

SEMI MECCANICI  
LE RADICI DELLA MODERNITÀ  
PROF. ANTONIO ROLLO  
COMPUTER ART

La prima macchina calcolatrice funzionante è stata concepita da John Napier (1550-1617, matematico, fisico ed astronomo scozzese) durante la sua ricerca di sistemi per velocizzare l'esecuzione di calcoli apparentemente semplici come le moltiplicazioni. Come egli stesso scrive nel suo libro *Rabdologiae* pubblicato nel 1617: *Esequire calcoli è operazione difficile e lenta e spesso la noia che ne deriva è la causa principale della disaffezione che la maggioranza della gente prova nei confronti della matematica*. Inizia con l'invenzione di una macchina concettuale, il *logaritmo*, che permette, attraverso una trasposizione di scala dimensionale, di eseguire moltiplicazioni di grandi numeri in maniera più veloce ed efficiente. L'idea del *logaritmo* prenderà forma in dei bastoncini tarati, inizialmente fatti d'avorio e successivamente conosciuti come gli *ossi di Nepero*, in grado di aiutare coloro i quali avevano il bisogno di eseguire addizioni, moltiplicazioni, radici quadrate e *logaritmi*. Ma chi aveva bisogno di fare questi calcoli con grandi numeri in quel periodo?

Una risposta può arrivare con il padre di Blasie Pascal (1623-1662, matematico, fisico, filosofo e teologo francese) che era un esattore delle tasse e quindi aveva a che fare ogni giorno con grandi somme di denaro da conteggiare accuratamente. Nel 1642 il giovane Pascal costruisce per lui una macchina calcolatrice, che chiama *Pascaline*, in grado di operare soltanto delle somme con tanto di riporto, d'altronde le tasse sono un calcolo principalmente all'accumulo, mentre per le sottrazioni bisognava modificare leggermente la macchina.

Il lavoro del computer (colui che sa fare i calcoli con carta e penna), dai tempi degli scriba egiziani, come abbiamo visto finora è tenuto in alto conto nelle società civili ed era di supporto, come appunto il conteggio delle tasse, alla vita culturale, politica ed economica delle corti europee. Anzi era considerata una capacità "magica" che solo in pochi potevano e dovevano possedere. Questa magia del calcolo era il frutto di un'educazione sia all'uso della memoria interna alla nostra mente in combinazione con l'intelletto, sia alla pratica con la memoria esterna espressa nella "noiosa" combinazione delle cifre indiane e dei segni matematici che nel tempo si andavano inventando.

Ad avere accesso all'educazione matematica fino alla fine dell'Ottocento erano soltanto i figli dell'aristocrazia e del potere costituito. Il popolo a malapena ne percepiva l'esistenza del linguaggio matematico, se non attraverso il minimo

necessario a contare le monete da versare all'erario, a ricordare gli anniversari dei Santi e dei parenti, a misurare la propria terra e i propri animali<sup>1</sup>.

Nel 1671 Gottfried Wilhem von Leibniz (1646-1716, matematico, filosofo, storico, giurista, diplomatico e magistrato tedesco) scrive: "Non è degno di un uomo eccellente perdere tante ore, come uno schiavo, in lavori di calcolo che chiunque potrebbe eseguire se venisse usata una macchina".<sup>2</sup>

Leibniz era il figlio di un professore di filosofia morale e sin da bambino aveva ricevuto un'educazione alla geometria euclidea ed alla filosofia aristotelica. Saranno questi insegnamenti a portarlo ad avere quello che lui stesso chiamò un'*idea meravigliosa*: creare un alfabeto speciale, i cui elementi non stessero per suoni ma per concetti.<sup>3</sup> L'alfabeto speciale di Leibniz era un sistema di segni e simboli che aveva uno spirito di universalità nella rappresentazione sia di idee matematiche sia dell'intero pensiero umano.

