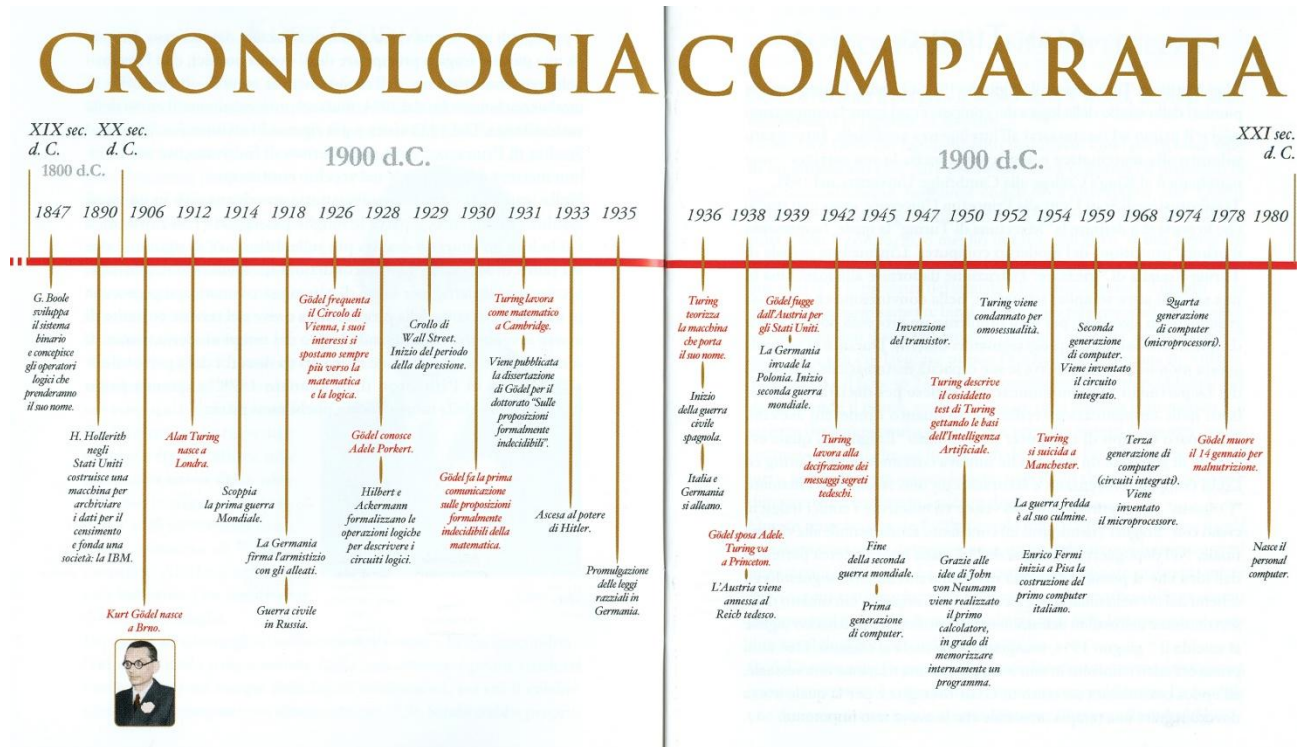


Gödel e Turing - La nascita del computer e la società dell'informazione



Kurt Gödel

Kurt Gödel nasce il 28 aprile 1906, nella città di Brno nell'attuale Repubblica Ceca, e mostra fin da bambino le sue eccezionali doti intellettive, tanto da meritarsi il soprannome familiare di «Herr W arurn» («signor perché») per la spiccata propensione a porre domande su domande. Nel 1924 si iscrive all'università di Vienna con l'intenzione di studiare fisica, ma progressivamente i suoi interessi si indirizzano verso la matematica e la logica. Tra il 1926 e il 1928 frequenta regolarmente gli incontri settimanali del Circolo di Vienna mantenendo tuttavia fin da allora una distanza critica dalle idee del positivismo logico. Negli anni universitari in un locale notturno di Vienna conosce Adele Porkert, una ballerina che nel 1938 diventa sua moglie.

