

# La storia del Transistor

Filippo Spadaro e Diego Menti

## Sommario

Il transistor .....	2
Cronologia .....	2
Cos'è il transistor.....	5
Breve storia del transistor .....	7
Il Radar durante la II guerra mondiale .....	7
La scienza dei semiconduttori alla Bell nell'agosto del 1945 .....	7
L'invenzione del primo transistor, tra il 17 novembre e il 23 dicembre del 1947.....	8
Shockley inventa il transistor a giunzione tra il gennaio e il febbraio del 1948 .....	9
Parlano i militari.....	10
Finalmente un transistor a giunzione funzionante, 1948-1951.....	10
Compartecipazione della tecnologia: Bell ospita i simposi del transistor, 1951-1952.....	12
Radio a Transistor .....	12
William Shockley si muove verso la California, 1956.....	13
Gli otto traditori lasciano la Shockley Semiconductor, 1957 .....	13
L'invenzione del circuito integrato, 1958.....	14
Il futuro dei transistor.....	14
Uomini .....	16
John Bardeen .....	16
Walter Brattain .....	18
William Shockley .....	20
Imprese .....	25
Laboratori Bell .....	25
American Telephone and Telegraph .....	25
Fairchild Semiconductor .....	25
INTEL.....	26
Shockley Semiconductor .....	26
Silicon Valley .....	26
SONY .....	27
Texas Instruments .....	27
Bibliografia .....	28

# Il transistor

## Cronologia

Il transistor è probabilmente l'invenzione più importante del ventesimo secolo e la storia che sta dietro l'invenzione è frutto di una serie di coincidenze e di segrete ricerche.

Questa cronologia riguarda persone e aziende che realizzarono il transistor e il suo sviluppo, viste nel contorno di quegli eventi della storia del XIX e del XX secolo, che furono causa o conseguenza di tale invenzione.

I Laboratori Bell, sono tra i più grandi laboratori industriali del mondo, ed erano il luogo dove la grande azienda americana del telefono e del telegrafo, l'AT&T, effettuava ricerca. Nel 1945, i Laboratori Bell stavano cominciando a cercare una soluzione ad un problema di vecchia data: l'amplificazione di segnali elettrici.

**1854** L'inventore italiano Antonio Meucci realizzò un primo rudimentale apparecchio telefonico con il quale stabilì un collegamento con la propria abitazione.

**1859** Antonio Meucci ottenne un telefono quasi perfetto, ideando contestualmente gli elementi essenziali del sistema telefonico.

**1871** Nonostante le crescenti difficoltà finanziarie, Antonio Meucci riuscì a depositare un caveat (brevetto provvisorio) per la sua invenzione: il telefono; tre anni dopo, tuttavia, non possedeva più il denaro sufficiente a rinnovare il caveat.

**1876** Un altro inventore, Alexander Graham Bell, brevettò un apparecchio telefonico analogo che dopo pochi anni ottenne uno straordinario successo commerciale.

**1895** Il fisico italiano Guglielmo Marconi dopo numerosi esperimenti realizzati nella villa paterna di Pontecchio, metteva a punto un'apparecchiatura con cui riusciva a inviare segnali intelligibili a una distanza di circa 2400 km, usando un'antenna direzionale: era stata inventata la telegrafia senza fili.

**1898** Il fisico britannico Joseph John Thomson nel corso di uno studio dei raggi catodici scopriva l'elettrone, il principale costituente della materia e ne misurava la carica e la massa.

**1900** Il fisico tedesco Max Planck, poneva le basi della meccanica quantistica, il quale ipotizzando che l'energia venga emessa o assorbita dalla materia sotto forma di piccole unità indivisibili, chiamate appunto quanti.

**1901** Guglielmo Marconi trasmetteva segnali radio attraverso l'oceano Atlantico tra Poldhu, in Cornovaglia, e St. John's, nell'isola di Terranova (Canada).

**1902** Il 10 febbraio nasceva Walter Brattain, uno degli inventori del transistor.

**1906** L'eccentrico inventore americano Lee De Forest sviluppava un particolare tipo di valvola termoionica da lui soprannominata "audion", conosciuta oggi come triodo, realizzato in un tubo a vuoto. Era un dispositivo in grado di amplificare i segnali, divenne il componente chiave in quasi ogni apparato per la radiofonia, i radar e la televisione, oltre ad acquisire importanza per i computer, finché all'inizio degli anni '50 il transistor lo sostituì progressivamente. In particolare era stato pensato per i segnali che viaggiavano su linee telefoniche attraverso il Paese da un luogo ad un altro. La AT&T comprò il brevetto di De Forest e migliorò notevolmente il tubo a vuoto. Permise che il segnale fosse amplificato regolarmente lungo la linea, questo significava che una conversazione telefonica poteva continuare attraverso tutta la distanza finché incontrava amplificatori lungo il suo cammino.

**1907** Il problema alla AT&T: i tubi a vuoto di De Forest permettevano di ottenere un'amplificazione, permettendo trasmissioni radio vocali e musicali in USA, ma erano estremamente inaffidabili: richiedevano troppa energia di alimentazione e dissipavano troppo calore.

**1908** Il 23 maggio nasceva John Bardeen, uno degli inventori del transistor

**1909** L'AT&T annunciava un piano telefonico coast to coast negli Stati Uniti. Viene inventata la plastica.

**1910** Il 13 febbraio nasceva William Shockley, uno degli inventori del transistor.

**1912** Lee De Forest inventava l'amplificatore telefonico.

**1915** Il sistema telefonico coast to coast di AT&T era operativo negli Stati Uniti.

**1910** De Forest presentò la prima trasmissione radiofonica di un'opera dal vivo e sei anni dopo annunciò i risultati delle elezioni presidenziali nel primo notiziario via etere.

**1923** De Forest fu il primo a realizzare proiezioni cinematografiche con sonoro.

**1930** La meccanica quantistica aveva già assunto la sua forma definitiva, grazie al contributo di numerosi scienziati, tra cui Albert Einstein, che applicò l'ipotesi quantistica di Planck per spiegare l'effetto fotoelettrico. La meccanica quantistica adesso si interessava ai semiconduttori

Mervin Kelly il direttore della ricerca dei Laboratori Bell, si rese conto della necessità di un dispositivo migliore dei tubi a vuoto di De Forest, affinché il commercio del telefono continuasse a svilupparsi. Capì che la soluzione dei suoi problemi poteva trovarsi in una categoria allora sconosciuta di materiali denominati semiconduttori.

**1939** Veniva inventato il microscopio elettronico. La televisione debuttava al New York World's Fair

**1940** Il fisico americano Russell Ohl, impiegato alla Bell dal 1927, scopriva la giunzione P-N

**1941** Hanno inizio regolari trasmissioni televisive negli Stati Uniti d'America

**1945** Alla Bell trovano una soluzione al problema postosi nel 1907 alla AT&T: dopo la conclusione della II guerra mondiale, si riunì una squadra di scienziati per sviluppare un amplificatore a semiconduttore in grado di sostituire il poco affidabile tubo a vuoto. La squadra sfruttò alcune delle conoscenze prodotte dalla ricerca sui semiconduttori. Queste conoscenze erano le stesse che durante la guerra avevano permesso la realizzazione del radar. Un teorico giovane e brillante, William Shockley, fu selezionato come guida della squadra. Shockley insieme al collega Morgan Sparks avevano costituito in precedenza un solido team di ricerca sui semiconduttori. Shockley coinvolse Walter Brattain, un fisico sperimentale del laboratorio della Bell e John Bardeen un fisico teorico dall'università del Minnesota. Shockley costruì una squadra composta da fisici, chimici e assistenti tecnici. Il gruppo era vario, ma ben affiatato.

Nella primavera del 1945, Shockley progettò il primo amplificatore a semiconduttore; questa invenzione si basava su un meccanismo denominato "effetto campo". Il suo dispositivo era un piccolo cilindro ricoperto da un sottile strato di silicio, montato vicino ad una piccola piastra di metallo. In realtà, il dispositivo non funzionava e Shockley assegnò ad Bardeen e Brattain il compito di scoprire il perché di questo fallimento. I due cominciarono a lavorare senza una diretta supervisione perché Shockley passava la maggior parte del suo tempo da solo.

**1946** Veniva realizzato ENIAC, il pioniere dei calcolatori elettronici digitali, utilizzava tra 18000 e 19000 tubi a vuoto, ciascuno grande più o meno come una lampadina, occupava un'area di circa 160 m<sup>2</sup>, pesava più di 30 tonnellate e consumava circa 200 kW di potenza. Nonostante fosse stato progettato per eseguire calcoli in modo continuo, giorno e notte, i numerosi tubi a vuoto, che tendevano a bruciarsi con facilità, rendevano necessari costanti interventi di manutenzione, abbassando di circa un terzo l'efficienza del calcolatore.

**1947** Da 2 anni Bardeen e Brattain lavoravano nella squadra di Shockley, ai Laboratori Bell sulla collina di Murray: Bardeen, il teorico, suggeriva esperimenti ed interpretava i risultati, mentre Brattain sviluppava e metteva in pratica le idee del collega.

Il 16 dicembre del 1947 costruirono il primo transistor (point contact transistor), costituito da strisce di lamine d'oro su un triangolo di plastica, messe a contatto con una lastra di germanio.

Quando Bardeen e Brattain chiamarono Shockley per comunicargli la loro invenzione, quest'ultimo fu contento per i risultati ottenuti dal suo gruppo, ma allo stesso tempo si adirò perché non era stato coinvolto direttamente. Bardeen e Brattain avevano costruito il primo transistor (point contact transistor).

Inoltre il problema di quali nomi dovevano essere scritti sul brevetto del dispositivo e di colui che sarebbe stato pubblicizzato come il padre del dispositivo, aumentò ancor di più la tensione.

**1948** Già nel 1947 Shockley aveva capito che il dispositivo di Brattain e Bardeen era migliorabile. La sua ricerca proseguì in un clima misto di creatività e rabbia, principalmente in una stanza di hotel a Chicago. Nel gennaio 1948, Shockley era arrivato ad una teoria certa, aveva inventato il transistor a giunzione. Impiegò un totale di quattro settimane per descrivere il funzionamento su carta del suo dispositivo, anche se solo dopo due anni riuscì realmente a costruirne uno. Il suo dispositivo era più robusto e più pratico rispetto a quello di Bardeen e Brattain e soprattutto molto più facile da produrre; diventò la principale invenzione dell'era elettronica.

**1949** Il 23 giugno Ralph Bown della Bell diede una presentazione dell'invenzione del point contact transistor ad un gruppo di ufficiali militari. Inoltre disse loro che questa sarebbe stata la stessa dimostrazione che aveva preparato per dare la notizia alla stampa la settimana successiva. Ciò che egli non fece fu di chiedere il permesso. Bown e Kelly non desideravano rendere facile per i militari la classificazione del transistor. Se quelli avessero desiderato mantenerlo un segreto, l'esercito avrebbe sviluppato l'oggetto al suo interno. Le forze armate discussero nei loro vari uffici, ma alla fine, nessuno disse una parola. I Laboratori Bell andarono alla conferenza stampa, che era stata indetta, senza intoppi, rivelando al mondo l'invenzione il 30 giugno 1949. Con

l'aiuto dell'assistente tecnico John Pierce, i Laboratori Bell inventarono il nome transistor per il nuovo dispositivo, combinando l'idea di trans-resistenza con altri dispositivi quali i termistori.

**1951** Barden lasciava i laboratori Bell per andare all'università dell'Illinois, dove, grazie alle ricerche e agli studi condotti durante questo periodo, vinse un secondo premio Nobel. Brattain rimase ancora per diversi anni nei laboratori Bell e dopo si dedicò all'insegnamento.

Nel settembre del 1951, i Laboratori Bell ospitarono un simposio per fare conoscere che cosa il transistor avrebbe potuto fare, ma c'erano poche idee su come poterne costruire uno. Per quella conoscenza, Bell chiedeva alle aziende \$25.000 in cambio dei diritti di licenza. Ventisei aziende, sia dagli Stati Uniti che dall'estero, sottoscrissero questo privilegio. C'erano sia grandi aziende, come l'IBM e la General Electric, ma anche aziende più piccole, tra le quali la allora sconosciuta Texas Instruments.

**1954** Il 18 ottobre viene immessa sul mercato la Regency TR1, la prima radio a transistor, da un progetto congiunto tra la Regency Division of Industrial Development Engineering Associates e la Texas Instruments. La TI costruì i transistor, la Regency la radio, misurava cinque pollici scarsi d'altezza ed usava quattro transistor al germanio.

La radio a transistor cambiò il mondo, dando inizio all'era dell'informazione. Le informazioni potevano rapidamente raggiungere tutte le parti della terra ed essere a "portata di mano" di tutti.

**1955** Negli anni passati l'invenzione del transistor aveva riscosso poca attenzione, sia nella società sia nell'industria, ma Shockley vedeva le potenzialità di questa invenzione e lasciava i laboratori Bell. Per un periodo insegnò a Standfort.

L'AT&T aveva cominciato ad usare i transistor nelle linee telefoniche rendendole più rapide ed efficienti.

In Giappone, un'azienda molto piccola, una startup dell'epoca, la Tsushin Kogyo aveva prodotto le sue prime radio a transistor che chiamarono TR-52. Quando la Regency smise di produrre la TR1, nella primavera del 1955, l'azienda giapponese poté accedere al mercato degli Stati Uniti. L'unico problema era che il nome dell'azienda era difficile da pronunciare per gli americani, quindi svilupparono un nuovo nome: Sony.

**1956** Shockley fondò la Shockley Semiconductor a Palo Alto in California con il contributo economico di Arnold Beckman. Shockley impiegò i migliori assistenti tecnici e fisici dell'epoca.

Il 10 dicembre 1956 i tre padri del transistor ricevevano a Stoccolma il premio Nobel per il loro contributo alla fisica.

**1957** In maggio otto dipendenti della Shockley Semiconductor lasciarono l'azienda per disaccordi con il padre del transistor e fondarono una nuova società chiamata Fairchild Semiconductor.

Bob Noyce e Gordon Moore, due di questi, successivamente fondarono anche la Intel Corporation e assieme alla Texas Instrument inventarono i circuiti integrati. Oggi Intel produce miliardi di transistor ogni giorno nei suoi circuiti integrati. Queste società, fondate da Shockley e dai suoi colleghi furono l'inizio della Silicon Valley.

**1958** Jack Kilby della Texas Instruments ebbe la brillante idea che tutte le parti di un circuito, non solo il transistor, avrebbero potuto essere realizzate in silicio. A quei tempi, nessuno costruiva condensatori o resistori dai semiconduttori. Se ciò potesse essere fatto allora l'intero circuito avrebbe potuto essere sviluppato su un singolo cristallo, rendendolo più piccolo e molto più facile da produrre: si trattava del circuito integrato. Il 12 settembre, Kilby ne mise a punto un modello funzionante ed il 6 febbraio la Texas Instruments archiviò il brevetto.

