

I FONDAMENTI DELLA ELETTRONICA

Le conquiste della tecnica distolgono talvolta l'attenzione dai principi stessi sui quali esse si basano. Occorre, invece, considerare le cose nel loro profondo aspetto naturale filosofico.

Dall'esame di un apparecchio radio-televisivo alla considerazione di un radar, dal problema della guida di un veicolo spaziale a quello dell'elaborazione di un numero enorme di calcoli in brevissimo tempo (per mezzo di una macchina calcolatrice moderna) il nostro pensiero è condotto a considerare la struttura basilare di una dottrina scientifica della quale molto si parla, ma i cui fondamenti non sono a tutti ben chiari.

Per questo abbiamo deciso di dedicare il presente articolo non tanto ad un argomento specifico quanto piuttosto ai fondamenti istituzionali di tale parte della Fisica moderna. (Essa presiede anche alla realizzazione ed al funzionamento dei più arditi congegni della Fisica nucleare, cioè dello studio dell'intima costituzione della materia: dalle macchine acceleratrici di particelle — per esempio i sincrotroni — fino alle centrali elettriche funzionanti sulla base dell'erogazione di energia da parte di una pila atomica).

La Fisica elettronica riguarda la produzione e l'utilizzazione degli elettroni, cioè delle più piccole particelle conosciute dotate di una carica elettrica: particelle piccolissime del mondo non microscopico ma submicroscopico, costituite da una massa dell'ordine di un grammo diviso per dieci alla ventisettesima potenza

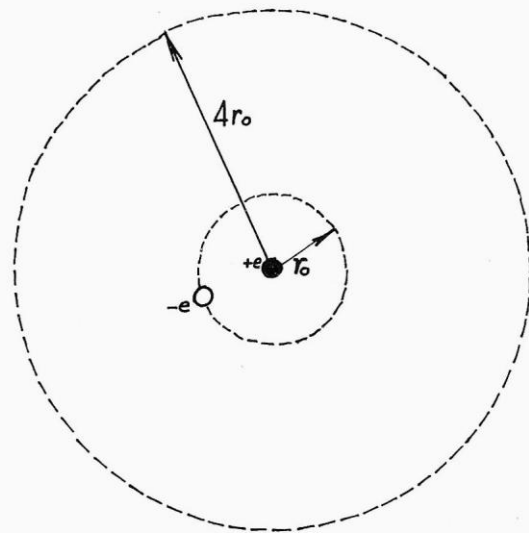


Fig. 1 - Due orbite elettroniche nel modello atomico di Bohr per l'idrogeno (r_0 = raggio della prima orbita, circa $0,5 \cdot 10^{-8}$ cm). I raggi delle orbite variano come i quadrati dei numeri interi.

e portanti la più piccola carica elettrica conosciuta, cioè quella che si chiama la carica elementare o « quanto elementare di elettricità ».

Ci si rende immediatamente conto del fatto che elettroni in movimento determinano correnti molto deboli, ma che non sono meno importanti di quelle correnti forti che costituiscono il terreno di studio e di realizzazione della Elettrotecnica. E va in ogni caso tenuto presente che tutte tali correnti sono della stessa natura in quanto tutte risultano da un flusso di quelle particelle di enorme importanza di cui stiamo parlando, cioè gli elettroni.

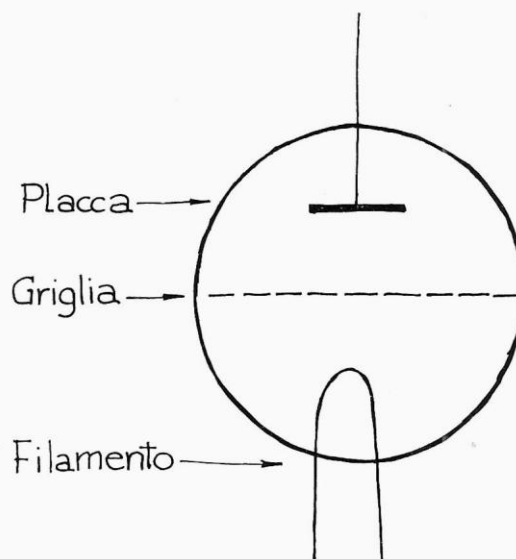
E' ben noto come l'Elettricità non sia una scoperta moderna, almeno sotto lo aspetto della conoscenza di certi fenomeni elettrostatici, cioè riguardanti l'elettricità in quiete (per così dire), fenomeni conosciuti nell'antichità: a tutti è presente la scoperta della elettrizzazione per strofinio da parte di Talete di Mileto. Ma soltanto nel secolo diciottesimo gli uomini impararono a studiare i fatti di conduzione dell'elettricità e la corrente elettrica, la quale sta alla base di ogni applicazione pratica.

