

**MACCHINE CALCOLATRICI E LOGICHE,**

STORIA DELLE (*calculating-machines; Rechenmaschinen; machines à calculer; máquinas calculadoras; logical machines; logische Rechenmaschinen; machines logiques; máquinas lógicas*).

– Le macchine calcolatrici sono dispositivi meccanici in grado di eseguire operazioni numeriche e calcoli matematici, per lo più aritmetici; le macchine logiche sono dispositivi in grado di eseguire anche operazioni logiche.

Macchine logiche sono state costruite sin dall'antichità. Tra le più note troviamo quelle ideate da Lullo nel XIII secolo. Successivamente, numerosi progetti di macchine logiche sono sviluppati a partire dai principi dell'*ars combinatoria* lulliana per verificare la correttezza dei sillogismi aristotelici, quali le macchine logiche di Stanhope, Marguad, Burack, Burkhardt e Kalin. Il *dimostratore* di Stanhope (1777) è una macchina logica in grado di risolvere sillogismi tradizionali e sillogismi numerici, con al massimo due premesse, e semplici problemi legati alla probabilità, con non più di due eventi. Oltre un secolo dopo (1881) Marguad costruisce una macchina in grado di risolvere sillogismi con fino a quattro premesse. Sulla parte frontale della macchina sono rappresentate le sedici possibili combinazioni logiche delle premesse e sono posti degli indicatori per segnalare la consistenza o l'inconsistenza di tali combinazioni. Nel 1936 Burack realizza la prima macchina logica elettrica. Nella parte inferiore ci sono dei blocchi di legno – che rappresentano le premesse – sui quali sono posti dei contatti di metallo. Muovendo i blocchi in certe posizioni si attivano i contatti che chiudono alcuni circuiti elettrici permettendo di mostrare la validità dei sillogismi o, altrimenti, in che tipo di fallacia ci si è imbattuti. Pochi anni dopo, nel 1947, Burkhardt e Kalin costruiscono una macchina elettrica per calcolare sillogismi con fino a dodici premesse, rappresentate attraverso degli interruttori disposti in modo da illuminare (in base a certe combinazioni) un circuito. I percorsi che si illuminano indicano linee di combinazioni con premesse consistenti. La macchina è anche in grado di rappresentare i paradossi logici, i cui circuiti si illuminano a intermittenza. Quelle descritte da Shannon nel 1938 si possono considerare *macchine logiche della seconda generazione*: costituite da semplici circuiti elettrici, sono costruite seguendo i principi della logica booleana e in base all'isomorfismo tra

circuiti elettrici e operatori del calcolo proposizionale. Nello specifico, si basano su un teorema dell'algebra booleana secondo il quale qualsiasi funzione *f* può essere espressa servendosi solamente dei simboli delle variabili e dei tre operatori logici fondamentali *and*, *or* e *not*. L'isomorfismo garantisce che ai due stati dei circuiti elettrici – *aperto* e *chiuso* – possano essere associati i due valori – *vero* e *falso* – della logica booleana, in modo che i circuiti di commutazione – per questo chiamati *porte logiche* – possano essere impiegati per valutare le espressioni logiche. I tre operatori logici possono essere combinati tra loro attraverso la connessione dei circuiti elettronici, in modo da risolvere le operazioni logiche elementari o aritmetiche. In particolare, la porta logica dell'operatore *not*, funge da invertitore, modificando il valore di un input nel suo opposto. Le porte logiche degli operatori *and* e *or* hanno almeno due input, sempre un solo output e si comportano, la prima, come un moltiplicatore e, la seconda, come un'addizione. Le macchine logiche descritte da Shannon sono implementate negli odierni calcolatori elettronici. Nella figura 1 sono rappresentate le porte logiche dei tre operatori logici fondamentali.

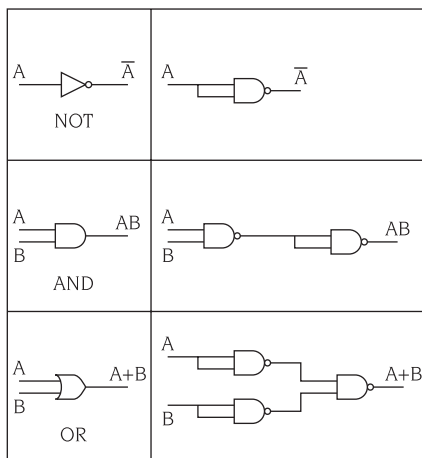


Figura 1. Rappresentazioni delle porte logiche degli operatori *not*, *and* e *or*.

