

NETICA

2.

*Collana diretta da  
Massimiliano Lorenzo CAPPUCCIO*



*Se pareba boves, alba pratalia araba,  
et albo versorio teneba, negro semen seminaba.  
Gratia tibi agimus, potens sempiternus Deus.*

Volume stampato con un contributo  
dell'Università degli Studi di Milano  
(Fondo "Mille lire", legge n. 429 del 3-8-1985).

Edoardo BALLO, Silvio BOZZI,  
Massimiliano CAPPuccio, Marcello D'AGOSTINO,  
Paolo D'ALESSANDRO, Rossella FABBRICHESI LEO,  
Marcello FRIXIONE, Barbara GIOLITO, Giulio GIORELLO,  
Gabriele LOLLI, Giuseppe LONGO, Lorenzo MAGNANI,  
Teresa NUMERICO, Piergiorgio ODIFREDDI, Valeria PATERA,  
Ines SALTALAMACCHIA, Corrado SINIGAGLIA

# L'EREDITÀ DI ALAN TURING

## 50 anni di intelligenza artificiale

A cura di Massimiliano Lorenzo CAPPuccio



© Proprietà letteraria riservata  
Edizioni AlboVersorio, Milano, Settembre 2005.  
[www.alboversorio.it](http://www.alboversorio.it)  
mail-to: [info@alboversorio.it](mailto:info@alboversorio.it)  
tel.: 328-9284139

ISBN 88-89130-08-3

# INDICE

|  |     |
|--|-----|
| <b>Introduzione</b><br>di Massimiliano Lorenzo CAPPUCCIO   | 9   |
| <b>Dalla macchina di Turing ai calcolatori digitali</b><br>di Edoardo BALLO  | 15  |
| <b>Turing: il coraggio dell'ingenuità</b><br>di Gabriele LOLLI   | 23  |
| <b>La tesi di Turing</b><br>di Piergiorgio ODIFREDDI   | 31  |
| <b>La computazione oltre i limiti della macchina di Turing</b><br><i>Teoria della computabilità e ipercomputazione</i><br>di Ines SALTALAMACCHIA | 61  |
| <b>L'impatto di Turing sulla logica</b><br>di Marcello D'AGOSTINO  | 79  |
| <b>Linguaggio, Logica e Matematica in Alan Turing</b><br>di Silvio BOZZI   | 101 |
| <b>Macchine non organizzate e simulazione<br/>dell'intelligenza nell'opera di Alan Turing</b><br>di Teresa NUMERICO                              | 139 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Turing e la filosofia della mente</b><br>di Barbara GIOLITO  | 153 |
| <b>Il ruolo delle macchine di Turing nelle scienze cognitive</b><br>di Marcello FRIXIONE  | 161 |
| <b>Menti Mimetiche</b><br><i>Il ruolo dei mediatori cognitivi<br/>e delle rappresentazioni esterne</i><br>di Lorenzo MAGNANI  | 179 |
| <b>Alan Turing, una filosofia matematica della natura</b><br>di Giulio GIORELLO e Corrado SINIGAGLIA  | 197 |
| <b>Dalla catastrofe dell'alfabeto alla 'Discrete State Machine'</b><br><i>Espressività e limiti del tagliare il mondo con l'accetta</i><br>di Giuseppe LONGO            | 203 |
| <b>Continuo e discreto: un approccio sinechistico</b><br>di Rossella FABBRICHESI LEO  | 219 |
| <b>Un'ipotesi controfattuale:<br/>la macchina di Turing ideografica</b><br>di Massimiliano CAPPUCCIO  | 231 |
| <b>Dal miraggio dell'Intelligenza Artificiale<br/>alla simulazione di un sistema vivente</b><br>di Paolo D'ALESSANDRO   | 245 |
| <b>Il teatro continuo di una vita discreta</b><br><i>Le visioni e le ragioni di un testo teatrale<br/>"Alan's apple - Hacking the Turing test"</i><br>di Valeria PATERA | 261 |