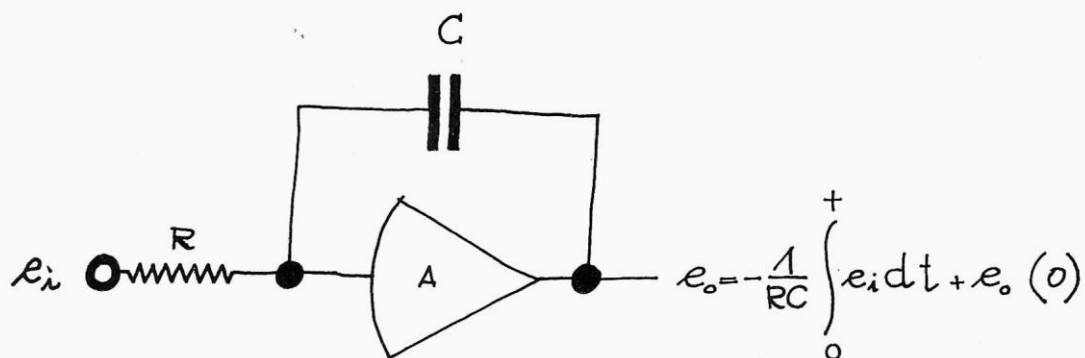
Nel secolo decimonono la Scienza fece progressi che si possono definire veramente giganteschi nella indagine sulle leggi che governano le relazioni fra le correnti elettriche ed un campo di forza di estrema importanza da tali correnti generato, cioè il campo magnetico e si ebbe l'impostarsi di quel mirabile corpo di conoscenze natural-filosofiche e di applicazioni tecniche che è l'Elettromagnetismo. E' forse superfluo citare i nomi di MAXWELL, di FARADAY e di HERTZ. Ci limiteremo a sottolineare il fatto che gli ultimi venti anni del secolo diciannovesimo furono particolarmente fecondi per lo studio dei fenomeni elettrici e magnetici e del campo elettromagnetico e culminarono, nel 1897, nella scoperta da parte di THOMSON, dell'elettrone. Da allora le conoscenze sulla Teoria elettronica, da THOMSON stesso fondata, e le numerosissime applicazioni della Tecnica elettronica hanno assunto un ritmo crescente, diventato poi vertiginoso. Basterebbe pensare, nel campo delle applicazioni, alla tecnica dei tubi elettronici usati nelle radiocomunicazioni, ai progressi nel campo della oscillografia catodica, in cui cioè interviene quell'apparecchio, l'oscillografo catodico, in cui gli elettroni sono convogliati da opportuni campi di forza elettrici e magnetici a seguire traiettorie speciali ed a segnalarne le indicazioni sui particolari schermi luminosi (fluorescenti); basterebbe andare col nostro pensiero a pensare a tutta la messe di conseguenze dell'effetto fotoelettrico, cioè dell'emissione di elettroni da parte di metalli colpiti da luce

di lunghezza d'onda convenientemente piccola; all'evoluzione in marcia degli apparati per la ripresa, la trasmissione e la ricezione televisiva, ai microscopi elettronici che consentono fortissimi ingrandimenti ed all'Ottica elettronica in genere, alle applicazioni elettroniche nei congegni di guida, ai mirabili risultati di economia e di rapidità di lavoro che si ottengono mediante le calcolatrici elettroniche.

Per tutte queste applicazioni modernissime, molte volte l'organo essenziale è il tubo elettronico; sicché è naturale che ci si ponga subito la domanda come esso sia nato e su quali principi si fondi. La origine del tubo elettronico è nella comune lampada elettrica. In fondo esso nasce dalla ricerca di Edison intesa ad ottenere lampade elettriche di vita più lunga e migliore. La disposizione di una placca metallica in un bulbo in cui è stato fatto il vuoto ed in cui si trova pure un filamento reso incandescente dal passaggio della corrente elettrica fa sì che, mediante inserimento di un galvanometro (strumento misuratore della corrente) fra placca e filamento, si osservi il passaggio di una debole corrente elettrica. Se il filo proveniente dalla placca è collega-

Fig. 2 - Schema classico di una valvola termoionica a tre elettrodi: filamento emittente elettroni, griglia « pilotante » i medesimi, placca, su cui arrivano gli elettroni.





