

Un po' di storia

L'ambiente in cui viviamo è pieno di cose che chiamiamo *elettriche* o *elettroniche*. Basta guardarsi intorno: la lampada che illumina il tavolo, lo scaldabagno, il frigorifero, il ferro da stiro, il ventilatore sono tutti oggetti che chiamiamo *elettrici*. La radio, il televisore, il telefono, il calcolatore, li chiamiamo di solito *elettronici*, (la distinzione fra i termini 'elettrico' ed 'elettronico' la capiremo più in là; per ora, li useremo indifferentemente). Fuori di casa, poi, è la stessa cosa: tram, treni, filobus, funivie, sono elettrici; le nostre stesse automobili, che, purtroppo, elettriche ancora non sono contengono molte parti elettriche: fari, candele, motorino di avviamento, nonché tutti quei dispositivi elettronici che fanno accendere spie e luci varie sul cruscotto.

Cosa hanno in comune tutte queste cose? E *come funzionano*?

Non è facile dare risposte soddisfacenti a queste domande: ci vorrà molto impegno sia da parte vostra che da parte di chi scrive e il desiderio ... reale di capire.

Cominciamo allora a guardare i più semplici oggetti elettrici, e a cercare di vedere se hanno qualcosa in comune. Prendiamo, ad esempio, la lampada che è sul tavolo e paragoniamola, che so, allo scaldabagno. Cosa hanno in comune? Ben poco, direte.

A ben guardare, però, qualcosa di simile ce l'hanno. Hanno, ad esempio, un involucro (sia pure di forma diversa) da cui esce un *filo*. A guardare meglio, si vede poi che questo filo è a sua volta fatto di due fili più sottili tenuti insieme da una sostanza plastica (il tutto, di solito, è chiamato *cavo*).

Ma non basta: tanto il cavo della lampada quanto quello dello scaldabagno terminano con degli oggetti (chiamati di solito *spine*) da cui fuoriescono tre specie di chiodi metallici che vengono detti *spinotti* (a volte, specie nelle case vecchie, gli spinotti sono soltanto due; ma queste spine sono più pericolose, e ne parleremo più in là).

Un'altra cosa che hanno in comune lampada e scaldabagno è che queste spine vanno inserite in certe speciali 'cassette' (dotate di tre fori), incassate nei muri, dette *prese*: molti le chiamano *prese di corrente*, ma sarebbe più corretto dire che sono *prese di tensione*, come avremo modo di vedere.

Infine, un'ultima cosa in comune fra lampada e scaldabagno è che entrambi hanno un pulsante, un tasto, o qualcosa di simile, che chiamiamo comunemente *interruttore*, che serve ad accendere e spegnere l'oggetto.

A questo punto, potremmo sentirci abbastanza soddisfatti, e concludere che gli oggetti elettrici

- sono tutti dotati di un cavo,
- che questo cavo termina con una spina,

- che questa spina va inserita in una presa,
- che ciascun oggetto è dotato di un interruttore che ci permette di accenderlo e spegnerlo a piacimento.

Sarebbe già un bel passo avanti poter dire che *tutti* gli oggetti elettrici sono fatti così. Ma non è vero, purtroppo.

Come la mettiamo, infatti, col telefonino portatile, che non ha nessun cavo che lo colleghi a una presa? Oppure con la radiolina, che funziona nei posti più strani, lontano da qualsiasi presa? In questi casi, niente fili, niente spine, niente prese. Eppure funzionano, e noi diciamo che telefonino, radio sono elettronici.

Già queste semplici osservazioni bastano a farci capire che le cose sono in realtà abbastanza complicate, e non possiamo pretendere di affrontarle tutte insieme. Bisogna andare per gradi, distinguendo diversi tipi di oggetti, e studiandoli uno alla volta. Perciò, nei paragrafi che seguono, cominceremo da quelli più semplici, come la lampada o lo scaldabagno, per passare poi, con gradualità, a quelli più complicati.

