

Editoriale

Il Transistor: settant'anni portati bene

Era una giornata nevosa quel 23 dicembre del 1947 a Murray Hill (New Jersey), dove si trovava una delle sedi dei prestigiosi Bell Laboratories. I dipendenti si preparavano allegramente alle vacanze natalizie, ma un gruppetto di loro era ancora impegnato nella dimostrazione di una nuova tecnologia, messa a punto solo un paio di settimane prima. In uno dei laboratori al quarto piano dell'edificio 1, due fisici quarantenni, Walter Brattain e John Bardeen, collegarono un microfono all'ingresso di un piccolo circuito e all'uscita una cuffia, che fu fatta indossare al direttore delle ricerche Ralph Bown. Brattain pronunciò qualche parola nel microfono e Bown udì chiaramente la voce nella cuffia. Amplificare un segnale elettrico non era certo una novità, lo si faceva da quarant'anni usando quei luminosi e caldissimi componenti, affamati divoratori di energia anche quando non fanno nulla, chiamati valvole termoioniche. Ma sul banco dei Bell Labs vi era solo un piccolissimo accrocchio di germanio, oro, plastica e graffette metalliche, che non emetteva né luce né calore. Era il *transistor*, il miglior regalo di Natale che i due ricercatori potessero fare alla loro azienda e a tutta l'umanità. Il nome non era neppure stato coniato, fu proposto l'anno dopo da un altro ingegnere dei Bell Labs, John Pierce; nel suo tempo libero Pierce era uno scrittore di fantascienza, quindi abituato ad inventare parole nuove per concetti innovativi e futuristici.

Il transistor deve la sua capacità di amplificare i segnali elettrici alle caratteristiche di alcuni materiali detti semiconduttori, come il germanio e il silicio. Le loro strane proprietà erano state notate già nell'Ottocento dall'inglese Faraday e poi studiate per decenni da molti altri chimici e fisici. Ad esempio, il contatto tra un semiconduttore e un filo metallico lasciava passare la corrente elettrica in un senso solo e fu proprio questa caratteristica che permise di trovare un'applicazione pratica: il diodo raddrizzatore usato nei primi ricevitori radio, lo storico cristallo di galena col suo 'baffo di gatto'. Per il suo comportamento erratico, il raddrizzatore a cristallo fu presto sostituito nelle radio con la prima valvola termoionica, il diodo, ma fu fatto risorgere negli anni '30 del Novecento, quando in Germania, in Inghilterra e negli USA si ricominciò ad indagare sui semiconduttori per le ricerche sul radar. Nel frattempo, la conoscenza sulla struttura della materia aveva fatto grandi passi avanti: dalla scoperta

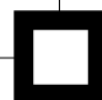
0

1

0

1

0



dell'elettrone al modello atomico di Bohr, alla fisica quantistica, e ciò permise di capire meglio come la corrente elettrica scorresse nei semiconduttori.

Già nel 1925, Julius E. Lilienfeld, un austriaco emigrato in America, aveva ideato un dispositivo a semiconduttore con tre elettrodi, l'equivalente del triodo termoionico, e lo brevettò nel 1934, ma non fu in grado di costruirlo. Fu seguito da Robert Pohl e Rudolf Hisch che ottennero solo risultati modesti: mancava ancora una tecnologia per produrre semiconduttori con il giusto grado di purezza. Nell'immediato dopoguerra la ricerca fu ripresa in varie istituzioni, tra cui i Bell Labs, un centro di ricerca della American Telephone and Telegraph Co. (AT&T), l'azienda che aveva il monopolio delle telecomunicazioni negli USA. I Bell Labs erano rinomati per la qualità delle loro ricerche – nove premi Nobel sono stati assegnati a scienziati per scoperte e invenzioni che vi hanno fatto – e la AT&T aveva un gran bisogno di nuovi dispositivi in grado di amplificare i segnali telefonici. Senza di essi sarebbe stato impossibile stendere cavi transoceanici per la telefonia; le valvole necessitavano di troppa energia, dissipavano troppo calore e si guastavano frequentemente; era impensabile usarle nelle profondità oceaniche a centinaia di miglia dalla costa.