**1959** In gennaio, un altro uomo aveva avuto l'idea del circuito integrato, era Robert Noyce, lavorava alla piccola startup Fairchild Semiconductor. Sapendo già che la TI aveva archiviato un brevetto su qualcosa di simile, la Fairchild aveva scritto un'applicazione altamente dettagliata, sperando che non fosse considerato simile al dispositivo della TI.

**1961** Il 25 aprile l'ufficio brevetti assegnò il primo brevetto per un circuito integrato a Robert Noyce mentre l'applicazione di Kilby veniva ancora analizzata. Oggi, però viene riconosciuto ad entrambi gli uomini di aver concepito l'idea indipendentemente l'uno dall'altro.

**1972** I tre padri del transistor si incontrarono ancora una volta nei Laboratori Bell per celebrare il venticinquesimo anniversario della loro straordinaria scoperta. Quando avevano incominciato a lavorare di certo non avevano mai pensato che stavano per realizzare un dispositivo che avrebbe cambiato il mondo.

# Cos'è il transistor

Il transistor o triodo a semiconduttore è un dispositivo in grado di amplificare in uscita il segnale che riceve in ingresso.

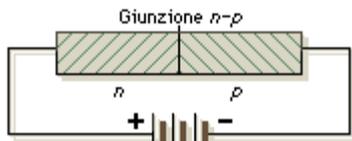
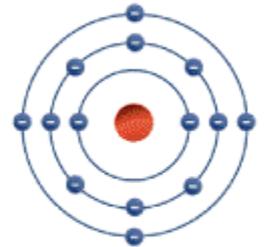
Un transistor a giunzione è costituito da un cristallo di silicio (o di germanio) nel quale uno strato di silicio di tipo n è posto tra due strati di tipo p. O, inversamente, un transistor può essere costituito da uno strato p tra due strati n. Nel primo caso si parla di transistor pnp, nel secondo di transistor npn. L'insieme delle due giunzioni semiconduttrici è estremamente piccolo e un involucro di metallo o di materiale plastico lo protegge dall'umidità. Esistono oggi varie tecniche di fabbricazione e modelli di transistor.



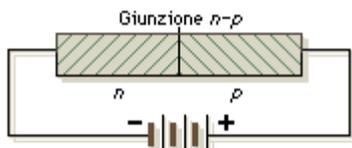
[Nella foto : circuito con transistor] Tra i componenti di questo circuito, i transistor sono riconoscibili dalle capsule cilindriche argentate che li ricoprono. Ognuno di essi consiste di un pezzetto di silicio che, "drogato" da un certo numero e tipo di atomi, si comporta come un semiconduttore di tipo n o di tipo p. Inventati nel 1948, i transistor sono componenti fondamentali dei moderni circuiti, in cui possono entrare come amplificatori, interruttori o oscillatori.

Per predisporre un semiconduttore alla conduzione di corrente si utilizza il metodo del drogaggio. Nel caso del silicio (Si), se si

sostituisce un atomo di Si con un atomo di fosforo (P), uno degli elettroni di valenza del P non riesce a legarsi agli atomi circostanti, e rimane libero per la conduzione: il tipo di semiconduttore così ottenuto si dice drogato di tipo n. Se un atomo del reticolo di Si viene sostituito da un atomo di alluminio (Al), viene a mancare un elettrone di valenza al completamento dei legami chimici, e si genera una "lacuna" che, agli effetti della conduzione, si comporta come una carica positiva libera: il semiconduttore così ottenuto si dice drogato di tipo p.



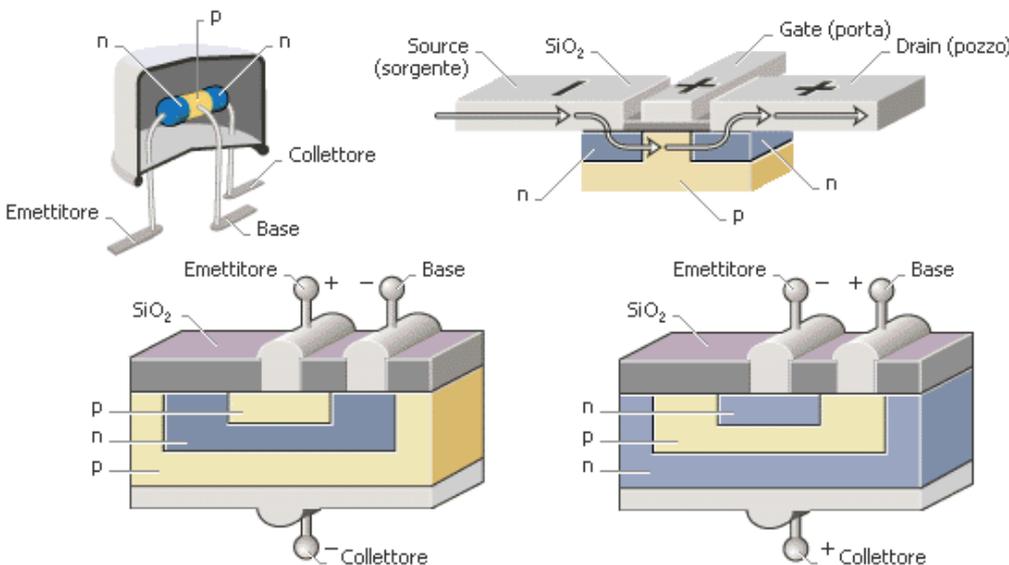
La corrente non attraversa la giunzione



La corrente attraversa la giunzione

La giunzione pn tra un semiconduttore di tipo n e uno di tipo p, permettendo il flusso della corrente elettrica solo in una direzione, viene utilizzata come diodo per raddrizzare le correnti alternate. Gli elettroni in eccesso nel semiconduttore di tipo n possono attraversare la giunzione per colmare le lacune del semiconduttore p, ma non è possibile che avvenga alcun moto di elettroni nell'altro senso.

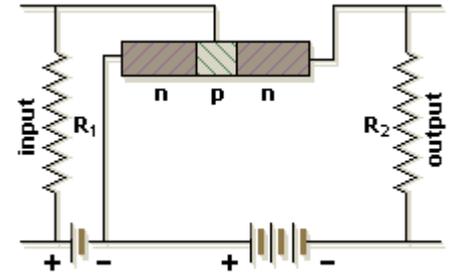
I transistor sono dispositivi elettronici usati come amplificatori, oscillatori o interruttori in sistemi di comunicazione, controllo e calcolo. [Lo schema nella figura successiva illustra la struttura di alcuni dei tipi di transistor oggi in uso: in basso, le due versioni di transistor bipolare a giunzione: pnp o npn; in alto a sinistra, il loro tipico sistema di incapsulamento; in alto a destra, lo schema di funzionamento di un MOS (Metal-Oxide-Semiconductor)]



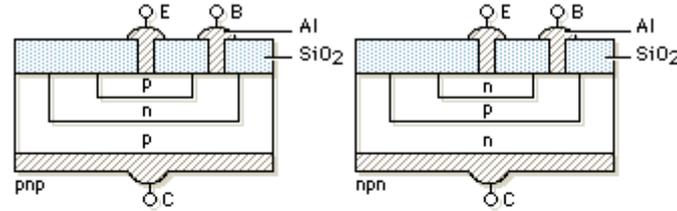
Un transistor bipolare a giunzione (BJT) è costituito da un cristallo di silicio suddiviso in tre zone diversamente drogate (in successione, p-n-p o n-p-n), e contenente due giunzioni p-n. Sulle tre zone sono depositi per evaporazione contatti in alluminio; la superficie restante è isolata con ossido di silicio. Una piccola corrente spinta attraverso la giunzione base-emettitore provoca una corrente da 10 a 1000 volte più grande tra emettitore e collettore. Questa amplificazione di

corrente è alla base di infinite applicazioni.

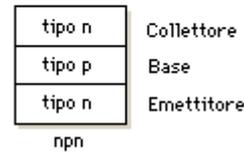
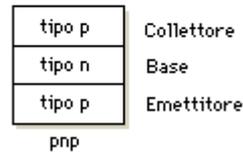
Nell'amplificatore a transistor n-p-n, il segnale giunge sotto forma di tensione alla base del transistor (p). Le piccole variazioni di questa tensione ai capi della resistenza di input  $R_1$  pervengono amplificate alla resistenza di output  $R_2$ . Nell'amplificazione dei segnali acustici,  $R_1$  rappresenta il microfono,  $R_2$  l'altoparlante. Gli amplificatori "Hi-Fi" contengono diversi transistor, che da una parte aumentano l'ampiezza del segnale, dall'altra ne riducono le possibili distorsioni.



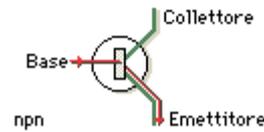
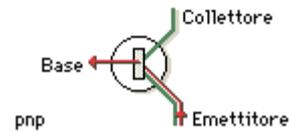
**(a) Schema costruttivo**



**(b) Struttura di principio**



**(c) Simbolo circuitale**



# Breve storia del transistor

## Il Radar durante la II guerra mondiale

Durante la II guerra mondiale, le battaglie erano vinte da chi per primo individuava aeroplani, navi, o sommergibili nemici. Per dare agli alleati un vantaggio, scienziati britannici e americani svilupparono la tecnologia del radar per "vedere" a centinaia di miglia, anche di notte. Nel dopoguerra, la ricerca volta a migliorare il radar aiutò anche la ricerca sul transistor.

Il radar degli anni intorno al 1940 era costituito da un cristallo a semiconduttore, o "raddrizzatore", funzionava spedendo un'onda radio ed analizzando l'onda riflessa che rimbalzava fuori da tutti gli oggetti presenti nell'aria. Il lavoro del raddrizzatore doveva tradurre il segnale riflesso in corrente continua necessaria per la visualizzazione sullo schermo. Questi cristalli spesso non erano adatti a trattare la rapidità e l'intensità di un segnale di radar variabile velocemente. Si sarebbero bruciati frequentemente. Un certo numero di istituzioni, compreso la Purdue University, i Laboratori Bell, il MIT (Massachusetts Institute of Technology) e l'università di Chicago, unirono le loro forze per costruire cristalli migliori.

Provando differenti semiconduttori e drogandoli con materiali differenti, i ricercatori impararono quali combinazioni fornissero i migliori risultati. Di speciale importanza per i ricercatori sui semiconduttori erano la scoperta che Seymour Benzer fece a Purdue. Egli aveva trovato che i rivelatori migliori erano fatti con cristalli di germanio (fu proprio il germanio ad essere usato per costruire il primo transistor funzionante cinque anni più tardi). Gli scienziati inoltre impararono nuove e migliori tecniche di sviluppo e drogaggio dei cristalli.

Entro una decina d'anni, la comprensione della crescita del cristallo sarebbe risultata utile in aree di sviluppo tecnologico inattese, permettendo che i ricercatori impegnati sui semiconduttori ai Laboratori Bell utilizzassero il germanio per il cuore dei primi transistor.

## La scienza dei semiconduttori alla Bell nell'agosto del 1945

Sul finire della II guerra mondiale, i Laboratori Bell erano in grande fermento. Molti degli scienziati erano stati trasferiti in dipartimenti differenti. Qualcuno era stato promosso. Il presidente della Bell Mervin Kelly guidava questa riorganizzazione. Pensava che il modo migliore per mantenere l'AT&T forte fosse quello di avere un programma di ricerca di base di prima qualità.



Una delle nuove divisioni era il Solid State Physics group. Kelly riteneva che la scienza dei semiconduttori avrebbe potuto fornire un nuovo genere di amplificatore da sostituire ai tubi a vuoto nei dispositivi telefonici dell'AT&T. I tubi amplificavano i segnali di voce che viaggiavano attraverso i fili del telefono, ma stavano raggiungendo i limiti del loro potenziale. Un amplificatore a semiconduttore, più robusto e più efficiente di un tubo a vuoto, avrebbe potuto avere anche altri usi. Fra i clienti più probabili c'era l'esercito degli Stati Uniti. Mentre la guerra fredda iniziava, le agenzie militari investivano sontuosi fondi in qualunque genere di ricerca che potesse risultare utile a lungo termine. Kelly riteneva che il suo Solid State Physics group potesse aiutare la sua azienda, sperando di garantirsi come clienti i militari.

[Nella foto: Un modello di valvola di Fleming degli inizi del Novecento è un esempio dei primi tubi a vuoto, detti anche tubi elettronici. Costituito da un'ampolla di vetro in cui è stato fatto il vuoto, da un filamento conduttore e da due o più elettrodi, il tubo a vuoto veniva impiegato per raddrizzare e regolare le correnti e i segnali elettrici nei circuiti di apparecchi radio e televisivi. Oggi la sua funzione è svolta con maggiore efficienza dal transistor.]

Il fisico William Shockley e il chimico Stanley Morgan erano stati incaricati di organizzare un nuovo gruppo. Altri ricercatori della Bell come Walter Brattain, Gerald Pearson e Robert Gibney furono trasferiti nel gruppo ed altri come John Bardeen si aggiunsero presto. Shockley fece partire una sezione all'interno del gruppo che si interessasse sulla ricerca dei semiconduttori. La loro ricerca era basata sulle teorie della meccanica quantistica applicata ai semiconduttori, sviluppata durante gli anni '30

da scienziati come Eugene Wigner e Frederick Seitz. Era un gruppo fenomenale e creativo. Una delle virtù di Shockley era la sua capacità di mettere insieme gli scienziati più intelligenti che aveva intorno e questo gruppo particolare di menti lavorò bene insieme. Passavano parecchio tempo davanti ad una lavagna, discutendo il loro lavoro e scambiandosi le loro idee. Ogni ricercatore del gruppo proveniva da uno specifico campo di specializzazione, in modo che se uno rimaneva incastrato su un esperimento ci fosse sempre nel gruppo una persona competente nel campo a cui chiedere aiuto. Shockley dirigeva tutto, dando suggerimenti, ma tuttavia permettendo che ciascuno lavorasse autonomamente in libertà.

## **L'invenzione del primo transistor, tra il 17 novembre e il 23 dicembre del 1947.**

Il 17 novembre 1947 Walter Brattain realizzò un suo esperimento in un thermos di acqua. Aveva supposto che l'aggeggiamento di silicio che aveva costruito potesse aiutarlo a studiare come gli elettroni si comportano sulla superficie di un semiconduttore e perché qualunque cosa egli e il collega Bardeen facessero gli fosse impossibile costruire un amplificatore. Fino a quel momento, un addensamento elettronico continuava a formarsi sul silicio e rovinava l'esperimento. Per eliminare quell'addensamento, Brattain probabilmente avrebbe dovuto mettere il silicio in un recipiente in cui veniva fatto il vuoto, ma pensò che avrebbe richiesto molto tempo. Invece realizzò l'esperimento sott'acqua, così facendo eliminò l'addensamento!

