

L'elettricità

[Fonti: E. Segré, "Personaggi e scoperte della fisica classica", Mondadori;
Roberto Renzetti – www.fisicamente.net]

I primi studi di elettrostatica e magnetismo

Alla morte di Newton la meccanica aveva quasi preso la sua configurazione moderna, mentre la maggior parte delle scoperte dell'elettricità dovevano ancora essere fatte.

Le proprietà di corpi strofinati con un panno di attrarre pagliuzze o pezzettini di carta erano note sin dall'antichità; lo stesso vale per alcune proprietà magnetiche.

W. Gilbert (1544 - 1603)

Inglese di ottima famiglia; studi di medicina e matematica a Cambridge;
medico di Elisabetta I.

Il *De Magnete* (1600) riassume studi lunghi 15 anni, autofinanziati:

1. costruzione di una '**terrella**', piccola Terra di magnetite e dimostrazione che un ago magnetico sulla sua superficie si orienta;
2. molti altri corpi possono essere elettrizzati per strofinio; introduce l'aggettivo "elettrico";
3. **la magnetite non richiede stimolo per manifestare le sue proprietà**, a differenza di vetro e ambra; **l'attrazione magnetica non viene schermata da un foglio di carta**;
4. teoria (sfortunata) basata su 'esalazioni' provenienti da corpi elettrizzati.

Galileo conosce e apprezza l'opera di Gilbert.



Il XVIII secolo abbonda di studiosi di elettricità, ma non ci sono figure particolarmente dominanti.



O. von Guericke (1602 - 1686)

Borgomastro di Magdeburgo, famoso per la prima pompa a vuoto e per l'esperimento degli emisferi.

Si occupò di 'virtù' che avrebbero dovuto agire a distanza; a tale scopo costruì una sfera di zolfo mescolato con vari materiali, che poteva essere elettrizzata per strofinio (**prima macchina elettrostatica**).

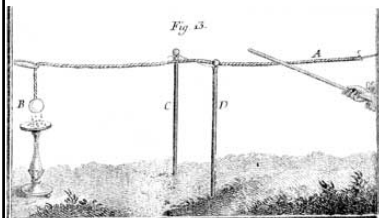


S. Gray (1666 - 1736)

Inglese, nato a Canterbury, figlio di un tintore; prosegue il mestiere del padre, ma riceve una buona educazione, forse a Londra.

Riesce a trasportare l'elettricità a distanze di molte decine di metri, mantenendo sospeso un filo per mezzo di cordicelle di seta; l'effetto scompare se le cordicelle sono sostituite da fili metallici.

Introduce la distinzione tra **conduttori e isolanti**.



C. Dufay (1698 - 1739)

Francese, di famiglia influente; grazie ai rapporti del padre ottiene a 24 anni un impiego come chimico aggiunto presso l'Accademia di Parigi, dove mostra abilità non comuni; in seguito diventa Sovrintendente dei Giardini reali.

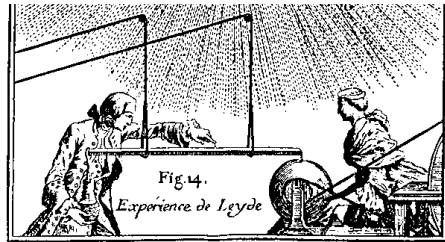
Scopre che ci sono **due, e solo due, specie di elettricità, vetrosa e resinosa** e che **elettricità di specie uguali si respingono, mentre di specie diverse si attraggono**.

Nel 1733 assume come collaboratore J.A. Nollet, noto come abate Nollet (1700-1770), che diventa precettore di eredi reali e si acquista la fama con un trattato di fisica in sei volumi, rimasto un modello per molti anni.

E.G. von Kleist (1700 - 1748), P. von Musschenbroek (1692 - 1761)

Inventano indipendentemente a Leida a distanza di un anno il primo condensatore, la **bottiglia di Leida**: caricando un liquido contenuto in un recipiente e tenendo la bottiglia in mano, si potevano ottenere violente scariche.

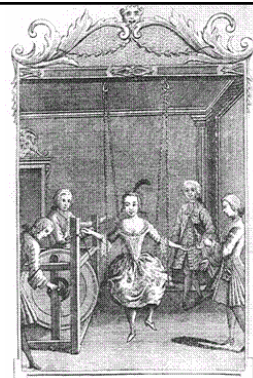
In seguito si capisce che il liquido può essere sostituito da un foglio conduttore.



J. Canton (1718 - 1772)

Ispirato dalle teorie di Franklin osserva, nel 1753, che un **conduttore posto vicino ad un corpo carico**, ma non in contatto con esso, manifesta una carica elettrica di segno opposto a quella del corpo carico nella parte più vicina a quest'ultimo e una carica dello stesso segno nella parte più lontana (**induzione elettrica**).

Alla metà del XVIII secolo gli esperimenti elettrici diventano di moda; si usava tra l'altro elettrizzare le persone isolandole e collegandole con una macchina elettrostatica. La moda raggiunge l'America ...



Dama carica di elettricità nell'atto di trasmettere la scossa al suo spasimante, isolato da terra.

[Illustrazione dal trattato dell'abate Nollet]

B. Franklin (1706 - 1790)

Nasce a Boston da un inglese fabbricante di sapone e sego; il padre aveva lasciato l'Inghilterra per motivi religiosi; in America si era sposato ed aveva avuto 14 figli.

A 12 anni, Benjamin lavora come apprendista tipografo presso un fratello; successivamente si trasferisce a Filadelfia lavorando come tipografo e libraio indipendente.

Nel 1724 è a Londra, dove conosce l'editore della III edizione dei *Principia*, ma non riesce ad incontrare Newton. Tornato nel 1726 a Filadelfia continua a lavorare come tipografo, ma diventa presto giornalista, poi direttore della Posta, poi politico influente in Pennsylvania e persona ricca.



Ha una disposizione naturale per le invenzioni pratiche: gli occhiali bifocali, le stufe Franklin, ...

Dall'età di 40 anni si dedica a ciò che realmente gli piace, senza preoccupazioni economiche. Comincia gli esperimenti sull'elettricità, sviluppando idee originali e comunicando i risultati all'inglese P. Collison, che pubblica le sue lettere in un volume (1751). I contributi scientifici di Franklin portano alla sua elezione a **membro straniero della Royal Society** (1756).

Si stabilisce a Londra dal 1757 al 1762 come rappresentante dell'Assemblea della Pennsylvania, **contribuisce alla stesura della Dichiarazione del 1776**, vive a Parigi per 9 anni con incarichi diplomatici, torna a Filadelfia nel 1785 e diventa membro della Convenzione. Muore a 84 anni.

Personaggio versatile, impegnato su più fronti di studio, lavoro e ricerca, difensore dei diritti dell'uomo nel continente americano che iniziava il suo cammino verso la rivoluzione democratica in sintonia con la Rivoluzione Francese.

Franklin fu

- ambasciatore in Francia durante la Rivoluzione (dal 1776 al 1785); qui conobbe Linneo, Lavoisier, ... assisté alla prima salita dei palloni aerostatici, a varie sedute dell'*Académie*, si entusiasma alla scienza e divenne sostenitore della collaborazione tra i popoli e della *guerra come cosa pazzesca*,
- commerciante ed industriale della carta,
- giornalista e fondatore il *Saturday Evening Post* (tuttora in attività),
- inventore e scienziato,
- uomo politico impegnato nelle più nobili battaglie per i diritti civili e per la libertà.

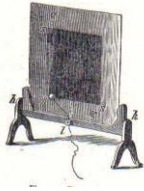
In ambito scientifico si occupò di ogni ramo del sapere e realizzò varie invenzioni.

A chi gli proponeva brevetti, rifiutava con garbo affermando che *"noi usiamo abbondantemente delle cose fatte da altri, lasciamo che gli altri usino qualcosa fatta da noi"*.

Franklin iniziò la sua attività avanti negli anni, nel 1747, due anni dopo la scoperta della *bottiglia di Leida* colpito, sembra, dall'analogia della scarica elettrica della bottiglia con quella dei fulmini.



1748: in una lettera scrisse di aver messo insieme una batteria di bottiglie di Leida; correttamente Franklin aveva capito che le *armature* (fu lui a chiamarle in tal modo) di un condensatore hanno elettricità di due tipi differenti, ma che la scossa risiedeva nel vetro.



Fu lo stesso Franklin a costruire il primo condensatore piano che chiamò *quadro di Leida* (*Leyden's pane* o *Franklin's pane*): un sostegno isolante sorregge una lastra di vetro coperta in gran parte da ambo i lati da stagnola. Per caricare il *pane* si collega la stagnola posta da un lato alla macchina elettrica e quella dall'altro lato a terra.



A Franklin si deve molta della **nomeclatura** ancora in uso: batteria, conduttore, condensatore, carica, scarica elettrica, scarico, carica negativa, carica positiva ...

Franklin che ipotizzò il **trasporto di elettricità da parte delle nubi** e la cosa fu provata quando, su suo suggerimento, nel 1752 fu messo in azione il primo parafulmine (un'asta a punta collegata a terra): la scarica di un fulmine e di una bottiglia di Leida erano della stessa natura.

In queste sue ricerche egli scoprì il "*potere delle punte, il meraviglioso effetto dei corpi a punta tanto per attirare che per respingere il fuoco elettrico*", e, con opportuno uso di esse, realizzò il parafulmine.

In un esperimento sembra che, durante un temporale, abbia provato ad estrarre scintille dalla corda umida che pendeva da un aquilone; in un esperimento analogo in Russia il fisico G.W. Richmann restò fulminato.

Teoria elettrica:

l'elettricità è costituita da un fluido unico (teoria *monistica*) che poteva accumularsi ed essere in eccesso sui conduttori (cariche positive) o essere in difetto (cariche negative). **La somma totale delle cariche doveva comunque annullarsi.**

Il ragionamento di Franklin per teorizzare un fluido elettrico unico era il seguente:

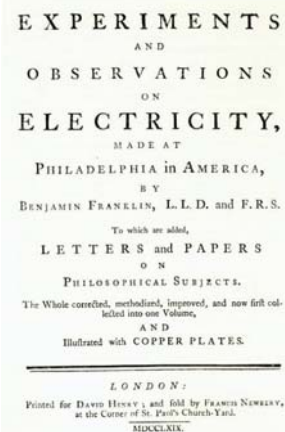
1° Due persone ritte su uno strato di cera, l'una (A) strofinando il tubo (di vetro), l'altra (B) traendone il fuoco, appariranno (se non si toccano) come elettrizzate in rapporto a una terza (C), posta sul suolo, cioè essa ne trarrà delle scintille, se avvicinerà loro un dito.

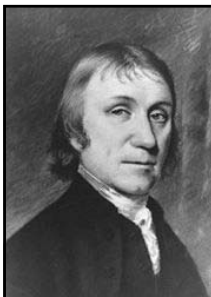
2° Ma, se esse si toccano mentre il tubo è eccitato, nessuna di esse apparirà come elettrizzata.

3° Se esse si toccano dopo l'eccitazione del tubo, vi sarà tra loro una scintilla più forte di quelle causate dalla persona al suolo.

4° Dopo questa scintilla né l'una né l'altra manifesta alcuna traccia di elettricità.

