre le armature erano date dalla lamina di ottone immersa e dall'asta esterna.

Successivamente si capì che la capacità poteva essere aumentata collegando più bottiglie assieme. La capacità equivalente che si ottiene collegando dei condensatori in parallelo (in modo che ogni piastra sia collegata a un terminale di un generatore di tensione e l'altra all'altro terminale) è pari alla somma delle capacità dei singoli condensatori; se i condensatori sono collegati in serie (in sequenza) il reciproco della capacità equivalente è pari alla somma dei reciproci delle singole capacità.



Lo studio di questa strumentazione divenne sempre più accurato, anche se non aveva basi teoriche ma solo empiriche e i condensatori furono perfezionati sempre di più. Tra questi è degno di nota il condensatore di Franz M. U. T. Aepinus (1724-1802), perché fu il primo a concepire un condensatore che non avesse la forma di una bottiglia. Seguirono poi condensatori cilindrici, sferici, piani ecc.

9

### **Gli studi di Benjamin Franklin.**

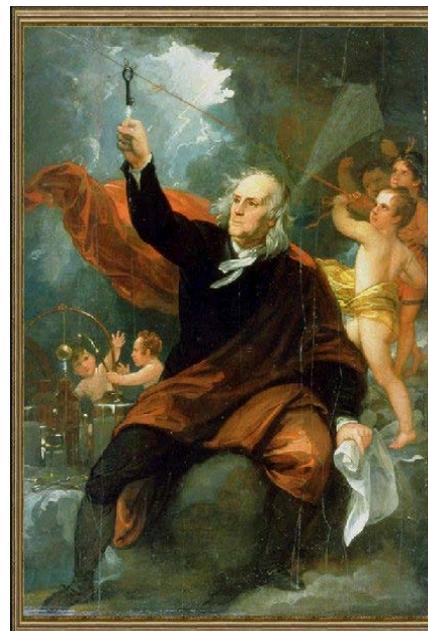
Benjamin Franklin (1706-1790), fu un politico e uno scienziato americano, che cominciò a interessarsi alla ricerca scientifica, pare, perché colpito dall'analogia tra la scarica elettica della bottiglia e i fulmini. Dell'esperimento di Musschenbroek capì che le due *armature* (fu lui stesso a chiamarle così) sono caricate con due tipi diversi di elettricità e che la scossa proveniva dal vetro. Lo stesso Franklin costruì il primo condensatore piano, che chiamò *Leyden's pane* (*quadro di Leida*).

Fu Franklin inoltre a ipotizzare che le nubi trasportassero l'elettricità e a mettere in azione il primo parafulmine (nel 1752), e in questi esperimenti scoprì il potere delle punte.

**Le punte:** in un conduttore carico, le cariche si distribuiscono in prossimità della superficie, perché, essendo dello stesso segno tendono ad allontanarsi le une dalle altre e quindi a disporsi quanto più lontano possibile. Nel caso di un conduttore appuntito la carica si concentra sulla punta e in questa zona è maggiore la densità di carica e di conseguenza anche il campo elettrico. Un conduttore appuntito ionizza l'aria, creando una via preferenziale per il fulmine, che è costretto ad attraversare il metallo e scaricarsi a terra: è questo il funzionamento del parafulmine.

Franklin aveva infatti capito che il fulmine non è altro che una scarica elettrica che, quando colpisce un oggetto lo attraversa soltanto da una parte e che, se un oggetto lo avesse attirato, si sarebbe disperso a terra.

Per scoprire la natura elettrica dei fulmini Franklin realizzò un celebre esperimento: assistito dal figlio William, fece volare un aquilone munito di una punta metallica e collegato a terra mediante un filo di seta. Durante il temporale la punta dell'aquilone si caricò e Franklin verificò la presenza di elettricità, stringendo tra le mani una chiave legata al filo di seta: in questo modo aveva chiuso il circuito aquilone-filo-terra e percepì il passaggio di corrente attraverso il proprio corpo. Egli dimostrò che ciò che veniva estratto dalle nuvole era effettivamente elettricità, caricando una bottiglia di Leida con la chiave attaccata al filo di seta dell'aquilone e ottenendo gli stessi effetti che si potevano ottenere caricando la bottiglia di Leida con una macchina elettrostatica.



*B. Franklin che stringe una chiave collegata a un filo di un aquilone durante un temporale*

Franklin inoltre fu tra i primi a ipotizzare che la carica fosse costituita da un fluido unico, che poteva accumularsi o essere in difetto, e che la somma delle cariche dovesse essere sempre nulla. (Principio della conservazione della carica). Secondo lui ogni corpo possiede tanto fluido, quanto ne può contenere per le sue caratteristiche; secondo Franklin se un corpo contiene più carica del solito, è elettrizzato positivamente, e viceversa un corpo con meno

carica è caricato negativamente; in più, fu lo stesso Franklin a cominciare a usare il termine carica. Nel 1750, nello stesso anno in cui nacque la teoria elettrica ad un solo fluido, Franklin fece un importante esperimento per provare che la carica totale doveva mantenersi sempre costante. Egli elettrizzò due persone mettendoli a contatto rispettivamente con un cilindro di vetro e col panno strofinato, in modo che le due persone presentassero carica opposta. Ma facendo loro avvicinare le punte dell'indice delle rispettive mani Franklin poté notare come, in seguito ad una scintilla scoccata tra le due dita vicine, le due persone divenissero elettricamente scariche. Tuttavia se era perfettamente comprensibile che due corpi con eccesso di fluido si esercitassero una repulsione, non ci si spiegava il motivo per cui anche due corpi con difetto di fluido si respingessero.

### **Le osservazioni di Giambattista Beccaria.**

Giovanni Battista Beccaria (1716-1781) era un monaco e fisico di Torino, nonché amico e corrispondente di Franklin. Beccaria tra i primi a prendere in considerazione il problema della *resistenza* incontra l'elettricità nel passaggio attraverso i materiali.

