



L'EREDITÀ DI VOLTA

V sezione

FARADAY E L'INDUZIONE ELETTROMAGNETICA

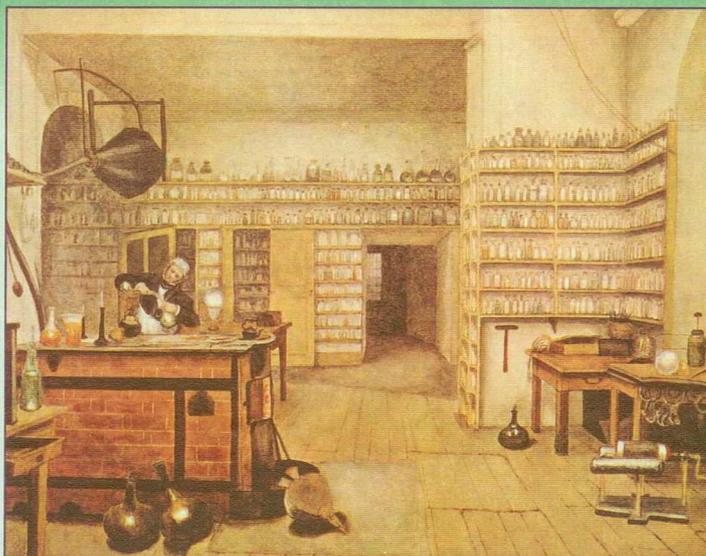
Tra gli anni '20 e '30 l'interesse di chi studia la corrente elettrica si rivolge sempre alle interazioni delle spire tra di loro e con i magneti; tuttavia occorre attendere il contributo di un altro grande scienziato per avere nuovi risultati sperimentali di fondamentale rilevanza.



Michael Faraday

Nel 1831 **Michael Faraday (1791-1867)** diviene professore della Royal Institution di Londra, presso la quale aveva iniziato a lavorare come assistente di laboratorio, chiamato dal suo protettore Sir H. Davy; con lui aveva intrapreso quindici anni prima un lungo viaggio in Europa che gli aveva

permesso di incontrare illustri scienziati, tra i quali, a Milano, Alessandro Volta: *"un arzillo vecchietto dalla conversazione molto spontanea"*.



Faraday nel suo laboratorio alla Royal Institution

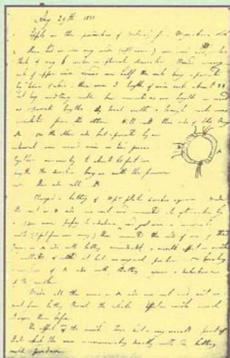
corrente in un circuito secondario che ne sia inizialmente privo.

Utilizzando un secondario con molti avvolgimenti e, come misuratore di corrente, un galvanometro ad ago magnetico, posto molto vicino al secondario, dimostra che l'effetto cercato si ottiene quando la corrente varia di intensità nel primario: in particolare, l'ago del galvanometro ha una brusca deviazione quando la corrente nel primario viene inserita e quando viene tolta. Faraday si accorge poi che la variazione di corrente nel primario non è l'unica causa che induce corrente nel secondario: anche quando la corrente nel primario è costante nel tempo, il movimento reciproco dei due circuiti

produce una corrente nel secondario.

Lo stesso effetto si ottiene sostituendo il primario con un magnete.

Per interpretare il fenomeno dell'induzione, Faraday introduce il concetto di linee di forza, linee "che sarebbero tracciate dalla limatura di ferro [distribuita intorno al magnete o al circuito], ovvero linee rispetto alle quali un sottile ago magnetico si dirigerebbe tangenzialmente". Tanto la corrente del primario, quanto il magnete sono sorgenti di queste linee e si ha induzione ogniquale volta il circuito secondario le taglia, sia per il moto di quest'ultimo, sia per il moto delle linee.