Scopi del corso di Elettrotecnica

Tradizionalmente il corso di Elettrotecnica fa parte di quel gruppo di corsi che fanno da ponte tra le materie formative in senso lato dei primi anni e quelle, altrettanto formative, ma in maniera più specifica ed applicativa, del successivo corso di studi in Ingegneria. In questo senso, questo corso avrebbe lo specifico compito di partire dall'approfondimento dei principi base trattati in corsi come Fisica, Analisi, Geometria, e portare l'allievo alla padronanza delle metodologie e tecniche che da questi principi producono applicazioni, fino alle soglie dello studio delle stesse applicazioni concrete. L'Elettrotecnica, in particolare, ha il compito di approfondire il modello del campo elettromagnetico lentamente variabile, o stazionario, ed il modello circuitale. Sempre più spesso, però, in questi ultimi anni, il corso di Elettrotecnica trova una collocazione, all'interno del curriculum complessivo degli studi, che non consente tale impostazione tradizionale. Talvolta, per esempio, come accade in alcuni Diplomi, il corso viene impartito a valle di un solo corso di Fisica; in tal caso, evidentemente, la trattazione del modello del campo elettromagnetico lentamente variabile, modello che è alla base e giustifica quello circuitale, deve necessariamente essere rimandata ad altro corso.

In queste lezioni verranno forniti gli elementi di base di una teoria dei circuiti elettrici verranno, invece, forniti in maniera assiomatica, prescindendo, in qualche modo, dalla loro fondamento elettromagnetico: si danno per assunti alcuni assiomi fondamentali e da questi si derivano tutte le proprietà del sistema così costruito. Tratteremo, dunque, del modello circuitale, un modello ed una teoria che danno conto del funzionamento di sistemi apparentemente molto diversi tra di loro: dal tradizionale circuito elettrico, ai

dispositivi integrati che sono alla base della moderna elettronica; dai componenti microscopici che hanno consentito l'incredibile sviluppo dei 'computers' dei nostri giorni, agli impianti di grandi dimensioni che consentono la distribuzione dell'energia elettrica in modo capillare. Infine, vale la pena di ricordare che concetti e schemi caratteristici del modello circuitale trovano la loro applicazione anche in campi in cui sembrerebbe più difficile adattarli: nella teoria dei cosiddetti circuiti a microonde, o in sistemi, come le antenne, in cui la propagazione delle onde - teoricamente assente là dove si rende necessaria l'ipotesi del 'lentamente variabile' - è un fattore dominante.

Se, da un lato, questa scelta ha il pregio di una maggiore sistematicità e organicità, dall'altro essa può allentare la connessione con i fenomeni fisici che quel modello descrive. Ci sembra di grande importanza didattica non rinunciare, in un corso di Elettrotecnica, a fornire quegli elementi di connessione con il vasto campo di fenomeni che vengono detti elettromagnetici, così compiutamente descritto dal modello introdotto, nella seconda metà dell'ottocento, dallo scienziato inglese James Clerk Maxwell e racchiuso nel suo famoso sistema di equazioni. Per questo motivo, laddove sembrerà più opportuno, approfondiremo le connessioni tra teoria elettromagnetica e modello circuitale con brevi richiami di nozioni elementari di elettromagnetismo.

Breve sintesi storica

Le prime informazioni sull'energia elettrica, ci giungono dalla antica Grecia, dove, all'inizio del sesto secolo avanti Cristo, Talete di Mileto scoprì che l'ambra, che in greco si chiama *èlektron*, se strofinata con un panno di lana acquista la caratteristica e capacità di attrarre corpi leggeri quali ad esempio piccoli pezzi di paglia. Solo tre secoli dopo negli scritti di Teofrasto di Efeso si trovano menzione di altri materiali aventi le stesse capacità.

Nell'antica Roma, negli scritti sulle scienze naturali di Lucio Anneo Seneca, viene fatta per la prima volta distinzione fra gli effetti del fulmine, indicandone tre tipi con caratteristiche differenti e più precisamente: 'il fulmine che incendia, quello che distrugge e quello che non distrugge'. Bisogna, tuttavia, arrivare alla metà del settimo secolo dopo Cristo per trovare le prime verifiche sperimentali che due corpi dello stesso materiale carichi elettricamente si respingono e che, materiali differenti tipo, ad esempio vetro ed ambra, anch'essi elettricamente carichi si attraggono. La deduzione logica fu che esistevano quindi due differenti stadi di elettrizzazione.