Lei riesce ad alleviargli le sofferenze dell'animo e la sua ipocondria. Nel corso della preparazione della tesi ottiene i primi risultati fondamentali nel campo della logica matematica, tra cui il celebre teorema di incompletezza, dimostrato nel 1930. Sarebbe proprio il prologo di una serena vita accademica, baciata dal successo. Invece, da una parte il tragico precipitare degli eventi politici, con l'avvento del nazismo e la guerra, dall'altra i disturbi mentali, di cui soffre in modo clamoroso fin dal 1934, mutano profondamente il corso della sua esistenza. Dal 1933 visita a più riprese l'Institute for Advanced Studies di Princeton, dove si trasferisce definitivamente nel 1940: non metterà mai più piede nel vecchio continente.

Nella tranquilla cittadina universitaria americana vive in un quasi assoluto isolamento, a parte le lunghe passeggiate con Einstein, a cui lo lega un'amicizia «basata più sulle differenze di opinione che sui



punti di accordo». Le sue condizioni di salute non migliorano: accusa varie malattie, per lo più di natura psicosomatica, si preoccupa in maniera ossessiva della propria dieta e vive nel terrore costante di essere avvelenato. Il più grande logico dei tempi moderni muore di «denutrizione e debilitazione derivanti da disturbi della personalità» all'ospedale di Princeton il 14 gennaio 1978 in quanto privo dell'assistenza della moglie morta pochi mesi prima.

Alan Turing

Alan Mathison Turing nasce il 23 giugno 1912 a Londra. È stato uno dei pionieri dello studio della logica dei computer così come la conosciamo oggi e il primo ad interessarsi all'intelligenza artificiale. Interessato soltanto alla matematica e alla scienza inizia la sua carriera come matematico al King's College alla Cambridge University nel 1931. Trasferitosi negli Stati Uniti alla Princeton University, avvia uno studio che lo porterà a definire la "Macchina di Turing" la quale, rappresenta



il primo "prototipo" del moderno computer. L'intuizione geniale di Turing è quella di "spezzare" l'istruzione da fornire alla macchina in una serie di altre semplici istruzioni, nella convinzione che si possa sviluppare un algoritmo per ogni problema: un processo non dissimile da quello affrontato dai programmatori odierni. Durante la seconda guerra mondiale Turing mette le sue capacità matematiche al servizio del Department of Communications inglese per decifrare i codici usati nelle comunicazioni tedesche, in quanto i tedeschi avevano sviluppato un tipo di computer denominato "Enigma" il quale era capace di generare un codice che mutava costantemente. Turing ed i suoi compagni inventano e lavorano con uno strumento chiamato "Colossus" che decifrava in modo veloce ed efficiente i codici tedeschi creati con "Enigma", dando così un contributo fondamentale alla vittoria finale. Nel dopoguerra Turing si dedica

a una nuova ricerca partendo dall'idea che si possa creare una macchina intelligente seguendo gli scherni del cervello umano. Imperscrivibile, incomprenduto, circondato dallo scetticismo e dall'ostilità dell'ambiente scientifico, il matematico inglese si suicida il 7 giugno 1954, mangiando una mela al cianuro. Due anni prima era stato coinvolto in uno scandalo per una relazione omosessuale, all'epoca considerata un reato in Gran Bretagna e per la quale aveva dovuto seguire una terapia ormonale che lo aveva reso impotente.

Il teorema di incompletezza

Godel è ritenuto il più grande logico del XX secolo, secondo taluni addirittura il più grande in assoluto.