Pagina del diario di laboratorio di Faraday del 29 agosto 1831, che riporta la scoperta dell'induzione elettromagnetica



L'EREDITÀ DI VOLTA

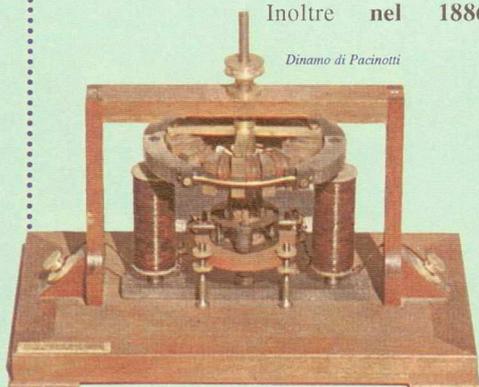
V rezione

LE GRANDI INVENZIONI ELETTRICHE

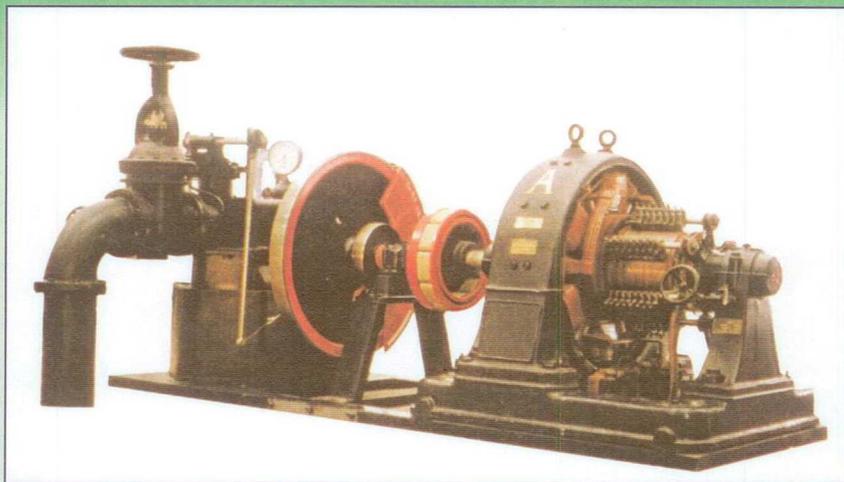
La possibilità di disporre di una corrente elettrica continua, quella che Volta definiva con orgoglio un vero e proprio *torrente elettrico*, consente, nell'Ottocento, non solo il progresso della conoscenza, ma anche la realizzazione di invenzioni importanti per la tecnologia.

Nel 1865 Antonio Pacinotti pubblica sul *Nuovo Cimento* l'invenzione della *dinamo*, risalente a qualche anno prima, che sfrutta il principio dell'induzione elettromagnetica mediante un magnete rotante tenuto in movimento da forze esterne. In realtà, non si tratta unicamente di un *generatore*, ovvero di un sistema che trasforma energia meccanica in energia elettrica, ma di una macchina che può funzionare anche da *motore*, in grado, cioè, di compiere la trasformazione inversa in quanto, se percorsa da corrente, compie lavoro sull'esterno.

Inoltre nel 1886



Dinamo di Pacinotti



Gruppo turbina tipo Pelton-Alternatore

William Stanley realizza il *trasformatore*, con il quale una corrente alternata a bassa tensione può essere portata ad alta tensione e viceversa.

Dalla *dinamo* deriva l'*alternatore* che, insieme al *trasformatore*, consente di distribuire energia, in quantità prima impensabili, a grande distanza e in modo molto capillare, realizzando il seguente ciclo: nelle centrali elettriche gli alternatori trasformano energia meccanica, ricavata da forme primarie di energia, in energia elettrica, sotto forma di corrente alternata a bassa tensione; la corrente viene trasformata ad alta tensione per consentirne la trasmissione, limitando le perdite, lungo cavi metallici (linee di trasmissione); quindi una nuova

trasformazione a bassa tensione consente un comodo utilizzo della corrente agli utenti, sia come energia termica e illuminazione, grazie all'effetto Joule, sia come energia meccanica, grazie a motori. Anche nel campo delle comunicazioni a distanza la corrente elettrica consente importanti invenzioni, quali il telegrafo, realizzato nel 1844 da Samuel Morse, e il telefono, brevettato da Antonio Meucci e successivamente realizzato da Graham Bell nel 1876.