All'improvviso il dispositivo bagnato generò la più grande amplificazione vista finora. Brattain e un altro scienziato, Robert Gibney, fissarono l'esperimento sbalorditi. Cominciarono a provare con differenti manopole e bottoni: portando la tensione su valori positivi aumentavano l'effetto ancor di più, mentre portandola su valori negativi lo potevano eliminare completamente. Intuirono che gli elettroni sulla superficie stessero lavorando per bloccare l'amplificazione che veniva annullata in qualche modo fuori dall'acqua: l'ostacolo più grande a costruire un amplificatore era stato superato.

Quando a John Bardeen fu riferito ciò che era accaduto, questi pensò ad un nuovo modo di costruire un amplificatore. Il 21 novembre Bardeen suggerì di inserire una punta di metallo nel silicio circondato da acqua distillata. L'acqua avrebbe dovuto eliminare l'exasperante problema elettronico appena sotto il punto di contatto, come si era ottenuto nel thermos, ma la difficoltà stava nel fatto che il punto di contatto non avrebbe dovuto toccare l'acqua: doveva toccare soltanto il silicio. Il genio di Brattain uscì fuori e quando ebbe costruito l'amplificatore, questo funzionò. Naturalmente, c'era soltanto uno spunto d'amplificazione molto piccolo, ma era un buon punto di partenza.

Una volta che era stata ottenuta una piccola amplificazione, grazie ad una goccia d'acqua molto piccola, Bardeen e Brattain calcolarono che erano sulla strada giusta per ottenere qualcosa di utile. Usando materiali differenti, e sperimentando in varie situazioni con elettroliti differenti al posto dell'acqua, i due uomini provarono ad ottenere una maggiore amplificazione di corrente. L'8 dicembre, Bardeen suggerì di sostituire il silicio con il germanio. Ottennero un salto di corrente, un'amplificazione di circa 330 volte, ma nell'opposta direzione a quella prevista. Invece di uno spostamento di elettroni, erano le lacune a muoversi. Ma l'amplificazione che si era ottenuta era una cosa certa ed era un buon passo avanti.

Purtroppo questo grande salto nell'amplificazione funzionava soltanto per determinate correnti, a frequenze molto basse. Quindi non avrebbe potuto essere utilizzabile per una linea telefonica, dove vengono maneggiate tutte le frequenze complesse della voce umana tra 300 e 3400 Hz. Così il punto seguente era ottenere un dispositivo funzionante a tutte le frequenze.

Bardeen e Brattain pensarono che il problema potesse essere nel liquido. Così lo sostituirono con il biossido di germanio, che è essenzialmente una piccola punta di ruggine del germanio. Gibney preparò una speciale lastra di germanio con uno strato di ossido verde cangiante da un lato. Il 12 dicembre Brattain cominciò ad inserire i punti di contatto. Ma non accadde nulla.

In effetti il dispositivo funzionava come se non ci fosse lo strato di ossido all'interno. E Brattain dopo avere spinto diverse volte il contatto d'oro dentro, realizzò che ciò accadeva perché non c'era all'interno nessuno strato d'ossido. Lo aveva lavato per errore. Brattain era furioso con sé stesso, ma deciso comunque a continuare la sua sperimentazione con il punto di contatto. E con sua sorpresa, realmente ottenne una certa amplificazione di tensione, e la cosa più importante era che avrebbe potuto ottenerla a tutte le frequenze! Il contatto d'oro stava emettendo lacune nel germanio che annullavano l'effetto degli elettroni sulla superficie, allo stesso modo dell'esperimento in cui si era usata la goccia d'acqua, ma adesso era molto meglio di quella versione, perché il dispositivo dava un guadagno in corrente a tutte le frequenze.



Nel mese passato, Bardeen e Brattain erano riusciti ad ottenere una grande amplificazione ad alcune frequenze e una piccola amplificazione a tutte le frequenze, adesso avrebbero dovuto combinare le due. Avevano capito che i componenti chiave erano una lastra di germanio e due punte di contatto d'oro separate tra loro, giusto una frazione di millimetro. Walter Brattain mise un nastro di un foglio d'oro intorno ad un triangolo di plastica e lo affettò ad uno dei vertici [vedi foto a lato, il dispositivo sperimentale]. Mettendo quel punto del triangolo delicatamente sul germanio, vide un effetto fantastico: il segnale entrava attraverso un contatto d'oro ed aumentava mentre correva verso l'altro estremo. Il primo transistor a punte metalliche era stato realizzato.

Per una settimana, gli scienziati mantennero segreto il loro successo. Shockley chiese a Bardeen e Brattain di mostrargli il loro piccolo triangolo di plastica ad una riunione di gruppi al laboratorio al più entro il 23 dicembre. Dopo che i rimanenti membri del laboratorio ebbero la possibilità di osservare il dispositivo e di effettuare alcune prove, l'invenzione era ufficiale: questa punta molto piccola di germanio, plastica e oro era il primo amplificatore semiconduttore funzionante.

## Shockley inventa il transistor a giunzione tra il gennaio e il febbraio del 1948



William Shockley passò la vigilia del nuovo anno da solo in un hotel in Chicago. Era là per una riunione della Physical Society, ma era più eccitato dall'aver del tempo libero per concentrarsi sul suo lavoro. Ci poteva essere un party ai piani inferiori, ma Shockley non avrebbe desiderato parteciparvi. Aveva cose ben più importanti da pensare. Passò quella notte ed i due giorni dopo lavorando ad alcune delle sue idee per un nuovo transistor per migliorare le idee di Brattain e Bardeen.

Graffiando pagina dopo la pagina nel suo taccuino [in foto una delle pagine scritte da Shockley], una delle idee dello Shockley era di costruire un semiconduttore "sandwich". Tre strati semiconduttori impilati insieme, pensava che avrebbero potuto funzionare come un tubo a vuoto con lo strato centrale che potesse comandare il passaggio di corrente o interromperlo a seconda della propria volontà. Dopo circa 30 pagine di note, il concetto che Shockley aveva in mente non era venuto completamente al dunque, così lo mise da parte, passando ad un altro lavoro.

Gennaio seguente fu per Shockley abbastanza triste. Pensava che avrebbe dovuto ottenere da solo i crediti per l'invenzione del transistor, dato che dopotutto l'iniziale idea di ricerca era stata proprio la sua. Gli avvocati dei Laboratori Bell non erano però dello stesso parere. Rifiutarono persino di mettere il suo nome sul brevetto. Shockley decise, quindi che l'unica cosa che poteva fare, era quella di sviluppare un dispositivo migliore.

Mentre il resto del gruppo lavorava piacevolmente su come migliorare il transistor a punte metalliche di Bardeen e Brattain. Shockley si concentrava sulle sue proprie idee, non lasciando che nessuno sapesse cosa stava facendo in laboratorio.

Il 23 gennaio 1948, insonne, mentre Shockley era seduto al tavolo della cucina, illuminata dalle prime luci del giorno, ebbe una improvvisa intuizione sulla costruzione del dispositivo "sandwich", pensando che potesse essere un'idea utile per migliorare il transistor. Si sarebbe trattato di un sandwich a tre strati. I semiconduttori delle parti esterne avrebbero dovuto avere elettroni in eccesso, mentre la parte centrale avrebbe dovuto avere pochi elettroni. Lo strato centrale si sarebbe dovuto comportare come un rubinetto: pilotandolo in tensione su e giù, questo avrebbe dovuto regolare il flusso di corrente nel sandwich aumentandola o interrompendola a seconda della propria volontà.

Shockley non parlò con nessuno di questa sua idea. La fisica che stava dietro questo nuovo amplificatore era differente da quella del dispositivo di Bardeen e Brattain perché interessava la corrente che passava direttamente attraverso i pezzi di semiconduttore, e non lungo la superficie. Nessuno a quei tempi era sicuro se una corrente uniforme potesse fluire attraverso un semiconduttore e possibilmente Shockley desiderava testare ciò prima di discuterlo. O probabilmente, ricordando a come Bardeen e Brattain avessero fatte proprie le sue idee sul transistor a punte metalliche, non desiderava rischiare che ciò accadesse un'altra volta.

Quindi, il 18 febbraio 1948, Shockley capì che il sandwich transistor avrebbe potuto funzionare. Due membri del gruppo, Joseph Becker e John Shive, stavano lavorando ad un esperimento separatamente. I loro risultati avrebbero potuto essere spiegati soltanto se gli elettroni in effetti attraversassero la massa (il

bulk) di un semiconduttore. Quando hanno presentato i loro risultati al gruppo, Shockley ebbe la prova di cui aveva bisogno. Saltato in su e per la prima volta condivise il suo concetto di un transistor sandwich al resto della sua squadra.

Bardeen e Brattain furono sbalorditi più di quanto non lo fossero prima d'ora. Era chiaro che Shockley manteneva questo segreto da settimane. Ciò allargò la spaccatura sempre crescente che si stava sviluppando tra loro.

## **Parlano i militari**

I membri del consiglio d'amministrazione dei Laboratori Bell non sapevano tutto quello che il transistor avrebbe potuto fare, ma sapevano che prospettava grandi cose. Stavano quasi per tenere una enorme conferenza stampa per annunciare ciò che era stato inventato, ma prima di dirlo al pubblico dovettero informarsi con i militari.

Al minimo, il transistor avrebbe potuto rivoluzionare le comunicazioni ed i segnali radiofonici, qualcosa che avrebbe dato all'esercito degli Stati Uniti un utile vantaggio se l'invenzione fosse rimasta segreta ad altri stati. Il presidente della Bell, Mervin Kelly, sperava che l'esercito statunitense non desiderasse classificare questa ricerca, ma sapeva che sarebbe potuto accadere.

Il 23 giugno 1949, Ralph Bown diede una presentazione ad un gruppo di ufficiali militari. Mostrò come una punta molto piccola di cristallo e un filo potevano amplificare un segnale elettrico molto più efficientemente di quanto avesse potuto fare un ingombrante tubo a vuoto. Inoltre disse loro che questa sarebbe stata la stessa dimostrazione che aveva preparato per dare la notizia alla stampa la settimana successiva. Ciò che egli non fece fu di chiedere il permesso. Bown e Kelly non desideravano rendere facile per i militari la classificazione del transistor. Se quelli avessero desiderato mantenerlo un segreto, l'esercito avrebbe sviluppato l'oggetto al suo interno.

Le forze armate discussero nei loro vari uffici se classificare o meno il lavoro della Bell. C'erano certamente coloro pensavano che, per lo meno, lo si sarebbe dovuto mantenere segreto il transistor per capire un po' meglio che cosa avrebbe potuto fare. Ma alla fine, nessuno disse una parola. I Laboratori Bell andarono alla conferenza stampa, che era stata indetta, senza intoppi.

## **Finalmente un transistor a giunzione funzionante, 1948-1951**

Non c'era dubbio al proposito: il point-contact transistor (transistor a punte metalliche) non era affidabile. I transistor costruiti dalla Bell non funzionavano due volte allo stesso modo, e soprattutto erano rumorosi. Mentre in un laboratorio della Bell si stava provando a migliorare quei primi type-A transistor, William Shockley stava lavorando alla realizzazione di un prototipo completamente differente che finalmente avrebbe eliminato questi problemi.

All'inizio del 1948, Shockley immaginò un transistor che assomigliava ad un panino, detto sandwich transistor appunto, con due strati di un tipo di semiconduttore che circondavano uno di un altro tipo. Questa era una messa a punto completamente differente che non aveva i traballanti fili metallici, che costituivano i punti di contatto del transistor a punte metalliche, così difficili da controllare.

Un sandwich transistor funzionante avrebbe richiesto che il flusso elettrico viaggiasse attraverso il cristallo anziché sulla superficie. Ma la teoria di Bardeen riguardo il point-contact transistor funzionante affermava che l'elettricità avrebbe potuto viaggiare soltanto lungo la parte esterna di un cristallo semiconduttore. Nel febbraio del 1948, alcuni risultati sperimentali nel laboratorio di Shockley indicavano che questo non poteva essere vero. Così la prima cosa che Shockley avrebbe dovuto fare era di determinare che cosa stava accendendo.

Gli esperimenti condotti da un fisico del gruppo, Richard Haynes, furono d'aiuto. Haynes mise gli elettrodi da entrambi i lati di un sottile cristallo di germanio e prese misure molto sensibili sulla grandezza e la velocità della corrente. L'elettricità definitivamente passava attraverso il cristallo. La visione di Shockley di un nuovo genere di transistor era teoricamente realizzabile!

Haynes inoltre aveva scoperto che lo strato di mezzo del sandwich doveva essere molto sottile e molto puro<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Se lo spessore della base (il semiconduttore al centro del sandwich) è molto più piccolo della lunghezza di diffusione degli elettroni (nel caso di transistor npn), solo una parte trascurabile di essi si ricombinerà con le lacune maggioritarie in base, mentre la maggior parte di essi, partiti dalla giunzione emettitore-base, grazie ad una

L'uomo che ha aprì la strada per la tecnica di crescita dei cristalli fu Gordon Teal. Non lavorava nel gruppo di Shockley, ma si manteneva aggiornato su quanto stesse accadendo. Gli fu chiesto all'occasione di fornire i cristalli per il Solid State team. Teal pensava che i transistor sarebbero dovuti essere costruiti da un singolo cristallo, si opponeva a tagliare una fettina da un più grande lingotto di molti cristalli. I contorni fra tutti i piccoli cristalli causavano solchi che disperdevano la corrente e Teal aveva sentito parlare di come costruire un singolo grande cristallo che non avrebbe avuto tutte quelle dispersioni.

Il metodo consisteva nel prendere un seme di cristallo molto piccolo e tuffarlo nel germanio fuso. Questo allora veniva estratto così lentamente, da permettere che un cristallo si formasse come un ghiacciolo sotto il seme.

Teal sapeva come farlo, ma nessuno era stato fino al momento interessato. Un certo numero di istituzioni del tempo, inclusa la Bell, avevano la cattiva abitudine di non fidarsi delle tecniche che non fossero state inventate all'interno. Shockley all'epoca non pensava che questi singoli cristalli fossero utili. Jack Morton, a capo del gruppo di produzione del transistor, disse a Teal che avrebbe dovuto andare avanti con la ricerca, ma non diede molto supporto al suo campo di ricerca.

Fortunatamente, Teal continuò la ricerca, lavorando con l'ingegnere John Little. Tre mesi più tardi, nel marzo del 1949, Shockley dovette ammettere che era stato in errore: la corrente che fluiva attraverso i semiconduttori di Teal poteva crescere fino a cento volte in più che nei vecchi cristalli tagliati.

La tecnologia di crescita dei cristalli era di buon livello e i cristalli ottenuti erano tutti di buona fattura, ma un sandwich transistor aveva bisogno di un cristallo a sandwich. Gli strati esterni dovevano essere costituiti da un semiconduttore con troppi elettroni (detto di tipo N) o troppo pochi (detto di tipo P), mentre lo strato interno sarebbe stato l'opposto. Sotto la direzione di Shockley, Teal e Morgan Sparks cominciarono ad aggiungere delle impurità alla fusione mentre tiravano il cristallo dalla fusione. L'aggiunta di impurità al cristallo è nota come "drogaggio" del cristallo e permette di trasformare un semiconduttore intrinseco in un semiconduttore di tipo N o P.