Ai Laboratori Bell, nel 1936, era stato istituito un nuovo gruppo di ricerca dedicato ai semiconduttori, sotto la direzione di Marvin Kelly, di cui fecero parte William B. Shockley e Walter H. Brattain. Nel 1945 si aggiunse John Bardeen. Brattain era la mente sperimentale, Bardeen quella teorica e insieme erano complementari l'uno all'altro, mentre Shockley, che dirigeva il gruppo, perseguiva idee piuttosto differenti. Il 16 dicembre 1947, Bardeen e Brattain riuscirono ad ottenere una piccola amplificazione da un pezzo di germanio su cui poggiavano due contatti d'oro distanti fra loro solo pochi millesimi di millimetro: applicando ad uno di essi un debole segnale lo si ritrovava amplificato sull'altro. Era nato il *transistor a punte di contatto*. Nel giugno dell'anno successivo fu depositato il brevetto con i loro due nomi e Shockley non ne fu contento, i risultati erano stati ottenuti senza di lui e il dispositivo era molto diverso da ciò che lui immaginava. L'idea di Shockley, infatti, era di evitare l'uso di punte di contatto, sempre molto capricciose e che determinavano bassissime rese nella produzione, e usare invece tre sezioni di germanio, 'drogate' con impurità di tipo diverso: il *transistor a giunzione*, il cui brevetto fu depositato pochi giorni dopo quello dei due colleghi. I rapporti tra i tre si guastarono e Shockley allontanò Bardeen e Brattain dalle ricerche sui transistor. Finì che Brattain fu trasferito ad un'altra divisione e Bardeen lasciò i Bell Labs per l'Università dell'Illinois, ma nel 1956 anche Shockley si spostò in California per fondare la Shockley Semiconductors, contribuendo alla nascita della Silicon Valley. I tre si rincontrarono a Stoccolma nel 1956 per ritirare il premio Nobel a loro assegnato, congiuntamente, per l'invenzione del transistor. Nonostante i dissidi, la direzione dei Bell Labs mantenne per anni l'immagine di un gruppo affiatato, diffondendo una foto in cui i tre sembrano lavorare felicemente assieme, con Shockley al comando. Bardeen vincerà un secondo Premio Nobel nel 1972 per le ricerche sui

superconduttori. Nel 1948, indipendentemente, un transistor a punte di contatto molto simile a quello dei Bardeen e Brattain fu inventato dai tedeschi Herbert Mataré e Heinrich Welker alla francese Compagnie des Freins et Signaux Westinghouse. Fu battezzato *transistron* e alla Fiera di Düsseldorf del 1953 una gentile signora con un abito a fiori presentò la prima 'radio a transistron' della storia. Purtroppo, problemi politici e commerciali di vario genere fecero presto terminare l'avventura francese, una delle tante occasioni mancate dell'industria elettronica europea che andava lentamente scomparendo.

La AT&T, sotto inchiesta per pratiche contrarie alla libera concorrenza, fu costretta a offrire la licenza di produzione del transistor ad altre aziende. Cominciò così la fase di sviluppo dei dispositivi a semiconduttore, tesa a migliorare le tecniche di produzione per abbassarne il costo e migliorarne affidabilità e prestazioni. L'idea di Shockley, il transistor a giunzione, si dimostrò molto migliore del modello di Bardeen e Brattain e lo rimpiazzò. Seguirono altre architetture, messe a punto ai Bell Labs, alla RCA, alla General Electric e alla Fairchild: i transistor *alloy-junction*, i *mesa*, i *planari*, fino a MOS-FET, transistor ad effetto di campo che riproponevano l'idea di Lilienfeld. Il germanio lasciò il posto al silicio, molto più resistente al calore, e oggi il 99% dei transistor in uso sono MOS e CMOS al silicio.