L'EREDITÀ DI VOLTA

V sezione

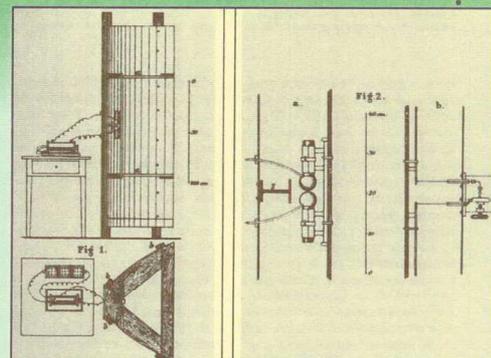
LE ONDE ELETTROMAGNETICHE

Il grande fisico scozzese James Clerk Maxwell (1831-1879) è convinto che le azioni elettriche e magnetiche non siano affatto *azioni a distanza*, secondo la descrizione di ispirazione newtoniana, bensì *azioni di prossimità*, come gli sforzi meccanici che si propagano in un mezzo elastico. Sviluppa così un *modello meccanico* secondo il quale una specie di substrato, cioè un mezzo di trasmissione, pervaderebbe tutto lo spazio e ospiterebbe i campi elettrici e magnetici, i quali non

sarebbero altro che una distribuzione di sforzi meccanici applicati a questo mezzo, chiamato *etere elettromagnetico*. All'interno del modello meccanico dell'etere, Maxwell ottiene come conseguenza la possibilità teorica che in tale mezzo⁵ si propagino *onde elettromagnetiche* analoghe a quelle elastiche.

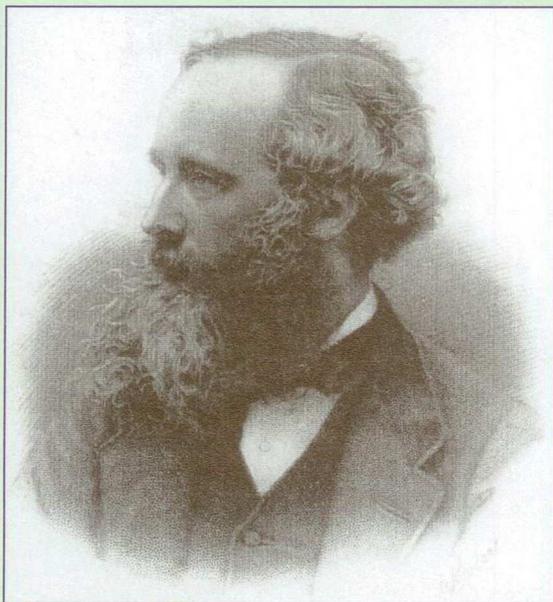
Heinrich Hertz (1857-1894), nel 1888, riesce a realizzare un trasmettitore di onde (*oscillatore di Hertz*, ovvero un prototipo di antenna irraggiante) ed un rivelatore (*risonatore di Hertz*). In omaggio a questo scienziato che ne ha provato sperimentalmente l'esistenza, le nuove onde vengono dette *hertziane*. La loro velocità di propagazione coincide con quella della luce e resta così dimostrato quello di cui Maxwell era già convinto, ovvero sia che la luce è un fenomeno di tipo elettromagnetico: tra le onde hertziane e quelle luminose l'unica differenza è la frequenza.