La logica è l'arte del ragionamento deduttivo. Quel particolare tipo di ragionamento che, date premesse vere e seguendo il principio di non contraddizione, raggiunge conclusioni altrettanto vere. Quella aristotelica è una logica binaria, che ammette due e solo due possibili stati, l'uno il contrario, o meglio negato, dell'altro. A una logica del genere obbediscono i computer: i loro elementi conoscono due e solo due stati 0/1 -la presenza del segnale o l'assenza, che ne è il negato - e in quella forma rigorosamente binaria i dati sono rappresentati ed elaborati. Godel pubblicò il suo più famoso risultato nel 1931 all'età di soli 25 anni, epoca in cui lavorava presso l'Università di Vienna in Austria. Tale lavoro è il famoso Teorema di incompletezza (o di indecidibilità) che da lui prende il nome, secondo il quale ogni sistema assiomatico (un insieme di proposizioni o principi che vengono assunti come veri perché ritenuti evidenti) che sia in grado di descrivere l'aritmetica dei numeri interi ammette proposizioni logiche sugli interi che non possono essere dimostrate né confutate a partire dagli assiomi.

Questo teorema riveste fondamentale importanza nella scienza logica e matematica e ha dato origine a un grande sconvolgimento tra i matematici del tempo. La sua dimostrazione consiste

nell'evidenziare che in ogni sistema formale coerente e assiomatizzabile si danno proposizioni indecidibili, cioè tali che né esse né le loro negazioni sono dimostrabili all'interno del teorema stesso.

Godel inoltre, riuscì a provare l'impossibilità che un sistema formale con queste caratteristiche dimostri di essere non contraddittorio. La formula che dimostra infatti la non contraddittorietà è tra quelle indecidibili.

Con questo, la fede nella certezza della conoscenza è venuta meno. Prendiamo come esempio il famoso paradosso di Epimenide che, essendo Cretese egli stesso, affermò: "Tutti i Cretesi sono bugiardi". È un enunciato autoreferenziale: se Epimenide dice il vero contraddice l'affermazione che "tutti i Cretesi sono mentitori", se dice il falso allora "non tutti i Cretesi sono bugiardi". Come possono logicamente stare in piedi frasi simili? Il teorema di Godel vuol semplicemente dire che per quanto si affinino gli strumenti della matematica rimarrà sempre una proposizione indecidibile nella realtà. Non tutto può essere descritto e analizzato dalla scienza. Alla base del pensare godeliano c'è la convinzione che il mondo sia profondamente razionale e non ci sia spazio per la casualità. Negli anni successivi all'arrivo a Princeton, l'attenzione e gli interessi di Godel si spostano progressivamente verso la filosofia. Nella storia resta però il teorema che porta il suo nome ispiratore del lavoro di Turing che ne formulò una dimostrazione alternativa applicata all'informatica.

Gli antenati del computer

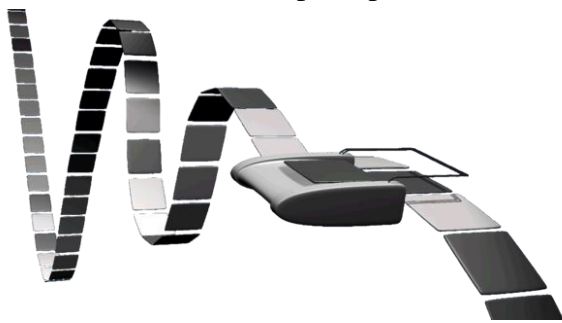
La logica matematica e l'avvento del computer hanno permesso di sviluppare il concetto di computazione sia nei suoi aspetti teorici che nel realizzarsi delle sue potenzialità. All'inizio del XX secolo c'erano i presupposti per un salto di qualità. La logica era uno strumento che forniva i componenti necessari per automatizzare una teoria del ragionamento (matematico e filosofico) attraverso, per esempio, il trattamento puramente formale (e quindi meccanico) della dimostrazione di un teorema. L'idea di programmazione era già stata inventata: mancava il "Calcolatore Universale". Il nome usato per descrivere lo strumento principe dell'informatica è proprio collegato al concetto di calcolo (calcolatore elettronico), anche se più propriamente si dovrebbe parlare di elaboratore; in altre lingue e principalmente in inglese si parla di 'computer' e l'informatica è la 'computer science'. È sicuramente un nome che deriva da precedenti macchine e prime applicazioni, ma può essere interessante notare l'etimologia del verbo computare (cum putare) che riconduce anche a significati quali lo stimare, il reputare, il giudicare, il credere e anche il pensare. Nei secoli precedenti erano state inventate macchine calcolatrici ma erano utili a risolvere solo un determinato tipo di problemi. Lo strumento più antico di calcolo di cui si conosca traccia è l'abaco; i primi esemplari, sotto forma di "tavole di calcolo" sono apparsi in Mesopotamia e in Cina intorno al 1200 a.c.. Solo intorno al 1300 d.C. l'abaco, così come oggi lo conosciamo, sostituisce le tavole da calcolo dei cinesi. Anche Leonardo ha dato il suo contributo concettuale. Studi recenti hanno portato alla luce alcuni disegni di **Leonardo Da Vinci**, conosciuti come il Codice di Madrid, raffiguranti uno strano macchinario concepito per effettuare calcoli con il sistema decimale. Non esistono però tracce storiche del funzionamento di questo meccanismo ideato intorno al 1500. La prima calcolatrice meccanica risale al 1600. Fu **Blaise Pascal** filosofo, matematico e fisico francese, nel 1643, a realizzare una macchina che eseguiva automaticamente addizioni e sottrazioni, la Pascalina.