Ciò si spiega ammettendo che B è elettrizzata positivamente, A negativamente; oppure che A è elettrizzata *più* e B elettrizzata *meno*. Ciò suggerisce a Franklin la **non creazione della carica, ma la sola sua trasmissione.**





J. Priestley (1733 - 1804)

Inglese emigrato negli USA; fama di grande chimico per aver scoperto l'ossigeno.

The History and Present State of Electricity (1767): riporta un esperimento già eseguito da Franklin, che dimostrava che **all'interno di una scatola metallica non vi è alcuna carica**.

Conoscendo l'opera di Newton, deduce che **la repulsione elettrostatica va come l'inverso del quadrato della distanza**; il risultato passa inosservato.

A. Coulomb (1736 - 1806)

Ingegnere francese, ferrato in matematica. Frequentava la scuola militare di ingegneria; passa 9 anni nella Martinica tropicale per un incarico; torna in Francia a 36 anni, in pessimo stato di salute.

1777: in una Memoria, comincia ad occuparsi di questioni magnetiche ed elettriche (orientamento ago magnetico sospeso a filo sottile).

1779: vince un concorso bandito dall'Accademia di Parigi sullo studio delle variazioni magnetiche.

Inventa la **bilancia di torsione**, con la quale scopre ed enuncia chiaramente **la legge dell'inverso del quadrato della distanza** (1788).



La sua **bilancia di torsione** è simile concettualmente a quella di Cavendish (v. dopo), ma di ben più piccole dimensioni.

La misura dell'azione elettrica tra due sferette cariche, una mobile e una fissa, viene eseguita misurando la torsione del filo di sospensione, di seta, al quale è sospeso il giogo della bilancia, terminante da una parte con la sferetta mobile, dall'altra con un contrappeso (l'angolo di torsione è proporzionale al momento della forza torcente).

Sensibilità (iniziale) di **un milionesimo di grammo-peso**.

In due Memorie Coulomb stabilì sperimentalmente la prima legge quantitativa tra cariche elettriche: esse **si attraggono o si respingono (a seconda dei loro segni) con una legge del tipo di quella di Newton di gravitazione universale**.

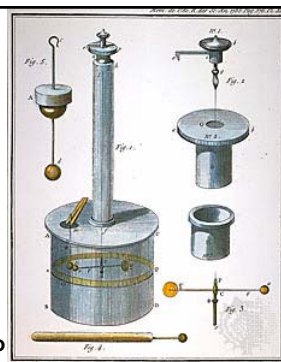
Egli **non provò mai la proporzionalità con il prodotto delle cariche elettriche** al numeratore della formula che porta oggi il suo nome; Coulomb stabilì il denominatore e non il numeratore.

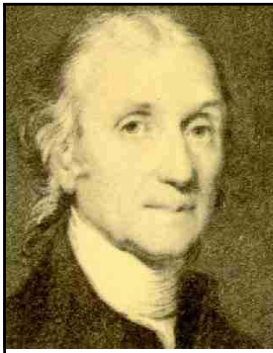
Inoltre **non definì mai l'unità di carica elettrica** (parla di una indefinita *massa elettrica*, ancora in analogia con Newton, e si schiera con la teoria dei due fluidi).

Ma quanto ora detto non deve sembrare una svalutazione dell'opera di Coulomb.

Egli **gettò le basi** che negli anni successivi permisero la **completa matematizzazione dei fenomeni elettrici** da parte di P.S. de Laplace, S.D. Poisson, G. Green e C.F. Gauss.

La matematizzazione del magnetismo seguì senza problemi; unica differenza l'assenza di monopoli.





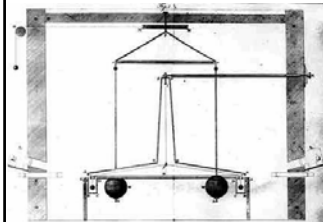
H. Cavendish (1731 - 1810)

Frequenta Cambridge, ma non completa gli studi (cosa usuale per aristocratici dell'epoca).

Staordinario sperimentatore, carattere eccentrico (confuso nel comunicare, asociale e misogino).

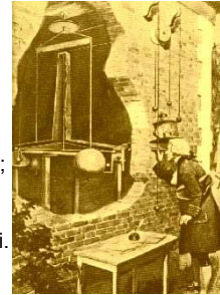
Membro della Royal Society (1760) e dell'Istituto Francese (1803).

Vive parsimoniosamente, ma finanzia tutte le sue ricerche; muore lasciando una ingente eredità.



Pubblica solo una piccola parte del suo lavoro, in un difficile saggio del 1771; la sua opera ci è nota da Maxwell (1870), diventato 'Cavendish professor'.

Definisce la **capacità di un condensatore** (conduttori caricati 'allo stesso grado' contengono la stessa quantità di elettricità); scopre che due condensatori con la stessa geometria hanno capacità dipendente dal dielettrico; misura la resistenza di vari corpi.

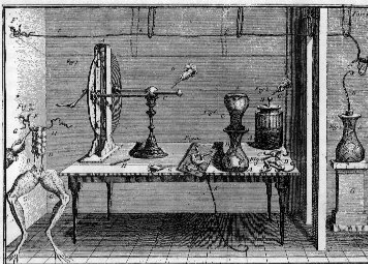


Con la bilancia di torsione **misura la costante gravitazionale** ("pesa la Terra").

L. Galvani (1737 - 1798)

Anatomista e biologo professionale, noto professore di anatomia e ostetricia a Bologna.

Nel *De viribus electricitatis in motu musculari commentarius* (1791), che segna la nascita dell'**elettrofisiologia**, Galvani espone la teoria della **elettricità animale**.



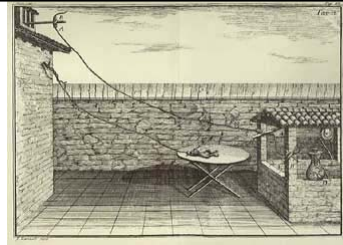
"Dissecai una rana, la preparai come indicato nella figura e la collocai sopra una tavola sulla quale c'era una macchina elettrica, dal cui conduttore era completamente separata e collocata a non breve distanza; mentre uno dei miei assistenti toccava per caso leggermente con la punta di uno scalpello gli interni nervi crurali di questa rana, a un tratto furono visti contrarsi tutti i muscoli degli arti come se fossero stati presi dalle più veementi convulsioni tossiche. A un altro dei miei assistenti che mi era più vicino, mentre

stavo tentando altre nuove esperienze elettriche, parve di avvertire che il fenomeno succedesse proprio quando si faceva scoccare una scintilla dal conduttore della macchina. Ammirato della novità della cosa, subito avverti me che ero completamente assorto e meco stesso d'altre cose ragionavo. Mi accese subito un incredibile desiderio di ripetere l'esperienza e di portare in luce ciò che di occulto c'era ancora nel fenomeno."

Galvani ripeté più volte l'esperienza: ogni volta che dalla macchina scoccava una scintilla, i nervi della rana, toccati con un conduttore, si contraevano.



Galvani si propose di verificare se lo stesso effetto era provocato anche dall'elettricità atmosferica e per farlo fissò, con un gancio di rame, i muscoli delle zampe di una rana ad un lungo conduttore disteso sulla sua terrazza (con una estremità sollevata verso il cielo e con l'altra immersa nell'acqua del pozzo): *"quante volte erompeva la folgore tante volte, nello stesso momento, tutti i muscoli erano presi da veementi e molteplici contrazioni"*.



Osservazione, a posteriori, importante: ogni volta che l'arco di scarica toccava simultaneamente i nervi lombari ed i muscoli della coscia si avevano contrazioni, ma queste erano **molto più accentuate se l'arco di scarica era bimetallico** (ferro e rame o, meglio, ferro e argento).

Conclusioni di Galvani in analogia alla scarica di un condensatore: da un lato vi sono le armature del condensatore che nel nostro caso sono il nervo lombare ed il muscolo della rana; l'arco di scarica è il metallo conduttore che ha la proprietà di trasferire il fluido elettrico da un'armatura all'altra provocando la contrazione del muscolo.

In questo senso si parla di elettricità animale: è l'animale che fornisce il fluido elettrico che agisce in modo fisiologico.

"Questi fatti mi procurarono non lieve ammirazione, e incominciò a sorgermi qualche dubbio circa un'elettricità inerente allo stesso animale. Mi sembrò che, durante il fenomeno, il fluido scorresse dai nervi ai muscoli e si formasse il circuito come in una bottiglia di Leida."



A. Volta (1745 - 1827)

Nasce a Como in una agiata famiglia di stretta osservanza cattolica; dei 9 figli, 5 scelgono la vita religiosa; Alessandro, educato dai Gesuiti, sceglie la vita secolare (convive per molti anni con una cantante, si sposa solo a circa 50 anni).

Vita mondana e raffinata, in una città fiorente sotto un governo austriaco allora liberale. Educazione letteraria, ma spontaneo interesse per le scienze.

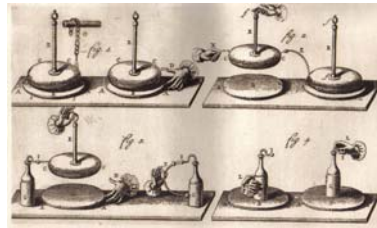
Primi esperimenti con l'elettricità in età giovanile e scambi epistolari con l'abate Nollet e con gli italiani G.C. Gattoni e G. Beccaria. Volta giunge al livello dei migliori studiosi del suo tempo; aveva idee chiare su quantità di elettricità Q , potenziale o 'tensione' V , capacità elettrica C , relazione $Q=CV$.

Inventa l'*elettroforo perpetuo* basato sulla conduzione per induzione; diventa professore di fisica nelle scuole di Como e membro della Società di Fisica di Zurigo.

Viaggio in Svizzera in cui conosce Voltaire e parecchi fisici svizzeri; cattedra all'Università di Pavia (1778).

Viaggi in Germania, Olanda, Inghilterra; incontri con Laplace e Lavoisier.

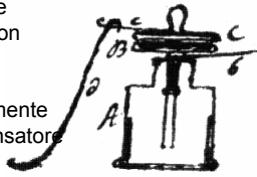
Membro corrispondente dell'Accademia di Parigi e membro straniero della Royal Society.



1782: **elettroscopio condensatore**, che consente la misura di cariche elettriche così deboli, da non provocare divergenza delle pagliuzze neppure nell'elettrometro più sensibile.

L'artificio consiste nel far variare considerevolmente la capacità dell'elettrometro agendo sul condensatore ad armatura mobile avvitato alla sua sommità.

In un primo tempo la capacità viene enormemente aumentata appoggiando sul piattello fisso il piattello mobile e mettendo quest'ultimo a terra. In questa situazione, ponendo un capace conduttore o una bottiglia di Leida debolmente carichi (tanto da non essere in grado di trasferire una carica apprezzabile al normale elettrometro) a contatto con il piattello inferiore, una parte significativa della loro carica viene richiamata su di esso. In un secondo tempo la capacità dell'elettrometro viene drasticamente diminuita allontanando il piattello superiore: le cariche presenti sul piattello inferiore si ridistribuiscono e una parte di esse passa sulle pagliuzze, che divergono così sensibilmente.



Intorno al 1790, Volta legge i lavori di Galvani ma è scettico sull'idea dell'elettricità animale. Su sollecitazione dei suoi colleghi dell'Università di Pavia, inizia a ripetere gli esperimenti di Galvani il 24 marzo del 1792.