Dedicò poi vari studi ai condensatori, soffermandosi sulle proprietà degli isolanti interposti tra le armature (come oggi sappiamo, gli isolanti aumentano la capacità di un condensatore di una costante relativa al materiale detta  $\epsilon_r$ ) e iniziò a mettere in relazione elettricità e magnetismo. Infine grazie a una sua invenzione, il *pozzo di Beccaria*, ossia una sfera cava di ottone poggiata su un sostegno isolante, scoprì che all'interno di un conduttore il campo elettrico è nullo, che le cariche, infatti si distribuiscono tutte sulla superficie.

Le macchine elettriche andarono via via migliorando, grazie soprattutto all'utilizzo dell'elettrizzazione per induzione, (e non più per strofinio), che risultava più efficace. La macchina di Holtz è un esempio di macchina a induzione.

### **Coulomb e la forza elettrica.**

Charles Augustin de Coulomb (1736-1806), fu colui che riuscì a esprimere l'intensità della forza di attrazione elettrica tra due cariche nella legge che porta il suo nome:

$$F_e = k q_1 q_2 / d^2$$

dove  $k$  è una costante di proporzionalità  $k=8.98 \cdot 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$ ,  $q_1$  e  $q_2$  sono le cariche (misurate proprio in Coulomb (C)), e  $d$  è la distanza tra le due.

A questa relazione giunse grazie alle misure effettuate grazie a una bilancia di torsione:

“La balance électrique que j'ai présentée à l'Académie, au mois de Juin 1785, mesurant avec exactitude, et d'une manière simple et directe, la répulsion de deux balles qui ont une électricité de même nature, il a été facile de prouver, en se servant de cette balance, que l'action répulsive de deux balles électrisées de la même nature d'électricité, et placées à différentes distances, était très-exactement en raison inverse au carré des distances;”

**C.A. De Coulomb, *Second mémoire sur l'électricité et le magnetisme*, in *Mémoire de l'Académie Royale des Sciences de Paris*, 1785**

Traduzione: “La bilancia elettrica, che ho presentato all'Accademia, nel mese di Giugno 1785, misurando con esattezza, e in maniera semplice e diretta, la repulsione di due sfere che hanno un'elettricità della stessa natura, è stato facile provare, utilizzando questa bilancia, che

l'azione repulsiva delle due sfere elettrizzate con elettricità della stessa natura, e poste a varie distanze, era inversa ai quadrati delle distanze”

### **Le invenzioni di Alessandro Volta.**

Numerose e importanti invenzioni nel campo dell'elettrologia si devono ad Alessandro Volta (1745-1827), professore di fisica sperimentale all'università di Pavia.

Nel 1775 mise appunto l'*elettroforo perpetuo*, un generatore elettrostatico in grado di accumulare una certa quantità di carica, costituito da un disco metallico dotato di un manico isolante, per l'impugnatura e una superficie in materiale isolante; si carica la superficie  $\uparrow$  per strofinamento e poi si appoggia il disco al piano: per induzione sulla faccia del disco vicina al piano si accumula carica negativa -attratta dalla carica positiva del piano- mentre nell'altro lato si accumula una carica positiva -a causa del deficit di elettroni-; toccando con il dito la faccia superiore del disco le cariche positive vengono bilanciate con l'afflusso di cariche negative da terra e il disco risulta così caricato.



*Schema dell'elettroforo di Volta*

Fu lui poi a introdurre il concetto di *tensione elettrica*, (che non a caso si misura in Volt). Egli riuscì a misurare la tensione di contatto che si instaura tra due metalli (*effetto Volta*: tra due metalli diversi a contatto, alla stessa temperatura, si instaura una piccola differenza di potenziale, detto *potenziale Volta*).

Ma l'invenzione più importante e conosciuta del professore fu la *Pila di Volta*, che egli stesso descrive così in una lettera alla Royal Society del 20 marzo 1800:

*“Oui, l'appareil dont je vous parle, et qu vous étonnera sans doute, n'est que l'assemblage d'un nombre de bons conducteurs de différente espèce, arrangés d'une certain manière, 30, 40, 60 pièces, ou d'avantage, de cuivre, ou mieux d'argent, appliquées chacune à une pièce d'étain, ou, ce qui est beaucoup mieux, de zinc, et un nombre égal de couches d'eau, ou de quelque autre humeur qui soit meilleur conducteur que l'eau simple, comme l'eau salée, la lessive, ect. ou des morceaux de carton, de peau, ect. bien imbibés de ces humeurs: de telles couches interposées à chaque couple ou combinaison des deux métaux différents, une telle suite alternative, et toujours dans le même ordre, de ces trois espèces de conducteurs, voilà tout ce qui constitue mon nouvel instrument; qui imite comme j'ai dit, les effets des bouteilles de Leyde, ou de*

*batterie électriques, en donnant la même commotion que celles-ci. [...] mais qui d'ailleurs surpasse infiniment la vertu et le pouvoir de ces mêmes batteries, en ce qu'il n'a pas besoin, comme elles, d'être chargé d'avance, au moyen d'une électricité étrangère; et en ce qu'il est capable de donner la commotion toutes le fois qu'on le touche convenablement, quelques fréquents qui soient ces attouchement."*

**Alessandro Volta, *On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of differnt kinds*, in *Philosophical Transactions*, parte II, 1800, riportato in Biagi, Basile, *Scienziati del Settecento*, da *La letteratura Italiana*, vol 45**

12

Traduzione: Sì, l'apparecchio di cui vi parlo, e che sicuramente vi stupirà, non è che l'assemblaggio di un certo numero di buoni conduttori di diversi tipi, organizzati in una certa maniera, 30, 40, 60 pezzi, o di rame, o piuttosto d'argento, appoggiati ognuno a un pezzo di stagno, o, molto meglio, di zinco, e un ugual numero di strati d'acqua o di qualche altra soluzione che sia un conduttore migliore rispetto all'acqua pura, come l'acqua salata, la liscivia, ecc. o dei pezzi di cartone, di pelle, ecc. ben imbevuti di queste soluzioni; tali strati interposti a ogni coppia o combinazione dei due metalli diversi, in una sequenza alternata, e sempre nello stesso ordine, di questi tre tipi di conduttori, ecco tutto ciò che costituisce il mio nuovo strumento; che imita, come ho detto, gli effetti delle bottiglie di Leyda, e delle batterie elettriche, producendo le stesse scosse che loro. [...] ma che supera enormemente la virtù e il potere di queste stesse batterie, in quanto non ha bisogno, come loro, di essere caricato prima, per mezzo di un'elettricità esterna; e in quanto è capace di dare la scossa, tutte le volte che lo si tocca convenientemente, a prescindere da quanto frequenti siano i tocchi.