Nel 1540 nasceva William Gilbert scienziato inglese che alla corte della Regina Elisabetta, grazie al sostentamento della stessa, iniziò i primi studi scientifici sul magnetismo, culminati nell'opera 'De Magnete'. Verso la metà del 1600 i primi e vari esperimenti venivano eseguiti in Europa e negli Stati Uniti: si cercava di capire a che

tipo di energia si fosse davanti e quali caratteristiche potesse avere. I primi esperimenti e macchinari elettrostatici vennero messi a punto da parte del tedesco Otto von Guericke che lo portò alla costruzione della 'sfera elettrostatica' a strofinio. Nel 1692 nasceva a Leida l'olandese Pieter van Musschenbroek che con i suoi studi ebbe il merito di aver concepito e costruito la 'Bottiglia di Leida' il primo apparecchio in grado di accumulare energia elettrica, così da permettere l'esecuzione di vari esperimenti e ricerche scientifiche.

La vera distinzione dei differenti tipi di cariche va attribuita allo scienziato e uomo politico statunitense Benjamin Franklin che, chiamò 'positive' le cariche che si manifestano nel vetro e 'negative' quelle che si manifestano nell'ambra. Franklin viene ricordato ancora oggi per l'invenzione del parafulmine e per i suoi studi sulle scariche atmosferiche.

La legge secondo cui la forza esercitata tra cariche elettriche è proporzionale all'inverso del quadrato della loro distanza fu provata sperimentalmente intorno al 1766 dal chimico britannico Joseph Priestley. Questi dimostrò inoltre che una carica elettrica si distribuisce uniformemente sulla superficie di una sfera metallica cava e che, in condizioni di equilibrio, il campo elettrico all'interno di un conduttore è sempre nullo. Nel 1745 nasceva il genio italiano Alessandro Volta che iniziò la sua attività di ricercatore e sperimentatore seguendo le ricerche di un altro italiano Luigi Galvani. Galvani fece i suoi primi esperimenti di elettrologia con le rane, scoprendo una certa elettricità animale, rivelatasi in seguito un errore. Tra il 1785 e il 1787 un celebre fisico francese Charles Augustine de Coulomb eseguì alcuni importanti esperimenti di elettrostatica, inventando e costruendo poi la 'Bilancia di Torsione', che gli consentì di effettuare alcuni esperimenti che lo portarono all'enunciazione della famosa legge di Coulomb.

Nel 1799 Volta costruì un dispositivo a cui diede nome di 'apparato elettromotore', che in seguito venne denominato come pila di Volta. La pila di Volta era costituita da una serie di dischi in zinco e rame impilati uno all'altro, interposti ad essi vi erano dischi di feltro imbevuti di sostanza acida; era nato così il primo generatore statico di energia elettrica. Circa 30 anni dopo l'inglese Michael Faraday proseguendo gli studi e le ricerche iniziate dal danese Hans Cristians Oersted e dal francese André Marie Ampère scoperse che la corrente elettrica poteva essere generata da variazioni di un campo magnetico, studiò e scoprì il fenomeno dell'elettromagnetismo, gettò le basi per gli studi sull'elettrolisi, inventò la 'gabbia di Faraday' efficace parafulmine. Importanti studi e relativa legge furono fatti da Georg Simon Ohm che studiò i rapporti tra resistenza, tensione, corrente.

Nel 1797 nasceva Joseph Henry fisico statunitense famoso per la scoperta dell'autoinduzione, perfezionò gli elettromagneti e costruì i primi relè.