## INTRODUZIONE

Il 18 Luglio 1937 Alan Turing sbarcava in Inghilterra dal *Normandie*, il transatlantico che lo aveva riportato a casa dopo un soggiorno di un anno passato all'Università di Princeton. Portava con sé un curioso involucri, avvolto in una carta da pacchi marrone: all'interno vi era custodito un congegno che aveva costruito lui stesso, e che aveva assorbito le sue energie durante gli ultimi mesi passati negli Stati Uniti. Era un moltiplicatore elettro-meccanico, uno dei primi tentativi realizzati da Turing di catturare e riprodurre all'interno di un dispositivo fisico le operazioni della logica booleana. I presupposti matematici del suo funzionamento, così come quelli meccanici, erano relativamente semplici ma, per mettere insieme un simile prototipo, Turing aveva dovuto utilizzare alcuni materiali non facilmente reperibili in commercio; per questo motivo si era fatto prestare di nascosto, da un amico ingegnere, le chiavi del laboratorio del Dipartimento di Fisica, dove aveva passato lunghe ore in semiclandestinità, in compagnia di trapani, torni e presse idrauliche.

In quegli anni ancora non godeva di particolare considerazione l'idea che le operazioni fondamentali del pensiero razionale potessero essere trasposte artificialmente e realizzate materialmente attraverso i mutamenti occorrenti nelle configurazioni di alcuni relé; la grande ricerca per la costruzione delle "macchine pensanti" si trovava nella fase dei suoi primissimi, pionieristici, esordi, e ancora la sua reale importanza veniva gravemente sottovalutata. In quel contesto gli improvvisati interessi "artigianali" di Turing per l'ingegneria – interessi che, com'è risaputo, si evolsero successivamente in ben più notevoli sviluppi - illustrano chiaramente come egli non abbia mai avuto timore di sporcarsi le mani con il lavoro tecnico, e che anzi abbia saputo investire in modo efficacissimo e proficuo il suo multiforme talento poetico, mettendolo al servizio delle sue brillanti intuizioni speculative.

Un simile atteggiamento fu certamente insolito e quasi unico, se consideriamo che all'epoca i tabù accademici relegavano il lavoro della matematica pura in un giardino incantato di numeri e di problemi astrattissimi, di modo che essa era isolata non solo rispetto alle sue corpose applicazioni tecnologiche o commerciali, ma anche rispetto alle sue traduzioni nel linguaggio, pur matematico, della fisica teorica. Turing, al contrario, accettava come perfettamente normale il fatto che il calcolo e la meccanica, la contemplazione teoretica e la pratica creatrice, l'osservazione naturalistica e l'elaborazione formale, si corrispondessero strettamente tra di loro e dipendessero l'una dall'altra nell'economia del loro reciproco sviluppo.

La peculiarità dello spirito creativo di Turing è ben rappresentata dalla sua invenzione più famosa, la celebre *macchina universale*, un dispositivo che si è dimostrato sorprendente per più motivi: non solo perché esso costituisce l'antenato ideale degli odierni elaboratori elettronici, visto che il suo avvento ha segnato l'atto di nascita della contemporanea *computer science*; ma anche perché, ripercorrendo la catena di osservazioni che ha portato alla sua concezione, ci si accorge che è sostanzialmente vano chiedersi se la macchina universale sia stata dedotta attraverso uno sforzo pratico di dare corpo tangibile ad un'invisibile ipotesi matematica, o viceversa attraverso un tentativo teorico di estrapolare l'essenza astratta e diafana di una funzione meccanica e corposa. Resta evidente l'importanza delle ripercussioni – manifeste e profonde - che essa ha prodotto per la vita dell'uomo del ventesimo secolo, e per la forma di vita culturale occidentale.