*Pila di Volta*

La pila di Volta è costituita infatti da una colonna di più elementi sovrapposti, detti *elementi voltaici*, che possono essere dischi di zinco e di rame (o in alternativa argento e stagno) uniti attraverso uno strato intermedio di feltro o cartone imbevuto di acqua salata o acidulata.

La pila funziona sfruttando l'energia prodotta grazie a una reazione di ossido-riduzione tra due metalli, (come per esempio lo zinco e il rame), che prendono il nome di *elettrodi*, collegati tra loro mediante un filo conduttore, e immersi in una soluzione di un loro sale solubile, collegate da un ponte salino. L'elemento riducente (lo zinco) si ossida e quindi libera elettroni; attraverso il filo gli elettroni passano all'elettrodo dell'elemento ossidante attirati dagli ioni in soluzione, (il rame)

e ne provocano la riduzione (acquista elettroni). La reazione continua grazie alle soluzioni saline, mantenendo costante il numero di ioni. Tuttavia a Volta non era ben chiaro questo procedimento e anzi, attribuiva la produzione dell'elettricità all'effetto volta, ma quest'ipotesi violava il principio della conservazione dell'energia.

La pila di Volta fu il primo dispositivo in grado di fornire energia elettrica in maniera continuativa, a differenza delle apparecchiature note fino ad allora che dovevano essere caricate e fornivano una scarica di breve durata. La pila di volta aprì la strada alle scoperte dell'Ottocento e al diffondersi dell'elettricità per usi pratici.

### **Dal fluido elettrico alla scoperta degli elettroni.**

Alla fine dell'Ottocento, i progressi nel campo tecnico non portarono con sé progressi teorici: si pensava ancora che l'elettricità fosse trasportata da un fluido. La svolta si ebbe all'inizio del Novecento, con gli importanti esperimenti di Thomson e Millikan.

Joseph John Thomson (1846-1940), è considerato lo scopritore dell'elettrone in quanto, servendosi di uno spettrografo (uno strumento che filtra le particelle con la stessa velocità), riuscì a determinare il rapporto tra la carica elettrica e la massa delle particelle cariche:  $e/m=1,7 \cdot 10^{11} \text{ C/Kg}$ . Era un' importante scoperta perché fino a quel momento l'atomo era considerato la particella elementare della materia e per questo indivisibile.

Robert Millikan (1868-1953), uno scienziato statunitense, riuscì a dimostrare, con un noto esperimento, il principio di quantizzazione della carica elettrica (la carica si distribuisce sempre a pacchetti, cioè la carica che viene spostata è sempre un multiplo intero di una certa quantità). Millikan si servì di un condensatore, dentro al cui spazio si spruzzò delle goccioline d'olio, che si caricavano per strofinio. A piastre scariche si può determinare la massa di queste gocce, esse infatti, influenzate solo dalla forza peso e dall'attrito viscoso dell'aria, dopo un certo tempo si mantengono a velocità costante (velocità di deriva). In quest'istante -nota la densità- si può trovare la massa delle gocce. A questo punto regolò la differenza di potenziale tra le piastre in modo che le gocce rimanessero sospese a mezz'aria: in questo modo forza elettrica e forza peso si bilanciavano  $F_e=P$  cioè  $qE=mg$ . Da questa relazione poté ricavare il valore della carica elettrica ( $q=mg/E$ ) e notò che era sempre un multiplo intero di una certa quantità  $e=1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ , che esperimenti più sofisticati confermarono essere pari al valore della carica di un elettrone.

## L'ELETTRICITÀ NELLA VITA COMUNE:

### Circuiti elettrici e le leggi di Ohm.

Un circuito elettrico è una serie di elementi elettrici, collegati assieme in un percorso chiuso, in modo tale che la corrente possa circolare. Fu definita intensità di corrente ( $i$ ) il rapporto tra la quantità di carica ( $\Delta q$ ) che attraversa una sezione del circuito (o di un qualsiasi conduttore) e l'intervallo di tempo impiegato ( $\Delta t$ ):

$$i = \Delta q / \Delta t$$

e si misura in A (ampere)  $1 \text{ A} = 1 \text{ C} / 1 \text{ s}$

Nel 1826 il professor Georg Simon Ohm (1787-1854) trovò sperimentalmente la relazione che esiste tra d.d.p e intensità di corrente: a temperatura costante, la differenza di potenziale ai capi di un conduttore metallico è direttamente proporzionale all'intensità di corrente per un coefficiente  $R$  detto *resistenza* (Prima legge di Ohm). La resistenza dipende dalla natura del materiale preso in considerazione e si misura in ohm ( $\Omega$ )  $1 \Omega = 1 \text{ V} / 1 \text{ A}$ .

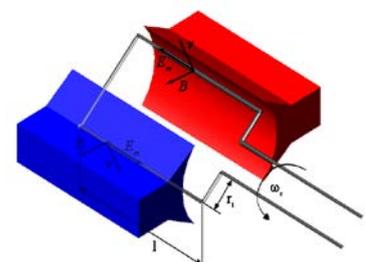
Inoltre (per la seconda legge di Ohm) la resistenza è direttamente proporzionale alla lunghezza del conduttore attraversato e inversamente proporzionale alla sua sezione per un coefficiente  $\rho$  detto *resistività*.