Il 3 aprile scrive a Galvani: *"Eccomi convertito, dacché cominciai ad essere testimonio oculare e spettatore io stesso dei miracoli, e passato forse dall'incredulità al fanatismo."*

Il 5 maggio in una conferenza all'Università avanza qualche dubbio legato principalmente alla mancanza di misure: *"che mai può farsi di buono se le cose non si riducono a gradi e misure, in fisica particolarmente? Come si valuteranno le cause se non si determina la qualità non solo, ma la quantità e l'intensione degli effetti?"*

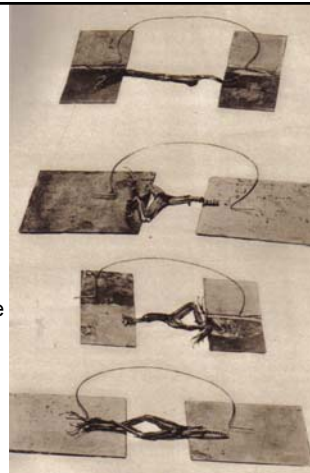
Nella stessa sede, aggiunge una osservazione d'interesse: le rane possono essere al più degli elettroscopi molto sensibili

Nuove sperimentazioni: gli effetti di contrazione delle rane sono molto più evidenti quando l'arco scaricatore è bimetallico.

Il 14 maggio, nella sua *Memoria seconda sull'elettricità animale* stabilisce che la fisiologia dei muscoli non ha nulla a che vedere con le loro contrazioni: il fenomeno avviene come reazione secondaria dell'eccitazione dei nervi.

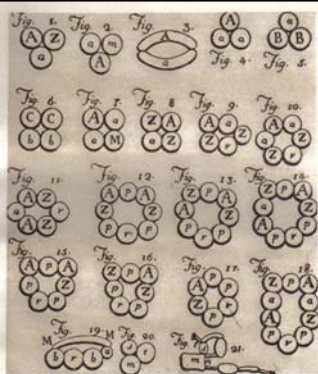
Racconta poi che, sistemata in mezzo alla lingua una moneta d'oro o d'argento, ha provato a toccare con la punta della lingua le lamine metalliche di cui dispone e, racconta, di aver percepito un sapore acidulo quando ha fatto arco tra le due parti metalliche con un conduttore: si sente lo stesso sapore che si percepisce quando si avvicina la lingua *"al tenue fiocco e venticello di un conduttore elettrizzato artificialmente a tale distanza che non iscocchino scintille"*.

Invertendo poi le parti metalliche il sapore da acidulo diventa alcalino.



A giugno ritorna ancora sull'argomento per sbarazzarsi dell'elettricità animale e per assegnare i fenomeni elettrici ai metalli:

"Son dunque i metalli non solo Conduttori perfetti, ma motori dell'elettricità; non solo prestano la via facilissima al passaggio del fluido elettrico, che trovandosi già sbilanciato tende a portarsi dal luogo in cui sovrabbonda a quello che rispettivamente ne scarseggia; ma van producendo essi stessi e provocando un tal quale sbilancio con estrarre di codesto fluido ed introdurne, dove pur trovasi in giusta dose ripartito, non altrimenti che avvieni con lo stropicciamento degli idioelettrici ... Ella è questa una nuova virtù de' metalli, da nessuno ancora sospettata, che le mie sperienze mi hanno condotto ad iscoprire."



Lo 'sbilanciamento' è quella che noi chiamiamo "differenza di potenziale"

Il fine adesso diventa quello di costruirsi una sorta di graduatoria di coppie di metalli che desse migliori risultati.

1794: risposta di Galvani; dissezionata una rana egli la piega in modo che i nervi crurali tocchino direttamente i muscoli delle cosce; anche in questo caso vi erano le contrazioni dei muscoli.

Volta amplia la sua teoria del contatto e dello sbilanciamento: non solo i conduttori metallici (*di prima classe*), ma anche quelli non metallici (*di seconda classe*), presentano lo sbilanciamento.

Come moltiplicare il fenomeno? Volta inizia una lunga serie di esperienze con le catene di conduttori di prima classe, di seconda classe e di prima e seconda classe.

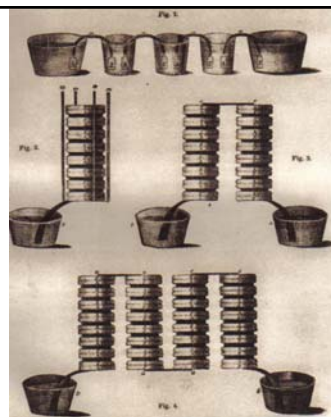
1796-1797: una *catena aperta* (quando la catena è costituita da differenti metalli ed ha agli estremi due metalli differenti) di conduttori di prima classe si ha uno sbilanciamento pari a quello che si avrebbe mettendo direttamente in contatto il primo e l'ultimo metallo.

Conseguenza di ciò è che in una *catena chiusa* (quando agli estremi si ha lo stesso metallo) non si ha alcuno sbilanciamento.

1799: collegando tra loro opportunamente (in un sistema a colonna) delle coppie bimetalliche, ripetute più volte e disposte nello stesso senso, con l'accortezza di disporre tra una coppia bimetallica e la successiva un disco di panno inumidito, lo sbilanciamento agli estremi della colonna è proporzionale al numero di coppie bimetalliche. È nata la **pila**.

20 marzo del 1800: lettera a sir J. Banks, presidente della Royal Society, *On the Electricity excited by the mere contact of conducting substances of different kind*,

"Dopo un lungo silenzio del quale non cercherò di scusarmi, ho il piacere di comunicarvi, Signore, e, per mezzo vostro, di comunicare alla Royal Society alcuni stupendi risultati ai quali sono arrivato, facendo molte esperienze sull'elettricità eccitata dal semplice mutuo contatto di metalli di differenti tipi ed anche tra quello di altri conduttori, anche differenti tra loro, sia liquidi, sia contenenti un qualche umore, al quale essi devono propriamente il loro potere conduttore. Il principale di questi risultati, e che comprende presso a poco tutti gli altri, è la costruzione di un apparecchio che per gli effetti, cioè per la commozione che è capace di far risentire nelle braccia, ecc. rassomiglia alla bottiglia di Leida e meglio ancora alle batterie elettriche debolmente caricate, che agiscono però senza posa, ossia la cui carica dopo ciascuna esplosione, si ristabilisce da se stessa, in una parola, che fruisce di una carica indefettibile, d'un'azione o impulso perpetuo sul fluido elettrico."



Nella stessa memoria vi è anche la dimostrazione, mediante l'elettroforo, che una lamina di rame ed una lamina di zinco che siano a contatto, assumono, al loro essere separate, carica negativa il rame e carica positiva lo zinco.

Si tratta di un apparato che fornisce **corrente in modo continuo** e non più a scintille episodiche.

1801: Volta illustra le sue scoperte all'Accademia di Parigi, davanti a Napoleone, che gli fa offrire una speciale medaglia d'oro ed una pensione; da quel momento diventa il favorito di Napoleone; dopo la sconfitta di quest'ultimo, si adatta senza difficoltà al ritorno degli austriaci.

Volta non lascia una scuola (modo di lavorare troppo personale, assenza della matematica nei suoi scritti e nei suoi insegnamenti).

Muore a Como il 5 marzo del 1827.



Al suo nome sono legati il *volt* (unità di misura del potenziale elettrostatico) e l'aggettivo *fotovoltaico* per indicare un dispositivo in grado di convertire luce in elettricità.

La nascita dell'elettromagnetismo

Le pile voltaiche rivoluzionano la ricerca: usate in batterie con un migliaio di unità, consentono potenze dell'ordine di 10 kW, a confronto dei pochi watt di una macchina elettrostatica.

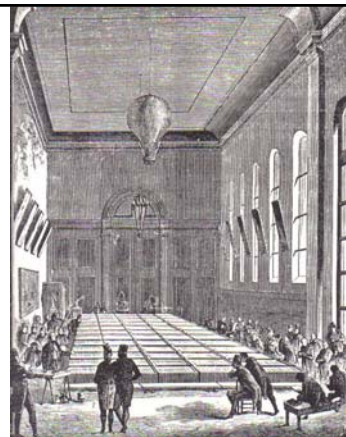
Restavano i problemi legati alla comprensione dei meccanismi che sono alla base del funzionamento della pila.

Cominciano gli studi di elettrolisi. Si realizzano diverse decomposizioni di sostanze: acqua e ammoniaca (W. Henry), sali metallici (Cruikshank). L.V. Brugnatelli ottenne le prime ramature, argentature, zincature galvaniche.

H. Davy (1778-1829) che disponeva di importanti finanziamenti (batteria da 3000 pile) dimostra che l'acqua non si separa direttamente ma attraverso l'intervento dell'acido solforico; scompone la soda e la potassa scoprendo due nuovi metalli.

Seebeck (1822) scopre l'**effetto termoelettrico** (scaldando la saldatura tra due metalli diversi si può ottenere una differenza di tensione elettrica; l'apparato è utilizzabile come un sensibilissimo termometro).

Peltier (1834) scopre l'effetto inverso (una corrente può scaldare o raffreddare una saldatura bimetallica).



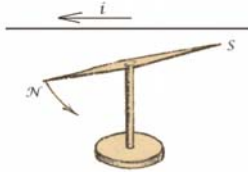
Batteria di pile (600) fatte installare da Napoleone alla Polytechnique.

H.C. Oersted (1777 - 1851)

Figlio di farmacista, studia medicina, fisica e astronomia all'Università di Copenaghen, poi comincia a lavorare nella farmacia.

Dopo la scoperta di Volta, comincia esperimenti con le correnti elettriche. Nel 1801 fa un viaggio in Europa, incontrando molti scienziati.

Al ritorno, nel 1803 riesce ad ottenere l'incarico di professore di Fisica all'Università di Copenaghen.



Per la prima volta, dopo più di 130 anni di rassicuranti azioni 'rettilinee a distanza', evidenzia una azione totalmente differente: un filo conduttore, se disposto parallelamente ad un ago magnetico, vede l'ago ruotare di 90° e disporsi perpendicolarmente al filo, quando in esso viene fatta circolare corrente.

L'azione della corrente si manifesta solo su sostanze magnetiche e non è assorbita da conduttori o da isolanti.

L'azione si svolge su di un piano perpendicolare alla congiungente filo - ago (rotazione dell'ago). Oersted dice che è 'circolare': la rotazione avviene in un senso con l'ago disposto sotto il filo, avviene in senso opposto se si dispone l'ago sopra il filo; le forze magnetiche sono distribuite nello spazio che circonda il filo e sono costituite da cerchi *"poiché è nella natura dei cerchi che movimenti da parti opposte debbano avere opposte direzioni"*.

Il saggio di Oersted si diffonde in Europa. Arago lo legge all'Accademia di Parigi (11 settembre 1820); tra i presenti c'è A.M. Ampère.



Biot e Savart

Dopo la comunicazione di Arago, partono le prime ricerche sperimentali degli scienziati francesi. Fra le successive comunicazioni all'Académie, ci sono quelle di J.B. Biot (1774-1862) e F. Savart (1791-1841), che riescono a fornire una determinazione molto accurata della legge di forza tra corrente ed ago magnetico.