A = amplificatore
 R = resistenza
 C = condensatore
 e_i = tensione d'entrata
 e_o = tensione d'uscita

Fig. 3 - Elemento di « calcolatrice analogica » effettuante l'operazione matematica di « integrazione ».

to col polo positivo della batteria di alimentazione del filamento, l'indicazione del galvanometro è maggiore di quando il collegamento sia fatto col polo negativo. Tale effetto Edison è la base di tutta l'elettronica. Il personaggio essenziale di tale corpo di dottrina è, come già sappiamo, l'elettrone. Potete immaginarvelo come una minutissima sferetta portatrice di elettricità e migrante nei conduttori o negli spazi fra gli elettrodi dei tubi elettronici. E forse qualcuno di voi ha presente alla memoria qualche film di divulgazione scientifica in cui gli elettroni sono rappresentati come dei topolini in corsa a costituire le correnti. In realtà, se i poli di una batteria o di un'altra sorgente di forza elettromotrice sono collegati a due punti di una sostanza contenente elettroni liberi, cioè non vincolati ad un legame impediente il loro movimento, si determinerà un certo flusso di elettroni spostandosi dal polo negativo al polo positivo. Tale flusso costituisce una corrente elettrica per la quale si definisce, convenzionalmente, come verso quello contrario al moto degli elettroni.

Consideriamo ora degli elettroni liberi in un certo conduttore. E' possibile aumentare la loro energia fino a far sì che essi riescano a superare una specie di muro sbarrante posto al contorno del materiale che li contiene, muro che, con linguaggio tecnico, si chiama barriera di potenziale, in quanto corrisponde alla presenza di un campo di forza elettrica costituente quello che, per rendere l'immagine del suo effetto, abbiamo chiamato muro. Gli elettroni possono allora penetrare nello spazio circostante e si dice che essi sono stati emessi. Una emissione elettronica da un conduttore può essere ottenuta per quattro vie. Le citeremo in ordine di importanza: anzitutto si ha l'emissione termo-elettronica che è sostanzialmente il già citato effetto Edison: si ha poi la emissione fotoelettronica, cioè il fatto per cui un metallo colpito da luce di frequenza sufficientemente alta, per esempio raggi ultravioletti, emette elettroni; si ha quindi la cosiddetta emissione secondaria che si verifica quando elettroni di sufficiente energia vanno ad urtare una placca posta a conveniente distanza e portata ad un opportuno potenziale elettrico. Se la velocità degli elettroni urtanti è

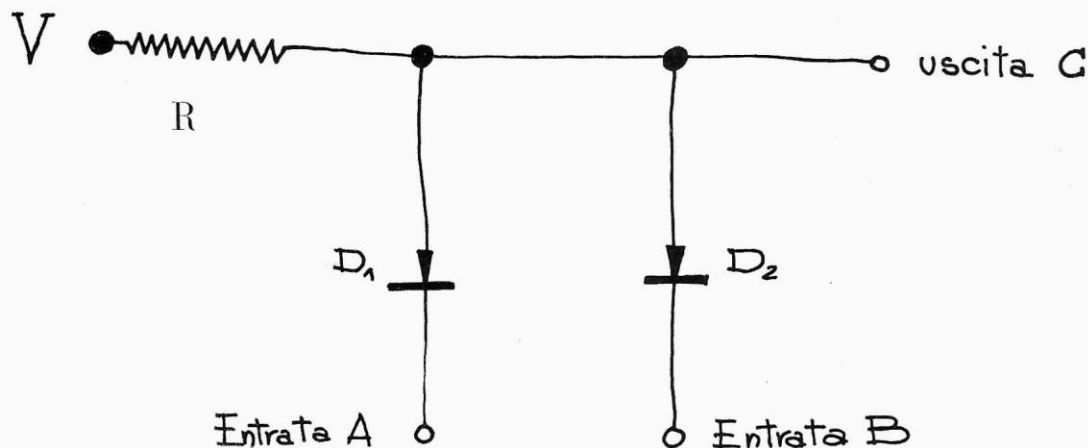


Fig. 4 - Circuito « logico » del prodotto (« and gate ») per un « cervello elettronico numerico o digitale ». V = Tensione opportuna applicata; R = Resistenza; D_1 e D_2 = Diodi, per es., al germanio; Uscita $C = A \cdot B$, essendo A e B i valori di tensione applicati alle due entrate ed essendo C la tensione d'uscita.

sufficientemente alta, uno o più altri elettroni della placca possono acquistare energia sufficiente a superare la barriera di potenziale della placca e ad essere quindi emessi dalla superficie della medesima.