Inventato il transistor, occorre trovare un mercato. Le prime applicazioni apparvero in campo militare, per sostituire le valvole nei dispositivi elettronici su aerei e missili, seguite da quelle civili, apparecchi acustici e radioline portatili, a cominciare dalla Regency R1, messa in commercio nel 1954 dalla Texas Instruments. Un transistor, oltre che amplificare, può anche fungere da interruttore e ben presto i dispositivi a semiconduttori entrarono anche nell'elettronica digitale, rimpiazzando le valvole usate nei primi calcolatori elettronici. Nel 1953, all'Università di Manchester, fu messo a punto un piccolo prototipo sperimentale che usava una novantina di transistor a punte di contatto, oltre a duemila diodi al germanio. Fu seguito due anni dopo dal TRADIC dei Bell Labs, abbastanza piccolo da poter essere installato sui bombardieri B52. I vantaggi rispetto alle valvole erano ormai indiscutibili e nel 1958 la IBM decise che non avrebbe più usato la vecchia tecnologia per nessun suo modello. Lo stesso fecero altre aziende del settore, tra cui la italiana Olivetti per il suo Elea 9003, per costruire il quale fondò, assieme alla Telettra, la prima azienda italiana produttrice di transistor, la Società Generale Semiconduttori (SGS).

Negli anni '60, grazie al transistor, i computer erano diventati più piccoli e meno assetati di energia, ma restava ancora un ostacolo: era ancora necessario collegare tra loro decine di migliaia di componenti con centinaia di migliaia di saldature e chilometri di conduttori e ciò poneva un limite alla riduzione di dimensioni e all'incremento di velocità. Fortunatamente, la tecnologia dei dispositivi a semiconduttore e l'impiego del silicio fornirono la soluzione nel 1958, quando due inventori, Jack Kilby alla Texas Instruments e Robert Noyce alla Fairchild, inventarono indipendentemente il 'circuitto integrato'. Ora, grazie a magie della

chimica e alla fotoincisione, era possibile generare nello stesso blocchetto di silicio i conduttori, gli isolanti e i semiconduttori, cioè tutti i componenti di un circuito, in un volume microscopico e senza ricorrere a fili e saldature. Le dimensioni e i costi cominciarono a ridursi esponenzialmente (vedi F. Filippazzi, "I 50 anni della Legge di Moore", *Mondo Digitale*, aprile 2015). La via per il microprocessore era aperta e, nel 1971, Federico Faggin e Stanley Mazor della Intel idearono il primo 'computer su un chip': il 4004. Era iniziata la strada verso i personal computer, i tablet e gli smartphone, ma anche verso i grandi supercomputer ad elevato parallelismo. Oggi un solo microchip può contenere miliardi di transistor in pochi millimetri cubici di silicio.

Le ricerche sui semiconduttori, oltre ai microcircuiti analogici e digitali, portarono ad altri dispositivi a stato solido, come il fotodiodo e il fototransistor, sensibili alla luce, e come i CCD, che hanno permesso le fotocamere e le videocamere digitali. Il LED ha consentito la realizzazione di schermi piatti per televisori e monitor, in sostituzione ai pesanti e fragili tubi a raggi catodici. Fotodiodi e LED permettono di usare la luce nei canali di comunicazione a fibra ottica, con grande vantaggio in termini di banda. Il LED sta anche soppiantando gli altri sistemi di illuminazione per la sua incomparabile efficienza energetica. Infine, vi sono i microscopici sensori ed effettori che si nascondono in oggetti di uso quotidiano, come accelerometri, bussole, rilevatori di calore e di forza, giroscopi, tutti ormai a stato solido. Senza i settant'anni di sviluppo dei dispositivi a semiconduttore la Information and Communication Technology, come noi la conosciamo, non esisterebbe. La riduzione di dimensioni e l'aumento di velocità hanno forse raggiunto un limite, per problemi relativi alla dissipazione di calore e alle tecnologie produttive, ma il transistor e tutti i suoi diretti congiunti sembrano destinati a durare ancora a lungo.

Quindi: buon compleanno e grazie, transistor!

Silvio Hénin