In un circuito la presenza di una resistenza ostacola il passaggio della corrente, inoltre a ogni passaggio, si ha una caduta di tensione pari a  $Ri$ , per questo lungo un circuito non si può mai avere una differenza di potenziale uguale a quella prodotta dal generatore, detta *forza elettromotrice (fem)*.

### Le prime applicazioni dell'elettricità.

I primi impieghi dell'elettricità come ausilio nel lavoro furono nelle miniere di carbone dove venne sfruttato il suo potere esplosivo per praticare varchi nel terreno. Ma la vera innovazione si avrà con l'invenzione del motore elettrico ovvero un dispositivo che si serve dell'energia elettrica per produrre energia meccanica.

Il motore elettrico sfrutta l'interazione che, come scoprì il fisico danese Hans Oersted (1777-1851) nel 1820, esiste tra campo elettrico e campo magnetico: un filo percorso da corrente fa deviare un ago magnetico fino a disporlo perpendicolarmente alla direzione corrente-ago, questo significa che una corrente



Schema di un motore elettrico

elettrica genera un campo magnetico. Allo stesso modo una spira percorsa da corrente viene deviata dall'azione di un campo magnetico per una forza che dipende dalla direzione del campo magnetico e della corrente (secondo la regola della mano destra: le dita come la corrente girano verso il campo magnetico e il pollice dà la direzione della forza): la spira nel campo subisce una deviazione che la mette in moto e la fa oscillare finché non si stabilizza; l'inserimento di un dispositivo detto *collettore* fa sì che la corrente cambi polarità e quindi verso ogni mezzo giro e ciò permette di avere un moto continuo.

Più tardi la scoperta di Michael Faraday (1791-1867), che la corrente poteva essere generata dalla variazione del flusso del campo elettromagnetico, permise l'invenzione di generatori di corrente alternata e apparecchi come le dinamo, che sfruttano il movimento per generare elettricità.

Molto importante fu anche la scoperta effettuata dal fisico inglese James Prescott Joule (1818-1889) dell'omonimo *effetto Joule*, effetto per cui, quando un conduttore è attraversato da corrente, subisce un riscaldamento. Questo principio è giustificato dal fatto che l'energia cinetica si mantiene costante in media, mentre l'energia potenziale delle particelle si trasforma in energia termica ed è sfruttato in tutti gli elettrodomestici che devono produrre calore, come il tostapane, il phon, o il bollitore elettrico.

Si misurò poi che in un intervallo di tempo  $\Delta t$ , la quantità di calore sviluppata è direttamente proporzionale alla differenza di potenziale ai capi del conduttore ( $\Delta V$ ) e all'intensità di corrente che lo attraversa ( $i$ ) secondo la formula:

$$Q = \Delta V i \Delta t$$

che per la prima legge di Ohm è equivalente a:  $Q = Ri^2$

di conseguenza la potenza dissipata è  $P = \Delta V i$

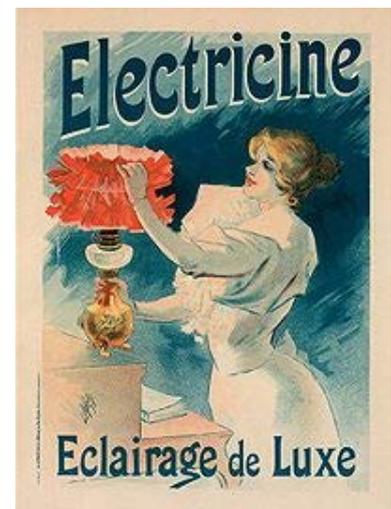
Decisamente importanti per lo sviluppo della tecnologia elettrica furono le invenzioni dell'americano Thomas Alva Edison (1847-1931). Egli contribuì a migliorare il telegrafo, apparecchio per la comunicazione a distanza, inventato da Morse negli anni '30, ma di importanza notevole fu l'invenzione del fonografo: apparecchio in grado di registrare i suoni.

Edison però è da tutti ricordato come l'inventore della lampadina, anche se, a dire il vero, non fece altro che perfezionare le scoperte di altri scienziati. La lampadina, che Edison brevettò era una lampadina a incandescenza: in questa lampadina veniva fatta passare una certa quantità di corrente, in modo tale che, per effetto Joule, il filamento diventasse incandescente e producesse luce. All'inizio Edison si servì del cotone, ma esso dopo un certo periodo di tempo di consumava dalla combustione, per via dell'alta temperatura; dopo diversi esperimenti, con diversi materiali, scoprì che il più duraturo era il tungsteno, ancora oggi utilizzato.

A Edison va inoltre il merito di essere riuscito a portare la luce nelle case attraverso una produzione di massa di lampade e creando un sistema per la generazione e la distribuzione dell'energia elettrica. Nel 1882 Edison creò la prima centrale elettrica trasformando in elettricità l'energia creata dalle cascate del Niagara.

### **La seconda rivoluzione industriale.**

La seconda rivoluzione industriale è una fase storica che si colloca nella seconda metà dell'Ottocento e vede lo sviluppo di molti paesi nel campo scientifico e tecnologico: scienza e



*Elettricità celebrata in un manifesto.*

industria in questo periodo vanno di pari passo.

La seconda rivoluzione industriale si differenzia dalla precedente in quanto si serve di nuove risorse: l'acciaio, il petrolio e l'elettricità. Della prima rivoluzione industriale avevano beneficiato paesi come l'Inghilterra, il Belgio la Francia e la Germania, perché territori ricchi di risorse quali il carbone e il ferro. La possibilità di sfruttare l'elettricità, invece, favorì lo svilupparsi dell'industria anche in paesi poveri di giacimenti come l'Italia e il Giappone; l'energia elettrica si può facilmente generare

15

sfruttando il movimento generato dai corsi d'acqua (centrali idroelettriche), o sfruttando il vapore, che può essere prodotto riscaldando l'acqua oppure servendosi dei *soffioni* (centrali geotermiche), che sono manifestazioni di vulcanismo secondario che consistono nell'emissione di vapore acqueo a elevata temperatura e pressione (un esempio di centrale geotermica in Italia è la centrale di Larderello, in Toscana).