La sua algebra non è quella dei numeri ma quella della logica. Ad essere sommati, sottratti, divisi e moltiplicati sono proprio le adolescenziali nozioni aristoteliche di "categoria". Fondamentale per la nascita del computer elettronico tre secoli dopo, è la sua idea di somma di "categorie" indicata con il simbolo  $\oplus$ . Questo simbolo agiva non sui numeri ma su collezioni di elementi. Per esempio, se consideriamo la collezione di tutti gli esseri umani viventi e la chiamiamo A, allora la sua combinazione con se stessa,  $A \oplus A = A$ , cioè otteniamo la collezione di partenza. Questo con i numeri non è possibile, infatti  $1 + 1$  è uguale a 2, non a 1.

L'idea meravigliosa di Leibniz non si ferma solo alla logica degli insiemi ma lo porterà per tutta la vita ad inseguire il sogno di un alfabeto universale, con risultati che ancora oggi formano la base dell'educazione matematica superiore come lo studio delle derivate di una funzione e i metodi di integrazione con l'invenzione di un simbolismo molto efficace ( $\int$  per l'integrazione e  $d$  per la derivazione)<sup>4</sup>. Nel 1671, due anni dopo la Pascaline, Leibniz costruisce una macchina calcolatrice meccanica capace di operare addizioni, sottrazioni, divisioni, moltiplicazioni e radice quadrata con numeri di 8 e 16 cifre espressi in notazione decimale su un tamburo rotante, che pare spesso si inceppasse e quindi non è stato mai prodotto in molti esemplari, chiamato "organo traspositore". Nel tentativo di migliorare i problemi meccanici dovuti all'uso del sistema decimale, e quindi ad un complesso ingranaggio per tenere conto dei riporti in fase di calcolo, Leibniz aveva avuto, grazie alla frequentazione con il padre gesuita Joachim Bouvet, missionario in Cina, l'opportunità di avvicinarsi allo studio degli esagrammi dei Ching, una numerazione che si fondava solo su due valori secondo la tradizione orientale del Tao (pieno/vuoto, caldo/freddo,

---

<sup>1</sup> Ricordo che nella nostra Italia il popolo ha imparato a leggere e scrivere con l'arrivo della televisione su tutto il territorio dal 1956 in poi.

<sup>2</sup> Stefano Mosticoni, *Storie sul binario. Fatti bizzarri poco noti nella storia dei calcolatori*, Edizioni Exòrma, 2011, pag. 20

<sup>3</sup> Martin Davis, *Il calcolatore universale. Da Leibniz a Turing*, Adelphi, 2003, pag. 20

<sup>4</sup> Martin Davis, *Il calcolatore universale. Da Leibniz a Turing*, cit., pag. 27

aperto/chiuso, e così via). Nel manoscritto *De progressionem Dyadica* del 1679, Leibniz espone e dimostra l'idea che il sistema decimale può essere sostituito da quello binario nell'esecuzione dei calcoli aritmetici. L'anno successivo riuscirà a costruire una macchina calcolatrice su base binaria che, seppur funzionando molto meglio della precedente su base decimale, non era certamente pratica da utilizzare ai profani. Fino alla sua morte Leibniz cercherà di costruire dei "traduttori" dal sistema binario al sistema decimale, ma i limiti della meccanica degli ingranaggi non gli permetteranno mai di portarli a compimento.

George Boole (1815-1864, matematico e logico britannico) era il figlio di un calzolaio che grazie ai libri ed alle biblioteche riuscì a formarsi autonomamente riguardo alle questioni della logica e della matematica. La sua ricerca era indirizzata alle analogie tra i modelli di pensiero razionale e l'algebra dei numeri. Nel 1854, diventato professore di matematica in Irlanda, pubblicò il testo *Le leggi del Pensiero* (titolo originale *An Investigation of the Laws of Thought on Which are Founded the Mathematical Theories of Logic and Probabilities*) che sarebbe diventato il fondamento di una nuova scienza che poi ha preso il suo stesso nome: la logica booleana.

Il lavoro di Boole prende spunto dalla domanda: *nell'algebra ordinaria, dove  $x$  sta per un numero, quand'è che l'equazione  $xx=x$  è vera?* La risposta è da cercarsi nel processo di traduzione della logica in algebra che passa attraverso il "principio di contraddizione" espresso da Aristotele nella *Metafisica*, in cui si dice che "è impossibile che una qualità appartenga e non appartenga alla stessa cosa". I numeri vengono interpretati come qualità e le espressioni come ragionamento. Quindi l'equazione  $xx=x$  è vera soltanto se prendiamo in considerazione i numeri ordinari 0 e 1. Il sistema di numerazione binario, già analizzato da Leibniz e derivato dalle scritture cinesi dei *I Ching*, portò Boole a descrivere un modello matematico del funzionamento del pensiero che in meno di un secolo sarebbe diventato la base per la costruzione dei circuiti logici del moderno calcolatore elettronico.