La ricerca intrapresa da Turing – essendo supportata da competenze solidissime e vaste - non era incline a subire le barriere disciplinari e non era irresoluta nell'avvalersi di soluzioni pragmatiche o linguistiche originali, o di inedite risorse immaginifiche. Pur non avendo egli sviluppato alcun pensiero programmatico su questo punto, e pur non essendo interessato - probabilmente – ai presupposti epistemologici e filosofici implicati in un simile progetto conoscitivo, è chiaro tuttavia che Turing ha incarnato concretamente e perseguito operativamente un ideale scientifico di tipo *enciclopedico*: un impegno alla ricerca, cioè, motivato da un amore per la conoscenza universalmente comprensivo, panoramico, e ispirato da un modello di sapere capace di intravedere (e di far fruttare) quelle segrete relazioni che legano tra di loro differenti campi specialistici: teoria dei numeri, logica, fisica, meccanica, chimica, biologia e psicologia scientifica.

Era forse questa la più straordinaria tra le capacità di Turing, il quale, da vero outsider (come ha scritto Peter T. Saunders, nell'introduzione al quarto volume dei *Collected papers*) ogni volta che si affacciava a un campo problematico a lui del tutto nuovo o estraneo era capace di reimpostare integralmente la sua esperienza di ricercatore, ricominciando praticamente da zero e sfruttando soltanto le conoscenze e i metodi che aveva acquisito nel prece-

dente confronto con gli altri campi disciplinari. È in questa prospettiva metodologica apparentemente discontinua e un po' naif (ma in realtà avveduta e penetrante come poche altre) che la struttura sintetica, organica e unitaria della scienza iniziava ad emergere come quella meta regolativa verso cui le operazioni conoscitive convergono in maniera coordinata e solida.

Turing, evidentemente, dava per scontato che il punto di osservazione privilegiato per contemplare l'unità ideale dei saperi dovesse essere quello del matematico naturalistico. Non a caso Andrew Hodges, in uno dei suoi ben noti lavori dedicati al matematico britannico, ha così scritto di lui: "Alan Turing's immersion in and attack upon Nature was a unity: divisions between mathematics, science, technology and philosophy in his work have tended to obscure his ideas". Con il sottotitolo dello stesso lavoro Hodges ha assegnato a Turing l'appellativo di *natural philosopher*, sottolineando l'analogia che sussiste tra il matematico britannico e altre celebri figure a tutto tondo della tradizione scientifica, come Newton o Keplero. Ma Turing era un filosofo naturale anche in un senso ulteriore, un senso che evoca il nome di altri chiarissimi studiosi del passato, i quali hanno votato la loro vita alla tecnica, alla scienza e alle sue "matematiche dimostrazioni", ma non hanno rinunciato a esprimere il loro talento in una forma che fosse paragonabile a quella demiurgica dell'arte: cioè una forma dello spirito che implica una pratica produttiva e creativa, vivente della vita delle sue creazioni.

Turing, infatti, non poteva accontentarsi di comprendere o descrivere la natura ma, con le sue realizzazioni ingegneristiche e con i suoi coraggiosi progetti di intelligenza artificiale, aspirava a ricrearla e a riprodurla, per soggiogarla definitivamente attraverso una ben congegnata illusione, un seducente "gioco dell'imitazione": un'attività *mimetica* – quindi – che può dirsi riuscita solo quando l'artificio e la copia abbiano vinto la competizione con il modello originale, risultando indiscernibili da esso. In questo senso specifico Turing non fu solo un geniale progettista di automi, o un attento descrittore dei fenomeni fisici, ma – almeno nel concetto - fu anche un vero e proprio *artista*, quasi un erede novecentesco dell'antico spirito leonardesco. Un erede che, per realizzare le sue opere, invece di impiegare la tela e i pennelli si è affidato alla scrittura discreta della macchina e alla potenza infaticabile del suo calcolo automatico.