La storia delle macchine calcolatrici è più lunga, dal momento che accompagnano l'evoluzione dell'umanità. Nella costruzione delle macchine calcolatrici si possono distinguere due paradigmi: analogico e digitale. Il primo

esempio di calcolatore digitale costruito è l'*abaco*, utensile per calcolare, inventato prima del 500 a. C. dai babilonesi. Nell'abaco i numeri sono rappresentati con un sistema posizionale: ogni scanalatura o filo è associato a un ordine di unità. Il *regolo calcolatore* può essere considerato l'esempio paradigmatico di macchina calcolatrice analogica. Un regolo calcolatore è costituito da due parti scorrevoli una rispetto all'altra, sulle quali le distanze sono riportate in scala logaritmica. Allineando le tacche secondo opportuni criteri si possono eseguire operazioni quali la moltiplicazione, l'addizione, la sottrazione, l'elevamento a potenza e l'estrazione di radice. Altre scale riportate sullo strumento permettono di svolgere calcoli trigonometrici, estrazioni di radice e altre funzioni. Tra il 1620 e il 1625 il matematico inglese Oughtred costruisce il primo regolo calcolatore basandosi sugli studi di Nepero sui logaritmi e sul prototipo di Gunter. Le altre macchine calcolatrici costruite dal XVII secolo fino agli inizi del XX si basano su sistemi di leve e ruote dentate che sfruttano i differenziali dei movimenti meccanici per poter eseguire delle operazioni aritmetiche. In particolare, nelle calcolatrici meccaniche a ogni ordine di unità è associata una ruota dentata con dieci denti corrispondenti ciascuno a una delle dieci cifre, da 0 a 9, del sistema di numerazione decimale, e una ruota o tamburo con un solo dente, che collega due ruote consecutive permettendo la registrazione del riporto da un ordine di unità al successivo. Il numero di ruote dentate – che rappresentano le cifre – determina il massimo ordine numerico rappresentabile. Di questo tipo è la macchina calcolatrice costruita nel 1623 da Schickard. Dotata di trasmissione a ingranaggio basata sul movimento di ruote dentate collegate a un indicatore a 6 cifre, questa macchina – detta *orologio calcolatore* – è in grado di eseguire somme e sottrazioni, grazie a un sistema di propagazione del riporto con una rotella a un solo dente. Questo pur ingegnoso sistema non consente tuttavia di superare le 6 cifre e presenta notevoli problemi con riporti multipli. Dello stesso genere è la *pascalina*, la macchina per le addizioni costruita da Pascal nel 1642, a cui seguono una macchina in grado di risolvere le moltiplicazioni utili per i calcoli astronomici, realizzata da Leibniz intorno al 1670; e la calcolatrice costruita da Poleni nel 1709, in grado di eseguire le quattro operazioni su numeri fino a tre cifre.

Sono invece macchine radicalmente innovative il *Difference Engine* e l'*Analytical Engine* progettati da Babbage rispettivamente nel 1823 e nel 1834. Il primo è in grado di calcolare i valori di un polinomio attraverso una serie ripetuta di somme. Una volta impostati i valori iniziali la macchina prosegue i suoi calcoli automaticamente grazie a un motore a vapore. L'*Analytical Engine* è in grado di eseguire tutte le operazioni aritmetiche. Costituito da una memoria – *store* – e da un'unità di calcolo – *mill* – è possibile programmare le operazioni da eseguire e può modificare l'ordine delle istruzioni se si verificano certe condizioni predefinite (il cosiddetto «salto condizionato»). La programmabilità e il salto condizionato rendono l'*Analytical Engine* un modello di macchina calcolatrice paragonabile a quelle contemporanee con un forza computazionale equivalente a una *macchina di Turing*.

Con la scoperta dell'elettricità vengono costruite le prime macchine calcolatrici dotate di motore elettrico. La prima è quella progettata da Hollerith nel 1890, che sfrutta l'idea – già utilizzata nel XVIII secolo da Jacquard per la costruzione di un telaio meccanico – della programmazione attraverso l'uso di schede perforate. Nel 1930 Vanner Bush inventa il *Differential Analyzer*, il primo calcolatore analogico a funzionamento elettronico in grado di risolvere equazioni differenziali. Il primo calcolatore programmabile digitale effettivamente costruito è lo Z3. Progettato da Zuse nel 1941 si tratta di un calcolatore elettromeccanico, costituito da 2.600 relè telefonici, in grado di convertire i numeri decimali in numerazione binaria e viceversa. Il primo calcolatore elettronico digitale è opera di Atanasoff e Berry. Nel 1939 presso lo Iowa State College essi realizzano il primo prototipo di macchina elettronica digitale, l'ABC, in cui i relè sono sostituiti dalle valvole sotto vuoto e in cui compare una memoria riscrivibile. Nel 1943 è la volta di *Colossus* realizzato da Flowers e Chandler. *Colossus* è dotato di una memoria costituita da 1500 valvole, usa cinque processori paralleli e può leggere un nastro alla velocità di 5000 caratteri al secondo. Durante la II guerra mondiale *Colossus* è utilizzato da un gruppo di ricercatori guidati da Turing per interpretare i messaggi cifrati dalla macchina *Enigma* e inviati dalle radio tedesche. Independentemente da *Colossus*, nel periodo 1940-43 Aiken inizia la costruzione di *Mark I* – un calcolatore elettromeccanico uni-

