

ALFREDO VITERBO - ARNALDO CODIGNOLA

LE MACCHINE DI TURING, LA LEGGE DI MOORE E L'UOMO BIOINFORMATICO

SOMMARIO: 1. Le macchine di Turing di primo e secondo livello. Computer e super-computer. — 2. La legge di Moore. La singolarità tecnologica è vicina. — 3. *Res extensa, res cogitans*. Darwin, Gödel e il test di Turing. — 4. Epistemologia ed Intelligenza Artificiale. La conoscenza come riduzione della distanza dalla oggettività del mondo. — 5. Dall'*homo sapiens sapiens* all'uomo bioinformatico. Informazione e memoria. Il principio antropico.

1. LE MACCHINE DI TURING DI PRIMO E SECONDO LIVELLO. COMPUTER E SUPERCOMPUTER.

In un saggio del 1950 (*Computing Machinery and Intelligence*) Alan Mathison Turing (1912-1954) scriveva che se agli occhi dei suoi contemporanei la domanda « *le macchine possono pensare?* » poteva apparire insensata, dopo la fine del ventesimo secolo l'uso delle parole e l'opinione corrente sarebbero talmente cambiate che chiunque avrebbe potuto parlare di macchine pensanti senza aspettarsi di essere contraddetto¹.

E così è stato! Oggi parliamo usualmente e nei più vari contesti di computer e di Intelligenza Artificiale poiché la nostra vita si dipana con il continuo impiego di apparati dedicati alla analisi, alla elaborazione, alla trasmissione, al reperimento, alla memorizzazione e all'archiviazione di dati e di informazioni di ogni genere e natura.

Ci stiamo abituando ai computer senza che ci colga il dubbio di come sia possibile che nella fisicità delle macchine possa risiedere qualcosa di simile a ciò che consideriamo l'essenza della nostra

* Gli Autori ringraziano Annamaria Viterbo per l'organizzazione, per l'analisi e per la revisione generale del testo. Ringraziano, altresì, Luca Guidobaldi per la redazione delle note su: Gordon E. Moore (n. 4 e n. 5), Google (n. 8), Wikipedia (n. 21) e Web 2.0 (n. 22).

¹ A. MATHISON TURING, *Computing Machinery and Intelligence*, in *Mind*, n. 59, 1950, p. 433-460. V. SOMENZI, *Macchine Calcolatrici e Intelligenza. La filosofia degli automi*. Boringhieri, 1965. G. LOLLI, *Alan Turing, Intelligenza Meccanica*, Bollati Boringhieri, 1994.

identità di uomini: la capacità di elaborare le informazioni, la capacità di pensare.

Questo dubbio non ci coglie perché, come Turing aveva previsto sessanta anni fa, i computer fanno sempre più parte del nostro modo di vivere ed il loro utilizzo sempre più diffuso spinge la nostra società a uscire dalla fase industriale e a passare a quella del terzo millennio, a quella dell'informazione e della conoscenza.

Turing nel suo saggio prevede anche che le macchine si sarebbero distinte in due serie che avrebbero adempiuto a diverse funzioni, l'una più semplice, l'altra più complessa. La funzione più semplice sarebbe stata svolta da «*macchine del primo ordine*», strumenti di lavoro che nelle loro elaborazioni sarebbero rimasti «*sotto il livello critico*». Queste macchine non avrebbero prodotto cognitivamente nulla di nuovo: «*ogni idea che fosse stata loro presentata avrebbe fatto nascere in risposta, in media, meno di un'idea*».

Invece la seconda funzione, quella di eseguire calcoli, elaborazioni, compiti e funzioni di maggiore complessità, sarebbe stata affidata a macchine più potenti, costruite con apposite architetture, che avrebbero operato come «*menti poste sopra il livello critico*».

Ogni idea che fosse stata presentata ad una di queste speciali e potenti menti artificiali avrebbe potuto far nascere un'intera teoria fatta di «*idee del secondo ordine, del terzo o di ordini maggiori e remoti*».

Dunque Turing non solo disse che sarebbero stati costruiti computer di uso comune, strumenti di lavoro reperibili in normale commercio, ma disse anche che sarebbero stati costruiti supercomputer dotati di grande memoria e velocità di calcolo e di elaborazione.

Turing aveva chiaro che il motore del nuovo mondo sarebbe stato rappresentato dalle sue macchine (quelle che in seguito furono denominate «*macchine di Turing*») di cui si sarebbero fatti mille usi diversi, non solo nella quotidianità della vita ma anche nella produzione di merci, nell'offerta di servizi e nello sviluppo della scienza.

È difficile oggi immaginare quanto le asserzioni di Turing potessero allora apparire incredibili, nemmeno come ipotesi proiettate in un lontano futuro di là da venire.

Sappiamo quali disorientamenti ideologici causò Charles Darwin (1809-1882) con la sua scoperta che la vita è un processo di adattamento all'ambiente con la formazione di nuove specie. Darwin fece questa scoperta, che ha cambiato la nostra visione del mondo, durante la spedizione scientifica a bordo del brigantino Beagle, volta al rilevamento delle coste dei mari del Sud.

Nel 1836, quando il brigantino giunse alle Galapagos, Darwin osservò che taluni passeracei avevano un becco diversamente formato da isola ad isola. Darwin comprese che queste differenze

fenotipiche erano funzionali alla alimentazione con i semi di piante endemiche di ogni singola isola.

Cento anni più tardi, Turing comprese che l'attività mentale è computazionale, logica e sequenziale, e che, in quanto tale, può essere « insegnata » ad apparati automatici. Un secolo dopo la scoperta di Darwin, Turing affermò in un suo saggio, scritto nel 1936 e pubblicato nel gennaio del 1937, che doveva essere possibile fare ripetere dalle macchine l'attività del pensare, gli algoritmi, i passi logici e computazionali del procedimento ideativo, che doveva essere possibile costruire macchine intelligenti².

Per Darwin la vita è un processo, regolato dal programma contenuto nel DNA, di raccolta di informazioni che si depositano nella memoria genetica. La vita evolve per l'effetto selettivo delle informazioni depositate nella memoria genetica, e questo effetto induce la formazione di specie più adatte al loro ecosistema.

Per Turing l'attività ideativa è un analogo processo di raccolta, di memorizzazione e di elaborazione logica e sequenziale di informazioni con cui l'uomo sviluppa la sua conoscenza e la sua evolutiva capacità di un sempre migliore adattamento al mondo.

Osservando lo sbocciare dei fiori, Turing giunse a ritenere che come la morfogenesi descrive il formarsi degli ordinati petali delle margherite, così anche lo sviluppo del pensiero dell'uomo può essere descritto in termini morfogenetici se alla parola forma si attribuisce il significato di modo di procedere computazionale, sequenziale e logico-matematico.

Nei nostri anni lentamente, ma progressivamente, la cultura filosofica e scientifica sta prendendo atto di quale straordinario nuovo paradigma culturale sia stato delineato da Darwin e da Turing, un paradigma che ha dato un profondo e forte impulso alla comprensione della vita e allo sviluppo della civiltà delle macchine intelligenti.

Turing ebbe, come Darwin, molti oppositori ideologici, oltre che scientifici.

Non soltanto suoi contemporanei come Gödel, ma ancora oggi taluni studiosi negano l'assunto per cui le macchine possono essere intelligenti, e sostengono, invece, la irraggiungibile diversità, complessità e superiorità della mente³. Eppure, nonostante i perdu-

² A. MATHISON TURING, *On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem*, Proceedings of the London Mathematical Society (2), vol. 43, 1937.

³ K. GÖDEL (1906-1978), matematico, logico e filosofo, formulò nel 1931 il « *teorema di incompletezza* ». Questo teorema afferma che in ogni sistema assiomatico esistono proposizioni che non possono essere né dimostrate né confutate sulla base dei

principi del sistema stesso. Ovvero, che la non contraddittorietà di un sistema formale, logicamente coerente, non può essere dimostrata restando al suo interno. Dal teorema di Gödel è derivato il moderno convincimento per cui la conoscenza è connotata dalla autoreferenzialità assiomatica, autoreferenzialità propria del modo di elaborare della mente dell'uomo. Rispetto all'ipotesi di Turing della possibilità di costruire macchine in grado di pensare, Gö-

ranti pregiudizi ideologici e i ritardi culturali, l'asserzione della costruibilità di apparati capaci di intelligenza è passata dall'essere recepita, nella prima metà del Novecento, come una provocazione, ad essere accettata e ritenuta, nella nostra contemporaneità, come una realtà effettuale, quasi come una cosa ovvia, come un luogo comune.

Ma i problemi filosofici suscitati dall'invenzione dell'Intelligenza Artificiale sono ben lungi dall'essere risolti.

Mentre la teoria dell'evoluzione di Darwin trova continue conferme ed applicazioni e va, così, esprimendo la sua portata anche per mezzo dello sviluppo di molte scienze tra le quali la paleontologia, la biologia e l'antropologia, al contrario l'Intelligenza Artificiale di Turing resta avvolta da un alone di nebbia epistemologica e scientifica sulla sua origine, essenza e natura. Tra gli studiosi c'è incertezza, quasi disorientamento, e non si rinviene una qualche condivisa, consolidata definizione dell'Intelligenza Artificiale. È un fatto, però, che la società umana sta cambiando ad una velocità tanto elevata quanto è profondo il cambiamento; e la spinta a questo cambiamento viene dall'uso dell'Intelligenza Artificiale e dal conseguente vorticoso avanzamento della scienza e delle sue applicazioni.

2. LA LEGGE DI MOORE. LA SINGOLARITÀ TECNOLOGICA È VICINA.

A partire dagli anni sessanta dello scorso secolo e sino ad oggi la potenza dei computer è cresciuta in progressione geometrica, una progressione che riporta alla mente quelle ninfee che al loro apparire occupano soltanto uno spazio minimo di un lago, ma che, al loro ultimo raddoppio, ne occupano tutta la superficie. Analogamente, la freccia del tempo della Intelligenza Artificiale è orientata a pareggiare il lago della nostra mente, a raggiungere la potenza elaborativa, logico-matematica, della nostra intelligenza biologica, della nostra Intelligenza Naturale.