La produzione di energia elettrica fu essenziale per lo sviluppo industriale del nostro paese: si pensi che dal 1883 al 1914 il tasso di crescita è stato del 28,8%. La prima centrale elettrica venne inaugurata a Milano nel 1883, mentre il primo impianto idroelettrico fu quello di Isoverde (in provincia di Genova).

Scienza e industria erano direttamente collegate: non solo l'elettricità cominciò ad alimentare le macchine, ma venne incentivata anche l'industria che produceva elettricità.

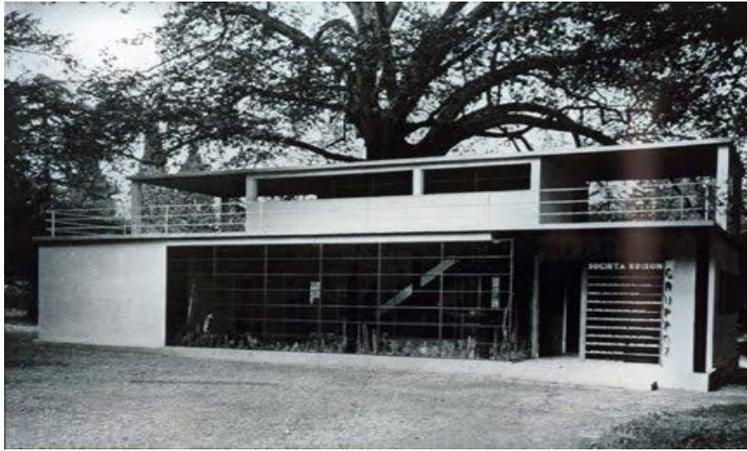
Grazie a questa nuova fonte di energia si moltiplicarono le nuove invenzioni che portarono a una rivoluzione anche nella vita delle persone: le lampade elettriche cominciarono ad illuminare le città, e ciò permise di vivere la città anche di notte; si cominciarono a diffondere i primi mezzi di trasporto a motore elettrico (tram, filobus, metropolitane), che favorirono i trasporti; e fu inventato il telegrafo, che velocizzava le comunicazioni.



Cartolina del 1899 che celebra l'inaugurazione della prima rete ferroviaria elettrica tra Milano e Monza.

### **La Casa Elettrica di Figini e Pollini.**

La *Casa Elettrica* fu un progetto realizzato dagli architetti razionalisti Luigi Figini (1903-1984) e Gino Pollini (1903-1991), realizzato nel 1930 in occasione della IV triennale di Milano. Finanziata dalla società Edison (la prima società per la distribuzione elettrica), questa dimora fu concepita per essere alimentata con il solo uso dell'elettricità. Illuminazione, gli elettrodomestici, il riscaldamento, e persino la cucina erano alimentati con l'elettricità. Era il primo prototipo della casa moderna.

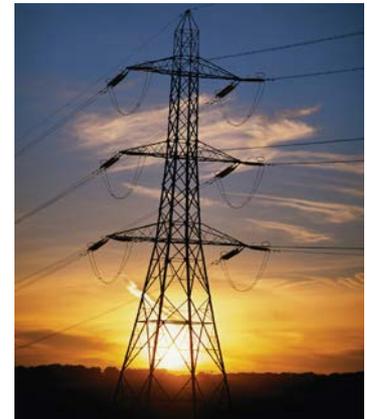


*La casa elettrica di Figini e Pollini.*

### **L'elettricità domestica.**

La vera rivoluzione per la società fu l'approdo dell'energia elettrica nelle case. I primi esperimenti di trasmissione dell'elettricità ad alta tensione ebbero luogo nel 1891 in occasione della mostra internazionale sull'elettricità di Francoforte sul Meno: la corrente percorse 175 km a una tensione compresa tra i 15 e i 20 kV. La prima applicazione funzionale però, si ebbe per la città di Buffalo (NY), collegata alla centrale sulle cascate del Niagara fatta costruire da Edison. In Italia la realizzazione di elettrodotti si intensificò all'inizio del XX secolo, e già nel 1900 Milano contava 180 km di linee elettriche.

L'energia elettrica viene trasportata a tensione elevata, cosicché la dispersione di energia per effetto Joule sia minima (poiché la potenza dissipata per effetto Joule è  $P = \Delta V i$ , si intuisce che, a parità di potenza, basta aumentare la tensione per ridurre l'intensità e di la perdita di energia  $E_j = R i^2$ ). Per poter utilizzare l'energia elettrica però è necessario ridurre la tensione, per questo ci si serve di apparecchi detti *trasformatori* che sfruttano il fenomeno della *mutua induzione elettromagnetica*: un filo primario alimentato dall'alta tensione è avvolto attorno a un materiale ferromagnetico, e genera un campo magnetico che percorre il materiale fino ad attraversare un'altra bobina, nella quale comincia a scorrere la corrente per effetto della legge di Faraday-Neumann. I normali elettrodomestici sfruttano una tensione di 220 V, altri apparecchi, che necessitano di tensioni più basse (come i carica-batterie), dispongono di un piccolo trasformatore collegato alla presa.