A progettare il primo calcolatore automatico di uso generale (addizioni, sottrazioni, divisioni, moltiplicazioni) fu **Charles Babbage**, matematico inglese, nel 1834 coadiuvato da **Ada Byron**, famosa matematica e figlia del noto poeta. Il calcolatore prese il nome di "macchina analitica" e costituì un modello per tutti i successivi calcolatori ma la macchina non fu realizzata per davvero. Tale macchina poteva essere utilizzata tramite delle schede "perforate", concetto ripreso dai famosi telai automatici che] acquard aveva inventato per la tessitura automatizzata con la possibilità di eseguire disegni complessi. Nel 1847 il matematico inglese **George Boole** definì la cosiddetta algebra di Boole basata sulla logica delle proposizioni vero o falso e sui connettivi: congiunzione

(AND), disgiunzione (OR) e negazione (NOT) che stanno alla base della logica dei computer. Nel 1890 in occasione del censimento della popolazione degli Stati Uniti l'ingegnere Hollerith pensò di registrare su schede perforate tutti i dati per poi rielaborarli con una macchina meccanografica abbattendo i tempi di conteggio. Hollerith fondò poi una società che nel 1924 prese il nome di IBM (International Business Machine). Nel 1928 Hilbert e Ackermann formalizzarono le operazioni logiche per descrivere i circuiti logici riducendo le possibilità ad aperto-chiuso (0/1) e ai circuiti AND OR NOT. Fu Alan Turing che modellando la nozione di computazione (un qualsiasi procedimento definito) attraverso delle semplici macchine elementari e del corrispondente linguaggio, riuscì a dimostrare l'esistenza di macchine di Turing Universali, capaci cioè di imitare, mossa per mossa, qualunque altra macchina di Turing e quindi anche se stessa. Era stato concepito il "calcolatore universale" che poteva avere moltissime forme e che poteva simulare e quindi eseguire qualsiasi computazione.

In cosa consiste la macchina di Turing?

Nel 1935 un neolaureato di Cambridge, Alan Turing, sfruttando il teorema di Godel dell'incompletezza, dimostra l'impossibilità di ideare qualsiasi "procedimento meccanico" effettivo capace di stabilire in anticipo se una data proposizione si può dedurre logicamente da un assegnato sistema di assiomi. Il risultato di Turing sancisce dunque una sorta di "legge naturale" che fissa limiti invalicabili al calcolo automatico e alla quale non possono sfuggire neppure i più potenti computer di cui oggi disponiamo. Una delle sue caratteristiche fu di non usare il lavoro di scienziati precedenti, bensì di ricreare le scoperte precedenti.