Nel 1965 Gordon Moore fece la previsione (poi definita, impropriamente, perché non si tratta di una legge scientifica, « legge di Moore ») per la quale il numero dei transistor in ogni computer sarebbe raddoppiato (raddoppiando la potenza della macchina), anno dopo anno grazie ai progressi nel campo della miniaturizzazione. In seguito Moore modificò la previsione stabi-

del tenne una posizione negativa sostenendo la superiorità ontologica della mente rispetto alla macchina, superiorità dovuta al fatto che soltanto la mente è in grado di sviluppare un numero di stati cognitivi tendente all'infinito.

K. GÖDEL, *The Consistency of the Axiom of Choice and of the Generalized Continuum Hypothesis with the Axioms of Set Theory*. Princeton University Press, Princeton, 1940. G. LOLLI, *Incompletezza. Saggio su Kurt Gödel*, il Mulino, 1992.

lendo che il raddoppio sarebbe avvenuto non ogni anno, ma ogni due anni⁴.

La previsione di Moore si è rivelata giusta sino ad oggi, ma forse sta per perdere valore poiché la miniaturizzazione dei transistor si sta avvicinando ad insuperabili limiti fisici.

Nei transistor gli elettroni scorrono sulle basi di silicio su cui sono fotoincisi fili di rame, ma, oltre un estremo limite, la fisica degli elettroni non funziona più: questo è l'ostacolo verso il quale stiamo andando dal punto di vista costruttivo, e questo ostacolo fa sì che la tecnologia del silicio, il cui inizio risale a cinquanta anni fa, è sul punto di esaurirsi⁵.

Molte sono le nuove sperimentazioni in corso per riuscire a costruire macchine sempre più potenti, in grado di eseguire sempre più complesse e sempre più estese elaborazioni.

Considerando che l'intelligenza biologica deriva da collegamenti tra neuroni, mentre quella artificiale deriva dai collegamenti tra transistor, è in corso il tentativo di costruire macchine nelle quali siano collegati transistor con neuroni, ovvero macchine biosensibili caratterizzate da impianti di cellule su chip di silicio.

La realizzazione di simili impianti è molto difficile in quanto, mentre tra i transistor viaggiano impulsi elettrici, tra i neuroni

⁴ Gordon E. Moore (San Francisco, 1929), è stato il co-fondatore ed è l'attuale presidente onorario della Intel Corporation, la società leader nella produzione di chip a transistor per calcolatori dagli anni '70 ad oggi. La « legge » di Moore, elaborata nel 1965, prevedeva che un rapidissimo progresso tecnologico nel campo della lavorazione dei semi-conduttori e nella progettazione dei circuiti integrati complessi avrebbe portato a raddoppiare di anno in anno il numero di transistor integrabili su un singolo chip, implementandone così le prestazioni, a parità di superficie, dimensioni e costi di produzione. Secondo Moore sarebbe stato possibile concentrare in spazi sempre più piccoli una potenza sempre maggiore limitando l'incidenza dei problemi legati alla densità e al sovraccumulo di calore (G.E. MOORE, *Cramming more components onto integrated circuits*, nella rivista *Electronics*, Vol. 8, del 19 aprile 1965). La « legge » fu riformulata nel '75 (G.E. MOORE, *Progress in digital integrated electronics*, in *Technical Digest, 1975 International Electron Devices Meeting, IEEE*, 1975, 11-13), e la previsione fu corretta in *pejus*: il « raddoppio » si sarebbe potuto verificare una volta ogni due anni, e non quindi su base annuale, ma ciò nonostante restava la sua sensazionale portata, che fu presto avvalorata dai

risultati conseguiti nei processi di lavorazione del silicio e nella produzione di chip sempre più efficienti. Nel 1971 il primo processore commercializzato dall'Intel (Intel « 4004 ») era dotato di una potenza di soli 108 KHz ed incorporava soltanto 2300 transistor, mentre già a distanza di 15 anni, nel 1985, il processore « 386 » ne integrava un numero 100 volte maggiore, su una superficie circa 10 volte minore e con una potenza complessiva di 16 Mhz.

⁵ La « legge » di Moore continua ancora oggi a valere grazie ai risultati raggiunti nel campo della foto-microlitografia (che ha permesso incisioni sul silicio fino a 65 nanometri), ed alla realizzazione di soluzioni progettuali innovative che hanno consentito di minimizzare i problemi di surriscaldamento e di dispersione collegati alla sempre maggiore densità di transistor sulla superficie di chip. Il limite che si sta incontrando è quello della stessa struttura atomica dei semi-conduttori utilizzati. La miniaturizzazione oltre un certo punto non è più possibile poiché non esistono tecnologie in grado di scalfire il silicio con incisioni più sottili e profonde di quelle fino ad ora realizzabili. Occorre potere accedere alla struttura più intima della materia sino a poterne modificare l'assetto a livello atomico.

viaggiano impulsi elettrici e/o chimici (neurotrasmettitori) e bisogna integrare i due sistemi.

Tuttavia si stanno facendo prove di connessione di colture di cellule neuronali con chip di silicio: si potrebbero costruire circuiti bioelettronici capaci di complesse elaborazioni e di grande capacità di memoria.

Un'altra nuova via che si tenta di seguire, per ottenere l'avanzamento tecnologico che potrebbe permettere di continuare a sviluppare computer sempre più potenti, è quella della costruzione di macchine quantistiche.

Un computer quantistico con lo stesso numero di transistor di un normale computer potrebbe essere miliardi di volte più veloce ed esprimere una enorme potenza elaborativa. Nel computer quantistico, in luogo dei due odierni *bit* (l'attuale base logico-binaria) opererebbe un *quantum bit* capace degli infiniti « stati » possibili secondo la fisica quantistica⁶.

Il computer quantistico, per effetto della ricchezza dei suoi infiniti stati, potrebbe esprimere non solo una inimmaginabile potenza, ma anche una intelligenza meno sequenziale, più complessa, più potente e istantanea, simile a quella umana⁷.

Comunque, a parte gli studi in corso per verificare la costruibilità di macchine para-biologiche o basate sulla fisica quantistica o con nuovi materiali nanotecnologici da sostituire al silicio, certo è che sino ad oggi la legge di Moore è stata soddisfatta e il numero dei transistor di ogni macchina in comune commercio è passato da qualche migliaio negli anni 1970/1980 ad un milione/dieci milioni nel decennio 1980/1990, e poi a dieci milioni/un miliardo

⁶ L'ottica quantistica potrebbe permettere la progettazione di computer che sfruttino le proprietà quantistiche della luce. Colpendo un fotone con adeguata energia si possono ottenere due nuovi fotoni legati tra loro da un obbligo quantistico di complementarità (*entanglement*, aggrovigliamento). Questo significa che se si conoscono le caratteristiche di uno dei due fotoni si conoscono automaticamente anche quelle dell'altro. Infatti modificando le caratteristiche di uno dei due, si modificano nello stesso modo le caratteristiche dell'altro, indipendentemente dalla distanza tra loro (i fisici definiscono questo fenomeno come teletrasporto). Si ritiene che futuri computer basati sull'ottica quantistica potrebbero rendere possibile la rapidissima propagazione delle informazioni in ogni parte dello spazio.

⁷ Secondo il fisico Roger Penrose (1931-) il cervello è una macchina quantistica, un calcolatore che non è basato su tavole di istruzioni di tipo sequenziale e logi-

co-matematico. Il cervello elaborando con modalità quantistiche utilizzerebbe una potenza sottostante enormemente superiore a quanto poi emerge a livello razionale. ROGER PENROSE, *La mente nuova dell'imperatore*, Rizzoli, 1992. Sviluppando questa ipotesi di Penrose taluni studiosi sostengono che il cervello elaborerebbe i dati con modalità quantistiche a livello inconscio. La fase razionale della mente deriverebbe dall'emersione dei risultati di queste elaborazioni quantistiche per mezzo di un procedimento correlato agli stati consapevoli del cervello, in un continuo temporale.

A parte queste ipotesi, su una cosa sono unanimi gli studiosi: il cervello dell'uomo è l'oggetto più complesso dell'Universo da noi conosciuto. Il cervello e la mente costituiscono una macchina straordinaria che realizza ogni secondo milioni di connessioni tra i suoi cento miliardi di neuroni, un prodigioso sistema elaborativo, profondo e strutturato, ancora in gran parte sconosciuto alla scienza moderna.

dal 1990 al 2007. Ora la tecnologia nanometrica permette di utilizzare un miliardo di transistor su di un solo circuito integrato.

La legge di Moore riguarda le macchine in comune commercio: quando si afferma che la potenza di questi computer commerciali è continuamente raddoppiata, sviluppandosi in progressione geometrica, ci si riferisce al fatto che sono sempre più miniaturizzati e che offrono, a parità di prezzo, prestazioni sempre più efficaci.

La costruzione dei supercomputer non è, invece, un problema industriale e commerciale, ma risponde all'esigenza di poter disporre di macchine in grado di esprimere prestazioni elaborative estreme.

I supercomputer stanno anche essi evolvendo, aumentando ininterrottamente la loro potenza che viene calcolata in Flops (*Floating operations per second*). Si tratta di speciali apparati costruiti per ottenere le massime prestazioni possibili per particolari usi scientifici.

Dal supercomputer degli anni 1990-1995 (CM-5/1024) capace di dieci alla decima Flops, e cioè capace di dieci miliardi di operazioni al secondo, si è passati all'ASCI Red (seguito poi dalle successive versioni ASCI White e ASCI Purple) degli anni 1995-2000 capace di dieci alla dodicesima Flops. Poi negli anni 2000-2005 si è giunti allo SX-8 capace di dieci alla tredicesima Flops, sino agli attuali supercomputer della IBM denominati Blue Gene/L e Blue Gene/P ancora più potenti.