Il presente volume raccoglie gli atti del convegno omonimo\* tenutosi il 3 e 4 Novembre 2004 presso l'Università degli Studi di Milano, e organizzato grazie all'impegno volontario del gruppo studentesco "Chora" in occasione del cinquantenario della morte del matematico britannico; il volume contiene inoltre alcuni contributi non ancora apparsi in Italia e

redatti da alcuni dei filosofi, dei matematici e dei logici italiani che avevano già firmato gli studi più autorevoli dedicati ai differenti aspetti del lavoro di Turing. Questo libro viene pubblicato in un periodo di rinnovato interesse per le ricerche del matematico britannico, un periodo che coincide con una seconda ondata di studi turingiani: la prima, intervenuta durante i primi anni '80, coincideva con una stagione di entusiasmanti progressi per l'informatica applicata e con la diffusione di massa del personal computer. In quel contesto il successo editoriale degli studi turingiani, spalancato innanzitutto dalla dettagliatissima e commovente biografia di Hodges, era motivato dal comprensibile interesse nei confronti della storia delle origini dell'informatica e dei suoi presupposti fondazionali.

La seconda rinascita degli studi dedicati a Turing arriva mezzo secolo dopo la sua morte e coincide, emblematicamente, con lo scadere della sua celebre previsione: con il suo articolo del 1950, infatti, Turing aveva profetizzato che entro cinquant'anni le macchine computazionali, nipoti di quel celebre dispositivo ideale che porta il suo nome, sarebbero progredite a tal punto da poter rivaleggiare con gli uomini nella maggior parte delle attività intellettuali. La previsione di Turing, al giorno d'oggi, appare decisamente ottimistica, ma è anche vero che, nell'epoca in cui si iniziano a commercializzare i primi magiordomi robotici e i flussi finanziari vengono gestiti da sofisticatissime routine computazionali, la ricerca sull'intelligenza artificiale sembra ancora capace di promettere imprevedibili successi.

D'altra parte la seconda rinascita di Turing non si è concentrata soltanto sul ruolo svolto dal matematico come apologeta e teorico dell'intelligenza artificiale, ma ha valorizzato alcuni aspetti del suo lavoro precedentemente meno noti, che attualmente costituiscono un utilissimo stimolo per la biologia e la chimica, oltre che per le scienze matematiche: si tratta dei citatissimi studi di Turing sulla morfogenesi e sulle correlate teorie della filotassi e degli "automi cellulari".

Valutare oggi il significato dell'eredità intellettuale lasciata da Turing vuol dire esaminare quest'ultima con una profondità di prospettiva storica che includa in modo avvertito anche gli sviluppi più tardi del suo lavoro; cioè quegli sviluppi – ben successivi alla scomparsa del matematico – che forse appaiono meno direttamente collegabili ai temi principali dei suoi scritti, ma che da essi inequivocabilmente provengono. Solo il proverbiale "senno di poi", infatti, potrebbe rendere consapevoli del valore speculativo autentico e del significato profondo contenuto in embrione in alcune delle tesi di Turing, significati e valori che oggi possiamo decodificare in modo nuovo osservando come essi siano venuti a esprimersi nei successivi progressi della scienza, della tecnica e del pensiero filosofico: da questo punto di vista, ad esempio, risulta assai utile volgersi indietro ad alcuni passaggi turingiani che contengono le basi più importanti per

affrontare la questione filosofica della dicotomia continuo/discreto (quest'ultima rappresenta, non a caso, uno dei motivi teoretici più importanti tra quelli che attraversano le pagine del presente volume).

Per questo motivo va sottolineato anche un altro aspetto che caratterizza il rinnovato interesse nei confronti dell'impegno di Turing: la sua eredità ha manifestato un'importanza cruciale non solo per lo sviluppo delle scienze matematiche e tecniche ma, sulla lunga distanza, ha lasciato un'impronta profonda anche nelle teorie della psicologia cognitiva e della filosofia della mente, divenendo perfino l'emblema di alcune concezioni antropologiche di matrice computazionalista. L'alone proiettato dalle geniali intuizioni di Turing ha superato poi l'ambito naturalistico e si è riversato nella fattualità della storia così come nell'attualità della nostra società: l'avvento dell'informatizzazione e il predominio delle tecnologie digitali nel mondo dei servizi e dei consumi ha determinato trasformazioni non trascurabili nelle forme del lavoro, nei rapporti produttivi, e quindi nelle concezioni dell'uomo e delle sue facoltà comunicative, nelle relazioni tra gli individui, e infine anche nella sfera dei costumi e dei valori. L'uomo di Turing (per utilizzare l'espressione di David Bolter) protagonista – o, a seconda, vittima – dei prodigi dell'epoca informatica, si è rivelato dunque essere l'effetto secondario più importante scaturito dall'invenzione della *macchina di Turing*.