Inoltre, come ricorda Biot:

"... Egli (Laplace) ha dedotto matematicamente dalle nostre osservazioni la legge della forza esercitata singolarmente da ogni tratto di filo su ogni molecola magnetica ad esso esposta. Questa forza è diretta, come l'azione totale, perpendicolarmente al piano formato dall'elemento longitudinale di filo e dalla più breve distanza tra questo elemento e la molecola magnetica sollecitata. La sua intensità, come nelle altre azioni magnetiche è inversamente proporzionale al quadrato di questa stessa distanza."

A.M. Ampère (1775 - 1836)

Definito da Maxwell il 'Newton dell'elettricità'; come Newton, infatti, è nevrotico. Non frequenta una regolare scuola pubblica; intelligenza non comune, grande abilità aritmetica, prodigiosa memoria.

Ancora giovane legge i lavori di Eulero e Bernoulli, dopo aver appreso in poche settimane il latino. Perde il padre, innocente condannato a morte dalla Rivoluzione e rimane profondamente prostrato. Si riprende grazie alla passione per la scienza e alla profonda fede.



Per tutta la vita rimane un personaggio strano, un professore distratto e vittima di profonde crisi depressive.

Una settimana (!) dopo l'annuncio di Arago all'Accademia, egli scrive una nota in cui annuncia la scoperta delle azioni ponderomotrici tra fili percorsi da correnti elettriche. In particolare studia **due conduttori rettilinei disposti parallelamente** ed in grado di muoversi parallelamente l'uno rispetto all'altro, trovando **attrazione o repulsione a seconda del verso delle correnti nei due fili**.

Per spiegare l'esperimento dell'ago magnetico di Oersted, egli monta l'esperimento in modo da avere un filo rettilineo fisso ed un altro in grado di ruotare su di un piano parallelo al primo:

"... Se il conduttore mobile, invece di essere costretto a muoversi parallelamente a quello fisso, è libero soltanto di girare su di un piano parallelo a questo conduttore fisso, intorno ad una perpendicolare comune passante per i loro centri, è chiaro che, secondo la legge che abbiamo appena ammesso per le attrazioni e repulsioni delle correnti elettriche, le due metà di ogni conduttore attireranno e respingeranno quelle dell'altro, secondo che le correnti siano concordi o discordi; per conseguenza il conduttore mobile girerà fino a quando esso arriva in una situazione in cui si trovi parallelo a quello fisso, e in cui le correnti siano dirette nello stesso senso: da cui segue che nell'azione mutua di due correnti elettriche l'azione direttrice e l'azione attrattiva o repulsiva dipendono da uno stesso principio e non sono che effetti differenti di una sola e medesima azione."

In definitiva, secondo Ampère, **due correnti non parallele tendono a disporsi parallelamente**.

Formula poi l'ipotesi di **identità tra correnti e magneti**:

"Esaminerò... l'azione mutua tra una corrente elettrica ed il globo terrestre o un magnete e l'azione mutua di due magneti l'uno sull'altro e mostrerò che esse rientrano l'una e l'altra nella legge dell'azione mutua di due correnti elettriche che ho appena annunciato, concependo sulla superficie e all'interno di un magnete tante correnti elettriche, in piani perpendicolari all'asse di questo magnete, quante si possono concepire linee formanti, senza intersecarsi mutuamente, delle curve chiuse; in modo che non mi sembra molto possibile, dopo il semplice raffronto dei fatti dubitare che non vi siano realmente queste correnti intorno all'asse dei magneti, o piuttosto che la magnetizzazione non consiste che nella operazione per la quale si fornisce alle particelle d'acciaio la proprietà di produrre, nel senso delle correnti di cui abbiamo appena parlato, la stessa azione elettromotrice che si trova nella pila voltaica..."

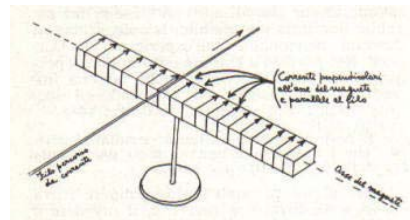
Ampère riuscirà a spiegare in termini newtoniani l'esperimento di Oersted.

Nel portare a compimento questo «programma» Ampère arriva anche ad una importante conclusione che trascende gli scopi per cui aveva iniziato a lavorare:

"È così che si arriva a questo risultato inatteso, che i fenomeni magnetici sono unicamente prodotti dalla elettricità...."

Ipotesi di Ampère: **il magnete è pensato come un insieme di correnti elettriche nei piani perpendicolari alla linea che unisce i poli**.

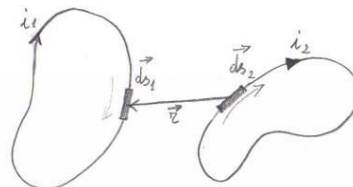
In effetti, contrariamente a due fili percorsi da corrente che tendono a sistemarsi parallelamente, un ago magnetico tende a disporsi perpendicolarmente ad un filo percorso da corrente: sono le correnti che circolano perpendicolarmente al filo e nel far questo portano l'asse del magnete ad essere perpendicolare al filo stesso.



La formula di Ampère è un capolavoro di "imbroglio fisico-matematico":

$$\vec{f}_{1,2} = -\frac{\mu_0}{4\pi} i_1 i_2 \oint \oint \frac{(\vec{ds}_1 \times \vec{r}) \times \vec{ds}_2}{r^3}$$

1 2



Ampère diventa rapidamente famoso.

Prima degli studi sull'elettromagnetismo si era occupato di matematica pura (fino al 1808), di chimica (1808-1815), talvolta in collaborazione con Gay-Lussac.

Ispettore delle università francesi dal 1808 e membro dell'Accademia di Parigi dal 1814.

Professore di matematica alla *Polytechnique* (1809-1819), di filosofia all'Università di Parigi (dal 1819) e di astronomia nel 1820; poi professore di fisica al Collège de France dal 1824 fino alla morte.

Famoso per la miopia, la goffaggine e la distrazione (non riconosce all'Istituto il collega Napoleone Bonaparte e, qualche giorno dopo, dimentica di essere stato invitato da quest'ultimo a pranzo).

Muore nel 1836.

Ha dato il suo nome all'unità di misura della corrente elettrica.



M. Faraday (1791 – 1867)

Nasce, terzo di quattro figli, nel 1791 a Newington Butts, vicino Londra, da una famiglia di artigiani.

Dai 5 ai 13 anni istruzione in una scuola primaria, poi lavoro presso un libraio e giornalista con compiti da garzone; tra gli avventori della libreria c'è gente colta, tra cui l'esule parigino, il pittore e ritrattista Masquerier. Faraday arrotonda il suo misero salario pulendo la stanza in cui abita Masquerier e lucidandogli le scarpe. Masquerier inizia a voler bene al ragazzo, gli insegna alcune tecniche ritrattistiche e prospettiche.



Faraday **apprende l'arte della rilegatura, ma legge anche i libri** che gli passano sotto mano (la definizione di 'elettricità' dell'Enciclopedia Britannica; le *Lezioni di chimica* di Marcat).

Sopraggiunge l'invalidità del padre, la madre subaffitta camere per tirare avanti. La famiglia sostiene la povertà grazie alla fede; apparteneva alla parte eretica della chiesa presbiteriana che andava sotto il nome di '**sandemanista**' (riti apostolici come quello della cena, comunità dei beni, direzione affidata agli anziani, rifiuto di fare proseliti, matrimoni tra gli aderenti a questa chiesa, risparmio di denaro considerato peccato, separazione tra Chiesa e Stato, concezione di Dio come di un essere attivo operante sul mondo, con mezzi naturali sarebbe stato possibile dimostrare la sua esistenza,...).

Un cliente della libreria, membro della *Royal Institution*, procura a Faraday l'invito per assistere all'ultima serie di conferenze di H. Davy, il famoso chimico; Faraday assiste a tutte le conferenze e redige un resoconto esteso, particolareggiato e corredato di svariati bei disegni.

Fa un tentativo per essere assunto alla Royal Institution, scrive al suo Presidente, Sir J. Banks che, naturalmente, non risponde. Inizia con i suoi poveri mezzi a fare dei **semplici esperimenti di chimica**.



Si impiega come rilegatore a giornata presso un emigrato francese (1812). Intanto Davy diventa Presidente della Royal Institution. Faraday fa giungere a Davy il resoconto che aveva fatto delle sue lezioni, postulando un impiego alla Royal Institution. Davy, che aveva bisogno di un amanuense a causa di un incidente all'occhio, lo assume dapprima temporaneamente, poi **a titolo definitivo con un salario di 25 scellini la settimana, oltre all'uso di due stanze nei piani alti della Royal Institution**. Faraday ha 21 anni.

Nel 1813 Davy, diventato "Sir" per meriti scientifici, si ritira dalla Royal Institution e decide di fare con la moglie un viaggio nel continente europeo e nel vicino Oriente. Faraday li accompagna con mansioni di assistente di laboratorio ed amanuense. Durante il viaggio di un anno e mezzo, Faraday conosce Ampère, Volta, Arago, Gay-Lussac. Gira per la Francia, la Svizzera, la Germania, il Belgio, l'Italia. Faraday impara molto ma è deluso perché Lady Davy lo tratta come l'ultimo dei servi.

Nel 1815 Faraday riprende il posto come assistente di laboratorio alla Royal Institution. Uno dei primi lavori di importanza di Faraday è l'aiuto fornito a Davy nella realizzazione della lampada di sicurezza per minatori (quella retina metallica che si poneva davanti alle fiamme libere per ottenere luce e per evitare la fuoriuscita della stessa fiamma che avrebbe fatto esplodere il micidiale grisou).

Nel 1816 pronuncia la sua prima conferenza presso la *City Philosophical Society* e, nello stesso anno, scrive il suo **primo lavoro scientifico, un'analisi di un campione di calce viva che Davy aveva ricevuto dalla Toscana**.

Nel 1820, a 29 anni, sposa una giovane di 21 anni del suo stesso credo religioso. Intanto continua i suoi lavori di chimica: nel 1818 aveva pubblicato alcune interessanti osservazioni sul **passaggio di gas attraverso dei tubi**. Sempre nel 1818 aveva iniziato una serie di **ricerche volte alla produzione di acciai più resistenti ed inossidabili**. Nel 1820 **scopre due cloruri di carbonio**.

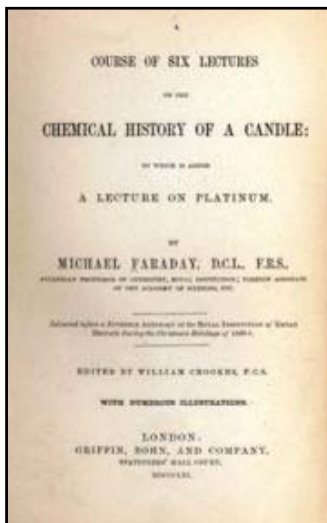
1821, anno di svolta: il suo amico Richard Phillips, immediatamente dopo la famosa esperienza di Oersted, gli chiede di scrivere una rassegna per la rivista che dirigeva, gli *Annals of Philosophy*. Faraday va molto oltre il lavoro commissionato, dando inizio ad una serie di esperienze che lo avrebbero reso famoso. In particolare, scopre le **'rotazioni elettromagnetiche'**, scoperta che lo rende subito noto a tutto il mondo scientifico.

1823: Faraday viene proposto come **socio della Royal Society**; forse per gelosia, Davy si oppone energicamente; nel 1824 Faraday viene comunque **eletto membro**; nell'urna viene trovato un solo voto contrario; da quel momento i rapporti con Davy non sono più cordiali come nel passato.