Dopo il Blue Gene/P l'ultimo supercomputer è il Road Runner capace di dieci alla quindicesima Flops, cioè, in grado di effettuare un milione di miliardi di operazioni al secondo.

Il continuo sviluppo dei computer e dei supercomputer, e il sempre maggiore impiego di computer di primo livello correlati in rete tra di loro, fa prevedere che nel volgere di poco tempo la potenza elaborativa delle macchine raggiungerà la capacità elaborativa della mente umana, anche se non ancora la sua misteriosa, e tuttora insondata, creativa capacità di analisi e di correlazioni complesse⁸.

⁸ Il termine supercomputer nel linguaggio comune non identifica soltanto quei calcolatori dotati di processori ad altissime prestazioni che, a causa degli elevatissimi costi, oltre che delle difficoltà di gestione, non risultano destinati ad una commercializzazione su larga scala. Si è portati a parlare di supercomputer anche quando ci si trovi di fronte a sistemi di più computer, sistemi in grado di sfruttare la potenza di calcolo dei diversi processori ottimizzando le prestazioni delle varie singole macchine di primo livello che ne compongono il sistema. La connessione, la parallelizzazione e la distribuzione in rete delle attività di

elaborazione sono sempre più rilevanti in un mondo in cui Internet, grazie alla sua struttura *client-server*, ha progressivamente creato delle « piattaforme comuni di conoscenza » con modelli di condivisione e di interazione a distanza che mai prima si erano potuti realizzare. Il matematico americano Vernor Vinge (Waukesha, 1944-) (cfr. V. VINGE, *Technological Singularity*, in *Whole Earth Review*, 1993) sottolinea, nella prospettiva dell'Intelligenza Artificiale, il valore aggiunto derivante dalla interconnessione delle macchine, dato che essa è in grado di amplificare in maniera sensibile l'efficienza e quindi l'« in-

Le ninfee della Intelligenza Artificiale stanno così per coprire l'intero lago cognitivo della mente dell'uomo. Ciò avverrà nella prima metà di questo primo secolo del terzo millennio quando lo sviluppo dell'Intelligenza Artificiale giungerà al punto che viene detto della singolarità tecnologica.

Il punto in cui la potenza elaborativa e di calcolo dei supercomputer sarà prima eguale e subito dopo superiore a quella della mente dell'uomo⁹.

telligenza » di ogni operatore collegato. Di reti di normali computer si serve Google, il leader mondiale dell'*information retrieval* sul *web*, per svolgere la sua attività di motore di ricerca che non necessita soltanto di una potenza di calcolo elevata ed affidabile, ma anche di una capacità di *storage* di decine di migliaia di gigabytes. La stima più recente del materiale di Google contenuto in rete ammonta a 40 terabytes (cfr. M. LONEY, *The Magic That Makes Google Tick, An Interview with Urs Hölzle*). Google è un esempio di come un'architettura distribuita possa implementare le prestazioni computazionali di un sistema di elaborazione raggiungendo, a costi di esecuzione e gestione minori, gli stessi, o maggiori, risultati di quelli ottenibili con macchine dotate di superprocessori. Google ha innovato il settore del reperimento di informazioni *online* grazie a due punti di forza: l'efficienza dell'algoritmo di ricerca ideato nel 1998 dai suoi fondatori Sergey Brin e Larry Page, il c.d. *PageRank* (cfr. S. BRIN e L. PAGE, *The Anatomy of a Large-Scale Hypertextual Search Engine*, in *Proceedings of the 7th International World Wide Web Conference-WWW7*, 1998, 107-117) e l'idoneità dello stesso ad essere gestito in parallelo nell'ambito di un'architettura *cluster* composta da calcolatori, di primo livello e di basso costo, interconnessi tra loro (cfr.: L.A. BARROSO, J. BEAN, U. HÖLZLE, *Web Search for a Placet. The Google Cluster Architecture*, in *IEEE Micro*, March/April 2003, 22-28; D.F. CARR, *How Google Works*, in *Baseline Magazine*, July 6, 2006). Google riesce a rispondere a migliaia di richieste al secondo, provenienti da ogni parte del mondo, grazie alla distribuzione in rete di processi di calcolo e senza aver bisogno di ricorrere a superprocessori. Google si avvale di una struttura composta da decine di *data centers* sparsi per il mondo e composti di varie centinaia di migliaia di *server* riuniti in *cluster* altamente efficienti e chiamati ad operare sullo stesso algoritmo e sullo stesso *database* ai fini del medesimo risultato avvantaggiandosi dell'aggregazione ottimale delle rispettive po-

tenze di calcolo. Le stime circa la composizione dell'enorme apparato di Google sono giunte a parlare di circa 500.000 macchine di primo livello (nel 2001 erano solo 8.000, nel 2003 soltanto 100.000: cfr. J. MARKOFF, S. HANSELL, *Googles Quasi Secret Power Play*, in *New York Times*, June 14, 2006), distribuite tra decine di strutture chiamate a coprire le diverse aree del pianeta. La progressione in aumento dei computer di primo livello costituenti le strutture di Google è tale da far prevedere che il loro numero ammonterà nei prossimi anni a milioni. A The Dalles, in Oregon, è sorto nel 2007 un centro in un'area grande quanto due campi di calcio (30 acri), ed altre aree ancora più vaste (si parla di lotti di 200, 500, persino 800 acri acquistati dal 2006 ad oggi) sono in fase di essere egualmente attrezzate. I centri di Google si trovano non soltanto sul suolo americano, dalla California al Colorado, dalla Carolina allo Iowa e all'Oklahoma, ma anche in Europa (tra i centri di maggiore capacità figurano quelli di Dublino in Irlanda e di Saint Ghislain in Belgio) ed altri centri stanno per essere realizzati in Medioriente e in Oriente.

L'amministratore delegato della corporation, Eric Schmidt, ha affermato che il numero di *Google data-centers* nel mondo è destinato a crescere rapidamente e che « *quelle che oggi sono ritenute le più grandi figureranno nel giro di uno-due anni tra le strutture più piccole* » (F. VOGELSTEIN, *Interview with Google C.E.O. Eric Schmidt*, in *Wired*, Sept. 4, 2007).

⁹ All'inizio degli anni Novanta fu Vernor Vinge a formulare il concetto di « singolarità tecnologica », con il quale ha descritto il processo di sviluppo dei supercomputer sino al punto in cui avrebbero raggiunto la potenza della mente umana e in cui gli esiti delle loro elaborazioni sarebbero divenute difficilmente comprensibili per gli stessi scienziati. L'avvicinamento progressivo a questo « punto di non ritorno » sarebbe inevitabile perché strettamente connesso all'aumento della potenza di calcolo dei supercomputer che si va verifi-

Lo sviluppo dei computer, dei supercomputer, delle reti di computer segnerà il passaggio ad una nuova fase della storia della specie umana, una fase nella quale l'uomo bioinformatico costruirà la civiltà delle macchine intelligenti.

3. *RES EXTENSA, RES COGITANS. DARWIN, GÖDEL E IL TEST DI TURING.*

Charles Darwin non era portato ad usare toni aspri nella discussione scientifica, ma quando nel 1869 ricevette una lettera dal suo amico e coautore della teoria dell'evoluzione, Alfred R. Wallace (1823-1913), non esitò a stroncarne il contenuto. Wallace gli aveva scritto affermando che a suo parere la mente dell'uomo non poteva essere un prodotto dell'evoluzione. A riprova di questa sua affermazione Wallace portava il fatto che i selvaggi non erano in grado di ragionare in astratto anche se il loro cervello era grande più o meno come quello degli inglesi.

Darwin replicò a Wallace in questi termini: « *Spero che tu non abbia ucciso in modo troppo definitivo la tua stessa e la mia creatura* », riferendosi alla teoria dell'evoluzione delle specie.

Darwin era convinto del fatto che anche la mente dell'uomo è un prodotto del processo evolutivo e, al riguardo, asseriva che chi avesse affermato il contrario si sarebbe posto fuori dalla scienza dell'evoluzione¹⁰.

Invece per Wallace la mente non poteva essere il risultato di un processo adattativo a causa della sua natura metafisica indipendente dalla sua base organica, a causa della sua spiritualità indipendente dalla fisiologia.

La mente, per Wallace, era ancora la seicentesca *res cogitans* di Cartesio (1596-1650), era la parte immateriale che connoterebbe l'uomo distinguendolo dalla *res extensa*.

cando e che continuerà grazie allo sviluppo di tecnologie nuove che consentiranno di realizzare macchine capaci di prestazioni sempre più elevate (cfr. ancora V. VINCE, *Technological Singularity*, in *Whole Earth Review*, 1993).

Secondo Raymond Kurzweil (New York, 1948-), che sin dai primi anni '70 ha posto al centro delle sue ricerche l'Intelligenza Artificiale, il livello dell'intelligenza delle macchine è destinato a breve a raggiungere il livello di quella umana e a quel punto le stesse macchine saranno in grado di modificare la propria architettura cognitiva accedendo al codice sorgente. Le macchine potranno evolvere rendendo ardua da parte degli scienziati la comprensione non solo degli esiti delle loro elaborazioni,

ma anche del processo evolutivo da esse realizzato. Anche Kurzweil ricorre al concetto di singolarità tecnologica, riconducendolo al concetto astrofisico con il quale si definisce il momento del Big Bang ovvero quello dell'ipotetico ingresso in un buco nero che condurrebbe all'interno di una realtà diversa fatta d'immani energie e regolata da leggi fisiche sconosciute (cfr. R. KURZWEIL, *The Age of Intelligent Machines*, MIT Press, 1990; *The Age of Spiritual Machines. When Computer Exceed Human Intelligence*, Viking, 1999; *The Singularity is Near. When Humans Transcend Biology*, Viking, 2006).