Mentre tiravano il seme di cristallo intrinseco da una fusione di germanio di tipo N, aggiungevano rapidamente del gallio per trasformare la fusione nel tipo P. Appena lo strato di tipo P si sarebbe formato sul cristallo, avrebbero aggiunto dell'antimonio, per compensare il gallio e rendere la fusione nuovamente di tipo N. Una volta portato a termine il processo, ci sarebbe stato un unico sottile cristallo, formato come un sandwich.



Incidendo la superficie degli strati esterni, Sparks e Teal lasciarono una minuscola sporgenza al cristallo di tipo P. A questa fissarono un sottile elettrodo, creando un circuito secondo come Shockley aveva concepito. Il 12 aprile 1950, esaminarono quanto avevano costruito. Senza dubbio, dal sandwich usciva più corrente di quella che veniva immessa dentro. Era un amplificatore funzionante e il primo transistor a giunzione era nato. [Nella foto a lato il primo sandwich transistor di Shockley].

Ma non era ancora molto buono. Questo transistor poteva amplificare i segnali elettrici, ma che non fossero particolarmente complicati. Se il segnale cambiava velocemente, come la voce su una linea telefonica, il transistor non ce la faceva a seguirla e produceva disturbi in uscita. Il problema era nel mezzo del sandwich: era troppo facile per la corrente elettrica disperdersi mentre attraversava lo strato di tipo P. Per risolvere il problema, lo strato dovette essere reso ancora più sottile.

Nel gennaio del 1951, Morgan Sparks riuscì a capire un modo per realizzare ciò. Tirando il cristallo verso l'esterno più lentamente che mai, mentre costantemente mescolava la fusione, era riuscito ad ottenere lo strato centrale del sandwich più sottile di un foglio di carta.

Questo nuovo sandwich migliorato fece sperare in bene tutti i ricercatori. Essi non erano ancora riusciti a superare la capacità del transistor a punte metalliche di maneggiare segnali oscillanti in modo estremamente rapido, ma da un altro punto di vista il loro dispositivo era superiore. Era più efficiente, dato che richiedeva meno potenza per funzionare, e quindi silenzioso (in termini di rumore elettronico) permettendo di maneggiare segnali più deboli di quelli che il type-A transistor avrebbe mai potuto amplificare.

Nel luglio del 1951, la Bell tenne un'altra conferenza stampa: questa volta annunciava l'invenzione di un transistor a giunzione funzionante ed efficiente.

## Compartecipazione della tecnologia: Bell ospita i simposi del transistor, 1951-1952

I Laboratori Bell ebbero una brillante intuizione: lo sviluppo del transistor si sarebbe attuato molto più velocemente se avessero aperto il campo ad altre aziende. Così, nel settembre del 1951, i Laboratori Bell ospitarono un simposio per fare conoscere che cosa il transistor avrebbe potuto fare.

I partecipanti al congresso erano circa 300 tra scienziati e ingegneri e tutti tornarono alle loro rispettive aziende con un buona impressione su ciò che il transistor avrebbe potuto fare, ma poche idee su come poterne costruire uno. Per quella conoscenza, Bell chiedeva alle aziende \$25.000 in cambio dei diritti di licenza. Ventisei aziende, sia dagli Stati Uniti che dall'estero, sottoscrissero questo privilegio. C'erano sia grandi aziende, come l'IBM e la General Electric, ma anche aziende più piccole, tra le quali la allora sconosciuta Texas Instruments.

Oltre un centinaio di accreditati provenienti dal ristretto gruppo di aziende tornò per il simposio di tecnologia del transistor tenutosi nell'aprile del 1952. Per otto giorni i Laboratori Bell lavorarono con i partecipanti, giorno e notte, ma alla fine, furono dotati delle conoscenze adatte a cominciare a costruire da loro i transistor.

La Bell raccolse tutte le informazioni del meeting in due volumi, intitolati "Transistor Technology". L'opera è nota affettuosamente come "Mother Bell's Cookbook" (le ricette di mamma Bell).

### Radio a Transistor



Per che cosa era buono il transistor?

I transistor potevano essere utili al tempo per realizzare telefoni aziendali e ad una manciata di scienziati per costruire i calcolatori elettronici, ma ciò non era abbastanza per sviluppare un'industria. Le aziende stavano comprando in maniera veramente interessata le autorizzazioni del transistor dalla Bell, ma se avessero voluto far salire le vendite dei loro prodotti avrebbero dovuto fornire transistor per apparecchi di massa e quindi applicandolo in dispositivi di uso pubblico. Ciò accadde con le radio e soprattutto con le radioline portatili.

La prima radio a transistor era un progetto congiunto tra la Regency Division of Industrial Development Engineering Associates e la Texas Instruments. Alla TI sapevano che era necessario realizzare un prodotto per il divertimento e lo svago che catturasse l'attenzione della nazione. Pensarono che una radio fosse giusto una cosa accattivante. La TI costruì i transistor, la Regency la radio. Il 18 ottobre 1954, la Regency TR1 fu immessa sul mercato. Misurava cinque pollici scarsi d'altezza ed usava quattro transistor al germanio.

Mentre la Regency vendeva dappertutto, ma non era l'unica sul mercato. La Texas Instruments faceva quello che voleva ed era passata a sviluppare altre cose.

In Giappone, un'azienda molto piccola, una startup dell'epoca, aveva avuto altre idee interessanti: un registratore a nastro, che il produttore aveva denominato Tokyo Tsushin Kogyo, inoltre aveva deciso di costruire piccole radio. Infatti, avevano dedicato l'intera produzione aziendale a prodotti commerciali come questi.

Tsushin Kogyo era vicino a produrre le sue prime radio quando si sentiva che un'azienda americana dominava il mercato. Ma continuarono a lavorare duro, finalmente producendo una radio che chiamarono TR-52. Quando la Regency smise di produrre la TR1, nella primavera del 1955, l'azienda giapponese poté accedere al mercato degli Stati Uniti.

L'unico problema era che il nome dell'azienda era difficile da pronunciare per gli americani. Quindi ebbero bisogno di nuovo nome. Ibuka ed il suo partner Akio Morita dapprima trovarono il nome latino "sonus" che suonava come "sound". Quello era un buon inizio. Inoltre, al tempo i giovani intelligenti e vivaci venivano chiamati i "sonny<sup>2</sup> boy" e quella era anche una buona immagine. Unendo i due concetti, svilupparono un nuovo nome: Sony. Ed il resto, come dicono, è storia.

Con la radio a transistor, la musica e le informazioni diventarono improvvisamente portatili. Non importava se il posto dove eri fosse isolato, avresti potuto sentire le notizie del mondo. E gli adolescenti avrebbero potuto ascoltare inaspettatamente musica ovunque lo desiderassero, lontano via dagli orecchi degli adulti; ciò fu la scintilla della rivoluzione musicale: il rock n' roll.

---

<sup>2</sup> Sonny: ragazzo mio

## William Shockley si muove verso la California, 1956

William Shockley era da tempo ai Laboratori Bell. Vedevo la gente sotto di lui venire promossa sopra lui, e per buoni motivi. Troppi scienziati qualitativamente interessanti non riuscivano ad andare d'accordo con lui. Può essere stato un genio, ma non era un buon manager.

Shockley decise quindi che aveva bisogno di un grande cambiamento. La prima cosa da fare era cambiare l'automobile: diede sfogo ad un suo capriccio cambiando la sua MG con una Jaguar decappottabile. Dopo veniva il lavoro. Passò un semestre a Caltech ed quindi un anno lavorando per il Weapons Systems Evaluation Group in Washington DC, ma niente lo soddisfaceva completamente. Desideroso di potere fare funzionare le cose a modo suo, infine decise di uscire fuori con qualcosa di proprio, cominciò a cercare dei fondi per realizzare la sua propria azienda.

Nell'agosto del 1955, Shockley volò a LA per passare una settimana con il suo nuovo amico Arnold Beckman, un chimico della California ed uomo d'affari. Shockley riprese il suo sogno di fondare un'azienda per sviluppare i dispositivi a semiconduttore. Beckman accettò l'idea ed acconsentì a sottoscrivere l'impresa.

Shockley era attirato dalla zona di Palo Alto dal sindaco di Stanford, Fred Terman, il quale pensava che un valido centro di ricerca nella zona avvantaggiasse Stanford. Scelta la posizione, Shockley doveva adesso trovare la gente. Desiderato che nello staff della sua azienda ci fossero soltanto gli uomini migliori e i più brillanti. In primo luogo cercò di impiegare i suoi colleghi dei Laboratori Bell, ma essi non avevano intenzione di spostarsi sulla costa ovest degli USA, o forse non avevano intenzione di spostarsi per andare a lavorare con Shockley. Così Shockley cominciò a viaggiare per il paese reclutando giovani scienziati.



Durante un pranzo sontuoso nel febbraio di 1956, Shockley e Beckman annunciarono la formazione del loro laboratorio nuovo di zecca. Avevano soltanto quattro impiegati, ma lo Shockley Semiconductor Laboratory [nella foto] era aperto ufficialmente per il commercio. Quella di Shockley fu la prima azienda del settore che nacque nella zona di Palo Alto, ma con gli anni nacquero parecchi laboratori sui semiconduttori e industrie di calcolatori elettronici affollavano la zona. Non passò molto tempo che la regione guadagnò un nuovo nome: Silicon Valley.

## Gli otto traditori lasciano la Shockley Semiconductor, 1957

Shockley aveva uno stile manageriale difficile e lavorare alla Shockley Semiconductor era diventato sempre più difficile per i ricercatori impiegati. Nel maggio del 1957, appena un anno dopo che l'azienda fu fondata, otto impiegati andarono da Arnold Beckman semplicemente per spiegarli che non riuscivano a lavorare con Shockley come loro responsabile. Temendo per il bene dell'azienda, Beckman acconsentì ad impiegare un nuovo responsabile, Shockley sarebbe rimasto come direttore, ma i suoi poteri reali sarebbero diminuiti drasticamente.

Mentre era in corso la ricerca di nuovo responsabile, divenne chiaro che questo non era una soluzione per niente accettabile. Nell'azienda la situazione si era incrinata. La Shockley si sentiva tradito dalla gente sotto lui, tuttavia i ricercatori non avevano ancora avuto la direzione che desideravano.

La situazione venne ad un epilogo due mesi più tardi, quando Beckman cambiò idea. Rendendosi conto di quanto negativa sarebbe stata questa mossa alla carriera dello Shockley, Beckman annunciò che un nuovo responsabile sarebbe impiegato, ma che Shockley sarebbe rimasto direttore con i suoi pieni poteri intatti, prendere o lasciare.

Gli otto uomini lo lasciarono. La spaccatura sembrò troppo grande da sanare e in settembre "gli otto traditori", nome con cui essi divennero noti, si dimisero. Il giorno seguente firmarono un contratto per \$1,3 milioni con la Fairchild Camera and Instruments, un'azienda di New York, che operava nei campi missilistico e dei dispositivi satellitari. Gli otto uomini erano Julius Blank, Victor Grinich, Jean Hoerni, Gene Kleiner, Jay Last, Gordon Moore, Robert Noyce, and Sheldon Roberts.

Così nacque la Fairchild Semiconductor, un'azienda dedicata alla costruzione dei transistor, nel modo che essi desideravano, e non come decretato da Shockley.

## L'invenzione del circuito integrato, 1958



[Nella foto: il primo IC della Texas Instruments] Come accadde con molte invenzioni, due uomini ebbero l'idea del circuito integrato quasi allo stesso momento. I transistor erano diventati comuni in tutto, dalle radio ai telefoni, ai computer, e ora i fornitori desideravano qualcosa di ancora migliore. Sicuramente i transistor erano più piccoli delle valvole elettroniche, ma per gli sviluppi di alcune realizzazioni elettroniche più recenti, non erano abbastanza piccoli.

Ma c'era un limite su quanto piccolo potesse essere realizzato ogni transistor, poiché dopo che fosse stato realizzato, avrebbe dovuto essere collegato ai fili e al resto dell'elettronica che componeva un circuito. I transistor erano già al limite di quanto, mani ferme e pinzette molto piccole, avrebbero potuto maneggiare. Così, gli scienziati desiderarono fare un circuito intero contenente i transistor, i fili e tutto ciò che fosse stato necessario al suo funzionamento. Se avessero potuto generare un circuito in miniatura in un'unica soluzione, tutte le parti avrebbero potuto essere rese molto più piccole.

Un giorno verso la fine di luglio del 1958, Jack Kilby stava seduto da solo alla Texas Instruments. Era stato assunto soltanto un paio di mesi prima e non aveva potuto godere delle ferie dato che non ne aveva ancora maturate. Aveva avuto parecchio tempo per pensare andando per i corridoi deserti. Ebbe la brillante idea che tutte le parti di un circuito, non solo il transistor, avessero potuto essere realizzate in silicio. A quei tempi, nessuno costruiva condensatori o resistori dai semiconduttori. Se ciò potesse essere fatto allora l'intero circuito avrebbe potuto essere sviluppato su un singolo cristallo, rendendolo più piccolo e molto più facile produrre. Al capo del Kilby piacque l'idea e disse a lui di lavorarci su. Il 12 settembre, Kilby aveva sviluppato un modello funzionante ed il 6 febbraio dell'anno seguente la Texas Instruments archiviò il brevetto del primo "circuito solido" del formato di un punto di matita, che fu mostrato per la prima volta al pubblico in marzo.

Ma in California, un altro uomo aveva avuto una idea simile. In gennaio del 1959, Robert Noyce stava lavorando alla piccola startup Fairchild Semiconductor. Egli inoltre aveva realizzato che un circuito intero avesse potuto essere fatto su un singolo circuito integrato. Mentre Kilby aveva risolto in dettaglio come fare i diversi componenti, il pensiero di Noyce andava in un senso di maggiore interesse: come collegare le parti. La primavera seguente, la Fairchild aveva cominciato a costruire quelli che avevano chiamato i "circuiti unitari" ed inoltre avevano fatto domanda per un brevetto sull'idea. Sapendo già che la TI aveva archiviato un brevetto su qualcosa di simile, la Fairchild aveva scritto un'applicazione altamente dettagliata, sperando che non fosse considerato simile al dispositivo della TI.

Tutto quei dettagli ebbero una ricompensa. Il 25 aprile 1961, l'ufficio brevetti assegnò il primo brevetto per un circuito integrato a Robert Noyce mentre l'applicazione di Kilby veniva ancora analizzata. Oggi, però viene riconosciuto ad entrambi gli uomini di aver concepito l'idea indipendentemente l'uno dall'altro.