Il secolo diciottesimo è stato sicuramente il più denso di scoperte ed invenzioni nel campo dell'elettricità e magnetismo. Nel 1802 nasceva Charles Wheatstone, fisico ideò lo stereoscopio ed inventò un tipo di telegrafo che fu il primo ad essere impiegato praticamente. Inventò un ponte per la misurazione delle resistenze da cui prese il nome (Ponte di Wheatstone). Ad Hannover nel 1803, nasceva Henrich Daniel Ruhmkorff elettromeccanico tedesco, costruì il rocchetto ad induzione che da lui prese nome 'Rocchetto di Ruhmkorff'. Si tratta di un trasformatore, ormai di valore soltanto storico, che permette di ottenere elevate differenze di potenziale. Altri esperimenti e studi sull'elettrostatica ed elettromagnetismo furono portati avanti da fisico tedesco Wilhelm Eduard Weber che elaborò una teoria sui fenomeni elettrostatici ed elettrodinamici ed un sistema di unità elettrostatiche. Nel 1816 nasceva a Lenthe Werner von Siemens, tecnico ed industriale tedesco, dopo un passato giovanile in carriera militare, lasciò l'esercito e fondò insieme ai fratelli l'azienda Siemens.

Altri importantissimi studi sull'elettromagnetismo furono portati avanti dallo scozzese James Clerk Maxwell che formulò, tra le altre cose, anche un teorema per la risoluzione dei circuiti elettrici.

Nel 1826 nasceva a Liegi Zénobe Theophile Gramme. Fisico portò avanti anch'egli importanti studi ed invenzioni sull'elettrostatica ed elettromagnetismo. Nel campo dell'elettromagnetismo perfezionò la dinamo e costruì il primo alternatore per usi industriali. Nel 1826 nasceva ad Aosta il vero ed unico inventore del telefono, Innocenzo Manzetti. In Italia nel 1808 nasceva a Firenze Antonio Meucci a cui tutti attribuiscono l'invenzione del telefono, ma che lo stesso Meucci riconobbe al Manzetti. Altro inventore a cui si attribuisce la paternità dell'invenzione del telefono è l'americano Bell.

L'importanza dell'invenzione del telefono è decisamente una delle più grandi conquiste ottenute dall'uomo di quei tempi il poter comunicare istantaneamente con altre persone a voce aprì nuovi orizzonti nello sviluppo dell'umanità. Con il perfezionamento degli studi e delle ricerche sull'elettromagnetismo si spalancarono nuove porte per la produzione e l'utilizzo come energia motrice dell'energia elettrica tramite dinamo ed alternatori. I primi tentativi che si rilevarono in seguito pietre miliari per l'invenzione del campo magnetico rotante furono eseguite dall'italiano Antonio Pacinotti, che con il suo 'anello' riuscì a costruire la prima macchina in grado di trasformare l'energia meccanica in energia elettrica continua.

Nel 1847 nasceva a Livorno Piemonte un fisico italiano, che divenne poi di fama mondiale, il Galileo Ferraris. I suoi studi si concentrarono sul campo magnetico rotante

e sulla teoria del motore asincrono, culminarono con la costruzione dei primi modelli di motore elettrico asincrono. Grande disputa di quegli anni era il sistema e le modalità per il trasporto dell'energia elettrica continua o alternata. Nel 1850 nasceva il francese Lucien Gaulard che grazie all'invenzione del trasformatore risolse il problema del trasporto a grandi distanze dell'energia elettrica, permettendo di elevare la tensione della stessa. Un'altra grande sfida di questi tempi era utilizzare l'energia elettrica come fonte di luce e sistema innovativo di illuminazione. Qui alcuni grandi personaggi si contesero l'invenzione della lampadina elettrica. I primi esperimenti furono eseguiti dal Sir Joseph Wilson Swan in Inghilterra nel 1845.

Nel 1847 nascevano due personaggi, stesso anno vedi la coincidenza, a Milan nello stato dell'Ohio Stati Uniti D'America Thomas Alva Edison e a Piosasco Torino Italia Alessandro Cruto, entrambi contribuirono all'invenzione ed al perfezionamento della lampada ad incandescenza, un'invenzione che esiste quasi immutata da oltre 120 anni (1878 accensione prima lampadina di Swan).

Nel 1849 nasceva in Inghilterra John Ambrose Fleming noto per i suoi studi sull'elettromagnetismo e per l'enunciazione 'delle regole delle tre dita o regole di Fleming'. Nel 1904 inventò il diodo, la prima valvola termoionica a due elettrodi, con l'invenzione del diodo si iniziano a vedere le prime avvisaglie di elettronica.