Ogni storia del computer riserva una sezione speciale a Charles Babbage (1791-1871, matematico e filosofo britannico) quale pioniere del calcolo meccanizzato, famoso per la sua genuina inventiva ma anche per il fallimento nella costruzione del primo computer. Nella vita di Charles Babbage invenzione e fallimento sono inseparabili, metafora stessa dell'intero metodo scientifico che procede per tentativi ed errori. Già da ragazzino mostra una spiccata curiosità nei confronti del funzionamento delle cose, ed era solito chiedere: 'Mamma, cosa c'è qui dentro?' e se la risposta non lo soddisfaceva apriva il giocattolo per vedere come era fatto.

Il diciannovesimo secolo, periodo in cui visse Babbage, non fu solo l'età successiva a quella della ragione, fu anche l'età della quantificazione in cui scienza ed ingegneria cominciarono a ridurre il mondo in numeri<sup>5</sup>. Economia, navigazione, astronomia, finanza e vita sociale in generale cominciarono ad essere legate indissolubilmente a tavole di valutazione numerica. Grazie

---

<sup>5</sup> «L'ingegneria copia la biologia». Luigi Luca Cavalli Sforza, *L'evoluzione della cultura*, Codice Edizioni, 2004, p. 25

all'intuizione dello scozzese John Napier la matematica si era arricchita del meraviglioso strumento dei logaritmi. Le tavole logaritmiche che da quel momento iniziarono a servire i diversi rami della realtà, come la navigazione, l'economia e l'astronomia, erano ovviamente calcolate a mano.

Era l'estate del 1821, quando la Regina Vittoria d'Inghilterra bandì un concorso con un premio di circa mezzo milione di euro attuali, per chi avesse ricalcolato le Tavole di Navigazione in maniera più affidabile rispetto a quelle esistenti all'epoca. Basandosi sulla posizione delle stelle, scritta nei logaritmi delle Tavole di Navigazione, dette Effemeridi, la gloriosa flotta inglese a volte si perdeva nell'Oceano Atlantico con conseguente perdita del carico a gravo della Corona. Tali tavole erano calcolate da 'lavoratori del calcolo' detti appunto *computer* i quali con l'ausilio del calcolo differenziale procedevano nel calcolo successivo di valori sempre più precisi. Chiaramente l'errore era sempre in agguato.

Il calcolo logaritmico era un lavoro ripetitivo e frustante, richiedeva una concentrazione enorme. Babbage, alla luce delle candele procedeva linea per linea, quando ad un certo punto esclamò la celebre frase che avrebbe condizionato il resto della sua vita, e spostato il corso della storia dell'umanità: *I wish to God these calculations had been executed by steam*. Che in italiano suona: spero Iddio che questi calcoli siano eseguiti automaticamente. Infatti il termine inglese *steam* ha il doppio significato di *vapore* e *automatico* non a caso. Inizia così la sfida alla costruzione del primo computer, non più un uomo che eseguisse dei calcoli complessi ma una macchina. Il problema degli errori nelle tavole era chiaro: l'umana fallibilità. Era anche evidente che nell'Inghilterra della Rivoluzione Industriale il riferimento alle macchine era una naturale conseguenza. A partire dal telaio di Loom, programmato a schede perforate, lo storico Thomas Carlyle descrive quegli anni come *the Age of Machinery* (l'età della macchina) in cui le macchine e le tecnologie aprivano nuove strade a grandi promesse, e la devozione alle macchine era diventata una sorta di ossessione che portava quasi all'assurdo. Ma mai come nel calcolo la macchina era la naturale soluzione alla fallibilità umana.