## Il futuro dei transistor

Il primo annuncio dell'invenzione del transistor non incontrò quasi nessuna acclamazione. I circuiti integrati originariamente furono sviluppati per essere utili quasi esclusivamente per applicazioni militari. Gli investitori del microprocessore ammettevano prima che fosse stato realizzato, che sarebbe stato solo uno spreco di denaro. Il transistor e i relativi derivati sono stati costantemente sottovalutati, tuttavia sono risultati fare più di qualunque previsione.

Le odierne previsioni inoltre dicono che c'è un limite alle dimensioni del transistor, che la tecnologia costruttiva non può essere ridotta più di quanto non sia oggi<sup>3</sup> e quindi le previsioni sono che i transistor costruiti con tale tecnologia non potranno essere ottenuti sostanzialmente più piccoli di quanto non siano attualmente. Nel 1961, gli scienziati hanno predissero che nessun transistor su un circuito integrato avrebbe mai potuto essere più piccolo di 10 milionesimi di un metro, ma i transistor presenti su un circuito integrato moderno come quello del processore Pentium INTEL sono 100 volte più piccoli.

Con giudizio retrospettivo, tali previsioni sembrano ridicole ed è facile pensare che le previsioni correnti suonino appena come trenta anni da oggi. Ma le previsioni moderne del limite di formato sono basate su fondamenti fisici: la grandezza dell'atomo e dell'elettrone. Poiché i transistor funzionano con la corrente elettrica, dovranno sempre essere almeno abbastanza grandi da permettere il passaggio degli elettroni.

---

<sup>3</sup> 0,09µm nel 2002

D'altra parte, tutto ciò che è realmente necessario è il passaggio di un singolo elettrone alla volta. Un transistor abbastanza piccolo che funzionasse con soltanto un elettrone sarebbe straordinariamente piccolo, tuttavia è teoricamente possibile. I transistor del futuro potrebbero far sembrare i circuiti integrati moderni grandi ed ingombranti come i tubi a vuoto sembrano a noi oggi. Il problema è che una volta che i dispositivi diventano molto piccoli, tutto finisce per essere visto secondo le leggi della meccanica quantistica, ed i quanti permettono che gli elettroni facciano alcune cose bizzarre.

In un transistor piccolo, l'elettrone agirebbe più come un'onda che come una singola particella. Come un'onda che sarebbe emessa nello spazio e potrebbe persino scavare un tunnel attraverso il transistor senza veramente agire su di esso.

I ricercatori tuttavia attualmente stanno lavorando sulla strada dell'innovazione per sviluppare tali dispositivi molto piccoli, abbandonando il silicio e tutti gli odierni metodi di fabbricazione. Tali transistor sono conosciuti, non sorprendentemente, come singoli transistor elettronici e sarebbero considerati "on" o "off", secondo se stanno tenendo un elettrone o no (transistor di questo livello sarebbero utilizzati solamente come interruttori per la codifica binaria, non come amplificatori). Infatti un dispositivo di dimensioni talmente ridotte farebbe uso della meccanica quantistica dell'ultra piccolo. L'elettrone potrebbe essere codificato per avere tre posizioni, anziché semplicemente "on" o "off", potrebbe anche avere un "qualcosa tra on e off". Ciò aprirebbe le porte per generi interamente nuovi di calcolatori. Al momento, tuttavia, non ci sono singoli transistor elettronici efficaci.

Anche senza nuove tecnologie, c'è spazio per la miniaturizzazione. Migliorando le attuali tecniche costruttive, è probabile che i transistor correnti saranno almeno due volte più piccoli dal 2010. L'ultimo processore dell'INTEL monta quasi 1 miliardo di transistor, ma è teoricamente possibile metterne altrettanti su un tale circuito integrato, si tratta di affinare la tecnologia. I circuiti integrati come questo permetterebbero che i calcolatori siano di dimensioni più ridotte di quelli attuali.

# Uomini

## John Bardeen



John Bardeen [nella foto] nacque il 23 maggio 1908 a Madison, nel Wisconsin. Era il secondo figlio del Dott. Charles Russell Bardeen, decano dell'università di scuola medica del Wisconsin ed Althea Harmer Bardeen, una giovane donna istruita che aveva studiato l'arte ed il disegno all'istituto Pratt di Brooklyn. Bardeen era un bambino brillante e i suoi genitori decisero di fargli proseguire gli studi.

Quando Bardeen fu dodicenne, sua madre si ammalò seriamente di cancro, il Dott. Bardeen non realizzò la gravità della sua malattia e che la donna stava morendo e John rimase sconvolto quando ciò accadde. Suo padre sposò rapidamente la sua segretaria, Ruth Hames, desideroso di dare ai suoi bambini ancora in giovane età una famiglia. Ma ciò non aiutò molto John che era affranto e distratto. Tuttavia superò la high school e si iscrisse all'università del Wisconsin nell'autunno del 1923 all'età di 15 anni, dove si diplomò in ingegneria. John a differenza di suo padre rimase all'università del Wisconsin il tempo necessario per ottenere il diploma in ingegneria elettrica. Scelse ingegneria perché amava la matematica, anche se aveva avuto buoni prospettive di lavoro. Non desiderò essere un accademico, come suo padre. Al momento in cui si diplomò, tuttavia, il mondo era in piena depressione e c'era carenza di lavoro. Bardeen fu corteggiato brevemente dai Laboratori Bell, ma una proposta di assunzione fredda chiuse quella porta.

Una delle poche aziende che ancora assumevano era la Gulf Oil Company e Bardeen prese un lavoro lì come geofisico. Fu là per tre anni, ma teneva sempre un occhio sul progresso della fisica nel mondo. Il suo cuore non era nella geologia, e venne il tempo di tornare a scuola.

Bardeen andò a Princeton, nell'Illinois, per ottenere il suo Ph.D.<sup>4</sup> in fisica matematica. Fu là che Bardeen per la prima volta avviò studi sui metalli. Ebbe a Princeton un periodo stimolante, quando scienziati come Eugene Wigner e Frederick Seitz stavano usando le nuove teorie sui quanti, che contribuivano a capire come funzionavano i semiconduttori. Queste teorie avrebbero aiutato successivamente Bardeen durante l'invenzione del transistor. Finì la sua dissertazione nel 1935.

Bardeen fu impiegato ad Harvard come docente junior con uno stipendio di 1500\$ l'anno, più le spese per vivere, una somma considerata notevole allora. La vita a Cambridge, nel Massachusetts, gli permise di passare più tempo con la sua fidanzata Jane Maxwell, una biologa che insegnava ad una high school femminile vicino a Boston. Si sposarono nel 1938 [nella foto: Jane e John, anni dopo].



Dopo Harvard, Bardeen lavorò all'università del Minnesota fino a che non scoppiò la II guerra mondiale, allora si trasferì ai Naval Ordnance Labs (laboratori navali di artiglieria). Durante la guerra, aiutò la Marina a sviluppare le protezioni per le navi ed i sommergibili della U.S. Navy dalle mine magnetiche e dalle siluri.

John Bardeen incontrò William Shockley quando erano entrambi a scuola in Massachusetts. Nel 1945, quando la II guerra mondiale si concluse, Shockley fu incaricato di dirigere un nuovo gruppo di ricerca ai Laboratori Bell e desiderò Bardeen nella squadra. Poiché la Bell offrì a Bardeen uno stipendio pari a due volte quello che percepiva nel Minnesota, Bardeen non dovette pensarci a lungo sull'offerta e accettò. John e Jane Bardeen, con i loro tre bambini in giovane età, si spostarono in New Jersey.



Bardeen inoltre conosceva un altro membro del gruppo, Walter Brattain, dai giorni della scuola di ingegneria elettrica. Bardeen fu introdotto a Walter Brattain dal suo buon amico Bob, fratello di Walter. Nel corso degli anni la loro amicizia si sviluppò, sia in laboratorio che sul campo da golf dove passavano il tempo nei fine settimana. [In foto: Brattain e Bardeen giocano a golf]. I due fecero una grande squadra, con Brattain che realizzava gli esperimenti e Bardeen che sviluppava le teorie per spiegare i risultati.



Nella primavera del 1947, Shockley diede a Brattain e a Bardeen il compito di spiegare perché un amplificatore che egli aveva inventato non funzionava [nella foto: Shockley, Bardeen, e Brattain ai Laboratori Bell]. Al cuore di questo amplificatore c'era un cristallo di silicio (che avrebbero commutato in germanio

<sup>4</sup> Doctor of Philosophy, 3° livello di laurea per tutte le discipline; equivale alla libera docenza e conferisce il dottorato.

parecchi mesi più tardi). Per calcolare cosa stava accadendo, Bardeen dovette ricordarsi di alcune ricerche di meccanica quantistica che erano state fatte sui semiconduttori quando era a Princeton negli anni '30. Inoltre fornì alcune sue nuove teorie. Osservando gli esperimenti del Brattain, Bardeen si rese conto che era errato assumere che la corrente elettrica attraversasse tutte le parti del germanio allo stesso modo: gli elettroni si comportano diversamente alla superficie del metallo. Se Brattain e Bardeen avessero potuto controllare cosa stava accadendo sulla superficie, l'amplificatore avrebbe potuto funzionare. Questa ricerca li impegnò fino alla fine del 1947, ma il 23 dicembre l'accoppiamento era riuscito e i risultati degli esperimenti svolti venivano comunicati alla direzione dei laboratori. Questa data è universalmente considerata come data di nascita del transistor. Avevano costruito il primo transistor con contatti a punte metalliche (point-contact transistor). Il dispositivo era formato da un cristallo di germanio drogato n (base) e da due contatti d'oro molto vicini (emettitore e collettore).

Dopo l'invenzione del transistor, l'umore in laboratorio calò. Shockley si era risentito del fatto che aveva mancato l'invenzione. Cominciò a lavorare per conto proprio, sviluppando e migliorando il transistor verso il più stabile transistor a giunzione o a sandwich.

I rapporti caddero completamente quando Shockley bloccò Bardeen dal lavorare alle cose che lo interessavano. Dal 1951 Bardeen aveva cominciato cercare un nuovo lavoro. Quando il suo amico Fred Seitz convinse l'università dell'Illinois a proporre a Bardeen un'offerta di 10.000\$ l'anno, lui lasciò i Laboratori Bell con poco rammarico. In un appunto a Mervin Kelly scrisse: "Le mie difficoltà provengono dall'invenzione del transistor. Prima di quello c'era un'atmosfera eccellente di ricerca qui."

L'università dell'Illinois lusingò John Bardeen con quella cosa che desiderava di più: il diritto a ricercare qualunque cosa desiderasse. Bardeen decise di lavorare sulla superconduttività, che aveva cominciato ad interessarlo ai suoi ultimi giorni ai Laboratori Bell.

La mattina di giovedì 1 novembre 1956, John Bardeen stava facendo la prima colazione e stava ascoltando la radio. Mentre preparava le sue uova strapazzate, sentì un annunciatore dare la notizia che avrebbe ricevuto il premio Nobel nella fisica insieme a Brattain e a Shockley per l'invenzione del transistor. Bardeen lasciò perdere la padella e corse nella camera da letto per comunicare a sua moglie Jane la notizia.

La cerimonia del Nobel avvenne in Svezia nella sera di lunedì 10 dicembre 1956. Shockley arrivò in ritardo, con sua moglie e sua madre. Bardeen e Brattain passarono del tempo insieme già pronti. Bardeen dovette prendere in prestito il panciotto bianco extra e la cravatta bianca per il suo abito formale da Brattain, dato che il suo era stato restituito verde dalla lavanderia. Quindi i due, nervosi, condivisero una bottiglia di chinina per calmare i loro stomaci.

Ricevettero i loro premi la notte dal re Gustav VI che fece preparare un grande banchetto in loro onore. Dopo il banchetto, Brattain, Bardeen, le loro famiglie e gli amici svedesi si sedettero intorno ad un tavolo all'hotel dove si era svolta la cerimonia in loro onore. Verso la conclusione della serata, Shockley li raggiunse e fu invitato a unirsi al gruppo. Per una notte, il gruppo era ancora insieme. I tre uomini si ricordarono dei giorni in cui erano stati amici e un gruppo di ricerca fenomenale.

John Bardeen portò solo uno dei suoi tre bambini a Stoccolma, per non interrompere gli studi degli altri due figli a Harvard. Il re Gustav VI rimproverò Bardeen per aver lasciato la sua famiglia assente in una così importante occasione. Assicurò al re che la prossima volta avrebbe portato tutti i suoi bambini.



Da allora, Bardeen fu ancora più affascinato dalla ricerca, che prendeva la gran parte del suo tempo nell'università dell'Illinois: la superconduttività. Nel 1957, con il dottorando Leon Cooper e l'allievo laureato Bob Schrieffer, Bardeen sviluppò la prima teoria su come i metalli estremamente freddi possano condurre così efficientemente l'elettricità. Oggi questa teoria è conosciuta come la teoria BCS (che sta per Bardeen, Cooper e Schrieffer). Nel 1972, i tre uomini ricevettero un Nobel per il loro lavoro. John Bardeen fu l'unico uomo nella storia a ricevere due premi Nobel per la fisica. E questa volta portò tutti i suoi figli alla cerimonia del Nobel. [Nella foto: John Bardeen, 1973]

Bardeen visse il resto dei suoi anni a Urbana, nell'Illinois, insegnando, ricercando e giocando al suo sport preferito: il golf. Morì nel 1991 all'età dei 82 anni.

## Walter Brattain



Walter Brattain era un fisico solido che aveva una buona conoscenza della teoria, ma la sua forza era nella realizzazione fisica degli esperimenti. Lavorando con le idee di William Shockley e di John Bardeen, le mani del Brattain hanno costruito il primo transistor.

Suo padre Ross e sua madre Otilie si sposarono subito dopo che si fu diplomato al Whitman college di Walla Walla, nello stato di Washington. Ross aveva un lavoro da insegnante di scienze e di matematica in Cina e Walter Houser Brattain nacque il 10 febbraio 1902 in Amoy. Non soggiornò all'estero a lungo: entro il 1903, i Brattain erano tornati in Washington. Walter spese la maggior parte della sua gioventù in un grande ranch di bestiame ai confini con il Canada. Quando non stava studiando o non era a scuola, Walter aveva poco tempo per qualcosa che non fosse altro che

aiutare nel ranch. Era un cowboy.

Sul finire del 1920, Brattain entrò al college di Whitman. Sosteneva di essere preparato in fisica e in matematica perché erano le uniche materie in cui era bravo. Brattain durante il periodo scolastico assistette ad una svolta nella scienza americana, quando la fisica si stava trasformando. Gli allievi più vecchi avrebbero voluto viaggiare in Europa per una formazione in fisica di prim'ordine, ma Brattain era tra coloro che avrebbero potuto fare bene anche negli Stati Uniti.