Importanti ricerche e studi furono eseguite da un altro scienziato e ricercatore Heinrich Rudolph Hertz, nato ad Amburgo nel 1857. Hertz fu lo scopritore delle onde elettromagnetiche che furono poi applicate dal Marconi per l'invenzione della radio.

Fisico statunitense di origine Jugoslava, nasceva a Smiljan [Croazia] nel 1857 Nikola Tesla furono molto importanti i suoi studi, sulle correnti alternate ad altissima frequenza, 'correnti di Tesla'. Realizzò il primo motore elettrico a induzione a corrente alternata, ciò contribuì ad un utilizzo dell'energia elettrica come trazione sempre più importante nell'industria.

Nel 1874 nasceva a Bologna Guglielmo Marconi sicuramente il genio italiano più celebre al mondo. Con gli studi e gli esperimenti sulle onde elettromagnetiche e la trasmissione dei segnali nell'etere che culminarono con l'invenzione della radio si aprivano nuovi orizzonti per l'umanità intera.

Forse vi siete chiesti chi erano!

Anche se alcuni fenomeni elettrici e magnetici erano noti fin dall'antichità, si può certamente dire che fu il fisico inglese **William Gilbert** (Colchester 1540 - Londra 1603), conosciuto anche come William di Colchester, iniziò i primi studi scientifici di magnetismo, grazie ad una pensione della Regina Elisabetta. Il *De Magnete* è il testo nel quale espone, intorno al 1600, i risultati delle sue ricerche sul magnetismo e cercò

di spiegare la natura dei magneti e i cinque movimenti legati ai fenomeni magnetici. Fu il primo che introdusse il termine *elettricità*.

È merito tuttavia del francese **Charles Augustin de Coulomb** (Angoulême 1736 - Parigi 1806) aver stabilito con rigore scientifico la legge che porta il suo nome, assieme a molti altri risultati importanti, che pubblicò in sette memorie della Accademia delle Scienze francese, tra il 1785 ed il 1791: il suo nome è associato alla unità di carica elettrica nel Sistema Internazionale (SI) di misura. Coulomb dimostrò la legge con una precisione di circa il $3 \cdot 10^{-2}$ sull'esponente 2 che compare nella distanza tra le cariche. Oggi l'errore è ridotto a circa 10^{-9} .

L'unità di misura della potenza porta il nome dello scozzese **James Watt** (Greenock 1736 - Heathfield 1819), che portò notevoli contributi allo studio delle macchine a vapore.

La pila elettrica venne invece ideata dal conte **Alessandro Volta** (Cannago 1745 - Como 1827), che dà il suo nome all'unità di misura del potenziale elettrico (il Volt, appunto). Fu professore di Filosofia Naturale a Pavia dal 1788 fino al 1804. Inventò la pila, l'elettroforo, un dispositivo in grado di generare cariche elettrostatiche, e la cella 'voltaica'.

Nel 1820, **Hans Christian Oersted**, (Rudkoebing 1777 - Copenaghen 1851), danese, scoprì che una corrente può produrre effetti magnetici, riuscendo a variare l'orientamento di un ago magnetico posto nelle sue vicinanze: una unità di misura dell'intensità del campo magnetico porta il suo nome (in un sistema di unità diverso dal SI).

L'uomo che quantificò la relazione che lega la corrente elettrica ed il campo magnetico fu **André Marie Ampère** (Polémieux 1775 - Marsiglia 1836), versatile matematico, fisico e chimico francese. Il suo lavoro venne pubblicato in un monumentale trattato nel 1827, e l'unità della corrente elettrica porta il suo nome.

Georg Simon Ohm (Erlangen 1787 - Monaco di Baviera 1854), tedesco, investigò la relazione tra corrente e tensione e, dopo una lunga campagna di esperimenti, introdusse il concetto di resistenza, la cui unità porta il suo nome.

Solo un grande sperimentatore come l'inglese **Michael Faraday** (Newington 1791 - Hampton Court 1867) poteva scoprire il fenomeno della induzione elettromagnetica (1831). I suoi dispositivi elettromagnetici segnano l'inizio dell'era dell'energia elettrica: il suo nome è associato all'unità di misura della capacità.