versale e interamente automatico – a cui seguono *Mark II* e *Mark III* progettati insieme con Hoppner. Nel 1946, presso la University of Pennsylvania, Mauchly and Eckhart costruiscono l'*ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Calculator)*. Il primo calcolatore elettrico programmabile e *general purpose*. Un calcolatore *general purpose* è una macchina simbolica, in grado cioè di eseguire calcoli numerici e di manipolare intere strutture di simboli corrispondenti a diverse entità. L'*ENIAC* è costituito da 18.000 valvole e dotato di un sistema di calcolo parallelo. Tuttavia, il programma è ancora cablato nei circuiti del processore, il che impone che la programmazione avvenga mediante aggiustamenti manuali dei circuiti, diversamente dalla programmazione delle macchine calcolatrici, realizzate dopo il 1943, che è basata sulla manipolazione degli stati elettrici del sistema. Questo tipo di macchine possiede una memoria ed è costruito seguendo il modello computazionale della *macchina di Turing* e l'architettura ideata da von Neumann. La *macchina di Turing* è un modello di calcolatore idealizzato, cioè non soggetto a vincoli derivanti dai limiti di tempo e delle sue capacità di memoria o da possibili guasti. Essa consta di tre parti: una memoria, una unità di calcolo e una unità di controllo. La memoria è un deposito di dati, ad esempio un nastro suddiviso in caselle, ciascuna recante inscritto un simbolo. L'unità di calcolo è la parte che compie le operazioni, ad esempio leggere il simbolo inscritto sulla casella. L'operazione che la macchina esegue è sempre in funzione dello stato interno dell'unità di calcolo e dei dati a essa accessibili. Tra il 1945 e il 1950 Turing progetta *ACE (Automatic Computing Engine)*, un modello di calcolatore che implementa le caratteristiche della sua macchina. L'architettura di von Neumann prevede che i calcolatori siano dotati di un'unità centrale per l'elaborazione, un'unità di input per l'ingresso dei dati, una di output per comunicare i risultati delle elaborazioni e una di memoria. L'architettura di von Neumann è implementata, solo in parte, in *ENDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Computer)* costruito nel 1949. *ENDSAC* è il primo calcolatore con programma memorizzato e modificabile attraverso operazioni algoritmiche. In modo più completo l'architettura di von Neumann è implementata in *EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Calculator)* costruito nel 1951 presso la Scuola di Moore dell'Università della

Pennsylvania da un gruppo di ricercatori tra i quali Eckhart, Mauchly e lo stesso von Neumann. *EDVAC* è costituito da un'unità di memoria, che registra i dati da elaborare e li comunica all'unità di calcolo dei dati; da un'unità di controllo, che gestisce l'intero processo di elaborazione; e da un'unità per decodificare i dati contenuti nell'unità di controllo centrale e nella memoria e comunicarli alle altre unità del calcolatore; e infine da un'unità di memoria a breve termine. Nel 1948 viene progettato *MADM (Manchester Automatic Digital Machine)* in cui la memoria è implementata su schermi di tubi catodici. Alla sua costruzione partecipa Turing insieme a Williams, Kilburn e Newman. La caratteristica interessante di questa macchina è che gli input e gli output non sono distinti; dati e istruzioni sono posti insieme nella memoria, le informazioni sono elaborate direttamente tenendo conto delle istruzioni contenute nella memoria.