Incoraggiato dal suo professore Benjamin Brown a continuare i suoi studi, Brattain accedette all'università dell'Oregon per un master e all'università del Minnesota per il Ph.D.<sup>5</sup> Il primo lavoro di Brattain dopo la laurea fu al National Bureau of Standards come ingegnere radiofonico, ma dopo un anno passato là dentro, desiderò tornare alla fisica. Ad una riunione dell'American Physical Society, stava quasi per chiedere al suo relatore della tesi, John Tate, un aiuto. Ma prima che dicesse qualcosa, Tate lo introdusse a Joseph Becker dei Laboratori Bell: "A proposito, Becker sta cercando un uomo", disse. E Brattain rispose rapidamente: "Sono interessato!" Becker chiese soltanto una qualifica: desiderava assicurarsi che Brattain avesse un carattere che sapesse farsi valere con i suoi superiori se necessario. Brattain, che era stato allevato in un ranch, una vita al lavoro in sella, con un fucile in sacca per sparare ai serpenti a sonagli, rise. Il 1 agosto 1929, Brattain prese impiego al laboratorio di Becker a New York City.



Lavorando con Becker, Brattain passò la maggior parte del suo tempo a studiare i raddrizzatori in rame-ossido. I due pensavano che avrebbero potuto realizzare un amplificatore mettendo una minuscola griglia di metallo in mezzo al dispositivo, simile alla progettazione delle valvole elettroniche<sup>6</sup>. Alcuni anni più tardi, William Shockley venne da lui con un'idea simile. Né l'uno né l'altro aggeggio hanno realmente mai funzionato.

Lavorando con i cristalli finalmente ebbero successo [nella foto: Brattain al suo apparato di estrazione dei cristalli, American Institute of Physics]. Il 6 marzo 1940, Brattain e Becker furono chiamati nell'ufficio del presidente della Bell, Mervin Kelly. Lì videro un misterioso cristallo di Russell Ohl che incrementava il voltaggio quando veniva esposto ad una fonte luminosa. Si presentava come una giunzione pn molto grezza, ma nessuno a quei tempi la conosceva ancora. Brattain, che dapprima pensò che si trattasse di uno scherzo pratico, diede l'improvvisata spiegazione che

la corrente elettrica stava generando una barriera all'interno. Quella teoria è risultata essere vera. Kelly rimase impressionato adeguatamente.

Brattain passò gli anni della II guerra mondiale lavorando sulle tecnologie di rilevamento dei sommergibili e quindi tornò ai Laboratori Bell per trovare che Kelly stava riorganizzando i ricercatori. Brattain fu assegnato ad un nuovo gruppo sullo stato solido con Stanley Morgan e Bill Shockley alla guida. Anche John Bardeen, un amico di suo fratello Robert, si unì presto al gruppo. L'abilità di Bardeen era nella teoria, mentre quella di Brattain era nello sperimentare. I due uomini presto cominciarono a lavorare insieme meravigliosamente: Bardeen guardava Brattain condurre gli esperimenti ed offriva ipotesi sui risultati.

<sup>5</sup> Doctor of Philosophy, 3° livello di laurea per tutte le discipline; equivale alla libera docenza e conferisce il dottorato.

<sup>3</sup> Tubi a vuoto

Il rapporto fra Brattain e Bardeen fu produttivo sfociando in quello che è noto come "il mese del miracolo". Per quattro settimane i due uomini fornirono geniali idee, una dopo l'altra. In quel mese svilupparono parecchi dispositivi, ognuno migliore del precedente, anche se si andava avanti per piccole miglioramenti. E si arrivò al dunque martedì 16 dicembre: Brattain si sedette all'ennesimo tentativo di costruire un amplificatore. Diede tensione e quella volta sembrò funzionare correttamente. "Questa cosa dà un guadagno!", Brattain disse tra se. Significava amplificazione!



[Nella foto: Walter Brattain mostra ai suoi genitori il suo laboratorio, dopo che l'invenzione del transistor fu annunciata]

Dopo che il transistor con contatti a punte metalliche (point-contact transistor) fu costruito, un disaccordo tra le personalità di Bardeen, Shockley e Brattain ebbe la meglio, portando al disfacimento di quel gruppo di ricerca che era stato così in sintonia. La disputa era su quanti crediti Shockley avrebbe voluto ricevere dall'invenzione. Era alla guida della squadra, ma lavorava nella ricerca per conto suo a casa, lasciando Bardeen e Brattain da soli. La famosa foto pubblicitaria aziendale che ritrae i tre uomini [da sinistra: Bardeen, Shockley e Brattain ai Laboratori Bell] mostra come i rapporti fossero incrinati: Shockley è seduto al centro davanti al microscopio come se avesse fatto lui gli esperimenti critici, mentre il contesto della foto era invece il banco di laboratorio di Brattain e la sua attrezzatura; ma Brattain è ritratto in piedi dietro al suo capo, come se Shockley avesse fatto realmente lui il lavoro. "Successivamente durante la vita, Brattain avrebbe sempre detto a chi realmente lo conosceva bene, che realmente odiava quella foto" [intervista di Michael Riordan, autore di Crystal Fire].



L'amministrazione dei Laboratori Bell insistette che Shockley apparisse in ogni immagine pubblicitaria. Era il capo del gruppo e meritava di essere là. Ma tennero il suo nome fuori dal brevetto. Questo però non fece sentire per niente meglio Bardeen e Brattain nei confronti di Shockley.



Nel corso degli anni successivi, Brattain continuò a lavorare nel gruppo del transistor di Shockley, ma solitamente non era invitato a lavorare alle ricerche più interessanti. Presto smise di presentarsi a Shockley di propria iniziativa e finalmente chiese di essere trasferito ad un altro gruppo. Molto più felice lontano da Shockley, Brattain rimase alla Bell fino a che non andò in pensione nel 1967.

Alle 7 del mattino di giovedì 1 novembre 1956, Brattain era a casa quando ricevette una telefonata da un giornalista. Aveva ricevuto il premio Nobel per l'invenzione del transistor. Presto fu sommerso dai media. Successivamente quella mattina presenziò ad una riunione nell'auditorium del laboratorio Murray Hill. Mentre entrava nella stanza, tutti si levarono in piedi e spontaneamente lo applaudirono. Scoppiò in lacrime. Successivamente scrisse: "Ciò che accadde è qualcosa da ricordare, tranne forse l'estrema emozione che uno sente nel ricevere l'acclamazione dei suoi colleghi ed amici di anni, sapendo pienamente bene che uno non avrebbe potuto compiere il lavoro che ha fatto senza di loro, e che era stato realmente soltanto un colpo di fortuna che fosse lui e non uno di loro". [Nella foto: Brattain mentre riceve il premio Nobel, il 10 dicembre 1956].



Dopo essersi ritirato dal lavoro ai Laboratori Bell, Brattain tornò a Walla Walla per insegnare al suo alma mater, il Whitman College. Lavorò alla biofisica, tenendo un corso di fisica per gli specializzandi di materie non scientifiche [nelle foto: Brattain beve con un suo studente e Brattain durante una sua lezione] ed ascoltando la musica che veniva suonata al campus, ad un così alto volume, grazie alla sua invenzione.



"L'unico rammarico che ho sul transistor è il suo uso per il rock and roll", disse più di una volta. Morì di Alzheimer all'età di 85 anni il 13 ottobre 1987.

## William Shockley



William Bradford Shockley fu chiaramente uno degli scienziati più intelligenti del XX secolo, tuttavia visse una vita tumultuosa. Fu un eroe moderno preso da una delle antiche tragedie greche, portato in un'età che contribuì ad inventare. Come Oreste<sup>7</sup> e Edipo<sup>8</sup>, Shockley fu guidato dal demone interno dell'arroganza. Diversamente da Oreste e da Edipo, tuttavia, non trovò mai la redenzione. Tuttavia, senza di lui, probabilmente stavamo facendo qualcosa di meno interessante ora!

Shockley fu la guida della squadra che inventò il transistor, l'invenzione del XX secolo. Ci furono uomini offesi dalla sua personalità arrogante e dai punti di vista impopolari che avrebbero voluto denigrare i suoi meriti nell'invenzione del transistor. Ma fu il padre di Silicon Valley e la sua azienda aprì un settore tecnologico da cui le aziende e le tecnologie dominanti di tutta la valle sarebbero emerse. Era un sostenitore della scienza e della ricerca in America, cominciata durante la II Guerra Mondiale, relegato ad un lavoro di calcoli che probabilmente ha salvato decine di migliaia di vite umane. Anche se ha ricevuto il più alto onore civile possibile per il suo lavoro, quel lavoro è stato dimenticato a lungo. Egli e un suo collega contribuirono persino ad inventare un dispositivo nucleare lavorando indipendentemente dagli scienziati del Progetto Manhattan<sup>9</sup> a Los Alamos. La sua analisi sugli effetti del bombardamento aereo può anche avere contribuito alla decisione di sganciare la bomba atomica sul Giappone.

E per concludere, spronò la scienza moderna facendo le domande che nessuno voleva fare, e molto meno rispondere. Ciò distrusse la sua reputazione!

Shockley assistette a come la ricchezza e la gloria andassero ad altri, compreso gli uomini che allontanò dalla sua presenza per il suo orgoglio e la sua rozzezza. Morì in disgrazia e abbastanza in solitudine, tranne che per la compagnia della sua leale moglie, Emmy.

Shockley veniva da una lunga discendenza aristocratica americana, provenendo, da parte del padre, direttamente da John Alden e da Priscilla Mullins del Mayflower<sup>10</sup>. Suo padre William, era un ingegnere minerario qualificatosi al MIT e un avventuriero, abbastanza capace di tenere testa a banditi sotto minaccia di fucile sulle ferrovie mongole, ma in gran parte incapace di costruirsi una vita.

La madre di Shockley, May, originaria del Missouri, fu una delle prime donne laureate alla Stanford University, specializzata in arte e matematica. Diventò la prima ispettrice nel territorio delle miniere d'argento in Nevada. William era 24 anni più vecchio di lei; era già sui 50 anni.

Si sposarono nel 1908 e si trasferirono a Londra, dove William ebbe un contratto di lavoro. L'unico loro bambino, William Bradford, nacque là il 13 febbraio del 1910.



Il giovane William era un bambino infelice [nella foto: Shockley da giovane che cammina su una siepe]: dal cattivo temperamento, viziato, quasi incontrollabile, che rese infelice la vita ai suoi genitori. Erano gente riservata, sospettosa, vagamente paranoica, apparentemente incapaci di vivere in un posto per più di un anno. Riuscì a far passare questo temperamento a loro figlio. Dopo un fallimento finanziario a Londra, si spostarono tornando a Palo Alto, in California, vicino a Stanford. Shockley passò la sua infanzia in quei luoghi, spostandosi da una casa

<sup>7</sup> Mito di Oreste: figlio di Agamennone e di Clitennestra, vendica la morte del padre, trucidato da Clitennestra per istigazione dell'amante Egisto, uccidendo i due adulteri. Perseguitato dalle Furie è assolto dal matricidio dagli dei riuniti nell'Areopago di Atene.

<sup>8</sup> Mito di Edipo: eroe della mitologia greca, figlio di Laio re di Tebe e di Giocasta. Il padre, preavvisato dall'oracolo che Edipo lo ucciderà e sposerà la madre, per fuggire il fato fa esporre il figlio sul Citerone, ma Edipo si salva e cresce ignaro della sua famiglia. Incontratosi per caso con Laio, l'uccide. Giunto poi a Tebe, la libera dalla Sfinge, sciogliendo l'enigma che essa proponeva; viene eletto re e sposa la madre Giocasta. Spinto dall'oracolo a ricercare l'uccisore di Laio, a poco a poco viene a conoscere l'orribile verità.

<sup>9</sup> Il Progetto Manhattan fu un'imponente impresa iniziata dagli Stati Uniti nell'agosto 1942, durante la seconda guerra mondiale. Molti illustri scienziati, tra i quali i fisici Enrico Fermi, Richard Feynman, Emilio Segrè ed Edward Teller e il chimico Harold Urey, furono coinvolti in quello che rappresentava il maggiore progetto scientifico al mondo, diretto dal generale dell'esercito statunitense Leslie Groves. Direttore scientifico del progetto, che aveva base a Los Alamos, nel New Mexico, era il fisico statunitense J. Robert Oppenheimer. Nell'ambito di quel progetto fu sviluppata, costruita e collaudata la bomba A, che sviluppa la sua spaventosa potenza per la rottura, o fissione, dei nuclei contenuti in alcuni chilogrammi di plutonio. Una sfera di uranio o di plutonio dalle dimensioni simili a quelle di una palla da baseball determina un'esplosione paragonabile a quella prodotta da 20.000 tonnellate di esplosivo ad alto potenziale, come ad esempio il trinitrotoluene, noto come TNT.

<sup>10</sup> Nome della nave su cui nel 1620 un gruppo di puritani inglesi (Pilgrim Fathers) si recarono nel Massachusetts per sottrarsi alla persecuzione religiosa di Giacomo I Stuart.

all'altra. Lo mantennero fuori dalla scuola pubblica fino all'età di otto anni, credendo che sarebbe stato meglio educarlo a casa. Ciò contribuì a privarlo di un'utile socializzazione. Solo dopo che William morì nel 1925 e May si spostò con suo figlio a Hollywood questi ebbe una qualche stabilità.

Shockley si iscrisse al California Institute of Technology nel 1928 per specializzarsi in fisica. I suoi scherzi pratici sono ancora tra gli aneddoti che si tramandano al campus.

Il periodo trascorso a Caltech cadde durante il grande fermento intellettuale che c'era attorno alla fisica dei quanti. Shockley a quanto pare aveva acquisito molto a riguardo, con stupefacente facilità. Seguendo i passi di suo padre, si iscrisse al MIT per conseguire il Ph.D.<sup>11</sup> nell'autunno del 1933, guadagnando rapidamente la reputazione di studente brillante. [Nella foto: Shockley con De Forest<sup>12</sup>]



L'estate del suo primo anno, sposò Jean Alberta Bailey, una conoscente di sua madre, dopo che rimase incinta. La loro figlia nacque in inverno, era disinteressata a lei, ma fu un padre gentile.

Shockley divenne il protetto di Philip Morse, un grande uomo della rinascita e una colonna portante dell'istituzione della fisica. Attraverso Morse, Shockley ottenne un lavoro ai Laboratori Bell dell'American Telephone & Telegraph Co., dapprima a New York City, e successivamente in New Jersey. Era evidente che aveva un talento unico e un intelletto prodigioso: Shockley avrebbe potuto

prendere in considerazione un problema e risolverlo più velocemente di chiunque altro ai Laboratori Bell e risolvette problemi in modi inimmaginabili.