Si ha infine la emissione di campo od alla Lilienfeld, per cui elettroni possono essere strappati da una superficie conduttrice mediante l'azione di campi elettrici molto intensi.

Converrà esaminare un po' più da vicino il meccanismo del primo e più importante degli effetti di emissione elettronica: l'effetto termoelettronico. La velocità degli elettroni entro il materiale che li contiene dipende dalla temperatura. A mano a mano che la temperatura aumenta, « la attività », per così dire, degli elettroni aumenta, fino a raggiungere uno stato in cui gli elettroni hanno velocità tali da attraversare la barriera di potenziale del materiale, in una sorta di fenomeno di evaporazione « sui generis ».

Ma i personaggi di fondo della Fisica elettronica di cui stiamo parlando ci si

presentano anche dal punto di vista della Teoria elettronica di costituzione della materia. Come ricerche (sulle quali evidentemente oggi nessun dubbio è possibile) hanno mostrato, la materia è costituita di atomi, la concezione dei quali si rese necessaria per l'interpretazione dei fatti sperimentali già quando furono scoperte le leggi fondamentali della Chimica. Ora la Chimica stessa determina i rapporti fra i pesi dei vari atomi, cioè determina quelli che si chiamano pesi atomici, ma non fa ipotesi sulla forma e sulle dimensioni degli atomi stessi. Ora un grande numero di fatti fisici, come l'emissione e l'assorbimento della luce, i fenomeni del magnetismo che tutti conoscono, gli altrettanto noti fenomeni di produzione dei raggi catodici cioè di flussi elettronici in tubi ad altissima rarefazione con elettrodi sottoposti ad alte differenze di potenziale elettrico; l'urto di tali raggi contro placche metalliche (anticatodi) con conseguente emissione di quella radiazione capace di attraversare i corpi opachi

e dotata delle capacità diagnostiche e terapeutiche che tutti conoscono (raggi X di Roentgen), i fenomeni della radioattività, hanno fatto scoprire che anche gli atomi sono edifici complessi, composti di parti più piccole e contenenti cariche elettriche positive e negative in parti ordinariamente uguali. Queste cariche si mostrano sempre multiple di una carica elementare che è la carica dell'elettrone, segnalando allo studioso un atomismo dell'elettricità, parallelo, per così dire, all'atomismo della materia.

Notoriamente la comprensione di un grandissimo numero di fenomeni della Chimica è facilitata dalla considerazione degli atomi come sferette dotate di uno speciale tipo di forza attrattiva atta a farle raggruppare a costituire le molecole, i raggi delle quali sono di qualche unità dell'ordine di un centomillesimo di centimetro. Il primo fenomeno chimico-fisico dimostrante il fatto che sia gli atomi che le molecole sono costituiti da corpuscoli più piccoli carichi di elettricità, alcuni

positivi ed altri negativi, è l'elettrolisi. Si consideri, per esempio, la molecola del cloruro di sodio, il sale da cucina. L'atomo del sodio contiene un elettrone poco stabilmente legato. L'altro atomo costituente la molecola in parola, cioè l'atomo di cloro, ha una forte attività elettronica, il che significa che esso ha una forte tendenza ad appropriarsi un elettrone. Avviene perciò che quando un atomo di cloro viene in contatto con un atomo di sodio, esso strappa dal sodio l'elettrone poco stabile per modo che il sodio resta carico positivamente (ione positivo) ed il cloro, per l'aggiunta di un elettrone, che ha carica negativa, negativamente. I due ioni così formati si attraggono elettrostaticamente, cioè con forza analoga a quella di attrazione universale fra gli astri. Se la molecola passa in soluzione, le forze elettrostatiche in questione vengono profondamente alterate e non sono più sufficienti a tenere insieme gli ioni contro l'agitazione determinata dal calore che tende a separarli e si ha la dissociazione