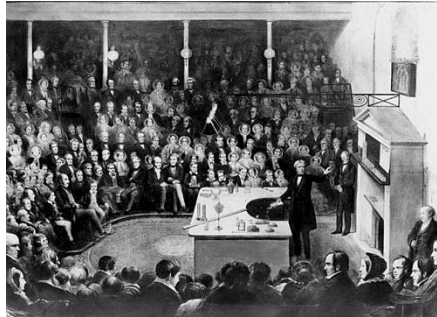
In quegli anni **riesce a liquefare parecchi gas**, usando un robusto tubo di vetro piegato come una V capovolta: ad un estremo mette la sostanza che genera il gas, l'altro estremo viene immerso in una miscela refrigerante. Riesce a liquefare cloro, anidride solforosa, idrogeno solforato, anidride carbonica, ammoniacale, acido cloridrico ed altri. Fallisce con ossigeno, idrogeno, azoto, anche a pressione elevatissime (si capirà in seguito che esiste una temperatura critica al di sotto della quale i gas non condensano).



Nel 1825, nell'ambito delle sue ricerche di chimica, **scopre il benzene**.



Nel 1825, su proposta di Davy (che in qualche modo vuole riallacciare i rapporti), viene nominato **Direttore dei laboratori** della Royal Institution. Da quel momento inizia una importante opera di divulgazione, con **'I discorsi serali del venerdì'**, che prosegue ancora oggi, e con la **'Serie di conferenze di Natale, dedicate ad un pubblico giovane'** e continuando le conferenze mattutine, iniziate da Davy. Scritti di Faraday sull'arte del conferenziere.



Si impegna a riordinare le finanze dell'*Institution*; ma le cose non migliorarono. Riceve lo stesso compenso per molti anni (cento sterline l'anno, vitto, alloggio, riscaldamento ed illuminazione). Ma per Faraday questo non è importante (rifiuta nel 1827 la cattedra di chimica presso l'Università di Londra da poco fondata). Con le consulenze esterne arriva a guadagnare 1000 sterline l'anno.

A partire dal 1831 riduce drasticamente le collaborazioni per dedicarsi completamente alla ricerca, facendo la sua scoperta più importante, la trasformazione del magnetismo in elettricità o **induzione elettromagnetica**.

Faraday osserva che *"la corrente non è un fenomeno statico ma dinamico"*; un magnete è invece un qualcosa di statico; non basta quindi porre un magnete vicino ad un conduttore perché in quest'ultimo si origini corrente; occorre invece **muovere il magnete nelle vicinanze del conduttore**.

Alla fine dello stesso articolo Faraday descrive una prima dinamo rudimentale.



Nel 1832 inizia una nuova serie di importanti ricerche per mostrare l'identità dei diversi tipi di elettricità: l'elettricità voltaica è della stessa natura di quella fornita da una macchina elettrostatica e dall'induzione elettromagnetica, o da qualunque altro fenomeno noto. Alla fine di questo lavoro si trovano le prime leggi che Faraday per l'elettrolisi.

Nel 1834, con l'aiuto di suoi amici e particolarmente di Whewell suggerisce la terminologia che si usa tuttora: serviva un termine che sostituisse 'polo' (che ricordava troppo l'azione a distanza) ed ecco che nasce **'elettrodo'** (che dà l'idea di un cammino per la corrente); poi **elettrolito, elettrolisi, catodo, anodo, catione, anione e ione**.

Nel 1833 era stato nominato professore di chimica presso la Royal Institution e ciò gli duplica la rendita. Nel 1835, l'allora primo ministro, Lord Melbourne, tenta di assegnargli una pensione di 300 sterline annue, ma usa parole mal scelte che offendono Faraday che sdegnosamente rifiuta.

La stanchezza e l'esaurimento iniziano a farsi strada. Riduzione delle attività di perito del tribunale, eliminazione degli inviti a mangiare fuori di casa, delle consulte esterne, ecc. Nel 1839 si ammala (avvelenamento da mercurio?), nel 1840 smette di dare conferenze per i giovani, nel 1841 sospende ogni attività per la Royal Institution. Viaggio in Svizzera dove giornalmente fa lunghissime passeggiate.



Nel 1845 inizia una serie di ricerche nelle quali **mette in relazione luce, elettricità e magnetismo**.

Utilizzando degli speciali vetri pesanti al piombo da lui stesso realizzati, disposti fra le espansioni polari di un magnete, osserva che quando della luce era fatta passare attraverso questi vetri, la sua polarizzazione veniva modificata (fenomeno analogo con due placche metalliche caricate elettrostaticamente al posto del magnete).



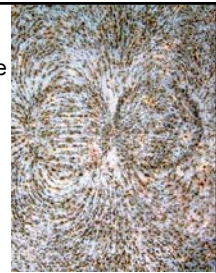
Sempre nel 1845 scopre e studia i fenomeni del **paramagnetismo** e del **diamagnetismo**.

Nel 1846 Faraday osa una nuova e più spinta speculazione teorica, *Pensieri sulla vibrazione dei raggi*. Curiosa premessa: qualche mese prima alla Royal Institution si doveva tenere una conferenza di Wheatstone, ma questi, all'ultimo momento, non ebbe il coraggio di affrontare il pubblico e se ne andò. Faraday dovette arrangiare al momento un qualcosa e la sua conferenza risultò breve. Per occupare il tempo restante Faraday iniziò a parlare delle sue idee sulla materia, la luce, la gravitazione, l'elettricità, il magnetismo. La notizia si diffuse e Faraday fu costretto a scrivere quanto aveva oralmente sostenuto.

La materia è costituita da centri di forza circondati da atmosfere di forza che estendono la loro **azione fino a distanza infinita**, l'azione è **a contatto** e si serve per propagarsi delle **linee di forza**. La propagazione dell'azione avviene a contatto con una **velocità enorme (quella della luce)**, ma non infinita. Le azioni agiscono su linee curve.

L'universo è un tutto pieno in continua azione ed alla base di esso non vi è nessuna necessità di uno o più eteri.

Maxwell, 18 anni dopo in un articolo, ammetterà che le idee di Faraday sull'elettromagnetismo sono in sostanza le stesse che egli stava sviluppando.



Nel 1852 scrive *Sul carattere fisico delle linee di forza*, in cui toglie il carattere ipotetico alle linee di forza per **assegnar loro una realtà fisica**.

Nel 1857 gli viene offerta la Presidenza della Royal Society, che rifiuta.



Nel 1858 il principe consorte dispone che gli venga assegnata come alloggio una bella residenza nei pressi di Hampton Court.

Nel 1860, l'ultima conferenza per i giovani; nel 1861 rinuncia alla sua cattedra presso la Royal Institution.

Nel 1862, sofisticati esperimenti per cercare di evidenziare la **influenza di un campo magnetico sulla luce emessa da una sorgente in esso collocata** (ci riuscirà Zeeman nel 1897).

Muore nel 1867, all'età di 76 anni.

Considerazioni sul contributo scientifico di Faraday

Le 'rotazioni elettromagnetiche' (1821)

Faraday non era convinto della spiegazione teorica che Ampère dava dell'esperienza di Oersted (azioni tra filo conduttore e magnete rettilinee, istantanee ed a distanza).

Effetti di simmetria: se l'ago era disposto sotto il filo la rotazione dell'ago avveniva in un senso; sopra il filo la rotazione si realizzava in verso opposto.

Esperienza per dare evidenza alle azioni circolari: realizza simultaneamente il moto circolare di un magnete intorno ad una corrente e di un filo percorso da corrente intorno ad un magnete.

Apparato costituito da due coppe di vetro con mercurio; quando passa la corrente il magnete della coppa di sinistra ed il conduttore della coppa di destra cominciano a ruotare vorticosamente intorno, rispettivamente, al conduttore fisso ed al magnete fisso.

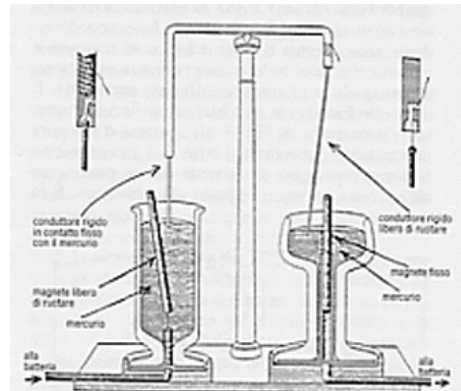


Figura 2. La rotazione elettromagnetica di Faraday. Al passaggio della corrente, fornita dalla batteria, il magnete libero ruota intorno al conduttore fisso (apparato di sinistra) ed il conduttore libero ruota intorno al magnete fisso.

L'induzione elettromagnetica (1831)

Se una corrente produce un effetto magnetico, anche un magnete deve produrre una corrente.

1831: un magnete mosso in prossimità di un circuito non alimentato provoca in esso il passaggio di corrente.

Il fenomeno è evidente solo durante il moto relativo di magnete e circuito elettrico: solo quando c'è una variazione di una qualche grandezza nella fase transitoria.

Esperienza: all'apertura o chiusura del circuito B, mediante il tasto T, il galvanometro G segna passaggio di corrente (se in un dato verso all'apertura, in verso opposto alla chiusura).

È la prima evidenza chiara di un nesso tra corrente elettrica, magnetismo e movimento.

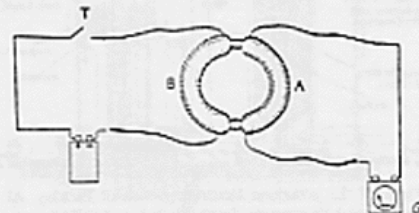


Figura 3. L'esperienza di Faraday sull'induzione elettromagnetica.



Identità dei vari tipi di elettricità (1832)

1832: serie di ricerche sperimentali con le quali si propone di dimostrare l'identità di tutti i tipi di elettricità.

Studi di **elettrolisi**, fenomeno fino ad allora spiegato brillantemente con la teoria dell'azione a distanza, essendo i poli della cella voltaica i centri delle forze attrattive e repulsive che agiscono su 'pezzi' di molecole.

Egli si sbarazza dapprima dei poli, facendo avvenire la dissociazione elettrolitica con vari apparati sperimentali che si servivano di un solo polo, mostrando nel contempo l'identità dei vari tipi di corrente, quella voltaica, quella elettrostatica.

Formula le **leggi** dell'elettrolisi:

1. la quantità di elementi prodotti da un processo di elettrolisi è direttamente proporzionale alla quantità di corrente che ha attraversato la cella elettrolitica;
2. a parità di quantità di corrente, la quantità di diversi elementi ottenuti è proporzionale ai pesi equivalenti (peso equivalente = peso molecolare/valenza).

Da queste leggi si può dedurre la **natura discontinua della carica elettrica**, ma Faraday non compie questo passo concettuale.

La gabbia di Faraday (1836)

Faraday osserva nel 1836 che **in un conduttore cavo elettricamente carico le cariche si concentrano sulla superficie esterna e non hanno alcuna influenza su ciò che si trova all'interno.**

Per dimostrarlo costruisce una stanza rivestita da un foglio metallico e applica dall'esterno l'alta tensione prodotta da un generatore elettrostatico.

Utilizzando un elettroscopio mostra che all'interno della stanza non è presente carica elettrica.

(Il fenomeno era stato osservato già da Franklin.)

Azione a contatto in elettrostatica (dal 1837)

Serie di ricerche finalizzate ad evidenziare l'azione a contatto anche in elettrostatica ('l'induzione di particelle contigue').