Le macchine citate sin qui sono dette di *prima generazione*. Esse sono caratterizzate da una scarsa capacità di memoria e da una bassa velocità di esecuzione; non possiedono né un linguaggio espresso attraverso il codice binario né sistemi operativi; e sono in grado di risolvere solo operazioni non eccessivamente complesse. Dalla prima metà del XX secolo sino ai giorni nostri la costruzione di calcolatori è caratterizzata da numerosi quanto grandiosi progressi, dovuti soprattutto alla costruzione di componenti in grado di velocizzare le elaborazioni delle macchine. I fattori principali che influenzano lo sviluppo dei calcolatori sono quattro: l'invenzione dei transistor, dei circuiti integrati, dei microprocessori e lo sviluppo dei linguaggi di programmazione. L'invenzione dei transistor (1947-1948) – a opera di Bardeen, Brattain e Shockley – dà inizio alla costruzione delle macchine così dette di *seconda generazione*. In tali macchine la memoria è implementata su anelli di ferrite, i software utilizzano linguaggi di programmazione come COBOL, FORTRAN e ALGOL, e si utilizzano i primi supporti per la programmazione (librerie, compilatori e monitor). I transistor consentono la costruzione di calcolatori meno costosi a parità di potenza, e più veloci e compatti delle macchine di prima generazione. La *terza generazione* di macchine calcolatrici nasce con la costruzione dei circuiti integrati (*chip*). Ideati nel 1965 da Kibly e derivati dall'integrazione di transistor, resistori e capacitori su un unico circuito in si-

licio, i circuiti integrati permettono una maggiore velocità di elaborazione e l'utilizzo dei primi sistemi operativi. La *quarta generazione* è caratterizzata da una più ampia capacità di integrazione (*Very Large Scale Integration*) ed è segnata dalla costruzione dei microprocessori. Il primo – Intel (4004) – è realizzato nel 1971. Le macchine di oggi – a volte dette di *quinta generazione* – aumentano le funzionalità di elaborazione e di controllo, come la memoria, usano linguaggi di programmazione orientati al parallelismo e al *problem solving* e interfacce *user-friendly*, sono costruite in modo da favorire le comunicazioni tra i diversi elementi di elaborazione e sono orientate ad affrontare i problemi tipici dell'intelligenza umana, come la comprensione delle immagini o del linguaggio naturale.

Lo sviluppo dei linguaggi di programmazione, caratterizzato in origine soprattutto dall'elaborazione di regole per il salto condizionato, permette alle macchine di simulare la capacità umane nell'esecuzione di alcuni compiti. Questa capacità di simulazione delle macchine calcolatrici delle ultime generazioni è all'origine del dibattito sulla possibilità che esse, in particolare i computer, possano imitare le capacità cognitive umane o addirittura rappresentino il reale funzionamento della mente umana. Questo dibattito – le cui tappe fondamentali partono da Hobbes, Leibniz, De La Mettrie, Cartesio e passano per Turing, Searle, Putnam, Lucas, Newell, Simon, Brooks e Penrose – è ancora al centro delle ricerche in Intelligenza Artificiale, Informatica, Logica, Filosofia della Mente, Scienze Cognitive e Filosofia dell'informazione.

M. Taddeo - G.M. Greco - G. Paronitti - L. Floridi

BIBL.: H.H. GOLDSTINE, *The Computer from Pascal to von Neumann*, Princeton (New Jersey) 1972, tr. it. di E. Bonazzi - G. Ricciardi, revisione di A. De Benedetti, *Il computer da Pascal a von Neumann*, Milano 1981; C. EVANS, *The Pioneers of Computing: an Oral History of Computing*, London, 1976; N. METROPOLIS - J. HOWLETT - G.C. ROTA (a cura di), *A History of Computing in the Twentieth Century*, New York 1980; B. RANDELL (a cura di), *The Origins of Digital Computers. Selected Papers*, Berlin 1982; M. GARDNER, *Logic Machines and Diagrams*, New York 1982; M.R. WILLIAMS, *A History of Computing Technology*, Englewood Cliffs 1985; B.E. CARPENTER - R.W. DORAN (a cura di), A.M. Turing's *ACE Report of 1946 and other papers*, Cambridge 1986; W. ASPRAY (a cura di), *Computing Before Computers*, Ames (Iowa) 1990; C. BABBAGE, *Passages from the Life of a Philosopher*, a cura di M. Campbell-

Kelly, New York 1994; V. SOMENZI - R. CORDESCHI (a cura di), *La filosofia degli automi*, Torino 1994; D. BOVET, *Introduzione all'Architettura dei Calcolatori*, Bologna 1996; M. CAMPBELL-KELLY - W. ASPRAY, *Computer. A History of the Information Machine*, New York 1996; W.K. GILOI, *Konrad Zuse's Plankalkül. The First High-Level «non von Neumann» Programming Language*, in «IEEE Annals of the History of Computing», 19 (1997), pp. 23-37; P.E. CERUZZI, *A History of Modern Computing*, Cambridge (Massachusetts) 1999.

► ALGEBRA, TEMI FILOSOFICI DELLA; ANALOGICO-DIGITALE; CIBERNETICA; COMPUTER; ETICA INFORMATICA - ETICA DELL'INFORMAZIONE; INFORMATICA; INTELLIGENZA ARTIFICIALE; INTERNET; MACCHINA.

**Autori**

**Parole**

- unità

**Caratteri**

17188