¹⁰ G.M. EDELMAN, *Seconda natura. Scienza del cervello e conoscenza umana*, Cortina Editore, 2007.

La scienza moderna ha riconosciuto la validità della tesi di Darwin riconoscendo che anche il cervello dell'uomo e la sua mente sono un prodotto del processo evolutivo, un processo che ha avuto inizio quattro miliardi di anni fa con la nascita della creatura primigenia e con lo sviluppo delle prime, elementari, forme di vita sino a giungere all'*homo sapiens sapiens* e al suo cervello e alla sua mente.

Ciò che resta un mistero dal punto di vista scientifico non è la storia evolutiva dell'uomo e della sua specie, ma è la nascita stessa della vita, la sua eccezionale e sconosciuta origine, la continua realizzazione del suo programma genetico, la sua profonda pulsione a conoscere per meglio adattarsi all'ambiente; la vita con la sua incredibile forza evolutiva, la vita con le sue infinite forme e specie: « *that mystery of mysteries* » come scriveva Darwin¹¹.

Eppure, a parte restando irrisolta la questione dell'origine della vita e malgrado le conferme date dalla scienza moderna all'ipotesi del processo evolutivo che ha prodotto le infinite specie, il pregiudizio della separatezza e diversità spirituale della mente dell'uomo continua a riproporsi.

Turing nel suo scritto del 1937 (« *On Computable Numbers* »), che viene ritenuto il Manifesto dell'Intelligenza Artificiale, aveva dimostrato con i limiti computazionali della macchina universale (*halting problem*, il problema della fermata), la validità del « teorema di incompletezza » formulato nel 1931 per via logica e matematica da Kurt Gödel¹². Ma anche se Turing e Gödel condividevano il principio che sta alla base dell'epistemologia del Novecento (per cui la conoscenza deriva dallo sforzo di superare i limiti dell'autoreferenzialità nello sviluppo del processo cognitivo), essi si trovavano, invece, su due opposte posizioni filosofiche per quanto attiene al rapporto tra la mente e la macchina, per quanto attiene alla natura dell'Intelligenza Naturale e a quella dell'Intelligenza Artificiale.

Gödel era convinto della irriducibilità della mente al cervello: « *il cervello è un calcolatore connesso a uno spirito* ». Gödel scriveva nel 1965 che Turing aveva trascurato il fatto che la mente

¹¹ Nell'anno 1859 fu pubblicata l'opera principale di C. DARWIN, *The Origin of Species*, opera che si apre con queste parole: *When on board H.M.S. Beagle, as naturalist, I was much struck with certain facts in the distribution of the organic beings inhabiting South America, and in the geological relations of the present to the past inhabitants of that continent. These facts, as will be seen in the latter chapters of this volume, seemed to throw some light on the origin of species: that mystery of mysteries.* L'ultima, conclusiva,

frase dell'opera è la seguente: la grandezza della vita sta nella sua forza intrinseca che, *whilst this planet has gone cycling on according to the fixed law of gravity, from so simple a beginning endless forms most beautiful and most wonderful have been, and are being evolved.* C. DARWIN, *The Origin of Species by Means of Natural Selection*, John Murray, Albemarle Street, London, 1894.

¹² Si veda degli stessi Autori, nel n. 4-5 del 2007 di questa Rivista, *I 70 anni del Manifesto dell'Intelligenza Artificiale*.

nelle sue manifestazioni è un processo in continuo sviluppo. Non credo, affermava Gödel, che il cervello sia venuto ad esistere nel modo darwiniano. Un meccanismo semplice non può produrre un sistema complesso. Il processo di selezione darwiniano è algoritmico e, in quanto tale, troppo povero. La macchina non è trasparente a se stessa, è incapace di conoscere se stessa. La mente, i cui stati tendono ad essere infiniti (ipotizzando una mente individuale con un tempo di vita illimitato), può conoscere senza il vincolo di un numero finito di stati. La mente è, dunque, in questo senso, infinita, laddove la macchina di Turing è finita per definizione¹³.

Purtroppo negli anni in cui Gödel sosteneva così la tesi della diversità e superiorità della mente rispetto alle macchine, Turing era morto da più di un decennio. Ma Turing aveva lasciato dietro di sé una sua considerazione apparentemente pragmatica, ma concettualmente decisiva: il test poi denominato « il test di Turing ». Turing asseriva che a partire dal giorno in cui non fosse più stato possibile sapere se, in base alle risposte date alle nostre domande, un nostro interlocutore fosse un essere umano ovvero una macchina, da quel giorno non avrebbe più avuto senso riferirsi alla intelligenza come a un fatto esclusivamente umano.

Turing nel 1950 scriveva che anche se c'è più differenza tra l'uomo e la macchina (« *l'inanimato* ») di quanta non ve ne sia tra l'uomo e tutte le specie viventi (« *l'animato* »), resta il fatto che l'uomo è giunto a poter insegnare alle macchine, come si fa con i bambini, gli algoritmi computazionali della sua mente. Turing era certo che l'uomo in futuro avrebbe accelerato questo processo, sperimentando metodi sempre più efficaci di insegnamento alle macchine-bambino, ed affermava « *che c'è una connessione evidente tra questo processo e l'evoluzione* ». Ma l'uomo, nell'insegnare alle macchine a pensare, avrebbe dovuto tenere presente, scriveva Turing, « *che questo processo sarà ben più veloce dell'evoluzione* ».

L'organismo primordiale ha impiegato quattro miliardi di anni per giungere sino alle scimmie antropomorfe. Queste creature hanno impiegato milioni di anni per giungere all'*homo sapiens sapiens*. L'uomo ha impiegato duecentomila anni per formare la sua intelligenza consapevole e la sua capacità di comunicazione interpersonale. A partire da diecimila anni or sono, le prime civiltà agricole hanno posto le basi della logica, della matematica e della geometria, sino a giungere ai presupposti scientifici necessari per progettare le macchine intelligenti.

¹³ G. LOLLI, *Sotto il segno di Gödel*, il Mulino, 2007.

Lo sviluppo delle macchine intelligenti è cominciato meno di un secolo fa, ed ora queste macchine sono già vicine al momento della singolarità tecnologica, al momento in cui avranno una potenza elaborativa simile a quella della nostra mente.

La raccomandazione di Turing a fare attenzione alla velocità dello sviluppo delle macchine si sta rivelando come una raccomandazione giusta, considerando come in questi nostri anni sperimentiamo quotidianamente il test di Turing quando interloquiamo o interagiamo con operatori lontani, poiché non sempre riusciamo a capire se stiamo interloquendo o interagendo con uomini in carne e ossa ovvero con macchine intelligenti. Nelle più varie circostanze constatiamo continuamente quanto la sostituzione delle macchine all'uomo sia sempre più diffusa e quanto (e con quale velocità) con il loro uso si stia sviluppando la nostra conoscenza scientifica, e questo solleva due domande.

La prima è: come sarà, come si caratterizzerà il nuovo tipo umano della civiltà delle macchine intelligenti e come evolverà nel contesto culturale della società della conoscenza?

La seconda è: come dovremo definire la conoscenza realizzata con l'uso sempre più esteso dell'Intelligenza Artificiale?

4. EPISTEMOLOGIA ED INTELLIGENZA ARTIFICIALE. LA CONOSCENZA COME RIDUZIONE DELLA DISTANZA DALLA OGGETTIVITÀ DEL MONDO.

Quando negli ultimi secoli del Medioevo la matematica araba andò a confluire nel fiume carsico della logica scolastica, allora vennero a formarsi i presupposti culturali per la fondazione del metodo della scienza sperimentale. Francesco Bacone (1561-1626) separò la teologia e la metafisica dallo studio dei fenomeni fisici; nacque la moderna scienza che sottopone a continua verifica sperimentale le sue successive ipotesi.

Galileo Galilei (1564-1642) studiando il sistema solare per mezzo dei suoi telescopi, comprese che la cosmologia tolemaica andava falsificata, e che al centro c'era il Sole e non la Terra.

Isaac Newton (1642-1727) stabilì che le sfere celesti non si muovevano per armoniose ragioni metafisiche, ma per effetto della legge della gravitazione universale.

Lo stesso Newton dimostrò che la luce non era composta di soli bianco e nero, come riteneva Aristotele, ma che l'arcobaleno in cui ci appare immerso il mondo discende dalla mescolanza di più colori fondamentali.

Questi e molti altri possibili esempi dimostrano come la scienza è la relazione con cui la mente dell'uomo individua le regolarità del mondo fisico organizzandole, sintetizzandole, teorizzandole; dimostrano come la scienza consista nell'avvicinamento cognitivo della mente al mondo. La scienza tende a ridurre il gap tra le sue congetture e la realtà, tra le sue leggi e quelle della natura.

Però gli eventi studiati dagli scienziati della nostra società della conoscenza si fanno sempre più profondi, lontani, complessi e difficilmente decifrabili. Il mondo di cui analizziamo gli schemi di ripetizione, le regolarità organizzabili teoricamente, predittibili, si fa sempre più lontano, nello spazio e nel tempo, dalle nostre percezioni sensoriali.

Quando un astronomo studia i corpi celesti sa di studiare, con rilevamenti effettuati per mezzo di molteplici strumentazioni, fenomeni di un tempo cosmico già passato.

Più il corpo celeste è situato nelle lontananze siderali, più l'astronomo è consapevole di studiarlo così come era in ere passate, e sa che l'immagine di quel corpo giunge a lui dopo aver viaggiato per centinaia di migliaia, milioni, miliardi di anni solari.