Del tutto per caso, egli e un collega progettaronò un reattore nucleare che aveva un grande potenziale. Nel 1939, gran parte della comunità fisica era interessata agli avanzamenti crescenti verso la fissione ottenuta dagli scienziati Europei. Shockley ed il suo amico James Fisk furono assegnati dai laboratori per esaminare il potenziale per la fissione come fonte di energia. Agli uomini era stata data una piccola stanza e dell'apparecchiatura da laboratorio. Un giorno, durante un acquazzone, a casa, pensava a come produrre una reazione a catena, Shockley ebbe un'idea: "Se tu mettesti l'uranio in pezzi, separassi i grumi o qualcosa, i neutroni potrebbero rallentare... e non essere bloccati ed allora potrebbero colpire l'U-235". In due mesi, lui e Fisk progettaronò uno dei primi reattori nucleari del mondo. Il loro rapporto finì immediatamente a Washington. Il governo lo classificò subito, persino mantenendolo segreto ai propri scienziati. Le autorità combatterono ogni tentativo di Fisk e Shockley o dei Laboratori Bell di brevettarlo. Solo dopo la fine della guerra i fisici del Progetto Manhattan vennero a conoscenza del reattore. Nel frattempo avevano avuto bisogno di inventare gli stessi concetti da loro stessi.

Shockley può aver salvato migliaia di vite senza aver lasciato la sua scrivania. Quando la guerra scoppiò, Morse fu reclutato per la ricerca sui problemi delle munizioni della marina USA, principalmente delle bombe di profondità. Shockley si offrì volontariamente per raggiungere l'ufficio di Morse, e l'Anti-Submarine Warfare Operations Group.

Sotto la guida di Morse, Shockley e la sua squadra risolsero il problema della bomba di profondità e gli attacchi riusciti contro gli U-boot tedeschi aumentarono di un fattore cinque. L'arma principale di Shockley era la scienza delle ricerche operative, allora in gran parte ignorata negli USA, ma già utilizzata per gli sforzi bellici dai britannici. Egli quindi produsse un cambiamento nel modo in cui la U.S. Navy cercava i sommergibili, migliorando ancora il rapporto di attacchi riusciti. Inventò le tattiche per i convogli atlantici per eludere i bombardieri tedeschi, dopo determinazioni statistiche, perché i bombardieri non disponevano del radar, e questo senza mai aver visto un convoglio o un bombardiere.

Shockley si fermò nel Army Air Corps dell'esercito, per aiutare le squadre di bombardieri di treni nel teatro di guerra europeo. Divenne uno degli scienziati civili di Los Alamos di più alto grado ed era il custode di alcuni dei segreti più importanti tenuti dagli USA. Viaggiò dappertutto nel mondo. Dalla fine della guerra, essenzialmente aveva progettato l'addestramento delle squadre di bombardieri americani e aveva trovato come aumentare la loro efficacia anche durante il cattivo tempo. Vinse la medaglia nazionale al merito.

Malgrado il suo passo frenetico e l'importanza assunta, egli era un uomo infelice, persino suicida, tentando la roulette russa contro se stesso. Lui e Jean avevano due figli. Con loro era un padre distante e spesso psicologicamente crudele. Poco affettivo e anche poco contraccambiato. Il suo matrimonio cominciò ad andare in crisi.

Quando la guerra si concluse, Shockley tornò ai Laboratori Bell e cominciò la sua scalata verso l'amministrazione di quello che era a quei tempi il miglior laboratorio industriale del mondo. Aiutò i laboratori ad impiegare gli ingegneri, gli assistenti tecnici e i fisici migliori che avrebbero potuto trovare. Il suo talento per assumere talenti era superbo.

<sup>11</sup> Doctor of Philosophy, 3° livello di laurea per tutte le discipline; equivale alla libera docenza e conferisce il dottorato.

<sup>12</sup> Lee De Forest (1873-1961): tecnico nordamericano che nel campo della radiotecnica, inventando tra l'altro il triodo nel 1907.

Walter Brattain già era stato assunto ai laboratori. Lui e Shockley avevano provato a costruire un amplificatore semiconduttore per sostituire gli onnipresenti tubi a vuoto, prima della guerra, ma avevano fallito. Shockley allora impiegò John Bardeen, un teorico brillante dell'università del Minnesota. Volevano tornare alla ricerca di un dispositivo sostituto del tubo a vuoto.

Shockley aveva teorizzato un dispositivo usando un effetto campo, ma per motivi che nessuno riusciva a capire, quello non funzionava. Bardeen cominciò a lavorare per scoprire il perché. Il 19 marzo 1946, Bardeen riusciva a produrre una teoria che spiegava il motivo del fallimento. Lui e Brattain si misero immediatamente al lavoro per costruire su quella comprensione. Stranamente, Shockley non lo fece. Anche se era il leader della squadra, essenzialmente lavorava a casa alle proprie idee, lasciando Bardeen e Brattain da soli. Fu un grande errore!

I due uomini lavorarono freneticamente tra l'estate e l'autunno. Shockley passava irregolarmente a trovarli per vedere che cosa stavano facendo, formulando suggerimenti occasionali, mirandoli in diverse direzioni. Il passo avanti venne in novembre ed il 16 dicembre 1947, Brattain e Bardeen produssero il transistor a punte metalliche (point-contact transistor) il primo prototipo di transistor. Quel mese venne chiamato "il mese del miracolo" nei Laboratori Bell.

Shockley era, sia fiero della loro realizzazione, sia furioso perché erano riusciti dove egli aveva fallito. Alcune settimane più tardi, rifugiatosi in una stanza di un albergo di Chicago, dove stava assistendo al convegno dell'American Physical Society, andò oltre dichiarando che il point-contact transistor sarebbe stato superato dall'invenzione del sandwich transistor. Il sandwich transistor e il più avanzato transistor a giunzione che si sarebbe sviluppato da questo, sarebbe stato più facile in termini di produzione di massa ed ancora oggi è usato per le applicazioni speciali.

Questo mise i Laboratori Bell in un dilemma. L'amministrazione voleva sapere cosa stava accadendo di importante, ma Bardeen e Brattain avevano prodotto da se stessi il primo transistor. Shockley era capo della loro squadra e sembrava sconveniente che lui non ottenesse dei crediti, particolarmente perché aveva prodotto un dispositivo ancora migliore. Quindi, l'amministrazione dei Laboratori decise che ogni foto che ritraesse gli inventori del transistor avrebbe dovuto includere anche William Shockley. Inoltre sarebbe stato il portavoce ufficiale; Bardeen e Brattain non erano interessati alla pubblicità. Shockley non protestò, ma l'imposizione dall'amministrazione irritò presto i suoi colleghi, entrambi i quali avevano già sviluppato una sana avversione verso Shockley. [Nella foto, da sinistra a destra: John Bardeen, Bill Shockley, Charles H. Townes, Walter Brattain].



La stampa faceva confusione nel dare la notizia. Raramente, c'erano giornalisti che davano al solo Shockley i meriti, poiché era il più eminente ed il più pubblico tra i ricercatori del gruppo. Shockley correggeva sempre l'annotazione. Al Newsweek, scrisse: "Come maggiore ricercatore sul transistor del nostro gruppo, mi congratulo sul vostro eccellente articolo. Dite che sono arrivato a questo principio mentre studiavo il comportamento dei semiconduttori per amplificare le parole anziché l'elettricità. Posso aggiungere che arrivai ad esso, solo dopo che fu trovato ed esposto dai dott. John Bardeen e Walter Brattain, ai quali sono dovuti i crediti per l'invenzione?"

I Laboratori Bell aggiunsero confusione insistendo, non completamente in malafede, che il programma di ricerca generale era stato "avviato e diretto" da Shockley. La linea ufficiale semplificò eccessivamente il lavoro. Nessuno chiese perché il nome di Shockley non era sul brevetto originale del transistor a punte metalliche. Il suo nome è invece sul brevetto del transistor bipolare a giunzione. Shockley non ha provato mai a prendere i crediti da Brattain e da Bardeen, ma si sforzò di assicurarsi che anche lui fosse incluso.

L'accreditamento eccessivo di confusione ancora persiste: i tre uomini vinsero il premio Nobel per la fisica nel 1956. Il premio di Shockley ha sempre irritato coloro che impararono a odiarlo.

Brattain rifiutò di lavorare ancora per lui. Piuttosto che lavorare con Shockley, Bardeen rinunciò al suo lavoro ai Laboratori Bell.

Fu però William Shockley, a legare il proprio nome indissolubilmente ai dispositivi a semiconduttore. Si devono a lui infatti i maggiori meriti nello studio dei singoli aspetti fisici del funzionamento del transistor:

- l'iniezione dei portatori minoritari nelle giunzioni pn
- il trasporto per diffusione che essi subiscono nella zona neutra, idea influenzata dai suoi studi con E. Fermi nel 1940 sulla diffusione dei neutroni nella grafite
- la rappresentazione a bande dei semiconduttori e l'introduzione del quasi-livello di Fermi (imref)
- l'estendersi delle regioni svuotate nelle giunzioni polarizzate inversamente.

Il lungo lavoro preparatorio di studio e di idee innovative portò all'invenzione del transistor bipolare a giunzione BJT (Bipolare Junction Transistor), riassunta in cinque pagine del suo quaderno di laboratorio



del 23 gennaio 1948 [nella foto: una pagina del quaderno di Shockley, dove descrive il principio di funzionamento del transistor bipolare a giunzione]. Lo scritto contiene in forma chiara tutti i punti cardine del funzionamento del nuovo dispositivo e costituì la base per la stesura del brevetto, presentato il 26 giugno 1948 e accettato il 25 settembre 1951 (U.S. Patent 2,569,347). A causa delle difficoltà tecnologiche che allora esistevano nelle tecniche di crescita e di drogaggio dei cristalli semiconduttori, si dovette attendere più di un anno prima che un dispositivo dimostrasse sperimentalmente la correttezza dei meccanismi di funzionamento ipotizzati.

Anche l'invenzione del transistor unipolare ad effetto di campo JFET (Junction Field Effect Transistor) si deve a Shockley. L'idea di usare un campo elettrico esterno perpendicolare alla superficie del semiconduttore per controllare la

densità dei portatori nel semiconduttore in prossimità della superficie fu infatti oggetto dei suoi studi fin dal 1943. Tuttavia la difficoltà (se non l'impossibilità) di realizzare dispositivi in cui l'idea di principio non fosse mascherata da fenomeni fisici parassiti, non permise reali approfondimenti fino al 1952, quando pubblicò la proposta di un transistor ad effetto di campo a giunzione, corredandola di uno studio approfondito del suo funzionamento. A questo scritto fece seguito, pochi mesi dopo, la conferma sperimentale delle proprietà descritte<sup>13</sup>.

Nel febbraio del 1953, alla moglie Jean fu diagnosticato un cancro all'utero. Shockley si prese cura di lei e la fece ricoverare. Mentre la moglie stava recuperando, tuttavia, le annunciò che la stava lasciando. Shockley inoltre lasciò i Laboratori Bell, prendendo un lavoro a Caltech, luogo che sarebbe stato la culla dei suoi interessi futuri.

L'anno successivo conobbe un'infermiera psichiatrica, Emily Lanning. Si sposarono il 23 novembre 1955 a Columbus, in Ohio. Cominciò una lunga e intensa vita affettiva tra i due, che durò più di 30 anni.



Shockley stava per creare uno dei più grandi motori tecnologici che il mondo abbia mai visto. Divenne socio dell'imprenditore Arnold Beckman che finanziò un'azienda per Shockley, la Shockley Semiconductor [nella foto], per costruire semiconduttori. Decisero che l'azienda sarebbe stata vicino Stanford, nella California del nord. Shockley notava il vantaggio che avrebbe avuto la vicinanza con l'università, inoltre comprese che la bellezza del territorio, l'accesso alle montagne e all'oceano, le condizioni climatiche perfette avrebbero attirato talenti. Sua madre, 90enne, viveva qui vicino.

Shockley si era ormai convinto di essere un esperto sulla gestione di gente creativa. Usò il suo intuito per il talento senza pari per formare una piccola squadra stupefacente di ricercatori. Shockley aveva raggiunto l'apice del suo potere e delle sue occasioni. Quindi venne la caduta.

[Nella foto: celebrazione del premio Nobel di Shockley con i colleghi della Shockley Semiconductor, 1 novembre 1956] Arrogante, poco disposto a ascoltare, mancante di tatto e risoluto, non avrebbe voluto ripetere gli errori che fece con Brattain e Bardeen, e infine l'innata paranoia di Shockley irruppe. Nel settembre 1957, meno di un anno dopo che Shockley avesse vinto il premio Nobel, otto dei suoi ricercatori migliori, rinunciarono a lavorare per lui, per formare la loro propria azienda, la Fairchild Semiconductor; tra questi c'erano anche Gordon Moore e Robert Noyce che qualche anno più tardi, nel 1968, fondarono la Intel Corporation. Questi uomini guadagnarono incredibili fortune e diressero l'innovazione nell'era dell'elettronica, essenzialmente realizzando il sogno di Shockley, mentre Shockley avrebbe potuto solo stare a guardare.



La sua azienda, privata dei relativi talenti migliori, annaspava, mentre tutt'intorno, nascevano nuove aziende che discendevano direttamente dalla Shockley Semiconductor. Presto la zona della valle di Santa Clara fu conosciuta come Silicon Valley e molta gente diventava ricca così velocemente come non accadeva dall'Olanda del diciassettesimo secolo. Egli non prese parte a questa ricchezza.

<sup>13</sup> I transistor MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) dovettero invece attendere l'inizio degli anni sessanta prima di essere realizzati, a causa della notevole dipendenza del loro funzionamento dalla qualità del cristallo usato e dalle caratteristiche della interfaccia ossidosemiconduttore. Alla loro realizzazione hanno contribuito gli sforzi di diversi laboratori di ricerca e di numerosi scienziati di differenti Università.

E un'ultima ironia della sorte, sebbene gli odierni transistor sono basati sul disegno originale dell'effetto campo inventato da Shockley, egli tuttavia non ne produsse mai neppure uno.

Shockley cominciò ad insegnare a Stanford e a detta di tutti era un insegnante superbo. Aveva studiato come insegnare la creatività, in particolare il problem solving e lo mise in atto con gli studenti non laureati della Stanford e gli allievi laureati di ingegneria ottenendone un effetto considerevole. Lavorò persino nella public school per aiutare gli insegnanti ad insegnare le scienze. Tuttavia si annoiava; aveva cominciato a trascurare la fisica, la sua azienda era stata venduta.

Cominciò a relazionare discorsi sui problemi della popolazione, un argomento che lo aveva interessato fin dai suoi viaggi in India in tempo di guerra. Nel maggio del 1963, diede un discorso al Gustavus Adolphus College nel Minnesota che suggeriva come la gente meno competente a sopravvivere nel mondo erano quelle popolazioni che avevano un alto tasso di riproduzione, mentre la cosa migliore che la popolazione umana stava facendo era il controllo delle nascite per avere pochi bambini. Era scivolato nell'eugenetica.



In un'intervista dell'anno successivo all'U.S. News & World Report cadde nella trappola di un dibattito. Precisò che gli americani africani come gruppo avevano un quoziente intellettivo 15 punti più basso della media e suggeriva che la causa era ereditaria.

Shockley si trovò, non infelicemente, in un turbinio di polemiche. I biologi e i genetisti fecero saltare le sue teorie, precisando che l'eugenetica era una spiegazione razionale usata dal Nazismo durante la II guerra mondiale e che era un'idea dai fondamenti scientifici deboli. Shockley era stato attaccato dalla stampa, dalla televisione e dalle pubblicazioni scientifiche.