⁵In realtà l'esistenza di un mezzo meccanico a supporto delle onde elettromagnetiche venne subito messa in dubbio dagli scienziati e tramontò definitivamente con la relatività speciale: le onde elettromagnetiche infatti si propagano con la stessa velocità in ogni sistema di riferimento inerziale e non vi è necessità alcuna di individuare il "riferimento del mezzo", come avviene, per esempio, per le onde sonore.



Gli strumenti utilizzati da Hertz nello studio delle onde elettromagnetiche

James Clerk Maxwell





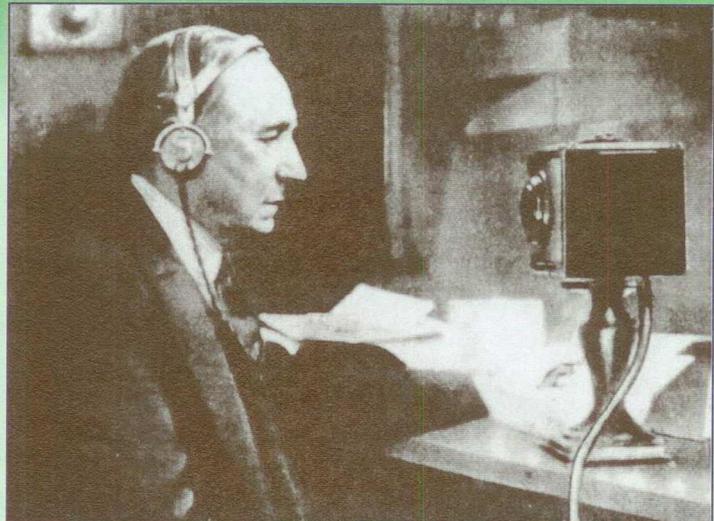
L'EREDITÀ DI VOLTA

V rezione

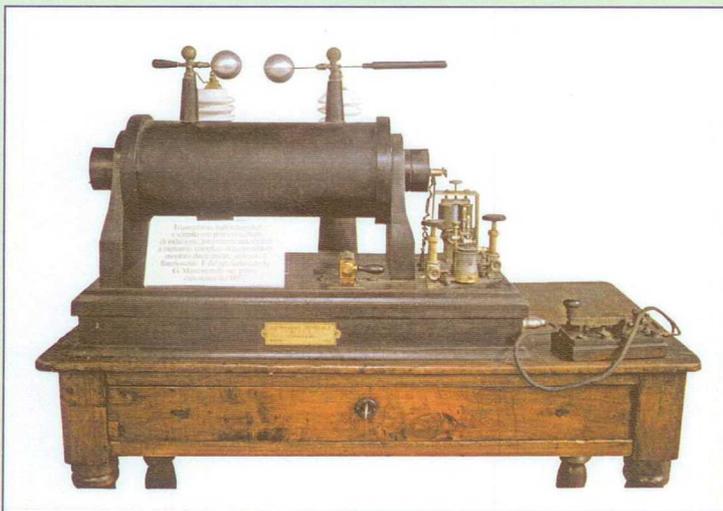
LA COMUNICAZIONE VIA ETERE

Le onde hertziane schiudono agli scienziati e all'intera umanità orizzonti imprevisi. Nel 1894 **Guglielmo Marconi (1874-1937)** invia segnali elettromagnetici "via etere" (come si diceva e ancor'oggi si dice, seppur impropriamente) tra punti non in vista tra loro. Successivamente l'esperimento viene replicato tra la terraferma e una nave e, **nel 1901, Marconi realizza la prima comunicazione "radioelegrafica" transatlantica, da Poldhu Cove in Cornovaglia a St. Johns di Terranova.** Circondato dallo scetticismo di scienziati che escludevano la possibilità che le onde seguissero la curvatura terrestre (infatti non la seguono, bensì vengono riflesse dalla

Marconi al lavoro



Trasmettitore radiotelegrafico di Marconi



ionosfera), Marconi ottiene così un grande successo personale, culminante nel 1909 con l'attribuzione del premio Nobel per la Fisica.