Il metodo di istruzione del computer era molto importante nel concetto di Turing. Far eseguire a un computer un compito particolare era soltanto una questione di suddivisione dell'istruzione in una serie di istruzioni più semplici, lo stesso processo che viene affrontato anche dai programmatori odierni.

Turing era convinto che si potesse sviluppare un algoritmo per ogni problema. La parte più difficile stava nel determinare quali fossero i livelli semplici e come spezzettare i grossi problemi.

La macchina di Turing è un modello matematico ideale che vuole catturare tutti gli esempi di computer possibili. Gli ingredienti che intervengono in una macchina di Turing sono molto semplici: innanzitutto abbiamo un nastro, potenzialmente infinito; questo nastro è diviso in maniera discreta in caselle. Calcolare attraverso una macchina di Turing significa spostarsi su questo nastro, avendo la possibilità di leggere quello che sta scritto nelle caselle e di stampare, cancellare simboli, passando successivamente in stati di memoria diversi. Quando la macchina di Turing esegue un calcolo per un'operazione o per una funzione matematica, dopo un certo numero finito di passi si ferma, esattamente come fanno i nostri personal computer. Un problema teorico molto importante che nasce a questo proposito è il seguente: tutte le volte che noi sottoponiamo un calcolo alla nostra macchina di Turing, essa si fermerà? Questa domanda ha una risposta negativa. Come hanno dimostrato Turing e Godel, vi sono delle funzioni matematiche che non sono computabili in un numero finito di passi da una macchina di Turing. Questo significa che in certi casi particolari la macchina di Turing può non fermarsi, può andare avanti all'infinito. La macchina di Turing è ideale, dunque, perché il suo nastro è infinito; tuttavia dentro a un computer è come se lavorassero molte piccole macchine di Turing, che usano una serie di nastri finiti, di

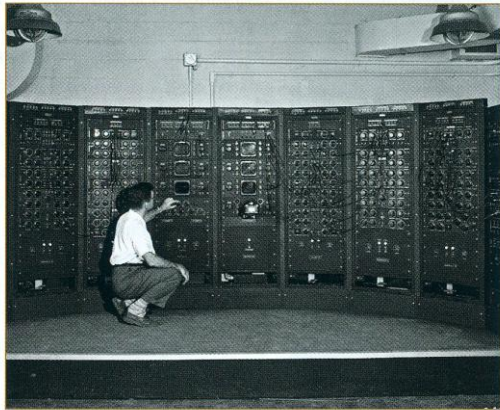


John von Neumann

registri per svolgere le computazioni.

Evoluzione dei computer

John Von Neumann proseguì gli studi di Turing disegnando l'architettura di calcolatori elettronici tuttora utilizzata. John Von Neumann (1903 - 1957) ebreo ungherese, era stato un bambino prodigio. Si dice che a sei anni amasse scherzare con il padre in greco antico e fosse in grado di moltiplicare mentalmente due numeri di otto cifre oppure di memorizzare in pochi minuti una pagina qualunque dell'elenco telefonico. Aveva studiato in due università contemporaneamente



Uno dei primi computer sviluppato alla fine degli anni '40

laureandosi in ingegneria chimica a Budapest ed in matematica a Berlino. Nel 1930 fu invitato alla Princeton University e fu uno dei primi 4 docenti scelti per l'Institute for Advanced Study, dove insegnò dal 1933 fino alla morte. Qui conobbe Turing. Von Neumann contribuì in maniera decisiva alla progettazione della bomba atomica e, dopo la guerra, alla bomba all'idrogeno e alla bomba al plutonio, spinto da un forte risentimento contro nazisti, giapponesi e sovietici. Entrato in contatto con il progetto per la realizzazione di Eniac, uno dei primi importanti computer, tra il 1944 e il 1945 sviluppò l'architettura del computer che prende il suo nome ed è alla base dei moderni calcolatori elettronici.