È per questo motivo che, al giorno d'oggi, il pensiero del matematico britannico manifesta motivi di forte interesse non solo per chi è devoto agli studi scientifici, ma anche per chi, avendo scoperto la ricchezza dell'approfondimento umanistico, e volendo comprendere la cifra caratteristica della nostra epoca, debba confrontarsi con i fondamenti gnoseologici del computazionalismo, con l'avvento delle tecnologie digitali e dei medium informatici, con la ridefinizione del rapporto mente-corpo in senso funzionalistico e cognitivistico, con i problemi di ermeneutica artificiale nel campo dei programmi intelligenti, nonché con le correlate implicazioni di ordine linguistico, sociologico, psicologico, pedagogico, antropologico, filosofico e, addirittura, esistenziale. Sarà possibile notare che il presente volume si propone non solo di offrire un'introduzione a Turing come logico, matematico e teorico dell'intelligenza artificiale, ma anche una meditazione sul ruolo che il suo lavoro ha giocato – nel ventesimo secolo, e agli inizi del ventunesimo – nell'evoluzione delle problematiche testé richiamate.

Turing non condusse mai ricerche di tipo umanistico o filosofico in senso stretto (“omo senza lettere” sarebbe stato definito in un'altra epoca chi, come lui, si era dato un'educazione “meccanica”). Eppure non sarebbe sbagliato affermare che il suo impegno sia stato capace di produrre cambiamenti nella direzione dell'interdisciplinarietà anche per quanto riguar-

da le scienze delle spirito, visto che egli ha potuto creare – soprattutto in ragione del suo inconsueto stile di ricerca – le condizioni perché nuovi ponti venissero gettati verso dottrine e linguaggi radicalmente differenti da quelli matematici. Il fatto che queste condizioni non siano sempre state valorizzate da coloro che lo hanno seguito e il fatto che i risultati del suo lavoro siano stati sfruttati, piuttosto, per creare nuovi fossati e più impervie barriere tra le discipline scientifiche, sono le conseguenze forse inevitabili della deriva specialistica seguita dalla ramificazione dei saperi novecenteschi: da questo punto di vista l'impiego che è stato fatto della proposta di Turing riflette lo spirito dei tempi.

Si tratta, però, di conseguenze che non riflettono la mentalità aperta e lo spirito intraprendente e curioso che più autenticamente animavano l'amore di Turing per la scienza.

*Massimiliano Lorenzo Cappuccio  
Milano, 10 Settembre 2005*

### ***Note al testo***

\*. I miei ringraziamenti più sentiti vanno agli studiosi che hanno contribuito generosamente a questo progetto, alla Redazione della rivista *Chora* che lo ha ideato e che si è impegnata per realizzarlo e, ovviamente, all'Università degli Studi di Milano - e in particolare ai responsabili didattici e amministrati del Dipartimento di Filosofia - che lo ha supportato concretamente. La mia gratitudine va inoltre a quegli amici e colleghi che, con il loro indispensabile aiuto, hanno reso possibile prima il convegno e poi l'edizione di questo volume: vorrei ricordare pertanto i nomi di Massimiliano Luce (che insieme a me ha coordinato le due giornate di studi su Turing nel Novembre 2004), Matteo Bianchetti, Claudio Bonaldi, Francesco Ciraci, Sara Corgnati, Marcello Farina, Alessandra Merola, Mauro Pedruzzi e Nicola Spinelli.