Attorno al 1831, l'americano **Joseph Henry** (Albany, New York 1797 - Washington 1878) scoprì il fenomeno dell'autoinduzione, ed il suo nome è stato associato all'unità di misura dell'induttanza. Fu anche l'inventore della struttura essenziale del telegrafo, che venne più tardi perfezionato da Samuel F. B. Morse.

Il tedesco **Karl Friedrich Gauss** (Brunswick 1777 - Gottinga 1855) fu una mente matematica strabiliante, fu un fisico e un astronomo. Frequentò l'università di Gottinga. Nel 1801 pubblicò una delle sue opere principali, le *Disquisitiones Arithmeticae* e nel 1802 determinò l'orbita di Cerere. Diede la prima sistemazione rigorosa alla teoria dei numeri complessi. Studiò le congruenze e si dedicò anche all'algebra. Ottenne risultati di grande importanza nella teoria degli errori e nel calcolo delle probabilità. In geometria studiò la curvatura e le proprietà relative a questa e compì ricerche sulle trasformazioni conformi. Il diciannovenne Gauss dimostrò che un poligono regolare di 17 lati può essere costruito alla maniera degli antichi Greci, cioè adoperando solo riga e compasso. Questo fu il primo e unico passo in avanti nella costruzione dei poligoni regolari dal tempo dei Greci, e Gauss fu così orgoglioso della sua scoperta che pretese che sulla sua tomba venisse inciso un poligono regolare di 17 lati. Sebbene la sua richiesta non sia mai stata soddisfatta, un tale poligono è scolpito su un lato del monumento eretto in sua memoria a Brunswick, in Germania, sua città natale. Il Gauss è una unità di misura dell'intensità del campo magnetico.

Wilhelm Eduard Weber (Wittenberg 1804 - Gottinga 1891), tedesco, sviluppò sensibili magnetometri e lavorò sul comportamento elettrodinamico della materia. Il Weber misura il flusso magnetico.

La moderna teoria dell'elettromagnetismo è interamente fondata sulle famose equazioni che lo scozzese, **James Clerk Maxwell** (Edimburgo 1831 - Cambridge 1879), scrisse. Allievo di Faraday, a soli venticinque anni fu nominato professore ad Aberdeen; in seguito al King's College, a Londra, fino al 1865. Le sue ricerche contribuirono in massimo grado a una sistemazione rigorosa della teoria cinetica dei gas; studiando la distribuzione delle velocità molecolari secondo la legge degli errori di Gauss, riuscì a dimostrare, nel 1860, che a temperatura costante l'energia cinetica molecolare media non dipende dalla natura delle molecole. Nel 1862 introdusse il concetto di *corrente di spostamento*, che si manifesta nei dielettrici sottoposti a campo elettrico variabile. Tuttavia le sue ricerche più importanti vertono sulla teoria elettromagnetica della luce (1865), che egli dedusse dalla dimostrazione dell'uguaglianza della velocità di propagazione della luce e di quella di propagazione di un'onda elettromagnetica.

Ernst Werner von Siemens (Lenthe 1816 - Hannover 1892), ingegnere e industriale tedesco, fondatore della società industriale Siemens Halske, diede avvio all'industria elettrotecnica tedesca, apportando un notevole contributo all'invenzione e lo sviluppo delle macchine elettriche, come pure al perfezionamento della scienza elettrica. L'unità di misura della conduttanza è a lui dedicata.

L'unità di misura della frequenza è associata al nome del grande **Heinrich Rudolph Hertz** (Amburgo 1857 - Bonn 1894), scienziato e sperimentatore tedesco, che mise in luce la natura delle onde elettromagnetiche, pubblicando i suoi lavori nel 1888.

Nikola Tesla (Smiljan 1856 - New York 1943) era un inventore croato che emigrò negli Stati Uniti nel 1884. Senza comprendere appieno il significato, contribuì alla realizzazione dei sistemi elettrici polifase ed alla scoperta del motore ad induzione. Il suo nome è legato all'unità del campo magnetico.