## **ELETTRICITÀ IN NATURA:**

### **Luigi Galvani e l'Elettricità Animale.**

Per molto tempo nel mondo scientifico si è discusso sulla causa che permettesse agli animali di muovere la muscolatura e, per molto tempo, si è dato credito alla teoria di Descartes secondo cui il cervello emetterebbe dei fluidi detti "spiriti animali" che diramandosi lungo i nervi (considerati come dei tubi), provocherebbero un rigonfiamento del muscolo fino a contrarlo. Con la scoperta della bottiglia di Leida si osservò che la scarica portava a una contrazione dei muscoli; in molti cominciarono a studiare gli effetti che l'elettricità provocava sui tessuti animali, e cominciò ad affermarsi l'idea di una corrispondenza tra fluido nervoso e

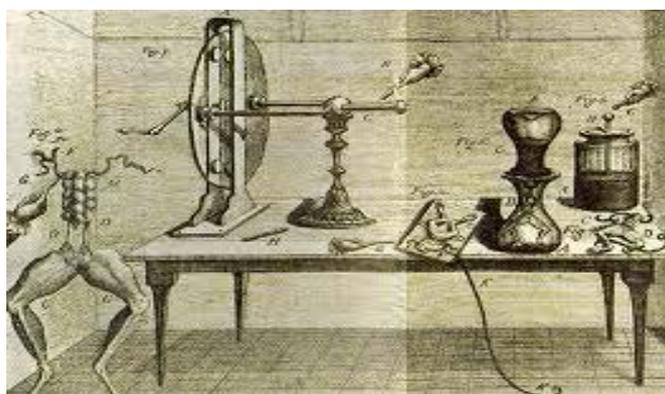
“fluido” elettrico. Luigi Galvani (1737-1798), professore di anatomia dell'Università di Bologna, studiò l'influenza dell'elettricità sulle membra animali dopo un'esperienza stupefacente:

*“Ranam dissecui atque praeparavi, eamque in tabula, omnia mihi alia proponens, in qua erat machina electrica, collocavi ab eius conductore penitus seiunctam atque haud brevi intervallo dissitam; dum scalpelli cuspidem unus ex iis, qui mihi operam dabant, cruralibus huius ranae internis nervis casu vel leviter admoveret, continuo omnes artuum musculi ita contrahi visi sunt, ut in vehementiores incidisse tonicas convulsiones viderentur. Eorum vero alter, qui nobis electricitatem tentantibus praesto erat, animadvertere sibi visus est, rem contingere dum ex conductore machinae scintilla extorqueretur. Rei novitatem ille admiratus, de eadem statim me alia omnino molientem et mecum ipso cogitantem admonuit. Hic ego incredibili sum studio et cupiditate incensus idem experiundi, et quod occultum in re esset in lucem proferendi. Admovi propterea et ipse scalpelli cuspidem uni vel alteri crurali nervo, quo tempore unus aliquis ex iis, qui aderant, scintillam eliceret. Phoenomenon eadem omnino ratione contigit; vehementes nimirum contractiones in singulos artuum musculos, perinde ac si tetano praeparatum animal esset correptum, eodem ipso temporis momento inducebantur, quo scintillae extorquerentur.* 17

L. Galvani, *De viribus electricitatis artificialis in motu muscolari commentarius*, in M.L.Altieri Biagi, B. Basile, *Scienziati del Settecento, da La Letteratura italiana*, vol

45

Traduzione: Avevo disseccato e preparato una rana e l'avevo messa su una tavola, dove c'era una macchina elettrica, per un motivo del tutto diverso, completamente separata dal conduttore di questa, e posta a una distanza non breve; quando uno di quelli che mi aiutavano toccò per caso con la punta di una lancetta, pur lievemente, i nervi interni crurali della rana, subito si videro tutti i muscoli degli arti contrarsi in tal modo, da sembrare in preda a vigorose convulsioni. Un altro di coloro che ci assistevano in questi esperimenti elettrici ebbe l'impressione che il fenomeno avvenisse nel momento in cui dal conduttore della macchina scoccava una scintilla. Colpito dalla novità egli subito mi avvisò, mentre ero preso da tutt'altro e riflettevo tra me. Allora fui preso da un'incredibile curiosità e desiderio di sperimentare la stessa cosa e di fare luce sul mistero che portava con sé. Per questo io stesso toccai con il bisturi l'uno e l'altro nervo crurale, e nel frattempo uno dei presenti, provocava una scintilla. Il fenomeno si ripeté nella stessa maniera; nell'attimo in cui la scintilla scoccava, si manifestavano scintille veramente violente in ogni singolo muscolo degli arti, come se l'animale fosse stato colpito da tetano.



*Schema del laboratorio di Galvani.*

La rana, nonostante fosse morta, subiva una contrazione muscolare, e nello stesso istante sulla macchina elettrostatica scoccavano delle scintille. L'esperimento venne ripetuto. La contrazione si verificava ogni volta che l'animale veniva a contatto con un metallo, ma anche se esposta in un giorno temporalesco; tuttavia si cercava di capire se la rana fosse sensibile alla differenza di potenziale sviluppato dalla macchina elettrica o dall'atmosfera, o se fosse essa stessa la sorgente dell'elettricità. Su queste ipotesi si scontrarono in una storica disputa Galvani e Volta. Galvani sosteneva l'ipotesi dell'*elettricità animale*, ossia che la rana, o meglio le sue fibre muscolari, accumulassero una certa quantità di energia elettrica, come succede nella bottiglia di Leida. Volta invece attribuiva il fenomeno all'effetto Volta, (tra due conduttori diversi si instaura una differenza di potenziale).

Anche se Galvani continuò a realizzare esperimenti interessanti a sostegno della sua tesi, prevalsero le ragioni di Volta, anche perché l'invenzione della pila confermò le ipotesi di conducibilità dei metalli.

Un sostegno alle teorie di Galvani arrivò solo nel 1838 quando Carlo Matteucci (1781-1968) servendosi del *galvanometro*, (uno strumento in grado di misurare voltaggi di ordine di grandezza molto piccolo), riuscì a misurare il passaggio di corrente attraverso le membrane animali. In più realizzò una pila formata da cosce di rana, e verificò che la differenza di potenziale aumentava all'aumentare del numero di cosce.

18

Solo dopo anni e anni di studi si riuscì a verificare che un'elettricità è insita in ogni animale: in quasi tutte le cellule dell'organismo si generano potenziali elettrici a livello della membrana cellulare (potenziale di membrana, è dovuto alla composizione ionica differente tra interno ed esterno della membrana e alla sua permeabilità); mentre alcune cellule come quelle nervose e muscolari sono in grado di generare impulsi elettrochimici e di usarli per trasmettere segnali: i segnali nervosi si trasmettono mediante il potenziale d'azione, (cioè una rapida variazione del potenziale di membrana, che passa dal valore negativo a quello positivo e viceversa), che si propaga lungo la fibra nervosa fino alla sua estremità.