Dalle immensità dello spazio cosmico le stelle di galassie remote si manifestano a noi così come erano in un tempo lontanissimo, in un tempo prossimo all'originaria conflagrazione, al Big Bang primigenio, risalente a quindici miliardi di anni fa. Gli astronomi, quando studiano le parvenze di lontani fenomeni astrali, constatano sia la distanza tra la conoscenza possibile e l'oggettività del cosmo, sia la necessità per i loro studi di avvalersi di strumenti tecnologicamente avanzati e di computer.

Analogamente la biologia, la fisica nanotecnologica o quantitativa, l'astrofisica, l'astronomia, la chimica, la geologia, la meteorologia, la paleontologia, la medicina e altre innumerevoli discipline hanno ad oggetto fenomeni ed entità non percepibili con i nostri sensi e che senza l'uso delle più varie apparecchiature e senza l'ausilio dell'Intelligenza Artificiale non sarebbero conoscibili.

A tal proposito Max Planck (1858-1947) ha scritto: «*la crescente distanza dell'immagine del mondo fisico dal mondo dei sensi indica semplicemente un progressivo avvicinamento al mondo reale*»¹⁴. Altri hanno, più recentemente, osservato come uno dei paradossi della nostra moderna indagine scientifica stia nel fatto che quanto più le descrizioni della struttura e del funzionamento del mondo sono precise e soddisfacenti tanto più diventano lontane dalla nostra umana esperienza di ogni giorno¹⁵.

La nostra moderna scienza estende i suoi studi ai fenomeni fisici di due contesti che sono l'uno quello dell'immensamente grande (astronomia, astrofisica) e l'altro quello dell'immensamente piccolo (fisica quantistica).

Nel caso dell'astronomia e dell'astrofisica lo scienziato, quando analizza l'immenso contesto spazio-temporale del cosmo, incontra la difficoltà della difficile relazione tra il suo marginalissimo tempo

¹⁴ M. PLANK, *Scientific Autobiography and Other Papers*, Williams & Norgate, Londra, 1950.

¹⁵ J.D. BARROW, *I numeri dell'universo*, Mondadori Editore, 2003.

attuale (il tempo della sua vita) e l'enormità del tempo dell'universo così come si estende nel passato e nel futuro.

Dal loro punto di osservazione, dalla Terra, gli uomini esaminano parti di realtà cosmica appartenenti al passato. Se la luce del Sole impiega otto minuti per giungere a lui, l'osservatore vede il Sole così come era otto minuti prima. Se l'osservatore esamina una stella di una lontana galassia, esamina quella stella così come era in un tempo remoto.

Lo scienziato non può « vedere » ciò che accade « ora » nello spazio: « *quando osserva l'universo lo vede non come è oggi, bensì come era in un passato più o meno lontano* »¹⁶.

La conseguenza è che gli astronomi, gli astrofisici spesso sono costretti a formulare ipotesi, congetture che non possono essere sottoposte alla verifica sperimentale perché riguardano fenomeni spazio-temporali non duplicabili, non simulabili, non ripetibili.

Il modo di procedere della moderna astronomia indica quanto l'uomo, uscendo dal suo tradizionale territorio cognitivo, stia sostituendo all'ottimismo del positivismo, alle certezze del Secolo dei Lumi, il dubbio filosofico e la prudenza metodologica della scienza del nostro secolo.

Il tempo del cosmo è infinito. Il cosmo è infinito. Infinito sarà, un giorno, il vuoto lasciato dalle galassie fuggite nell'altrove delle lontananze dello spazio.

Eppure, noi uomini (recenti abitanti di un piccolo pianeta situato al margine della nostra galassia) riuniti in comunità di scienziati, col sussidio delle nostre macchine intelligenti, ipotizziamo, studiamo, congetturiamo, tentiamo di estendere la nostra conoscenza all'infinità del cosmo, forzando la nostra struttura di creature locali ed effimere.

Ed oltre ad indagare sull'immensamente grande, la nostra moderna scienza affonda le sue ricerche anche nel microcosmo, nel mondo subatomico, nel mondo immensamente piccolo delle particelle della fisica quantistica, nel mondo dei minimi mattoni fondamentali della materia.

Nella fisica quantistica la relazione difficile non è quella spazio-temporale dell'astronomia e dell'astrofisica tra il tempo attuale, istantaneo dell'osservatore e quello, sterminato, dello spazio-tempo del cosmo, ma è la relazione tra le dimensioni dell'osservatore e l'infinitesimità degli oggetti subatomici studiati. Una relazione che, nel momento in cui si instaura, altera il fenomeno fisico quantistico che viene analizzato rendendolo conoscibile soltanto

¹⁶ S. HAWKING, *Dal Big Bang ai Buchi Neri*, (Titolo originale *A brief history of time*), Rizzoli, 1988.

su basi probabilistiche. I fenomeni della fisica quantistica non soltanto non sono descrivibili in termini deterministici, ma neanche possono essere resi « visibili » poiché la lunghezza d'onda della luce è troppo ampia. La scienza dell'immensamente grande e dell'estremamente piccolo si va, così, caratterizzando con la sua crescente distanza dalla realtà da noi raggiungibile con i nostri sensi. E va procedendo con la formulazione di ipotesi, di congetture non sempre, o non sempre esaurientemente, verificabili col metodo della scienza sperimentale.

Ogni studio sui fenomeni dell'immensamente grande e dell'immensamente piccolo dipende dall'uso di dati che vengono rilevati e trattati per mezzo di complesse apparecchiature e di computer. In queste ricerche i computer sono sempre più l'indispensabile strumento di cui lo scienziato si deve avvalere per poter investigare, per potersi rapportare a mondi tanto profondi e tanto distanti da lui, tanto alieni a lui. Come riteneva Albert Einstein (1879-1955) quando affermava che Dio non gioca a dadi con l'universo, il fatto che spesso le ipotesi della scienza moderna siano non verificabili e restino provvisoriamente congetturali e probabilistiche, non significa anche che i fenomeni studiati non siano regolati da rapporti di causa-effetto descrivibili anch'essi, in futuro, con formule matematiche¹⁷.

La difficoltà sta nel fatto che è difficile individuare tali rapporti nei contesti di fenomeni fisici estremi o estremamente complessi. La scienza dovrà fare continui sforzi per individuare sempre ulteriori, sempre nuovi rapporti di causa e di effetto.

¹⁷ In una lettera del 4 dicembre 1926 indirizzata a Niels Bohr (1885-1962, Nobel per la fisica nel 1922) Einstein, criticando l'indeterminismo quantistico, si espresse in questi termini: « Non posso credere che Dio giochi a dadi con l'universo ». Einstein cercò inutilmente, durante tutta la sua vita, una formula matematica generale di tutti i fenomeni della Fisica allo Stato Solido. Si trattò di un tentativo alla cui base c'era ancora una impostazione epistemologica di tipo positivista. Contro l'ipotizzabilità di una tale formula generale, il più moderno pensiero scientifico ritiene che non è sempre possibile procedere in termini costruzionisti e passare dai livelli inferiori a quelli superiori. Quando molti atomi si mettono insieme, emergono proprietà collettive che non sono possedute dal singolo atomo. In questo senso Philip Warren Anderson (1923-, Nobel per la fisica nel 1977) ha scritto in un articolo su *Science* del 1972 (*More is Different*) che non basta conoscere i costituenti elementari e le forze che agiscono

tra loro per poter definire le proprietà della materia in grande. Le ricerche di Anderson sulla struttura elettrica e magnetica dei sistemi disordinati hanno permesso lo sviluppo dei calcolatori con l'adozione di nuove tecniche di commutazione elettronica e di nuovi tipi di memoria. La scoperta di Anderson è stata che al di sopra di una certa concentrazione cambia il comportamento degli elettroni con l'effetto del cambiamento repentino di stato e della trasformazione di certi materiali da conduttori di corrente a isolanti. Anderson trasse da questo la conseguenza della impossibilità di dedurre in ogni caso dal livello inferiore la regola del livello superiore. Conoscere le forze a livello atomico non comporta necessariamente la possibilità di formulare una unica teoria generale valida per ogni fenomeno fisico in ogni contesto e in ogni dimensione. La scienza procede passo dopo passo con leggi sempre più avanzate, ma non necessariamente correlate tra loro in termini riduzionisti, meccanicisti e costruzionisti.

Il microcosmo e il macrocosmo sono mondi che sfuggono alle capacità del nostro sistema sensoriale, del nostro cervello e della nostra mente così come si sono venuti a formare nella lunga fase evolutiva di quando eravamo cacciatori-raccoglitori di frutti nell'originario ecosistema della savana ancestrale. Gli strumenti cognitivi della nostra mente si rivelano autoreferenziali e in difficoltà nell'impresa di voler comprendere l'intera realtà, immensamente grande, infinitamente piccola.

Lo sforzo di formulare in termini di logica-matematica leggi che ricomprendano al loro interno le leggi della natura è uno sforzo immane, volto a ridurre la distanza tra la conoscenza umana e il mondo, è uno sforzo che incontra incessantemente nuovi ostacoli, nuove difficoltà, nuovi problemi apparentemente insolubili.

Lo sviluppo della scienza moderna è un viaggio oltre le Colonne d'Ercole del mondo tradizionalmente conosciuto, un viaggio difficile durante il quale gli scienziati devono riformare continuamente i loro pensieri, i loro calcoli, la loro logica, la loro architettura cognitiva, le loro ipotesi, la loro epistemologia.

L'uomo per continuare a sviluppare la sua scienza deve tracciare nuove rotte, deve sforzarsi di superare i vincoli della propria autoreferenzialità, deve uscire dai limiti della propria soggettività, deve produrre e concettualizzare nuove logiche, nuovi algoritmi, nuovi criteri di decifrazione dei fenomeni della natura.

L'invenzione dell'Intelligenza Artificiale è stata indispensabile per questo ulteriore avanzamento delle nostre conoscenze scientifiche che, altrimenti, si sarebbero arrestate ai confini oltre i quali i nostri sensi, la nostra struttura fisica e mentale non sarebbero stati in grado di andare¹⁸.