La battaglia era furiosa, incivile e spesso disonesta. Shockley, era un terribile argomentatore, perdeva le sue dispute il più delle volte. Anche se non aveva una formazione in genetica, studiava tale materia in maniera interessata. Era un esperto sull'uso delle statistiche e mentre i suoi avversari, particolarmente durante nei primi anni, conoscevano la genetica molto più di lui, egli poteva fare a pezzi facilmente le loro discussioni statistiche. Purtroppo per lui, anche quando realizzava punti a suo favore, a mala pena qualcuno tra il pubblico lo notava.

Fu preso nel vortice di un dibattito antico della scienza: siamo il prodotto dei nostri geni o siamo principalmente il prodotto del nostro ambiente? Sono tutti uomini e donne realmente creati uguali? L'intelligenza è genetica? È la razza un fattore determinante? Il consenso di allora e di oggi è che sia Shockley che i suoi avversari erano almeno parzialmente nel giusto. Siamo il prodotto sia dei nostri geni che del nostro ambiente; alcune funzioni della nostra intelligenza sono genetiche. La razza, tuttavia, non ha niente a che fare con essa. Egli affrontò le sue discussioni con la usuale accurata erudizione e la sua insensibilità quasi patologica, permettendosi di venire bollato come razzista. Più si approfondiva il dibattito, più questo diventava estremo, fino a che non diventava un dibattito su di lui, e non più sulla genetica, minando il suo argomentare.

Fu diffamato, ridicolizzato, umiliato e infine dimenticato. La sua reputazione era a brandelli, si ritirò a casa sua nella città universitaria di Stanford, finendo solo occasionalmente in esplosioni di rabbia, estraniandosi completamente da tutti, leale solo a sua moglie Emmy. Ebbe pochi amici. Non vedeva nessuno dei suoi figli da più di 20 anni, e soltanto occasionalmente parlava con sua figlia.

Morì di cancro alla prostata all'età di 79 anni, il 12 agosto 1989, sul letto di morte aveva Emmy al suo fianco. I suoi figli appresero dell'accaduto dai giornali.

# Imprese

## Laboratori Bell



I Laboratori Bell [nella foto a lato] erano nati come la sezione di sviluppo e di ricerca dell'azienda americana del telegrafo e del telefono AT&T. L'azienda AT&T originariamente aveva avuto l'uso esclusivo dei brevetti di Alexander Graham Bell dell'invenzione del telefono, ma quei brevetti andarono bene sino alla fine del 1800. Mentre le altre aziende cominciarono a svilupparsi, la AT&T aveva l'esigenza di trovare nuove tecnologie per dimostrare che era ancora la migliore e per questo creò i Laboratori Bell.

Durante il secolo scorso i laboratori Bell sono diventati i centri di ricerca migliori degli Stati Uniti. Gli scienziati dei laboratori Bell hanno inventato non soltanto il transistor, ma anche il laser, i satelliti di comunicazioni e molte altre invenzioni. Bell ha costruito il primo calcolatore a transistor e ha notevolmente migliorato il servizio telefonico. I laboratori vantano oltre 26.000 brevetti ed undici vincitori del premio Nobel.

Poiché l'azienda AT&T è stata ristrutturata parecchi anni fa, i laboratori della Bell si sono trasformati nella divisione R & D della società figlia di AT&T, Lucent Technologies.

## American Telephone and Telegraph

L'American Telephone and Telegraph Company (o AT&T) era nata come la sezione del telefono della Bell nel 1877. La sezione che si occupava del telefono nella Bell era stata fondata da Alexander Graham Bell un anno dopo che aveva inventato il telefono. In quegli anni l'azienda installò la prima linea telefonica riservata fra Boston e Somerville, Massachusetts. Lentamente, il numero di utenti del telefono cominciò ad aumentare, mentre le linee telefoniche cominciarono a collegare sempre più città.

Nel 1879, a tutti era stato assegnato un numero di telefono per rendere più facile il compito degli operatori, in realtà l'azienda era preoccupata dal fatto che i clienti potessero sentirsi offesi e ridotti "ad un numero", ma questo non accadde e la transizione andò bene. Il 17 giugno 1914, AT&T (la sezione del telefono della Bell acquistò il nome AT&T nel 1885) sollevò l'ultimo palo del telefono della linea telefonica che collegava San Francisco a New York e così la prima linea telefonica transcontinentale fu completata. Le linee telefoniche hanno continuato a migliorare ed estendersi durante tutto il secolo. Verso la fine degli anni 40, gli scienziati alla AT&T inventarono il transistor ed in pochi anni questi dispositivi furono utilizzati nelle linee telefoniche rendendole più rapide ed efficienti.

Negli anni successivi AT&T siglò un accordo con Western Electric che rese questa azienda l'unico fornitore dell'apparecchiatura telefonica. Nel 1925, AT&T costruì un'altra divisione: i Laboratori Bell, dove si effettuava ricerca di base per migliorare la tecnologia del telefono. Grazie al controllo del servizio telefonico, del manufacturing del telefono e della ricerca, l'AT&T aveva un solido monopolio del settore.

All'inizio del 1900, l'opinione pubblica ed il governo cominciarono a colpire l'azienda per le violazioni delle regole antitrust e questo perseguì l'azienda AT&T per tutto il resto del secolo. Nel corso degli anni, diverse volte alla AT&T fu ordinato di condividere risultati scientifici, finché nel 1984, si divise in un'azienda di lunga distanza ed in un certo numero di aziende locali che gestivano le chiamate regionali. La AT&T mantenne i Laboratori Bell ed il sistema di lunga distanza, mentre le aziende locali si separarono in entità diverse. Recentemente l'AT&T si è divisa ulteriormente, decidendo di dedicarsi esclusivamente alla linea telefonica, mentre una nuova azienda denominata Lucent Technologies ha continuato ad occuparsi della ricerca e sviluppo assumendo la direzione dei Laboratori Bell.

## Fairchild Semiconductor

Nel 1957, la Fairchild Semiconductor era la terza azienda della Silicon Valley. Naturalmente allora la Silicon Valley non era chiamata così, poiché l'industria del silicio stava appena cominciando ad evolversi. La Fairchild era un'azienda di punta e sviluppò alcune delle tecnologie innovatrici che poi avrebbero fatto avanzare l'intero campo.

L'azienda fu fondata da otto impiegati che avevano lasciato l'azienda di William Shockley. Fairchild cominciò a produrre i transistor vendendo i primi 100 all'IBM a 150 dollari l'uno. Due anni più tardi, i ricercatori inventarono il circuito integrato che realmente mise l'azienda sul mercato.

L'azienda arrivò ad avere dodici mila impiegati e presto raggiunse un fatturato di 130 milioni di dollari l'anno.

Negli anni successivi, i fondatori della Fairchild crearono altre aziende e quest'area si sviluppò fino a diventare quello che oggi è Silicon Valley.

## **INTEL**

La INTEL, situata a Santa Clara, in California, è leader mondiale nella produzione di circuiti integrati per calcolatori PC, con un fatturato di oltre 21 miliardi di dollari.

Fu fondata nel 1968 da Robert Noyce, Gordon Moore, quando decisero di lasciare l'azienda in cui avevano iniziato a lavorare: la Fairchild semiconductor. Invece di competere con le aziende di transistor già esistenti, INTEL cominciò a costruire circuiti di memoria integrati specifici per calcolatori e prima del 1971, riuscì a creare un commercio per questo tipo di circuiti integrati. Lo stesso anno, scienziati della INTEL svilupparono un nuovo tipo di circuito integrato denominato microprocessore che a differenza dei circuiti integrati fino ad allora prodotti, che erano dei circuiti con certe caratteristiche ben specifiche e fisse, poteva essere programmato più volte per eseguire calcoli specifici. Il microprocessore si trasformò nel cervello all'interno del calcolatore elettronico, il componente elettronico chiave che fa funzionare un calcolatore. I microprocessori della INTEL diventarono sempre più piccoli, più rapidi e negli ultimi trent'anni hanno dominato il mercato mondiale.

Robert Noyce aveva visto chiaro che un'azienda come INTEL avrebbe dovuto funzionare; agli effetti pratici, i tre fondatori erano sempre in carica e ci fu pochissimo ricambio gerarchico. Robert Noyce, Gordon Moore e Andy Grove facevano ricerca con nessun altro e tutti gli impiegati erano incoraggiati ad assecondare le loro idee.

Andy Grove è attualmente il presidente di INTEL.

## **Shockley Semiconductor**

Fondata nel 1955, Shockley Semiconductor era il braccio operativo di William Shockley. Quando fu pronto a lasciare i Laboratori Bell, decise di formare un'azienda per costruire i transistor.

Fu fondata dalla Beckman Instruments, e iniziò la sua attività a Palo Alto, in California, vicino all'università di Stanford. Shockley organizzò una squadra di giovani di talento che sono stati considerati alcuni dei più grandi geni dell'elettronica mai esistiti.

La vita dell'azienda fu corta. La gestione della Shockley portò gli otto impiegati ad andar via nel giro di un anno. L'azienda non fatturò mai una gran quantità di soldi e fu venduta alla Clevite Transistor nell'aprile del 1960. Dal punto di vista finanziario non fu un gran successo, ma il suo contributo fu grande. La Shockley Semiconductor fu la prima azienda di semiconduttori ad arrivare in questa regione della California e fondò quella che oggi è chiamata Silicon Valley.

## **Silicon Valley**

Geograficamente, Silicon Valley è situata nella zona adiacente a San Jose, in California, nella valle di Santa Clara. Al giorno d'oggi, per quanto riguarda l'industria del calcolatore è il centro tecnologicamente più avanzato. Nella Silicon Valley c'è la più alta densità di aziende software e hardware di tutti gli Stati Uniti, un esempio sono la Hewlett-Packard, la INTEL e la Apple, oltre a centinaia di altre.

Negli anni 50, Fred Terman, un decano dell'università di Stanford a Palo Alto, in California desiderava portare le aziende di ricerca vicino all'università per creare una proficua collaborazione. Favorì l'insediamento di un certo numero di aziende high-tech nella zona. Una di queste fu la Shockley Semiconductor, fondata da William Shockley. Alcuni degli impiegati di Shockley presto fuggirono dalla sua azienda per formare la Fairchild Semiconductor e molte altre aziende, comunemente dette "Fair-children" formarono la base per la Silicon Valley attuale.

Questa zona è stata denominata con tale nome nel 1971, anno in cui Hoefler ha scritto una serie di articoli, riguardanti notizie sull'elettronica intitolati "Silicon Valley USA". Il termine era stato usato occasionalmente anche prima, ma Hoefler fu il primo ad usarlo sulla stampa.

## SONY



Oggi, la Sony Corporation, ha sede a Tokyo, in Giappone, ed è uno dei principali produttori di elettronica audio e video. Nel 1946, era un'officina di riparazioni radiofonica ricavata da un grande magazzino bombardato durante la II guerra mondiale. Originalmente conosciuto come Tokyo Tsushin Kogyo KK (la società di ingegneria di telecomunicazioni di Tokyo), l'azienda fu fondata dai fisici Masaru Ibuka ed Akio Morita [nella foto a lato].

L'azienda ha ottenuto il suo primo successo all'inizio degli anni cinquanta quando ricevette l'autorizzazione dai Laboratori Bell a costruire i transistor. Mentre altre aziende negli Stati Uniti puntavano su transistor per calcolatori e per applicazioni militari, l'azienda giapponese decideva di sviluppare qualcosa per il consumo di massa: una radio tascabile. Poiché si prospettava l'introduzione sul mercato internazionale di questa radio si dovette trovare un nome internazionale per l'azienda, che fosse facile da pronunciare e da ricordare. Si pensò a "SONY".

Dopo la radio, la SONY costruì la prima TV del mondo utilizzando transistor ed ha continuato a produrre VCR, attrezzature di registrazione, stereo e giochi per computer. Nel 1998, la SONY è arrivata a circa 173.000 impiegati ed ha avuto un reddito netto di oltre 1,5 miliardi di dollari.

## Texas Instruments

La Texas Instruments è situata a Dallas ed è al giorno d'oggi una delle più grandi aziende produttrici di semiconduttori. Ha iniziato fornendo un servizio geografico sviluppando l'elettronica per la ricerca del petrolio. Durante la II guerra mondiale, modificò la sua tecnologia per aiutare la marina degli Stati Uniti a cercare i sommergibili e presto ha deciso di dedicarsi a tempo pieno all'elettronica militare. Nel 1951, l'azienda per la prima volta prese il nome di Texas Instruments (TI) e acquistò dai Laboratori Bell l'autorizzazione per costruire i transistor. In quegli anni l'uso dei transistor era volta principalmente alle applicazioni militari e la Bell non pensò che un'azienda così piccola potesse diventare uno dei maggiori produttori e fornitori di semiconduttori, mentre la TI fu molto lungimirante e riuscì a comprare l'autorizzazione.

Così TI riuscì a costruire i primissimi transistor commerciali al silicio con l'aiuto di Gordon Teal, che aveva lasciato la Bell nel 1952. Questo fu l'inizio del successo dell'azienda, che presto si sviluppò e diventò una fabbrica di dispositivi a semiconduttore. Il primo circuito integrato ed il primo calcolatore elettronico di dimensioni ridotte furono entrambi costruiti dalla Texas Instrument.

Oggi, l'azienda continua ad essere attiva anche nell'elaborazione digitale e nella manipolazione di immagini digitali ed ha stabilimenti di vendite o di manufacturing in più di 25 paesi in tutto il globo.

## Bibliografia

- Transistorized! ([www.pbs.org/transistor](http://www.pbs.org/transistor))
- Jacob Millman, Christos C. Halkias - Dispositivi e circuiti elettronici - 1975, Boringhieri
- Microsoft Encarta Enciclopedia Plus 2002, 1993-2001, Microsoft Corporation
- Texas Instruments ([www.ti.com/corp/docs/company/history/tihistory.htm](http://www.ti.com/corp/docs/company/history/tihistory.htm))
- Bell Laboratories ([www.bell-labs.com/history](http://www.bell-labs.com/history))
- Lucent Technologies ([www.lucent.com](http://www.lucent.com))
- Sony ([www.sony.net/Fun/SH](http://www.sony.net/Fun/SH))
- American Telephone e Telegraph Company (AT&T) ([www.att.com/history](http://www.att.com/history))
- Andrea Lacaita, Marco Sampietro - Circuiti elettronici - 1994, CittàStudi
- Michael Riordan, Lillian Hoddeson - Crystal Fire
- Carolyn Tajna - The Father of Silicon Valley
- William Shockley - "How we Built the Transistor" - New Scientist, dicembre 1972
- Tom Wolfe - "The Tinkerings of Robert Noyce: How the Sun Rose on the Silicon Valley" - Esquire, December 1983, pp 346-374
- A History of Engineering and Science in the Bell System: Physical Sciences (1925-1980) - S. Millman Editor