Idea: se la trasmissione della forza elettrostatica dipende dalle particelle del mezzo attraverso cui passa la forza, allora queste particelle devono esse stesse avere un qualche effetto sulla forza medesima.

Esperimento: introduzione di dielettrici differenti (dapprima gas, quindi liquidi e solidi) nella parte compresa tra le due sfere.

Scoperta: quando nello spazio tra le due sfere (i due elettrodi) si disponeva un dielettrico e la differenza di potenziale si manteneva costante, **la capacità del condensatore cambiava secondo il dielettrico**.

Faraday definisce la **costante dielettrica relativa**, che misura il grado di polarizzazione delle molecole del mezzo.

Ciò rafforza la sua convinzione che i **fenomeni elettrostatici risiedono nel mezzo** interposto piuttosto che nei supposti poli.

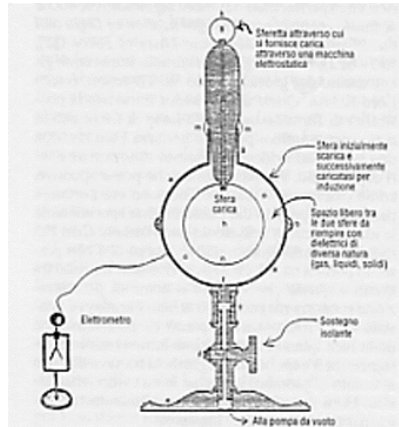


Figura 5. L'apparato con cui Faraday studiava gli effetti del dielettrico sulla carica elettrostatica di una sfera ([2], tavola IX, paragrafi 1194 e seg.).

Altre prove a sostegno dell'azione a contatto:

1) nell'elettrolisi gli elettrodi si ricoprono interamente delle sostanze decomposte; questo fatto non può essere in alcun modo spiegato con l'azione a distanza; in quest'ultimo caso, infatti si dovrebbero ricoprire solo quelle parti degli elettrodi che risultano affacciate tra loro;

2) in elettrostatica: quando avviciniamo una bacchetta ad una sfera per caricarla mediante induzione, se poniamo un elettrometro nella zona d'ombra della sfera (cioè: dietro la sfera, dalla parte opposta della bacchetta), questo segna la presenza di carica indotta anche in quella parte di spazio che, secondo la teoria dell'azione a distanza, non sarebbe raggiungibile.

Conclusione: le azioni si propagano per linee curve originate dallo 'stato elettrotonico' dello spazio in tensione che sottopone a sforzo le molecole interposte; si tratta quindi di un effetto di volume sulle molecole che ne provoca la disposizione su linee curve lungo, le linee di forza.

Concezione della materia e di spazio:

"Senza dubbio i centri di forza variano nella loro distanza reciproca, ma quella che è la vera e propria materia di un atomo tocca la materia dei suoi vicini. Quindi la materia sarà continua ovunque, e quando consideriamo una massa di essa non dobbiamo pensare alcuna distinzione tra i suoi atomi e gli spazi interposti. Le forze intorno ai centri danno loro le proprietà di atomi di materia; e sempre queste forze, quando molti centri sono raggruppati in una massa dalle loro forze attrattive, danno ad ogni parte di quella massa la proprietà di materia".

"Questa concezione della costituzione della materia sembrerebbe condurre necessariamente alla conclusione che la materia riempie tutto lo spazio o, almeno, tutto lo spazio a cui si estende la gravitazione (inclusando il Sole ed il sistema solare); poiché la gravitazione è una proprietà della materia dipendente da una certa forza, ed è questa forza che costituisce la materia. In questa concezione la materia non è solo mutuamente compenetrabile, ma ciascun atomo si estende, per così dire, attraverso l'intero sistema solare, pur conservando il proprio centro di forza".

Polarizzazione rotatoria magnetica (1845)

Effetto Faraday: rotazione del piano di polarizzazione della luce quando quest'ultima attraversa certe sostanze (nell'esperienza originale: vetro al borato di piombo) immerse in un campo magnetico.

Fenomeno che connette magnetismo con fenomeni luminosi.

Convinzione di Faraday sulla costituzione di spazio e materia in base a linee di forza, non come modello, ma con una precisa realtà fisica.

1846: *Thoughts on Ray-vibrations*, in cui scrive

"Il considerare la materia mi indusse gradualmente a guardare le linee di forza come probabile sede delle vibrazioni dei fenomeni radianti. Un'altra considerazione, che porta ugualmente all'ipotetica idea di coesistenza di materia e radiazione, nasce dal confronto delle velocità con cui l'azione radiante e certe forze della materia vengono trasmesse ... Si è mostrato mediante gli esperimenti di Wheatstone, che la velocità dell'elettricità è grande come quella della luce, se non più grande".

Come si propagherebbe la radiazione?

"La mia concezione ... considera la radiazione come una importante specie di vibrazione nelle linee di forza che uniscono tra loro particelle ed anche masse di materia. La mia concezione fa a meno dell'etere ma non delle vibrazioni" che da vari risultati sperimentali devono essere vibrazioni laterali e cioè trasversali.



Magnetismo nella materia (1851-1852)

Scopre e teorizza le sostanze ferromagnetiche, paramagnetiche e diamagnetiche.

Lavori sperimentali del 1851 e 1852: con un semplice circuito esploratore (filo conduttore connesso con un galvanometro mosso vicino ad un magnete), riesce a rilevarne l'esistenza.

Si tratta di linee curve, continue e chiuse, senza poli né centri di azione; esse esistono sia nello spazio circostante il magnete che nel magnete stesso.

Scrive

"dentro il magnete vi sono linee di forza esattamente uguali in forza e quantità a quelle fuori di esso, ma con direzione opposta ... Ed in effetti ciascuna linea di forza è una curva chiusa, che in qualche parte del proprio percorso passa attraverso il magnete cui essa appartiene"

"io propendo a considerare il mezzo esterno al magnete come altrettanto essenziale per il magnete: è esso infatti che collega l'una all'altra le polarità esterne per mezzo di linee di forza curve e fa sì che esse non possano essere altro che curve".

Egli paragona un magnete ad una cella voltaica immersa in un qualunque elettrolita; tolto l'elettrolita la cella voltaica diventa un contenitore inerte. Lo stesso vale per un magnete con lo spazio esterno.

Faraday ribadisce la sua convinzione di **forza che non può esistere senza un mezzo** e proprio in questo deve essere ricercata (e non nel corpo da cui suppostamente è originata). Questo mezzo è costituito da linee di forza ed ha solo la capacità di trasmetterle: quindi niente etere, che in questa visione diventa puramente accessorio, ma spazio identificato con materia.

L'attività di Faraday mette in evidenza **l'insufficienza della fisica newtoniana** nell'interpretazione dei fenomeni elettromagnetici.

Note conclusive

Faraday è stato uno dei più grandi fisici di tutti i tempi.

La sua conoscenza della matematica era molto limitata, ma egli compensava questa carenza con

“un’immaginazione potente accompagnata da una straordinaria ingegnosità nello sperimentare; una passione indomabile per il lavoro sorretta da un’adeguata resistenza fisica; uno spirito critico che gli permetteva di distinguere rapidamente un effetto spurio da una vera scoperta; e (...) uno spirito di osservazione cui nulla sfuggiva.”

Segré, op. cit.



J. Clerck Maxwell (1831-1879)

È stato il più grande fisico teorico dell'Ottocento.

Nasce a Edimburgo nel 1831 (anno della scoperta dell'induzione magnetica), da una importante famiglia scozzese; infanzia a Glenair, a sud di Glasgow, nella casa di campagna costruita dal padre, tipo eccentrico che si divertiva a costruire oggetti utili, compresi gli abiti del figlio. Mostra sin da piccolo molta curiosità.

Perde la madre (cancro gastrico) quando ha 8 anni; si lega molto al padre. Prima educazione da un precettore inadatto e severo; poi, a 10 anni, l'Accademia di Edimburgo.

Difficoltà iniziali con i compagni (forte accento, strani abiti); lo chiamano *dafty* (sciocco e stravagante). Dopo poco diventa uno studente brillante, in tutte le materie, compreso l'inglese, in cui inizia a comporre versi.



A 15 anni presenta alla Royal Society di Edimburgo un lavoretto di geometria che gli viene pubblicato.

Nel 1847 entra all'Università di Edimburgo dove studia matematica, filosofia e fisica.

Gli viene concesso l'uso del laboratorio e comincia i primi esperimenti.

1850: si trasferisce a Cambridge, al Peterhouse, dove vivevano altri studenti scozzesi (W. Thomson, poi Lord Kelvin, e P.G. Tait). Il giovane Maxwell possiede vaste conoscenze, ma manca di organizzazione e ordine nello studio.

Nel *tripos* (gara-esame di matematica) del 1856 è secondo *wrangler*, nel successivo è primo ex aequo (uno dei problemi d'esame è la dimostrazione del teorema di Stokes; Stokes era uno dei docenti).

Dopo la fatica dei *tripos*, inizia ricerche proprie su **teoria dei colori** ed **elettricità**.

L'analisi della sensazione del colore era stata iniziata da Newton e proseguita da Young (tutti i colori possono essere ottenuti dalla combinazione di tre di essi).

Maxwell fa indagini usando una trottola che consente di misurare quantitativamente i colori mescolati; fa esperimenti su individui diversi, studia la sensibilità della retina.

1861: proietta alla Royal Institution la prima immagine a colori ottenuta con tecniche fotografiche (presente Faraday); era stata ottenuta fotografando un *tartan* scozzese attraverso filtri rossi, verdi e blu (lastre al collodio) e poi proiettando le immagini attraverso gli stessi filtri e sovrapponendole.

Il mistero di come l'esperimento sia potuto riuscire usando il collodio, insensibile al rosso, è stato risolto circa 100 anni dopo (al laboratorio della Kodak), mostrando che è la luce ultravioletta a passare attraverso il filtro rosso.



1855: per il premio Adams era stato proposto lo studio degli anelli di Saturno; Maxwell aveva fatto vedere con una raffinata analisi matematica che la stabilità degli anelli era garantita dal fatto che fossero formati da materiale ridotto in frammenti.

Nello stesso anno comincia gli studi di elettricità, avendo come guide spirituali Faraday e W. Thomson; quest'ultimo, scozzese, di alcuni anni più grande, possedeva grande destrezza matematica ed aveva trovato ingegnose soluzioni di molti problemi isolati, senza raggiungere la profondità e la sintesi di Maxwell.

L'opera di Maxwell sull'elettromagnetismo è raccolta in tre memorie e un trattato:

- *On Faraday's Lines of Force* (1856)
- *On Physical Lines of Force* (1861-1862)
- *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field* (1864)
- *Treatise on Electricity and Magnetism* (1873)

1856: professore di fisica presso il Marischal College di Aberdeen (Scozia); morte del padre nello stesso anno; matrimonio con la figlia del principale del suo college. Come i Faraday, i Maxwell non avranno figli.

Il Maxwell docente era di gran classe per gli allievi che potevano apprezzarlo, ma non particolarmente chiaro per gli altri, che erano la maggioranza ad Aberdeen.

1860: il suo College si fonde con il King's College, viene mantenuto un docente per ogni materia e Maxwell viene licenziato (!). Assunzione al King's College di Londra dove rimane fino al 1865.