### **L'influenza del galvanismo in Frankenstein di Mary Shelley.**

Giovanni Aldini (1762-1834) era il nipote di Galvani e collaborò spesso con lo zio, sostenendo le sue teorie. Divenne famoso all'epoca per gli spettacolari esperimenti che eseguiva pubblicamente. Tra il 1802 e il 1803 soggiornò a Londra dove si esibì con esperimenti del tutto insoliti, se non raccapriccianti: collegò degli elettrodi a teste di cane mozzate, facendone aprire e chiudere la mandibola, oppure fece contorcere in smorfie orripilanti delle teste umane



decapitate, arrivando persino a fargli aprire gli occhi, o ancora faceva muovere gli arti ai corpi senza testa. Questi esperimenti così scioccanti colpirono la giovane Mary Shelley (1797-1851), che subì notevolmente l'influenza di Galvani e Aldini nel comporre il suo celebre romanzo *Frankenstein or the modern Prometheus*.

Questo libro racconta infatti le vicende di Viktor Frankenstein, un ambizioso scienziato, affascinato dalle teorie di Galvani, che servendosi dell'elettricità vuole dare vita a un cadavere. L'esperimento riesce, ma la creatura è orripilante, il suo stesso creatore la ripudia. Essa vaga per il mondo in cerca di comprensione ma incontra solo rifiuto. Il suo rancore crescente verso il mondo e il suo creatore lo portano a diventare un assassino vendicativo. Quando ormai ha eliminato tutti i cari di Frankenstein, lo ritrova al polo nord, dove ormai Viktor sta morendo, si pente per tutto quello che ha fatto, e promette di ritirarsi e morire in solitudine.

Questo romanzo, oltre a presentare il tema dell'outsider, incarna perfettamente la paura che gli uomini, al tempo di Mary Shelley, nutrivano contro la scienza, che stava facendo passi enormi distruggendo ogni regola della natura (Viktor è un uomo ma vuole dare la vita, e vuole dare la vita partendo dalla morte), temi tipicamente romantici.

“Perhaps a corpse would be re-animated; galvanism had given token of such things; perhaps the component parts of a creature might be manufactured, brought together, and endued with vital warmth.”

**Mary Shelley, *Frankenstein or the modern Prometheus*, Sever, Francis & co. Boston and Cambridge, 1869**

Traduzione: Forse un cadavere potrebbe essere rianimato; il galvanismo ha dato un segno di tutto ciò; forse i componenti di una creatura potrebbero essere confezionati, messi assieme, e dotati di una scintilla vitale.

### **L'elettricità negli animali.**

Alcuni pesci sono in grado di generare elettricità e provocare scariche: si servono dell'elettricità per orientarsi, e questa caratteristica è detta *senso elettrico*. I pesci generano un campo elettrico e riescono a orientarsi osservando come esso viene distorto: gli oggetti che conducono l'elettricità provocano una perturbazione del campo diversa rispetto a quelli che non la conducono (così possono distinguere gli altri pesci dalle rocce).

### **L'elettricità nell'atmosfera: i fulmini.**

La situazione che si crea nel cielo, quando appare un fulmine è analoga agli effetti prodotti da un condensatore. L'aria è una miscela di gas composta per la maggior parte da azoto (78%), ossigeno (21%) e per il restante 1% da quantità minime di altri gas. In più nell'aria è sempre presente una certa quantità di acqua (liquida o gassosa). Le molecole dei gas sono elettricamente neutre, ma di norma vengono ionizzate da agenti esterni a causa degli urti: un elettrone viene strappato via e, se non ci sono altre molecole elettrizzate, rimane libero di muoversi, altrimenti, viene attirato da un altro elemento: si formano così ioni positivi e negativi. Si genera quindi una coppia di portatori di carica opposta. Quando si formano le nuvole, (dall'evaporazione delle molecole d'acqua) possono crearsi regioni con accumulazione di carica positiva e altre con accumulazione di carica negativa, il motivo di questo fenomeno non è ancora del tutto chiaro.

Secondo la teoria convettiva, gli ioni liberi nell'atmosfera vengono catturati dalle

molecole d'acqua che andranno a formare le nuvole. Secondo la teoria gravitazionale, invece, le particelle d'acqua si ionizzano per lo strofinio che si crea tra molecole che salgono e molecole che scendono, formando così una differenza di potenziale tra parte superiore (carica positivamente) e quella inferiore (carica negativamente). In ogni caso nelle nuvole si instaura una differenza di potenziale che dà vita, in certi casi, al manifestarsi di fulmini (scariche elettriche tra terra e nuvola).

La presenza di cariche negative nella parte inferiore della nuvola attira, per induzione, le



*Istantanea di un fulmine.*

cariche positive del terreno, e si instaura un campo elettrico, come avviene in un condensatore con l'aria che funge da dielettrico. Nei gas (che non seguono le leggi di Ohm) l'intensità di corrente aumenta coll'aumentare della tensione fino a un valore stabile  $i_s$ , detto intensità di saturazione che rimane costante finché il numero di ioni resta costante, ma quando la tensione raggiunge un certo valore  $\Delta V_i$  detto valore d'innesco, cominciano a formarsi nuovi ioni dotati di una notevole energia cinetica che provoca urti che portano alla formazione di nuovi ioni (scarica a valanga): questo effetto produce emissione di energia luminosa, e gli urti danno origine a un rumore (tuono). Questo fenomeno è detto rottura del dielettrico: fenomeno che si verifica quando un materiale isolante perde le sue proprietà perché sottoposto a un campo elettrico estremamente elevato ed è accompagnato da una scarica: il fulmine. Le cariche cosiddette pilota si propagano rispettivamente dalla nuvola e dal terreno e quando si incontrano si ha la scarica vera e propria liberando un'enorme quantità di energia che si manifesta come lampo e come tuono. Un'ingente flusso di cariche compie il percorso terra-nuvola, riscaldando l'aria (per effetto Joule) fino ai 15000 °C.