Nel 1923 J. Logie Baird inventa la televisione e sei anni dopo avrà luogo la prima emissione sperimentale della BBC.

La tecnologia delle telecomunicazioni avrà un tale impatto sull'intera società da portare il sociologo MacLuhan a definire il mondo come un "villaggio globale".

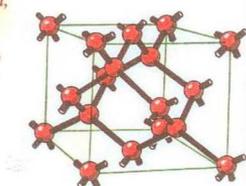
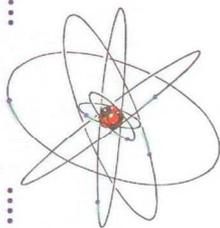


LA CARICA ELETTRICA

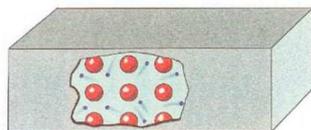
Secondo le attuali conoscenze scientifiche, la materia è costituita da tre particelle distinte: il protone, l'elettrone e il neutrone. Il protone e il neutrone, che hanno masse pressoché uguali e circa 2000 volte maggiori di quella dell'elettrone, costituiscono il nucleo atomico. Il protone e l'elettrone hanno carica elettrica uguale ma di segno opposto, rispettivamente *positiva* (+) e *negativa* (-), mentre il neutrone è privo di carica.

In generale, nei solidi, i nuclei e gli elettroni a essi più vicini rimangono vincolati a una struttura reticolare rigida, mentre gli elettroni esterni di ogni atomo possono godere di una mobilità più o meno grande a seconda del tipo di legame chimico del materiale.

Rappresentazione schematica di un atomo isolato: le palline rosse sono protoni, quelle nere sono neutroni, mentre i punti blu sono elettroni. (In questa rappresentazione il nucleo è enormemente ingrandito rispetto alle orbite elettroniche).



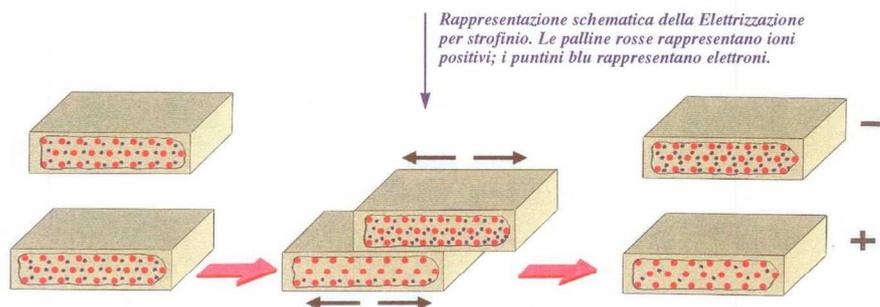
Modello della struttura atomica di un isolante. Le sferette rappresentano gli atomi del materiale, ionizzati positivamente. Le sbarrette nere rappresentano elettroni di legame che fissano gli atomi in posti ben definiti della struttura reticolare.



Modello della struttura atomica di un metallo. Le sferette rappresentano gli atomi ionizzati del materiale: essi possiedono cariche positive perché hanno perduto gli elettroni più esterni. Gli elettroni che hanno abbandonato gli atomi sono distribuiti nell'interno del materiale e sono in continuo movimento (palline più piccole).

Dal momento che in ogni atomo il numero di elettroni è uguale a quello dei protoni, la materia è normalmente neutra. Tuttavia, strofinando tra loro due corpi è possibile che alcuni elettroni passino da un corpo all'altro, così che entrambi i corpi risultino carichi, uno per eccesso

di elettroni (e quindi carico negativamente), l'altro per un difetto (e quindi carico positivamente). Gli elettroni, che costituiscono la carica elettrica mobile, possono essere, in un certo senso, paragonati al fluido elettrico frankliniano che passa da un corpo all'altro nei processi di elettrizzazione¹.



Rappresentazione schematica della Elettizzazione per strofinio. Le palline rosse rappresentano ioni positivi; i puntini blu rappresentano elettroni.