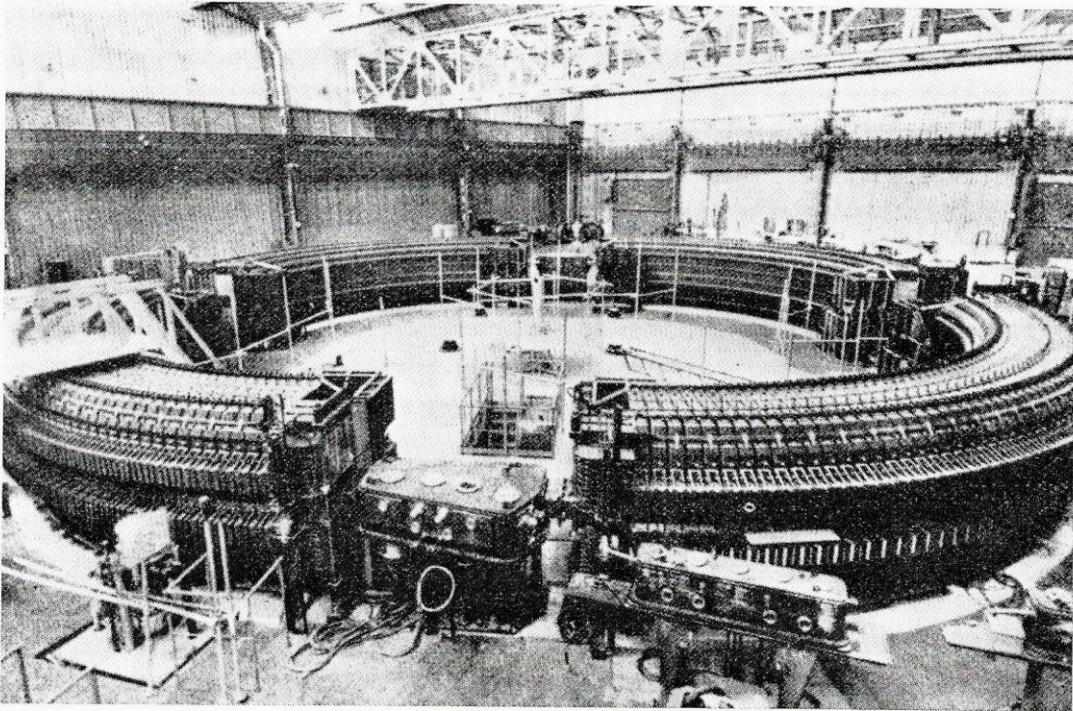


Fig. 5 - Il grande sincrotrone del Centro francese di Saclay. In primo piano il dispositivo di iniezione. (da « Fisica moderna » di Castelfranchi)

elettrolitica. Ora la più piccola carica ionica che appare nei fenomeni elettrolitici è proprio uguale (e ciò ha una particolare suggestione) alla carica dell'elettrone. Chi legge potrebbe domandarsi come siano state determinate la carica elettrica e la massa dell'elettrone. Lo schema logico dell'esperienza di Millikan per la determinazione della carica dell'elettrone è il seguente: si osserva la velocità di caduta nell'aria di goccioline microscopiche, ottenute per polverizzazione e rese cariche (ionizzate) per azione di una radiazione Roentgen investente le medesime. Si confronta la loro caduta col loro comportamento in presenza di un controcampo elettrico, che le sostiene contro il campo gravitazionale. Tale comportamento dipende evidentemente dalla loro carica. Dalle deviazioni poi in campi elettrici e magnetici degli elettroni costituenti i raggi catodici, si risale anche al calcolo della massa dell'elettrone. Così la Fisica sa « pesare » gli elettroni!

Da questa nostra conoscenza del « personaggio » di fondo della Elettronica prende le mosse ogni considerazione su ciò che l'elettrone stesso è « capace » di fare nel suo comportamento. Esso « marcia » sui conduttori, nei semiconduttori su cui si basano i transistori, negli spazi vuoti delle valvole termoioniche, presiede all'ingrandimento delle immagini nei microscopi

pi e nei telescopi elettronici, determina lo svolgersi dei calcoli nelle unità aritmetiche e nelle « memorie » dei cervelli elettronici. E si applica ad un numero estremamente grande di apparecchi che intervengono anche nella semplice vita di ogni giorno.

* * *

Gli orizzonti che si aprono a chi consideri i progressi — da definire catalitici — della moderna Elettronica possono apparire sfumati o incerti, quasi crepuscolari; oppure incendiati di luce, a seconda dello stato d'animo e della preparazione dell'osservatore, del suo entusiasmo e della sua fede. Ma un'affermazione di validità generale si fa strada. Nella estrema delicatezza degli apparati, nella complessa struttura dei sistemi nessun elemento magico sussiste. E nessuna considerazione miracolistica ha senso. Tutto il divenire scientifico è dura preparazione, forte e costante frutto di dominio di se stessi, umile e ardente battaglia per la conoscenza della verità e per la realizzazione dei congegni che ne derivano.

Ogni improvvisazione è follia. Ogni presunzione di « arrivare » immediatamente e senza aspra preparazione è delitto autentico di fronte alla scienza e anche, più modestamente, di fronte alla cultura.