¹⁸ Enrico Fermi (1901-1954) studiò i computer sin dai tempi della guerra quando a Los Alamos impiegò le prime apparecchiature americane per effettuare i calcoli per la bomba atomica (il c.d. progetto Manhattan). Fermi si avvale delle macchine progettate da John von Neumann (1903-1957), la prima delle quali fu l'ENIAC (*Electronic Numerical Integrator and Calculator*) e successivamente lo EDVAC (*Electronic Discrete Variable Calculator*) e successivamente ancora il MANIAC (*Mathematical Analyzer, Numerical Integrator and Computer*). Nel dopoguerra Fermi tenne all'Università di Chicago un corso di lezioni sui computer e negli anni 1952-1953 ne progettò uno al quale diede, ironicamente, il nome di « George ». In Inghilterra A.M. Turing e M. Newman avevano costruito nel 1948 presso l'Università di Manchester il primo computer elettronico con memoria incorporata denominato Mark 1, il cui sviluppo portò

nel 1952 al Mark 2, il primo computer a transistor. La differenza tra la linea progettuale americana di John von Neumann, e quella inglese di Turing e di Newman, fu che le macchine americane erano apparati di calcolo, mentre quelle inglesi erano impostate per svolgere funzioni universali. Fermi comprese la possibilità di uso universale dei computer e li utilizzò non solo per effettuare calcoli, ma anche per analizzare certi processi fisici con programmi di simulazione. Uno di questi programmi fu quello, restato famoso, volto a risolvere « il problema di Los Alamos », il processo della fusione nucleare. Nel 1947, quando gli fu conferita la Franklin Medal, Fermi tenne all'Università di Chicago un discorso nel quale affermò: « la storia ci ha insegnato che la nostra comprensione dei fenomeni naturali dipende non solo dal progresso scientifico ma anche da quello tecnologico. Potremo risolvere problemi di estrema complessità utilizzando i calcola-

Nel nostro tempo lo sviluppo della conoscenza è reso possibile dal potenziamento delle capacità della mente grazie all'uso e all'integrazione con le macchine intelligenti.

Dopo duecentomila anni dal suo apparire sulla scena del mondo l'*homo sapiens sapiens*, al tempo dell'Intelligenza Artificiale, si appresta a compiere un salto evolutivo, a diventare l'uomo bioinformatico.

5. DALL'*HOMO SAPIENS SAPIENS* ALL'UOMO BIOINFORMATICO. INFORMAZIONE E MEMORIA. IL PRINCIPIO ANTROPICO.

Nella civiltà delle macchine di Turing, la definizione dell'attività conoscitiva come un'attività bioinformatica deriva dall'intima collaborazione tra l'intelligenza dello scienziato e l'Intelligenza Artificiale. Questa attività conoscitiva si può definire bioinformatica nel senso che è sia biologica, in quanto espressa dallo scienziato, che informatica, in quanto espressa anche dalle macchine.

Gödel per sostenere la superiorità della mente dell'uomo rispetto alla macchina, si riferì ad una mente individuale con un tempo di vita illimitato, formulando così l'ipotesi di un uomo non soggetto all'orologio biologico, di un uomo immortale. Ipotizzando una mente con un tempo di vita illimitato, Gödel proponeva una teorica soluzione del problema con il quale la specie umana si è continuamente confrontata nel corso del suo sviluppo culturale.

L'uomo si è evoluto compiendo un incessante sforzo volto a superare la limitatezza e la caducità della sua memoria individuale.

La civiltà si è formata ovviando in modo sempre più efficace alla difficoltà derivante dal fatto che nel corso della sua esistenza ogni singolo uomo accumula un patrimonio di informazioni, di esperienze, di algoritmi comportamentali, che viene meno alla sua morte.

Sin dal suo apparire l'*homo sapiens sapiens*, organizzato in clan di cacciatori-raccoglitori di frutti in continuo spostamento sul territorio, ha perseguito il vantaggio di conservare le informazioni e le conoscenze acquisite da ciascun individuo. Il perseguimento di questo vantaggio adattativo ha indotto lo sviluppo della comunicazione interpersonale. Con lo sviluppo della comunicazione interpersonale, le conoscenze del singolo si potevano sommare a quelle degli altri membri del clan, si potevano accumulare per costruire un patrimonio culturale collettivo che non veniva meno perché era tramandato oralmente di generazione in generazione ed affidato così alla comunità.

tori... calcolatori che possiamo propriamente chiamare cervelli elettronici matematici». E. SEGRÉ, *Enrico Fermi Physi-*

cist. The University of Chicago, Chicago, 1970. Ed. Italiana, *Enrico Fermi, fisico*, Zanichelli, 1987.

L'invenzione della scrittura rese possibile una migliore conservazione del patrimonio culturale mediante la sua oggettivazione sui supporti costituiti dalle tavolette di argilla e, in seguito, dalle foglie di papiro.

I regni e le città ellenistiche, tra le quali in principal modo Alessandria d'Egitto, presero ad organizzare le loro prime biblioteche. In quella di Alessandria d'Egitto si narra fossero custoditi centinaia di migliaia di rotoli di papiro che contenevano tutte le principali opere letterarie, filosofiche e scientifiche del tempo, da quelle di Aristotele (384 a.C.-322 a.C.) a quelle di Euclide (367 a.C.-283 a.C.).

Turing osservò che la consultazione delle biblioteche dell'antichità doveva essere cosa assai improba. Doveva essere davvero difficile consultare una data opera perché bisognava rintracciarne il rotolo tra migliaia e svolgerlo alla ricerca di un dato brano¹⁹. Superando la tradizione soltanto orale, per mezzo della scrittura si era cominciato a risolvere il problema della conservazione e dell'oggettivazione su supporti di tipo cartaceo del patrimonio culturale, ma non quello della sua accessibilità.

L'invenzione della carta e della stampa ampliò, con i libri, la memoria oggettivata e ne migliorò la consultazione²⁰.

¹⁹ Nel mese di febbraio del 1947 Turing tenne una conferenza alla London Mathematical Society per presentare la macchina che stava costruendo presso il National Physics Laboratory denominata ACE (*Automatic Computing Engine*). Turing dichiarò che la sua macchina avrebbe avuto una grande estensione di memoria cui sarebbe stato facile accedere. Il che avrebbe risolto il problema di reperire date informazioni, liberando l'uomo da una difficoltà che lo ha angustiato sin dall'invenzione della scrittura. Una difficoltà, sostenne Turing, che dovevano certamente incontrare gli antichi egizi con i loro rotoli di papiro: « possiamo dire che la memoria su un rotolo di papiro è in un certo senso inaccessibile perché richiede un tempo considerevole per reperire un dato memorizzato. La memoria in forma di libro è di certo migliore e molto adatta per essere letta dall'occhio umano. Con una macchina veloce potremo tenere la nostra informazione in una forma molto più accessibile... Ho dedicato parecchio tempo in questa conferenza alla questione della memoria, perché sono convinto che approntare una memoria adeguata sia la chiave di volta del problema del calcolatore digitale, e certamente se si vuole che i calcolatori mostrino intelligenza debbono disporre di una grande memoria accessibile in tempo ragionevolmente breve. La velocità di elaborazione

è necessaria se la macchina deve lavorare abbastanza rapidamente per avere valore commerciale, ma una grande capacità di memoria è necessaria se la macchina deve essere in grado di fare qualcosa di più che non operazioni abbastanza banali. La capacità di memoria è perciò un requisito fondamentale... Ogni macchina ACE svolgerà il lavoro di decine di migliaia di operatori umani ... e non sarà necessario che tutti ne posseggano una perché credo che sia del tutto fattibile disporre l'accesso a una macchina remota per mezzo di una linea telefonica ». Si veda ancora in Alan Turing, *Intelligenza Meccanica*, Gabriele Lolli, Bollati Boringhieri, 1994.

²⁰ A riguardo dei libri va detto che si stanno diffondendo quelli in forma elettronica. Insieme alla crescente diffusione del libro elettronico (*e-book*), l'informatica e il commercio elettronico mettono il consumatore in grado di esplorare i magazzini alla ricerca di opere di nicchia in forma cartacea in modo incomparabilmente più efficace di quanto avviene seguendo le vie tradizionali. Come ha rilevato Chris Anderson, caporedattore della rivista *Wired*, nel mercato dei libri cartacei, grazie alla ricerca elettronica la coda dei prodotti di catalogo (di scarso successo editoriale) realizza quote di vendita elevate. La coda lunga (*long tail*) delle opere cartacee messe in vendita, per esempio da Amazon, ha fatto

Mentre le raccolte di libri sono ancora simili alle raccolte di tavolette di argilla (anche se certamente assai meglio organizzabili e consultabili), oggi l'Intelligenza Artificiale sta rendendo possibile nella nostra modernità uno straordinario progresso con la creazione di *database*, di siti, di enciclopedie elettroniche, di biblioteche elettroniche.

Con le reti di computer, con l'informatica e la telematica i depositi culturali sono divenuti densi e accessibili in modo incomparabilmente maggiore di quanto non era mai avvenuto prima nella storia.

In più, oltre alla migliore possibilità di organizzazione e di accesso, una biblioteca elettronica si differenzia da una cartacea per la sua ampiezza attuale e potenziale, per il suo continuo arricchirsi di contenuti, per la sua crescente estensione ed «evolutivezza», insomma per la sua somiglianza a qualcosa di vivo.