Tale architettura è costituita da quattro elementi fondamentali:

- Unità di elaborazione (CPU, Central Processing Unit): insieme di dispositivi elettronici in grado di leggere, interpretare ed eseguire le istruzioni contenute nei programmi.
- Memoria centrale (MM, Main Memory): contiene i dati relativi all'esecuzione dei programmi.
- BUS di sistema canale di comunicazione tra tutti gli elementi dell'architettura di von Neumann.

- Interfacce delle periferiche Interfacce di comunicazione tra il calcolatore e le periferiche.

Le periferiche vere e proprie come Stampanti, Monitor, Tastiera ecc. sono considerati elementi esterni al calcolatore, in particolare nell'architettura di von Neumann, le memorie di massa (Bard Disk, Cfr-Rom ecc.) sono considerate come periferiche. Anche se questa è una semplificazione dei calcolatori moderni, che possono contenere altre componenti, il concetto di base è molto vicino alla realtà e dà un'ottima rappresentazione delle funzionalità dei calcolatori. La CPU si occupa di elaborare le informazioni, coordinando gli altri elementi del calcolatore; recupera le informazioni dalla memoria, le decodifica interpretando il loro significato per poi eseguirle. Le possibili operazioni sui dati recuperati dalla memoria sono di due tipi:

- Elaborazione: le informazioni recuperate vengono elaborate, ad esempio con operazioni matematiche.

- Trasferimento: le informazioni recuperate vengono trasferite tra regioni diverse, ad esempio tra memoria di massa e memoria centrale. Ogni trasferimento avviene tramite il bus di sistema, che gestisce il collegamento logico tra gli elementi del calcolatore, mentre il collegamento fisico tra di essi è sempre presente. L'invenzione nel 1947 dei transistor ha permesso di realizzare computer potenti basati su circuiti integrati, cioè i circuiti elettronici realizzati in microminiatura con materiali semiconduttori e contenuti all'interno di parallelepipedi neri di dimensioni variabili (chip) e con un numero variabile di piedini per essere saldati o inseriti in un connettore. Nel 1965, Gordon Moore, co-fondatore di Intel, fece una previsione, nota come la Legge di Moore: "il numero di transistor inseriti in un chip raddoppia circa ogni due anni". Questa previsione è stata confermata dalla rivoluzione che la tecnologia ha subito a livello mondiale e che ha contribuito alla nascita di nuovi standard nelle architetture dei sistemi di elaborazione. Si sono evidenziati però dei limiti al numero di transistor inseribili su un chip e quindi alle potenze di calcolo raggiungibili in futuro. Perciò sono

state sviluppate nuove tecnologie alternative sia a quella del silicio che all'architettura di von Neumann: i computer quantistici ne sono un esempio.

Intelligenza umana e intelligenza artificiale

Turing nel 1950 scrisse un articolo dal titolo *Intelligent Machinery*, pubblicato poi nel 1969 in cui descriveva quello che attualmente è conosciuto come il Test di Turing. Il test, una sorta di esperimento mentale (dato che nel periodo in cui Turing scriveva non vi erano ancora i mezzi per attuarlo), consisteva in una persona, chiusa in una stanza che poneva delle domande tramite una tastiera, rivolgendosi sia ad una persona che ad una macchina intelligente. Turing era convinto che se, dopo un ragionevole periodo di tempo, la persona che poneva le domande non fosse stata capace di distinguere le risposte della macchina da quelle dell'altra persona, la macchina in qualche modo si poteva considerare "intelligente". Fu questa una delle prime volte in cui sia stato presentato il concetto di "intelligenza artificiale". Turing, infatti, era dell'idea che si potessero creare macchine che fossero capaci di simulare i processi del cervello umano, sorretto dalla convinzione che non ci sia nulla, in teoria, che un cervello artificiale non possa fare, esattamente come quello umano (in questo aiutato anche dai progressi che si andavano ottenendo nella riproduzione di "sirnulacri" umanoidi, con la telecamera o il magnetofono, rispettivamente "protesi" di rinforzo per l'occhio e la voce). Dopo di allora si è sviluppata la A.I., la scienza dell'intelligenza artificiale. Un possibile modello moderno di computazione è l'agente razionale (o intelligente), un robot o un software particolare, un pilota automatico o un dimostratore automatico di teoremi matematici. L'agente è un qualsiasi sistema che percepisce l'ambiente attraverso dei sensori e agisce su di esso attraverso degli attuatori. Ci sono agenti semplici, detti reattivi, che rispondono semplicemente a un impulso o a un comando e quelli basati su modelli che hanno uno stato interno, tengono conto della storia delle percezioni e sono in grado di prevedere l'evoluzione dell'ambiente e magari anche cosa possono fare le proprie azioni. Ci sono agenti più complessi che hanno degli obiettivi da perseguire così da permettere di scegliere quali azioni compiere prima e quelli che compiono tale scelta basandosi sull'utilità. Ovviamente i più complessi sono quelli in grado di apprendere e perfino di generare problemi utili all'apprendimento che portino l'agente a compiere esperienze particolarmente significative allo scopo. Esistono inoltre agenti per la risoluzione di problemi, capaci di ricercare una soluzione a un problema anche in presenza di avversari, agenti logici capaci di forme di ragionamento simbolico e con una rappresentazione esplicita della conoscenza e infine esistono agenti pianificatori; che trattano conoscenza incerta e quelli adatti a prendere decisioni.