I Per uno strano processo storico, il segno della carica è risultato scambiato. E così convenzionalmente il segno positivo della corrente elettrica in un conduttore va dal polo positivo a quello negativo, mentre in realtà (almeno nei solidi) si tratta di un flusso di elettroni dal polo negativo a quello positivo.



CONDUTTORI E ISOLANTI

Le diverse sostanze si possono dividere in *conduttori* e *isolanti* in base al comportamento degli elettroni più esterni di ogni atomo. I metalli, per esempio, sono ottimi conduttori di elettricità perché i loro atomi perdono facilmente alcuni degli elettroni più esterni. Questi elettroni restano nel materiale, ma sono liberi di muoversi in tutte le direzioni, essendo in un certo senso condivisi da tutti gli atomi (per questo sono chiamati "elettroni liberi"). Gli isolanti, invece, non conducono la corrente proprio perché i loro atomi non possiedono elettroni liberi. Nei conduttori una carica elettrica, costituita da un eccesso o da un difetto di elettroni, si distribuisce uniformemente su tutta la superficie del corpo mentre negli isolanti tale carica rimane localizzata nella parte del corpo nella quale viene prodotta.

Se un conduttore carico viene posto a contatto con un altro conduttore uguale (stessa sostanza e stesso volume) scarico, la carica si distribuisce equamente tra i due corpi. Se i conduttori sono diversi, essa si distribuisce in proporzione alla *capacità elettrica* dei conduttori, secondo un processo che può essere rappresentato da un modello idrodinamico come quello riportato in figura.

L'altezza del liquido in ogni singolo recipiente rappresenta l'analogo del *potenziale elettrico (o tensione)* a cui si trova il corpo carico. Il volume di liquido rappresenta la *carica elettrica* e l'area di base del recipiente rappresenta la *capacità* del conduttore. Poiché in un singolo recipiente la quantità di liquido presente è data dal prodotto della superficie di base per l'altezza, la relazione tra capacità C , carica Q e potenziale V di un conduttore è

$$Q = CV$$

Grazie all'analogia col fenomeno dei vasi comunicanti, il modello è in grado di spiegare come mai la carica fluisce sempre da punti a potenziale maggiore verso punti a potenziale minore e perché, in due conduttori posti a contatto tra di loro, il

potenziale V raggiunge un valore di equilibrio comune.

Una descrizione alternativa ma equivalente si ottiene dalla considerazione delle *forze*. Tra cariche elettriche puntiformi si esercita una forza espressa dalla *legge di Coulomb*

$$F = k (Q_1 Q_2) / R^2$$

Tale forza è repulsiva nel caso di cariche dello stesso segno e attrattiva nel caso di cariche di segno opposto.

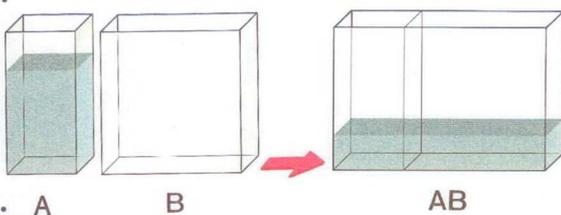


Cariche elettriche di segno opposto si attraggono



Cariche elettriche dello stesso segno si respingono

L'effetto risultante di queste forze produce i movimenti di cariche descritti dal modello idrodinamico. Infatti, quando un conduttore carico per eccesso, per esempio, di elettroni, viene posto a contatto con un conduttore scarico, gli elettroni fluiranno in quest'ultimo per potersi allontanare gli uni dagli altri.



Modello idrodinamico della distribuzione della carica elettrica tra due corpi: il recipiente B ha un'area di base (capacità) doppia di quella del recipiente A; quando i due recipienti sono messi in comunicazione dando luogo a un unico recipiente AB, il liquido contenuto inizialmente solo in A assume un livello pari a 1/3 di quello di partenza