Nella società della conoscenza e della scienza non c'è materia di studio, non c'è disciplina, non c'è ufficio studi aziendale, non c'è ricerca scientifica che non abbia i suoi *database*, i suoi siti in rete, le sue biblioteche elettroniche, la sua memoria affidata ai computer²¹.

sì che si siano venuti a creare casi di riemersione dall'oblio di opere che sarebbero state altrimenti dimenticate. L'acquirente non è scoraggiato nella ricerca di opere cartacee specialistiche, datate o minori, perché la può fare *online* in modo assai più facile rispetto ai metodi tradizionali. Inoltre i sistemi di commercio elettronico, così come quello adottato da Amazon, usano funzioni di raccomandazione indirizzando l'acquirente verso titoli che non sono successi editoriali e che soddisfano le sue personali preferenze. Il fenomeno della coda lunga mette in luce il fatto che la gestione elettronica del mercato rende possibili biblioteche e magazzini (di libri cartacei) vasti, diversificati e specialistici dove sono acquistabili anche opere della più varia natura che sarebbero altrimenti scomparse.

²¹ Il più rilevante esempio di rete sociale di saperi condivisi è rappresentato da Wikipedia: un sistema di catalogazione, indicizzazione ed elaborazione progressiva delle conoscenze che si configura come una «intelligenza universale» più ricca della mera sommatoria delle singole intelligenze umane che contribuiscono alla sua formazione. Wikipedia nasce sotto il segno della «filosofia del software libero» sorta alla fine degli anni '80: fu Richard Stallman, il maggiore esponente del movimento, a teorizzare lo sviluppo di una Enciclopedia Universale Libera, aperta a tutti gli utenti

della stessa, che potesse coprire progressivamente ed interattivamente tutte le aree della conoscenza umana, al fine di una sempre più ampia e più facile condivisione (v. R. STALLMAN, *The Free Universal Encyclopedia and Learning Resource*, 1999, rinvenibile sul sito www.gnu.org). Il progetto di Stallman (originariamente denominato GNUpedia), si fondava sullo sfruttamento delle potenzialità «decentralizzanti» del web. L'idea era quella di creare un *database* distribuito su *server* sparsi in tutto il mondo, accessibile attraverso l'utilizzo di un software di gestione comune che permettesse a tutti gli utenti di incrementare interattivamente in maniera indipendente le informazioni ivi contenute con contributi personali, intervenendo direttamente via *browser* sulle pagine web. Proprio l'idea di questa immediatezza partecipativa ha originato la c.d. rivoluzione *wiki* (il termine sta ad indicare la «velocità» di scambio in lingua hawaiana) nel segno del «software libero collaborativo». Nel 2000 fu avviato da Jimmy Wales (uno dei protagonisti della *new economy*) insieme al programmatore Larry Sanger, un progetto per realizzare un'enciclopedia analoga (la «Nupedia») basata su software open e su contributi pubblicati da utenti specializzati (almeno in possesso di un dottorato di ricerca nella disciplina attinente alla materia da trattarsi nella voce) resi poi accessibili a tutti gli internauti. Il pro-

Questi siti, queste enciclopedie e queste biblioteche elettroniche si propongono come qualcosa di evolutivo perché, non avendo limiti di memoria, possono estendere continuamente i loro contenuti raccogliendo e accumulando, nei modi più diversi, enormi masse di testi, di dati e informazioni.

Lo sviluppo di Internet, inoltre, sta creando un esteso e condiviso spazio telematico che si riempie sempre più di memoria e di conoscenza e si apre ad una loro fruizione collettiva ed interattiva²².

getto di Stallman si fuse così con quello di Wales e Sanger, e prese vita il prototipo della Wikipedia che oggi conosciamo (consultabile all'indirizzo www.wikipedia.org): da un lato, l'efficienza dei sistemi GNU e del software Wiki fu messa al servizio di una cospicua infrastruttura (la rete di *server* della Bomis, azienda di proprietà di Wales, già operativa nel campo della condivisione *peer-to-peer*); dall'altro, i requisiti di ammissione a « contributor » dell'enciclopedia furono cancellati. Dopo sette anni di attività oggi Wikipedia è nella *top ten* dei siti più visitati su Internet, la sua versione in lingua inglese ospita circa 2.500.000 voci (un numero almeno tre volte maggiore di quello di qualsiasi enciclopedia cartacea), alle quali vanno aggiunti dieci milioni di articoli redatti in oltre 250 lingue. Ogni giorno centinaia di migliaia di naviganti accedono ai contenuti e apportano qualsivoglia modifica a qualsivoglia voce in tempo reale, entrando così a far parte di una comunità virtuale, libera ed eterogenea, che ha come scopo quello della condivisione della conoscenza. La libertà di *editing* non compromette il carattere enciclopedico del *database*, poiché l'apertura universale garantisce che gli eventuali errori possano essere « metabolizzati » e corretti dal sistema stesso (ovvero dagli altri utenti che accedono alle singole voci). Wikipedia si ispira a un modello giuridico volto a garantire l'indipendenza dei vari « editori », senza imporre la registrazione obbligatoria degli utenti, un modello che è basato sul principio di neutralità e di parità come guida per tutti i *contributors*, prevedendo strutture con il compito di rimuovere gli eventuali atti di « vandalismo cibernetico ». Wikipedia rifiuta l'assetto « proprietario » del diritto d'autore, ricorrendo alla GNU *Free Documentation License* (GFDL), ossia ad una impostazione normativa che consente ai singoli autori di mantenere la paternità sui contributi introdotti, rendendoli però riproducibili e distribuibili, al contempo è la comunità che detiene i diritti sull'intero *database* co-

si come esso viene a formarsi e ad espandersi incessantemente di giorno in giorno.

²² Internet sta evolvendo nella forma che ha la denominazione di « Web 2.0 », denominazione che indica la nuova fase di sviluppo che sta attualmente attraversando. La rete Internet è sempre più orientata a divenire una risorsa aperta, comunitaria e collaborativa non più atta soltanto a « fornire » contenuti e informazioni, ma atta anche a favorirne lo scambio tra gli utenti stessi e a permetterne la libera integrazione e condivisione, costituendo così una piattaforma virtuale a sostegno di una miriade di servizi ed applicazioni. Il termine « Web 2.0 » fu coniato nel 2004 da Tim O'Reilly (autore ed editore di manuali di informatica) nel corso di una conferenza sul futuro della Rete, per la quale egli pronosticò, sulla scia della « rivoluzione » *open source*, una seconda giovinezza (una sorta di « nuova versione », come suggerisce la formula) imperniata sulla sua trasformazione da semplice network di *providers* a piattaforma multifunzionale collettiva (cfr. T. O'REILLY, *What is Web 2.0, Design Patterns and Business Models for the Next Generation of Software*, at www.oreilly.com, 2005). Questa trasformazione si è a poco a poco concretizzata e ad oggi il web, pur avendo conservata immutata la sua struttura e le sue caratteristiche tecniche, risulta assumere una più ampia funzione correlata ad un nuovo modo di « pensare » e di utilizzare Internet. L'utente è divenuto un co-protagonista dello sviluppo del Web che sempre più garantisce, a chiunque abbia la possibilità di connettersi, l'opportunità di amplificare e diffondere la propria conoscenza, nonché di aumentare la capacità di *storage* ed elaborativa della propria macchina. Le applicazioni software cessano di essere parametrate sul singolo *client* per svilupparsi invece in funzione dell'interconnessione, al fine di sfruttarne i punti di forza. Il web è divenuto il luogo di elezione per comunità virtuali che possono operare in tempo reale una serie infinita di condivisioni e di scam-

A mano a mano che si diffonde l'uso dei computer, dei supercomputer e del sistema delle reti, la principale attività della nostra società delle macchine intelligenti diventa lo sviluppo della conoscenza e della scienza.

Dopo l'economia agricola dalla quale nacquero le prime civiltà storiche, dopo l'economia dei commerci dalla quale derivò il positivismo del Secolo dei Lumi, dopo l'economia dell'industria che indusse il nazionalismo statale, oggi l'economia della conoscenza sta producendo la moderna civiltà delle macchine intelligenti che sta unificando culturalmente il pianeta²³.

Nella nostra società la ricchezza deriva sempre più dalla conoscenza e dalle nuove scoperte che non dalla manifattura, ragione per cui il numero degli addetti all'insegnamento, alla ricerca e alla scienza aumenta continuamente²⁴.

bi di informazioni, beni e servizi, attraverso i c.d. *social network sites* (ovvero i *blogs*, le enciclopedie *wiki*, le comunità come MySpace o come quelle dedite al *social indexing*, i siti come iTunes, YouTube, Flickr, ma anche come eBay ed Amazon, ecc.) ed eseguire applicazioni software con interfacce *web-based* e *user-friendly* per le quali vale la regola per cui maggiore è il numero degli utenti raggiunti dal servizio, migliore sarà il relativo rendimento. Nell'era del Web 2.0 i singoli *users* acquisiscono un ruolo centrale, non più legato alla sola fruizione di contenuti messi a disposizione da pochi, ma aperto all'attiva partecipazione di tutti a tutti i meccanismi che fanno capo alla rete, alla contribuzione indipendente sia a livello di contenuti sia di modelli operativi. Internet si appresta a diventare, nella prospettiva del « Web 2.0 », un immenso patrimonio dinamico di sapere « incrementale », una architettura partecipativa, localmente distribuita ma universalmente accessibile, che cresce vorticosamente, nel segno della piena reciprocità di tutti i soggetti tra loro connessi.

²³ Secondo l'OCSE (Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico) l'economia della conoscenza è caratterizzata dal fatto di indurre le organizzazioni e gli individui ad acquisire, creare, disseminare e usare la conoscenza al fine di procurare un superiore sviluppo economico e sociale. Secondo DOMINIQUE FORAY (*L'economia della conoscenza*, il Mulino, 2006) la *knowledge economy* consiste nella abilità di inventare e di innovare, ovvero formulare nuove idee che vengono applicate a prodotti, processi, organizzazioni ed istituzioni.