Il genio e la mela

Sono le cinque del pomeriggio dell'8 giugno 1954, quando la governante entra come ogni giorno nell'appartamento dove abita Alan Mathison Turing, celebre matematico, pioniere della teoria dell'informazione e ideatore della macchina che permise agli inglesi di decifrare i codici tedeschi durante la seconda guerra mondiale. Lo trova disteso sul letto, senza vita. Sul comodino, una mela mordicchiata e un barattolo di cianuro. Uno dei massimi ingegni del Novecento si è tolto la vita ad appena quarant'anni, solo poche settimane dopo essere stato reintegrato nell'insegnamento all'Università di Manchester.

Forse Alan Turing non ha retto alla macchia della condanna per omosessualità o, peggio, alla commutazione della pena a un anno di reclusione nella libertà condizionata, ma in cambio della castrazione chimica, orribile pratica che lo rende impotente per sempre. Per tutto quell'interminabile anno ha dovuto sottoporsi alle periodiche visite di uno psichiatra e a una terapia a base di antitestosterone e ormoni femminili. La debilitazione fisica che ne consegue è per lui, un atleta capace di correre la maratona in due ore e 46 minuti, un'ulteriore, feroce umiliazione.

Così finisce i suoi giorni il giovane matematico che era stato celebrato come un eroe per aver contribuito alla sconfitta della Germania nazista con i suoi marchingegni. In poco più di un anno, insieme a un gruppo di specialisti in crittografia con base a Bletchley Park, non lontano da Londra, Turing aveva messo a punto una macchina che già all'inizio del 1941 avrebbe consentito la cattura

di una flotta di navi nemiche. Ma con l'entrata in guerra degli Stati Uniti la Germania cambia i suoi codici, e Turing fa la spola tra Washington e Londra per dipanare di nuovo la matassa. A trent'anni appena compiuti, è il massimo esperto mondiale di codici cifrati.

Certo, al di là del suo ruolo nella guerra, Alan Mathison Turing resta nella storia della scienza per i suoi fondamentali lavori teorici sulla macchina universale e il test per determinare se una macchina sia in grado di pensare, che prendono entrambi il nome da lui. In pratica, non solo Turing ha dato un contributo fondamentale allo sviluppo dell'informatica, ma ha addirittura dato l'avvio alle primissime, pionieristiche ricerche sull'intelligenza artificiale. Forse è per questo che in Rete circola una leggenda secondo cui la Apple avrebbe scelto la mela come simbolo in omaggio al genio britannico. L'azienda non ha mai confermato, sostenendo che invece il logo sia ispirato a una copertina dei Beatles. Se così fosse, però, ribattono gli ammiratori di Turing, non si spiegherebbe perché ne manchi un morso.