### **L'elettricità nei minerali: la piezoelettricità.**

La piezoelettricità è la capacità, che hanno alcuni materiali cristallini (come il quarzo o la tormalina), di manifestare una carica elettrica se sottoposti a un'azione meccanica. Affinché ciò avvenga, è necessario che il cristallo sia anisotropo, ossia, privo di centro di simmetria. Questo fenomeno si spiega pensando che l'azione meccanica sposta il baricentro delle cariche positive, dal baricentro delle cariche negative, e il cristallo diviene quindi un dipolo elettrico dal quale è possibile rilevare la presenza di elettricità.

Questa proprietà trova applicazione anche negli oggetti più comuni, come ad esempio l'accendigas da cucina, ma anche nell'ambito musicale: nei pick-up, nei microfoni e negli altoparlanti.

### **CONCLUSIONI:**

Come ho cercato di esprimere, l'elettricità, un'energia che diamo per scontata è una conquista recente e che ha rivoluzionato la nostra vita. Tutti noi ci serviamo dell'elettricità, io stessa non avrei potuto usare il computer per scrivere questa tesina. Da quando le città sono illuminate, le persone hanno cominciato a stare svegli più a lungo, e ad uscire a passeggiare per la città: possiamo dire che l'elettricità se non ha allungato la vita, per lo meno ha allungato la giornata. Possiamo veramente affermare che l'elettricità ha segnato l'avvio della modernità e ormai non possiamo più farne a meno.

Ricordiamo inoltre che l'elettricità ha permesso di scoprire che l'atomo non è la struttura fondamentale della materia, in quanto costituito da elettroni e protoni: l'elettricità ha permesso anche alla scienza di fare grandi passi avanti.

**FONTI:** nel ricercare le informazioni, mi sono servita principalmente dell'ausilio di internet, controllando, per ogni sito, l'affidabilità delle informazioni (verificando che le nozioni fossero confermate da più siti e che il sito non fosse un sito confessionale o a fini commerciali). Le citazioni sono state prese da libri in alcuni casi cartacei, in altri da libri pubblicati in rete. Come supporto ho usato anche i libri di testo in adozione per l'anno scolastico.

**TESTI IN ADOZIONE:**

- Z. Ciuffoletti, U. Baldocchi, S. Bucciarelli, S. Sodi, *Dentro la storia. Eventi, testimonianze e interpretazioni*, vol 2, G. D'Anna, Messina-Firenze, 2008
- A. Caforio, A. Ferilli, *Fisica*, vol 3, Le Monnier, Milano, 2005

**SITOGRAFIA:**

<<http://ppp.unipv.it/pagesit/6dif/6videoconf/2videoc.htm> >  
 <[http://www.brescialeonessa.it/micheletti/34\\_3ele.htm](http://www.brescialeonessa.it/micheletti/34_3ele.htm) >  
 <[www.fisicamente.net/FISICA\\_1/index-1810.pdf](http://www.fisicamente.net/FISICA_1/index-1810.pdf) >  
 <<http://www.cicap.org/new/articolo.php?id=100245> >  
 <<http://bagliorinelvuoto.scienze.unipd.it/schede/Leida.pdf> >  
 <<http://www.phys.uniroma1.it/DipWeb/museo/Leydabot.html> >  
 <<http://www.ilportaledeltempo.it/?sezione=PS&art=franklin> >  
 <<http://www.vialattea.net/esperti/php/risposta.php?num=8271> >  
 <<http://alessandrovolta.it/> >  
 <<http://www.treccani.it/enciclopedia/thomas-alva-edison/> >  
 <<http://www.pbmstoria.it/unita/04475p-01cs3/percorsi/txt/1201.php> >  
 <<http://web.unife.it/didattica/piccolino/galvani.pdf> >  
 <<http://www.ampere.cnrs.fr/parcourspedagogique/zoom/galvanivolta/grenouilles/index-it.php> >  
 <[http://www.tecalibri.info/S/SENNETT-R\\_uomo.htm](http://www.tecalibri.info/S/SENNETT-R_uomo.htm) >  
 <[web.unife.it/didattica/piccolino/LUIGIG.DOC](http://web.unife.it/didattica/piccolino/LUIGIG.DOC) >  
 <[http://www.sapere.it/enciclopedia/el%C3%A8ttrico+\(zoologia\).html](http://www.sapere.it/enciclopedia/el%C3%A8ttrico+(zoologia).html) >  
 <<http://www.cdm1880.it/Fulmini/Premesse.htm> >

<<http://www.sapere.it/enciclopedia/piezolettricit%C3%A0.html> >

**LIBRI E DOCUMENTI CONSULTATI:**

- Plinio il Vecchio, *Historia Naturalis*, XXXVII,53 *consultato online*
- L. A. Seneca, *Naturales Quaestiones*, II *consultato online*
- Saggi di naturali esperienze fatte nell'accademia del Cimento, Firenze, 1841, C. *consultato online*
- C.F.Cisternay Du Fay, A discourse concerning electricity, in *Philosophical Transaction*, Volume 38, Parigi, 1733 *consultato online*
- C.A. De Coulomb, Second mémoire sur l'électricité et le magnetisme, in -Mémoire de l'Académie Royale des Sciences de Paris, 1785 *consultato online*
- Alessandro Volta, On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of different kinds, in *Philosophical Transactions*, parte II, 1800, riportato in Biagi, Basile, *Scienziati del Settecento*, da *La letteratura Italiana*, vol 45
- L. Galvani, De viribus electricitatis artificialis in motu muscolari commentarius, in M.L.Altieri Biagi, B. Basile, *Scienziati del Settecento*, da *La Letteratura italiana*, vol 45
- Mary Shelley, *Frankenstein or the modern Prometheus*, Sever, Francis & co. Boston and Cambridge, 1869 *consultato online*