²⁴ A proposito dell'economia della co-

noscenza, Marco Niada ha scritto sull'*Inghilterra* e su Londra: *Su scala nazionale, nel 1911 gli addetti all'economia della conoscenza in Gran Bretagna pesavano per il 14% della forza lavoro. Nel 1991 la proporzione era salita al 35% e, secondo le previsioni dell'Institute of employment research dell'Università di Warwick, nel 2012 raggiungeranno il 45 per cento. Per quanto riguarda Londra, secondo uno studio condotto da « The local futures group » per London Connects e Vodafone, la knowledge economy peserà nel 2014 per il 60% dell'economia della città, pari a oltre 3 milioni di occupati. Quella che una volta fu la capitale del mondo, dapprima al centro di una ragnatela di commerci planetari e poi come culla della rivoluzione industriale, sta diventando oggi sempre più una grande banca dati in cui sono disseminate e interagiscono tra loro conoscenze e informazioni di ogni sorta. Londra è diventata, in chiave moderna, la biblioteca di un gigantesco convento benedettino sul Tamigi. Forte di 43 istituzioni d'educazione superiore postliceale, di cui 19 college strettamente universitari in simbiosi con le prestigiose Università di Oxford e Cambridge, popolata da migliaia di ricercatori del mondo della scienza, dell'informazione e della finanza, Londra è diventata un centro di elaborazione dati che, combinandosi tra loro, generano sviluppo e benessere. L'economia di Londra diverrà sempre più un meccanismo destinato ad autoalimentarsi, con un processo a catena di azione-reazione composto da conoscenza che genererà innovazione, che a propria volta genererà conoscenza che genererà ulteriore innovazione ». M. NIADA, *La nuova Londra*, Garzanti, 2008.*

I molteplici usi dell'Intelligenza Artificiale rendono la crescita della conoscenza sempre più veloce sino a produrre questa conseguenza: se ancora nel Secolo dei Lumi, nel Settecento, era possibile ritenere che la cultura umana fosse contenibile, riassumibile in una enciclopedia cartacea, se ancora nel Settecento si potevano dare uomini in grado, nell'arco di tempo della loro vita individuale, di conoscere, in buona misura, tutto il conoscibile, come era sempre avvenuto sino ad allora nel corso della civiltà, ciò non è oggi più possibile.

Oggi non è più possibile pensare che l'intero nostro patrimonio culturale possa, in una qualche, sia pur minima, esauriente misura, essere conosciuto da un singolo scienziato o studioso (o anche da singoli gruppi di scienziati o studiosi) poiché tale patrimonio culturale è talmente immenso da dover essere necessariamente diviso, sezionato, organizzato in mille e mille diverse discipline.

Alla domanda chi, nel nostro mondo, conosce cosa, la risposta è che la conoscenza appartiene articolatamente a studiosi e scienziati organizzati in gruppi, scuole, laboratori, accademie, istituti, fondazioni, università, centri di ricerca, uffici studi ognuno dei quali si dedica ad una delimitata materia, ad un delimitato, sempre più delimitato, campo dell'intera, enorme mappa del sapere.

La assoluta maggioranza degli intellettuali della nostra società è costituita da specialisti di un dato settore scientifico, di una data disciplina, da studiosi versati nella conoscenza di una data parte, sempre più piccola, dell'intero universo della cultura umana.

Soltanto alla condizione di specializzarsi l'intellettuale, lo studioso, il ricercatore, lo scienziato riesce a raggiungere, nel corso della sua esistenza, un certo approfondimento di una data materia.

Infatti, per quanto si possa migliorare e rafforzare la nostra struttura organica (anche con farmaci, con trapianti, con protesi e impianti elettronici, con applicazioni nanotecnologiche, con cellule staminali, ecc.), per quanto si possa allungare il tempo di vita, una mente capace di infiniti stati è impossibile per definizione, data l'estensione del patrimonio culturale da un lato e data, dall'altro lato, la limitatezza della cognitività individuale e la inevitabile breve durata di vita del singolo uomo, del singolo scienziato.

Eppure nella nostra contemporaneità sta prendendo forma, per effetto della integrazione tra l'uomo e le macchine intelligenti, un ente cognitivo globale che tende ad essere capace di un numero illimitato di stati, che tende ad essere in grado di contenere in memoria tutta la cultura umana, man mano che si espande, e di metterla a disposizione del singolo fruitore, del singolo ricercatore.

Sta nascendo un sistema di reti di computer capace di stati cognitivi illimitati e con una memoria potenzialmente infinita che potrà contenere tutti i bit di conoscenza che verranno raggiunti nel futuro.

L'uomo non soltanto fa eseguire dalle macchine calcoli, elaborazioni, rilevazioni, incroci, archiviazioni e trasmissioni di dati e informazioni, ma sta anche costruendo, con le stesse macchine, una memoria collettiva a cui affida tutte le sue informazioni, tutte le sue più varie acquisizioni culturali e scientifiche per renderle tramandabili, incrociabili, elaborabili, raggiungibili, estraibili, fruibili da chiunque.

All'*homo sapiens sapiens* sta per subentrare un tipo umano sempre più caratterizzato dall'uso delle macchine, macchine che diventano ogni giorno di più l'occhio cognitivo della sua mente e i magazzini della sua memoria.

La specie umana tende a sviluppare una crescente attitudine a interagire con le macchine, liberandosi con il loro uso dalla fatica, dai limiti e dalle lentezze dei suoi processi cognitivi e dalla limitatezza della sua memoria. Nello stesso tempo l'uomo riformula l'architettura del suo modo di pensare (che si è formato funzionalmente al circoscritto ambiente di quando viveva in clan di raccoglitori di frutti e di cacciatori) rendendolo più oggettivo, meno autoreferenziale.

Così l'uomo attinge e potrà sempre più attingere in profondo alla sua attitudine a conoscere, producendo creazioni intellettuali innovative, formulano nuove logiche e nuovi paradigmi, avendo intuizioni cognitive che si propongono in un primo tempo come miraggi del pensiero per poi trasformarsi in leggi scientifiche esatte e rigorose formule matematiche.

Questo pensare e ricercare in modo sempre più efficace, sempre più euristico non comporta una disumanizzazione, un travisamento, una perdita delle caratteristiche di specie; si tratta, al contrario, di uno sviluppo che avviene conseguentemente, che si realizza lungo la via tracciata dalla cultura umana nei diecimila anni trascorsi dalle prime civiltà storiche.

L'evento per cui l'uomo della modernità, l'uomo bioinformatico, sa costruire ed usare le macchine pensanti non è fuori della storia della specie, ma è invece il coerente esito della logica di Aristotele, dell'incontro della matematica araba con la filosofia della scolastica, della adozione del metodo di Bacone e di Galileo, della formulazione del nuovo paradigma culturale e scientifico di Darwin e di Turing.

Affidando alle macchine fardelli elaborativi e cognitivi quali la archiviazione, la memoria, la computazione, la correlazione e la elaborazione di enormi quantità di informazioni e di dati, esternalizzando parte del suo pensare, l'uomo nuovo può conoscere di più, riducendo i margini del caos e decifrando non soltanto realtà aliene e lontane come il microcosmo e il macrocosmo, ma anche ambiti di realtà che altrimenti gli apparirebbero caotici, non organizzabili, non conoscibili.

Di molti fenomeni che sembrano in preda al caos, alla indeterminatezza, alla incontrollabile coazione di molteplici forze, l'uomo

riesce, con l'uso dell'Intelligenza Artificiale, ad individuare le intime regolarità; riesce a renderli comprensibili e predittibili, situandoli all'interno di leggi scientifiche risolutive delle leggi della natura.

Per Darwin il mistero era la vita e il suo programma genetico, per Turing il mistero era la mente e la sua esternalizzazione.

Tra tante domande senza risposta, ciò che è certo è che la distanza cognitiva tra l'uomo ed il mondo si sta riducendo. Ciò che è certo è che l'uomo conosce sempre più, sempre più velocemente e sempre più oggettivamente.

Ci si può domandare quanto ancora l'uomo bioinformatico potrà sviluppare questa conoscenza con l'uso delle macchine e se queste macchine potranno un giorno esprimere intelligenza creativa²⁵. Ci si può domandare cosa significherà nel futuro la parola conoscenza.

Ritengono taluni studiosi che la conoscenza volta a decifrare l'intera realtà sarà la realizzazione del principio antropico, il principio che afferma che, quando si avvicinerà al suo pieno sviluppo, la conoscenza dell'uomo tenderà a coincidere con il mondo²⁶.

²⁵ Mentre l'uso delle macchine di Turing diviene di giorno in giorno sempre più esteso e necessario per la crescita della moderna società della conoscenza, gli studi sulla Intelligenza Artificiale non sono sin qui giunti a darne una definizione. La difficoltà nasce dal vorticoso flusso cognitivo legato all'uso delle macchine intelligenti, flusso cognitivo dentro il quale ci troviamo senza riuscire ad assumere un punto di vista analitico esterno. La Fondazione Calamandrei ha in programma una ricerca volta a formulare un'ipotesi di Epistemologia dell'Intelligenza Artificiale.

²⁶ Il principio (o congettura) antropico si basa sull'ipotesi che la vita, una volta comparsa nell'universo, non si estinguerà e assumerà forme sempre più evolute, conti-

nuando ad essere caratterizzata dalla capacità di raccogliere le informazioni e di conservarle in memoria. Se la vita è destinata a durare per un tempo indeterminato, dovrà assumere forme adatte a raccogliere uno sterminato numero di informazioni e a immagazzinarle in memoria per gli usi successivi. Scrivono Barrow e Tipler a conclusione di una loro ricerca sul principio antropico: « *la vita si evolverà in tutti gli universi possibili, continuerà ad esistere indefinitamente e otterrà il controllo di tutta la materia raccogliendo una quantità infinita di informazioni, una quantità nella quale saranno ricompresi tutti i bit di conoscenza che è possibile apprendere* ». J.D. BARROW, F.J. TIPLER, *Il principio antropico*, Adelphi, 2002.