Si ritira a Glenair e scrive il suo celebre Trattato. Nel frattempo partecipa come esaminatore ai *tripos* di Cambridge.

A Londra aveva insegnato nelle scuole serali per lavoratori e partecipato assiduamente ai lavori di una commissione incaricata di costruire campioni delle unità elettriche; in particolare, si doveva misurare la resistenza di una certa colonna di mercurio che avrebbe poi definito l'*ohm*.

Questo lavoro è importante perché consente a Maxwell di osservare che il rapporto tra l'unità di carica elettrica determinata con metodo elettrostatico (attraverso la legge di Coulomb) e quella determinata metodo elettromagnetico (attraverso la forza tra correnti) è una **grandezza assoluta** con **dimensioni di velocità**, che deve coincidere con la velocità di propagazione della luce.

1870: l'Università di Cambridge riceve una donazione di 6000 sterline dal duca del Devonshire, discendente di H. Cavendish, per la costruzione di un laboratorio di fisica e l'istituzione di una cattedra di fisica sperimentale; dopo il rifiuto di W. Thomson (Glasgow) e di Helmholtz, viene offerta a Maxwell, che accetta.

Il ruolo di Cavendish professor sarà poi di Lord Rayleigh, J.J. Thomson, E. Rutherford, W. Bragg, N.F. Mott.

La prima lezione di Maxwell si tiene il 1871 (scherzo degli inviti).

Maxwell cura la pubblicazione dell'opera di H. Cavendish, fino ad allora praticamente sconosciuta.

1879: malattia addominale come quella materna e morte il 5 novembre (anno della nascita di Einstein).



La teoria elettromagnetica di Maxwell

On Faraday's Lines of Force (1856)

Maxwell ha a disposizione una gran mole di risultati sperimentali, ma ha la necessità di familiarizzare con una matematica molto complessa.

Ricerca di nuovi metodi di lavoro, come quello delle **analogie** introdotto da Thomson, che permette di ottenere idee fisiche senza adottare teorie fisiche.

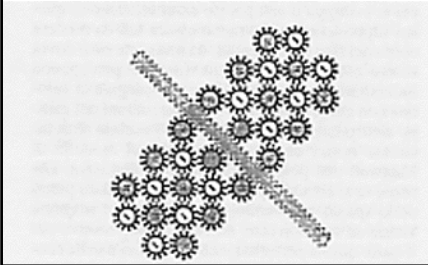
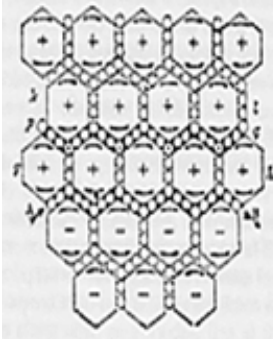
Egli mostra che alle concezioni di Faraday era possibile applicare gli stessi metodi matematici con i quali erano state trattate la teoria dell'elasticità e l'idrodinamica (le equazioni differenziali alle derivate parziali). Una matematica nata per la descrizione di fenomeni punto per punto riesce a descrivere una azione a distanza.

On Physical Lines of Force (1861-1862)

Insieme di analogie e modelli meccanici a sostegno delle idee di Faraday. **Le linee di forza** non sono più una rappresentazione di come le forze del campo sono distribuite, ma **assumono carattere fisico**: linee immerse in un fluido elastico, l'etere, sottoposto ad uno stato di sforzo proprio per il fatto di trovarsi situato tra due polarità.

La linea di forza viene pensata come una corda tesa, su cui si esercitano delle pressioni laterali, perpendicolari e di uguale intensità. **Intorno alle linee di forza si avvitano vortici**.

Quando una corrente elettrica o un magnete si muove in presenza di un conduttore si altera la velocità di rotazione dei vortici, essi cambiano di posizione e di forma originando una forza (la forza elettromotrice di Faraday). Ma vale anche l'inverso: se le ruote inattive (la corrente) cominciano a spostarsi attraverso il sistema, si modificano le forme dei vortici e quindi del campo magnetico.



Da questa osservazione discende che l'usuale corrente di conduzione deve essere aumentata di una quantità che Maxwell chiama **'spostamento generale dell'elettricità'** (il termine $\partial E/\partial t$ nelle equazioni di Maxwell).

Poiché occorre un supporto per la costruzione dei vortici, un **qualche mezzo**, sia esso di materia ordinaria o di un qualche etere con particolari proprietà, **dovrà riempire lo spazio in cui si sviluppa il campo**.

Se si crea una perturbazione in un dato punto dello spazio muovendo, ad esempio, un magnete vicino ad una corrente, questa perturbazione nei vortici e nelle ruote inattive dovrà via via propagarsi attraverso l'etere in tutto lo spazio (teoricamente all'infinito) circondante il sistema magnete - corrente.

L'etere dovrà essere estremamente sottile (non lo percepiamo) e dall'altra, per spiegare la velocità con cui si propagano le perturbazioni del campo elettromagnetico, denso come l'acciaio.

Facendo i conti sulla velocità di propagazione di una perturbazione elettromagnetica nel mezzo elastico etere, considerando la relazione esistente tra la corrente di spostamento e la forza che la produce e deducendo da questa la relazione esistente tra misure statiche e dinamiche dell'elettricità, egli trova che

"la velocità delle ondulazioni trasversali nel nostro mezzo ipotetico ... si accorda in modo tanto esatto con la velocità della luce calcolata a partire dagli esperimenti di Fizeau, che noi non possiamo quasi fare a meno di concludere che la luce consiste nelle ondulazioni trasversali del medesimo mezzo che è causa dei fenomeni elettrici e magnetici".

A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field (1864)

Qui Maxwell abbandona il modello meccanico (non ci sono vortici, né ruote inattive), si serve solo dell'etere.

Questo lavoro contiene tutti i principali risultati precedentemente ottenuti e può essere considerato come la prima formulazione completa, dal punto di vista analitico, della teoria del campo elettromagnetico e della teoria elettromagnetica della luce.

Le proprietà di questo campo sono descritte da **20 equazioni generali**.

Si tratta di una teoria dinamica nel senso che si serve di materia in moto nello spazio per rendere conto dei fenomeni elettrici e magnetici.

Essa riguarda essenzialmente lo spazio circostante i corpi elettrizzati o magnetizzati che dovrà essere riempito di un mezzo, l'etere, in grado di essere posto in moto e di trasmettere quel moto da una parte all'altra con grande ma non infinita velocità.

Egli considera un etere costituito da una enorme quantità di piccolissime cellule che, all'interno di un campo magnetico, ruotano tutte nello stesso verso attorno ad assi paralleli alle linee di forza.

Energia elettrica = energia potenziale meccanica

Energia magnetica = energia cinetica di natura meccanica

La propagazione di onde elettromagnetiche nello spazio è dovuta alla trasformazione continua di una di queste forme di energia nell'altra e viceversa, e, istante per istante, l'energia totale nello spazio è ugualmente divisa tra energia potenziale (elettrica) e cinetica (magnetica).

Treatise on Electricity and Magnetism (1873)

Scritto a partire dal 1865, nella casa di campagna, per ricapitolare e mettere in bell'ordine il complesso dei lavori precedenti. Il lavoro è sistematico ed i contributi di Maxwell si mescolano con quelli di altri autori, risultando addirittura compressi e non esaltati.

Non ci sono modelli meccanici, rimane solo l'**etere** al quale sembra assegnare una realtà fisica. La deduzione di queste equazioni è puramente analitica a partire dalle equazioni fondamentali della meccanica nella forma che ad esse aveva dato Lagrange. L'elettromagnetismo diventa quindi una **meccanica dell'etere**.

L'elaborazione matematica di Maxwell, anche qui, arriva alle 20 equazioni che descrivono il comportamento del campo elettromagnetico. (Il numero di queste equazioni verrà ridotto a 9 da Hertz ed a 5 da Lorentz, 4 provenienti dalla teoria di Maxwell ed una rappresentante la *forza di Lorentz*).

In definitiva, secondo la teoria di Maxwell, una perturbazione elettromagnetica (ad esempio una carica che accelera) si propaga in tutto lo spazio sotto forma di onde elettromagnetiche. L'esistenza di tali onde rimane quindi un'ipotesi nella teoria.

Tali onde si muovono con la velocità della luce e quindi **la luce è un'onda elettromagnetica**.

Tutto l'impianto maxwelliano è basato sull'ipotesi di esistenza di un mezzo, l'etere, in cui avessero sede le perturbazioni; questo etere era inoltre meccanicamente indispensabile. Se si ammette questo mezzo come ipotesi è evidente che esso dovrà diventare oggetto preminente delle future ricerche sperimentali.

Due quindi erano le questioni che Maxwell lasciava ad una verifica sperimentale: l'esistenza di onde elettromagnetiche e l'esistenza di un etere che le sostenga.

Il contributo alla meccanica statistica

Nel 1859 la British Association si riunisce ad Aberdeen e Maxwell, che era nei pressi, viene invitato a tenere una conferenza; presenta *Illustrations of the dynamical theory of gases*.

L'argomento non era nuovo, ma Maxwell presenta un risultato originale.

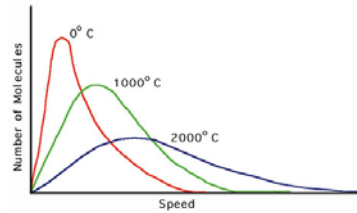
Mediante il metodo delle analogie elabora un modello meccanico del gas in cui le molecole sono pensate come *"un numero indefinito di particelle piccole, dure, sferiche e perfettamente elastiche, agenti le une sulle altre solo durante le collisioni reciproche"*.

Sviluppando il modello, Maxwell si pone il seguente problema:

"Trovare il numero medio di particelle la cui velocità è compresa entro certi limiti, dopo un gran numero di collisioni tra un gran numero di particelle uguali".

Dopo una (discutibile) dimostrazione, Maxwell trova un risultato dal quale può concludere che

"Le velocità sono distribuite tra le particelle secondo la stessa legge per cui gli errori sono distribuiti tra le osservazioni entro la teoria dei minimi quadrati. Le velocità vanno da zero ad infinito, ma il numero di quelle che hanno valori molto alti è relativamente piccolo. In aggiunta a tali velocità, che sono egualmente distribuite in tutte le direzioni, vi può anche essere un moto generale di traslazione dell'intero sistema di particelle che deve essere composto con il moto delle particelle stesse l'una rispetto alle altre."



Nel corso della stessa Memoria, Maxwell precisa il concetto, già introdotto da Clausius, di **cammino libero medio** di una molecola e ne fornisce un metodo di calcolo.

Maxwell deriva anche un'espressione per la viscosità di un gas, $\mu = \frac{1}{3} \rho l \langle v \rangle$, dove ρ è la densità del gas, l il libero cammino medio. Poiché il libero cammino medio va come l'inverso della densità, μ non deve dipendere dalla densità del gas.

Verifica questo fatto con esperienze condotte in casa sua a Londra, con l'aiuto della moglie.

Le sue misure di libero cammino medio gli consentono di fornire valori numerici precisi per le grandezze molecolari al congresso della British Association di Bradford (1873).

Nel 1860 aveva ottenuto il **teorema di equipartizione dell'energia**, secondo il quale l'energia cinetica associata a ciascun grado di libertà di una molecola puntiforme è indipendente dalla massa.