Babbage era un inventore genuino e l'innocenza dell'invenzione in lui trova incarnazione. Nella primavera del 1822 aveva già costruito un piccolo modello funzionante di macchina calcolatrice basato sui primi disegni del *Difference Engine N.1* sviluppati subito dopo la preghiera a Dio per riuscire ad eseguire dei calcoli in forma automatizzata. Il progetto di Babbage era quello di eliminare ogni sorta di errore meccanizzando tutte le quattro fasi della produzione di tavole numeriche: calcolo, trascrizione, stampa e verifica. Nel disegno del suo *Difference Engine N.1* Babbage usò come modello di calcolo il *metodo delle differenze finite* che permette di trovare una soluzione numerica ad un'equazione o un sistema di equazioni differenziali semplicemente attraverso delle addizioni. Tale metodo era ben conosciuto al tempo di Babbage e usato dai computer umani per stilare le diverse Tavole. Inoltre Babbage sapeva che la maggior parte delle funzioni matematiche, logaritmiche e trigonometriche potevano essere approssimate da una polinomiale, cioè classi di funzioni matematiche che col

metodo delle differenze finite venivano calcolate attraverso serie di addizioni che utilizzano il risultato precedente per trovare il valore successivo. Iniziano a questo punto cinque anni molto travagliati della vita di Babbage, in cerca di finanziamenti pubblici si scontra con la diffidenza del governo inglese, ma soprattutto deve affrontare una sfida costruttiva in un periodo in cui non esistevano standard di produzione. Nella progettazione e costruzione del Difference Engine N.1 si affianca a Joseph Clement, un disegnatore tecnico che lo aiuterà nell'assemblare gli oltre 25.000 pezzi di cui si compone la macchina. La costruzione di pezzi in serie era una sfida improba poiché ogni bottega aveva i suoi strumenti, spesso costruiti da loro stessi, e la macchina di Babbage necessitava di serie di ingranaggi che differivano di pochissimo gli uni dagli altri. Ricorda Samuel Smiles, un biografo industriale del tempo, che i soli disegni della sezione di calcolo del Difference Engine coprivano un'area di circa 1.200 metri quadri.

Babbage pur avendo come principale occupazione la costruzione della sua macchina si interessa di elettricità, magnetismo, strumenti per l'astronomia, matematica e sommergibili. Anche se a singhiozzo i finanziamenti arrivavano e questo permetteva di procedere nel difficile compito costruttivo<sup>6</sup>. Ma Babbage non si accontentava e continuamente allargava il progetto, rendendo la macchina ad un livello astratto sempre più precisa.

Aveva immaginato la struttura e la costruzione di un Motore Analitico (*Analytical Engine*) che risolveva i problemi di velocità di calcolo, di precisione numerica, di programmazione delle formule da eseguire semplicemente dividendo la macchina in due parti che chiamò *Mill* (mulino – fabbrica) e *Store* (magazzino). Incredibilmente *Mill* e *Store* sono l'esatto analogo dei nostri moderni computer elettronici, quelli che si basano sulla famosa *architettura di Von Neumann* in cui abbiamo il Processore Centrale (CPU) e la Memoria. A questo punto Babbage non si fermò più. I risultati dell'*Analytical Engine* potevano essere impressi su schede forate in maniera tale da poterle riusare. Chiaramente anche i dati in ingresso potevano essere inseriti attraverso dispositivi di lettura delle schede forate. Ma il processo di astrazione instauratosi nella mente di Babbage continuò. Se i risultati erano impressi su schede forate, allora la stampa non doveva necessariamente essere incorporata alla macchina ma essere effettuata off-line da un altro dispositivo che poteva stare in un altro posto. Adesso però Babbage aveva bisogno di un metodo per programmare la macchina. Usava già le schede forate per i risultati numerici e i valori d'ingresso, quindi perché non usarle come faceva Jacquard per impartire istruzioni al suo telaio? Babbage immaginò un dispositivo in grado di leggere e impartire delle istruzioni al suo *Analytical Engine* e cominciò a chiamare in maniera differenziata le schede forate. Le *Number Cards* erano quelle che conservavano i dati e potevano essere usate anche come un'estensione dello *Store* (memoria). Le *Operation Cards* dicevano al *Mill* (processore) quale e quando eseguire un'operazione, e infine le *Variable Cards* che specificano in quale parte della