Nel 1866, ritornando allo studio della distribuzione di velocità, scrive un articolo nel quale usa il metodo della "repulsione maxwelliana" (tratta gli urti come repulsione da potenziale $1/r^5$, per semplificare il calcolo, salvo dimostrare l'indipendenza del risultato dalla forma della repulsione.)



Con la moglie ed il cane Toby (1869)

Note conclusive

Maxwell si è reso immortale con l'**elettromagnetismo** e la **meccanica statistica**.

Ma ha fatto importanti scoperte in molti altri campi, come la termodinamica, l'ottica geometrica, la teoria dell'elasticità, la cibernetica, l'ingegneria, la statica, l'ottica fisiologica ed altri.

È stato assiduo collaboratore della rivista Nature, fondata nel 1870; molte voci dell'Enciclopedia Britannica portano il suo nome.

La sua teoria elettromagnetica non si è affermata facilmente presso i fisici dell'epoca: era basata su una matematica difficile e non aveva basi sperimentali. Lo stesso Lord Kelvin si mostrava scettico.

"Tra molto tempo - per esempio tra diecimila anni - non c'è dubbio che la scoperta delle equazioni di Maxwell sarà giudicato l'evento più significativo del XIX secolo." R. Feynman

"Con Maxwell si è conclusa un'epoca e ne è cominciata un'altra."
A. Einstein



H. Hertz (1857 – 1894)

Nasce in una famiglia benestante dell'alta borghesia di Amburgo; il padre ha origine ebraiche, ma la famiglia era stata battezzata.

È un ragazzo prodigio: eccelle negli studi, impara molte lingue, recita Omero in greco e Dante in italiano, ma non è pedante.

Inizia gli studi di ingegneria a Monaco, ma poi passa a fisica (1877) e l'anno dopo si trasferisce a Berlino, dove nel 1880 diventa assistente di Helmholtz.

Effettua gli esperimenti più importanti dal 1886, quando diventa professore a Karlsruhe.



In alcuni lavori teorici aveva cercato delle prove per la teoria di Maxwell.

Per la loro verifica sperimentale era importante ottenere frequenze molto elevate. Ci riesce nell'ottobre del 1886.

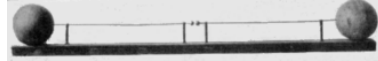
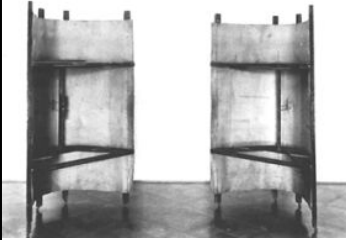
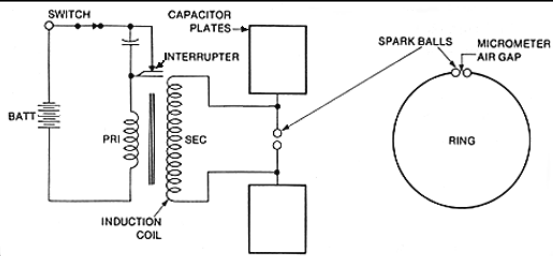


Il circuito oscillante è alimentato da una scintilla; il rivelatore è un pezzo di filo metallico circolare.

Quando si crea una scintilla nel circuito emettitore, si generano oscillazioni di grande frequenza lungo le barre.

Le onde elettromagnetiche emesse si propagano e vengono rivelate a distanza di qualche metro.

Con questo apparato, Hertz dimostra che **le onde si propagano alla stessa velocità della luce**, pur avendo una lunghezza d'onda maggiore (sono onde herziane o radio); inoltre esse **possono essere riflesse e rifratte, esattamente come la luce**.



Questi esperimenti sono la prova conclusiva della teoria di Maxwell. Hertz non si rende conto delle possibili applicazioni. Sarà Marconi a farlo, ispirato dalla lettura dei lavori di Hertz e, forse, anche dalle conversazioni con il prof. A. Righi.

Durante gli esperimenti Hertz aveva osservato che oggetti elettricamente carichi perdevano carica se esposti a luce ultravioletta (**effetto fotoelettrico**).

Hertz si trasferisce a Bonn, come successore di Clausius.

Qui scrive una monografia riassuntiva sull'elettrodinamica che diventa un classico e consente di rendere accessibile a molti il difficile lavoro di Maxwell.

La sua fama si estende per il mondo; riceve medaglie e premi; diventa membro di molte accademie.



Colpito da un cancro delle ossa, muore prematuramente nel 1894, a soli 37 anni, dopo due anni di atroci sofferenze.

Ha dato il nome all'unità di misura della frequenza.

H.A. Lorentz (1853 – 1928)

Fisico olandese, importante figura di transizione tra la fisica classica e quella moderna.

Nasce ad Arnhem, figlio di un orticoltore; allievo eccezionale durante tutto il corso degli studi.

Università a Leida nel 1870 e ammissione *summa cum laude* alla Facoltà di matematica nel 1871 (per errore gli vengono rivolte domande per il titolo di dottorato).



Ritorno ad Arnhem per preparare la tesi e studi da autodidatta. Discussione pubblica della tesi *“Riflessione e rifrazione della luce”* e conseguimento del dottorato nel 1875. In questo lavoro dimostra che **tutta l'ottica può essere fatta discendere da 4 equazioni di Maxwell** (due per il campo elettrico, due per quello magnetico), ammettendo solo l'esistenza di onde trasversali.

Professore a Leida (1878), matrimonio nel 1881 e felice vita coniugale, arricchita da prole numerosa.

Parla e scrive correttamente in francese, inglese e tedesco; le sue lezioni ed i suoi testi didattici sono apprezzati per la chiarezza ed il rigore. Lavora in modo solitario, interagendo con i suoi contemporanei attraverso le pubblicazioni.

Nel 1895 formula le famose **'trasformazioni di Lorentz'**; predice il fenomeno osservato nel 1896 e noto col nome di *effetto Zeeman normale*.

La sua fama si estende; riceve inviti per conferenze in Germania e in Francia.

1902: riceve il **premio Nobel** insieme a Zeeman.

Le sue doti scientifiche e umane ne fanno una figura di riferimento per l'organizzazione di congressi internazionali: **presiede tutti i Congressi Solvay dal 1911 al 1927.**



1912: lascia la cattedra di Leida, essendo diventato segretario della Compagnia Olandese delle Scienze. Insiste invano con Einstein, suo intimo amico, affinché prenda il suo posto. Tiene a Leida un **famoso seminario ogni lunedì.**

Varie visite negli USA, che contribuiscono a portare in quel paese le problematiche della fisica moderna.

1920-1926: dirige la costruzione di una grande diga in Olanda.

Muore nel 1928, avendo assistito negli ultimi anni della vita ai risultati eccezionali della fisica quantistica.

Tratti del contributo scientifico di Lorentz

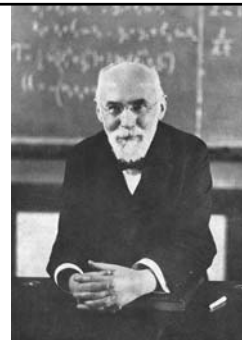
Nella sua tesi di dottorato, *Riflessione e rifrazione della luce* (1875), si pone il problema di ricavare le leggi della riflessione e della rifrazione non dalle teorie elastiche dell'ottica, che si sviluppavano nell'ambito della Meccanica, ma dalla teoria di Maxwell.

Le teorie elastiche, per spiegare quei fenomeni, avevano bisogno di 6 condizioni, che potevano essere soddisfatte ammettendo l'esistenza di vibrazioni longitudinali, oltre che trasversali.

Lorentz dimostra che occorre tener conto solo di **4 condizioni, due per il campo elettrico e due per il campo magnetico** e che queste condizioni possono essere soddisfatte con la sola ammissione di **onde trasversali**. **L'ottica diventa un capitolo dell'elettromagnetismo.**

Per Lorentz l'etere, continuando a rimanere sede dei fenomeni elettromagnetici, inizia a perdere le sue caratteristiche materiali: *"le proprietà dell'etere, ad eccezione che nelle immediate vicinanze delle particelle, sono le stesse del vuoto."*

Mentre per Maxwell il comportamento dielettrico dell'etere e della materia sono gli stessi, per Lorentz il solo dielettrico è l'etere, mentre il comportamento dielettrico della materia dipende dalle interazioni tra i campi nell'etere e la particelle materiali cariche che fanno parte della materia.



Per Lorentz, all'interno di ogni molecola si trova una particella carica dotata di massa.

La luce che interagisce con la materia genera un momento elettrico di dipolo nelle molecole, mettendo in moto le masse delle particelle. Una forza elastica di richiamo tende poi a riportare le particelle cariche nelle loro posizioni di equilibrio. E così il processo continua fin quando la luce interagisce con la materia.

Quindi, le particelle cariche che si trovano sulla materia hanno influito sulla propagazione della luce ma solo mediante un meccanismo che vede la materia oggetto di azioni che si svolgono principalmente nell'etere.

In questo modo **i ruoli delle particelle materiali cariche e dell'etere venivano ad essere separati** con un procedimento del tutto nuovo rispetto alle teorie precedentemente sviluppate.

Lorentz sviluppa la sua **'teoria degli elettroni'** arrivando alla conclusione che se le cariche elettriche sono le sorgenti del campo, la sede di quest'ultimo era l'etere (anzi l'etere sembra essere esso stesso campo).

Il campo così creato agiva a sua volta proprio sulle cariche che lo avevano generato. L'etere, pur rimanendo come indispensabile riferimento, scompare come entità materiale: sono le grandezze elettromagnetiche del campo ad acquistare una realtà fisica.

Come avviene l'interazione tra etere (campo) e materia (cariche elettriche)?

Forza di Lorentz: $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$

Nel 1887 l'esperimento di Michelson-Morley non aveva evidenziato alcun effetto del moto della Terra rispetto all'etere. La brillante teoria di Lorentz non spiegava questo risultato.

Il 16 giugno del 1892, in un articolo su *Nature* il fisico britannico O.J. Lodge (1851-1940) sostiene che l'esperimento di Michelson poteva essere spiegato ammettendo un trascinamento dell'etere. Riporta poi l'esito negativo di un esperimento per evidenziare questo trascinamento. Alla fine dell'articolo scrive: *"il prof. Fitzgerald ha suggerito un modo per uscire dalla difficoltà supponendo che le dimensioni dei corpi siano una funzione della loro velocità attraverso l'etere."*

È la famosa **ipotesi della contrazione**: un oggetto si contrae nella direzione del moto di una quantità tanto maggiore quanto maggiore è la sua velocità.

Lorentz elabora quantitativamente questa ipotesi in un lavoro comunicato all'Accademia di Amsterdam del 1892 ed, in modo più accurato, in una successiva, grande memoria del 1895.

Egli scrive le famose **trasformazioni** per le coordinate ed introduce anche un *tempo locale*, soggetto anch'esso a trasformazione. Queste trasformazioni lasciano invariata la forma delle equazioni dell'elettromagnetismo in un sistema solidale con l'etere ed in uno in moto uniforme rispetto ad esso con velocità v .

Come conseguenza della teoria, se si pone una sorgente luminosa in un intenso campo magnetico, la vibrazione degli elettroni risulterà modificata e lo spettro emesso da questa sorgente dovrebbe essere diverso da quello in assenza di campo (osservando con uno spettroscopio si dovrà rilevare lo sdoppiamento di ogni riga spettrale).

Conferma sperimentale da P. Zeeman (1865-1943), allievo ed amico di Lorentz, un anno dopo.