---

6 Doron Swade, *The Difference Engine. Charles Babbage and the Quest to Build the First Computer*, Penguin, 2000

memoria un particolare dato doveva essere preso per essere processato e in quale parte immagazzinare il risultato. Ma il lavoro non sembrava ancora completo. Alla magnifica opera di Astrazione mancava ancora la Ripetizione. In effetti non passò molto tempo e al Motore Analitico venne aggiunta l'ultima finezza. La capacità di ripetere automaticamente una sequenza di operazioni un prefissato numero di volte. Per ottenere questo Babbage introdusse un quarto insieme di schede che chiamò *Combinatorial Cards*. La possibilità di ripetere e iterare un insieme di operazioni ha una grande importanza nel calcolo di approssimazioni successive che progressivamente convergono ad un risultato finale preciso quanto si vuole.

La macchina di Babbage poteva finalmente eseguire quello che oggi chiamiamo un programma, cioè una sequenza di istruzioni che usa il repertorio di operazioni interne in un desiderato ordine. A questo punto la storia di Babbage e la sfida alla costruzione del primo computer assume i toni della poesia e della meraviglia tingendosi di rosa. Se le 25.000 parti di cui è composto l'Analytical Engine sono il frutto della mente dell'uomo Babbage, è invece una donna a vedere in quella macchina calcolatrice l'universalità delle idee. Augusta Ada (1815-1852, matematica inglese), Contessa di Lovelace e figlia di Lord Byron aveva incontrato Babbage ad una festa nel giugno del 1833 quando aveva solo diciotto anni. Dopo pochi giorni Babbage mostra ad Ada il funzionamento dell'allora riconosciuta macchina pensante e ne resta profondamente colpita. Ma soltanto nel 1843 Ada descrive l'Analytical Engine come uno strumento programmabile, in grado di agire in base a delle istruzioni generali. Tra Babbage ed Ada esisteva solo una complicità intellettuale. Ada moglie del conte di Lovelace e amante della matematica intraprende con Babbage una fitta corrispondenza in cui prefigura l'intelligenza artificiale ed intravede la grande importanza dell'Engine per il futuro della scienza. E se a Babbage spetta un posto d'onore in quello che è stato il primo *hardware* della storia dei computer, ad Ada spetta il primo posto nella scrittura del *software*.

Consentendo al meccanismo di combinare tra loro simboli generali in successioni di varietà ed estensioni illimitate, viene stabilito un legame unificante fra le operazioni della materia e i processi mentali astratti della branca più astratta della scienza matematica. Viene sviluppato un linguaggio nuovo, vasto e potente per gli usi futuri dell'analisi, in cui esprimere le sue verità, sicché esse possono avere applicazione pratica più rapida e precisa per i fini dell'umanità di quanto non abbiano permesso i mezzi finora in nostro possesso.<sup>7</sup>

Ma l'Analytical Engine soffriva della stessa impossibilità ad essere costruito che aveva torturato Babbage negli anni del Difference Engine. Charles Babbage morirà senza vederlo funzionare mai.

Le idee di Babbage rimasero in letargo fino agli inizi del Ventesimo secolo, quando improvvisamente si risvegliarono (quasi) contemporaneamente nella mente di scienziati geograficamente lontani. Ad un certo punto è stato

---

<sup>7</sup> Ada Lovelace citata in Curnow e Curran, *Il primo libro di informatica*, Bollati Boringhieri, 1987, p. 80

inevitabile che il computer germogliasse, anche perché una nuova invenzione stava cambiando per sempre la storia dell'umanità: l'energia elettrica.

La storia dell'elettricità si interseca con quella delle macchine calcolatrici quando nel 1890 Hermann Hollerith (1860-1929, ingegnere statunitense) riuscì in meno di un mese ad elaborare i dati del censimento americano utilizzando una macchina capace di contare e classificare automaticamente i dati raccolti sulla popolazione attraverso un sistema a schede forate (oltre 60 milioni). Il successo della macchina tabulatrice di Hollerith, che faceva uso per la prima volta dell'elettricità nel calcolo, portò alla fondazione dell'*International Business Machine* (1924), conosciuta poi come IBM, una delle società più importanti nella storia dei computer elettronici del Ventunesimo secolo.