

Lorenzo De Stefano

*La razionalità algoritmica.*

*Elementi per una genealogia*

*Abstract:* This article traces a genealogy of algorithmic rationality from ancient rituals to AI according to a theory of machine. It highlights how algorithms, as particular kind of pseudo-machine, shape and reflect humanity's drive for order and control. From symbolic AI to neural networks, AI systems mirror cultural and political forces. The paper argues AI as particular kind of algorithmic machine isn't neutral but tied to power and values, advocating for ethical governance and democratization to harness AI's potential for societal good while acknowledging its deep historical roots in automation, cybernetics and decision-making.

## 1. Introduzione

La parola algoritmo è oramai entrata nel nostro lessico quotidiano. Neologismi dai toni più o meno sensazionalistici come “razionalità algoritmica”, “pensiero algoritmico”, “epoca algoritmica”, “decisionalità algoritmica”, “intelligenza algoritmica” e così via, sono entrati nel vocabolario non solo di chi si occupa di queste questioni dal punto di vista scientifico, accademico o divulgativo. Questo perché le AI di seconda generazione, che hanno sopravanzato la AI simbolica o GOFAI<sup>1</sup>, sono ad oggi estensivamente usate nei campi più svariati, dalla burocrazia al *warfare*, dalla valutazione dei dipendenti, alla semplificazione delle sentenze giuridiche, dalle macchine a guida autonoma alla ricerca aerospaziale<sup>2</sup>. A ciò si aggiunge l'opinione pubblica che, non senza semplificazioni e sulla scia dei proclami di qualche tecno-guru, considera la AI la panacea ad ogni problema dell'umanità sulla scorta dell'imperativo della semplificazione e razionalizzazione dei processi, oppure come la possibilità dell'integrale sostituzione-potenziamento dell'umano; le due cose spesso vanno di pari passo. Come la si voglia mettere, chi intenda rapportarsi a queste tematiche dal punto di vista scientifico, dovrebbe, almeno in

1 Nel campo della filosofia dell'intelligenza artificiale, il termine GOFAI (acronimo di “Good Old-Fashioned Artificial Intelligence”) si riferisce al tradizionale approccio simbolico all'IA. Questo metodo si distingue da altre strategie, come le reti neurali, la robotica situata, l'intelligenza artificiale simbolica limitata o quella neuro-simbolica. L'espressione è stata introdotta dal filosofo John Haugeland nel suo libro *Artificial Intelligence: The Very Idea*, Princeton 1985.

2 Per una ricognizione delle applicazioni più dannose degli algoritmi ai processi decisionali si segnala C. O'Neil, *Armi di distruzione matematica*, Bompiani, Milano 2017 e M. Durante, *Potere computazionale. L'impatto delle ICT su diritto, società, sapere*. Meltemi, Milano 2019.

prima istanza, mettere da parte la chiacchiera quotidiana circa questi temi, poiché spesso il sensazionalismo è il negativo del rigore scientifico e la semplificazione spesso nemica del pensiero. Occorre, pertanto, al fine di comprendere cosa sia la AI, rivolgersi al luogo della sua genesi storica, tecnica, ma anche collocarla sistematicamente in quanto artefatto, sia come prodotto di una cultura materiale, sia in relazione al contesto socio-economico che l'ha partorita. Naturalmente, nel presente contributo non si potrà assolvere a questo compito nella sua totalità, ma si tenterà di delineare una prospettiva genealogica e teorica a partire da cui inquadrare la questione di una razionalità algoritmica. Quel che si cercherà di imbastire, nello spazio ristretto di queste pagine, è un abbozzo delle vie che hanno portato alla razionalità algoritmica e quindi all'intelligenza artificiale come suo ultimo prodotto, rilette alla luce di una "teoria delle macchine".

Nella storia relativamente breve dell'intelligenza artificiale possiamo individuare due approcci teorici distinti. La AI simbolica è la genia di intelligenze artificiali legate al primo programma di ricerca del Dartmouth College del 1956 in cui proprio il termine problematico intelligenza artificiale è stato coniato. Il campo di applicazione di queste tecnologie sono stati i sistemi esperti e dispositivi quali il Logic Theorist e il General Problem Solver.

La AI di seconda generazione è invece basata su di modello connessionista<sup>3</sup>, che, come vedremo, è una possibile derivazione della cibernetica e del percettore di Rosenblatt introdotto nel 1958, a tutti gli effetti annoverabile nella lunga genesi delle tecnologie algoritmiche. Tali tecnologie, riesumate dopo il cosiddetto inverno della AI, sono state implementate dall'intuizione di Fredrick Jelinek, il quale a sua volta, sulla base della teoria dell'informazione di Shannon, implementò i metodi dell'analisi statistica per individuare le regolarità del linguaggio<sup>4</sup>. Come sottolinea Matteo Pasquinelli<sup>5</sup>, le due correnti di pensiero seguono

3 Il termine connessionismo nasce nelle scienze cognitive da Thorndike negli anni 20 per indicare la sua teoria dell'apprendimento basata sulle connessioni stimolo-risposta. Il neoconnessionismo individua un approccio allo studio dei processi cognitivi basato sulle reti neurali artificiali. I presupposti teorici del connessionismo sono riscontrabili nel noto paper *A logical calculus of the idea immanent in nervous activity* (in "Bulletin of Mathematical Biophysics", n.5, 1943) di McCulloch e Pitts e nel lavoro di Frank Rosenblatt, inventore del percettore. La diffusione di tale disciplina si deve soprattutto agli psicologi statunitensi Rumelhart e McClelland e in particolare alla pubblicazione del loro testo *PDP: Parallel Distributed Processing* (MIT press, Massachusetts 1986).

Il connessionismo si pone come una delle principali alternative ai modelli simbolici della mente (ad esempio, i sistemi basati su regole e rappresentazioni esplicite). Esso propone che la cognizione non sia il prodotto di manipolazioni simboliche sequenziali, ma piuttosto il risultato di schemi di attività distribuita che si evolvono dinamicamente. Ciò ha implicazioni significative per la comprensione di fenomeni come il linguaggio, il riconoscimento di schemi, la memoria e l'apprendimento.

4 Sul tema vedi N. Cristianini, *La scorciatoia. Come le macchine sono diventate intelligenti senza pensare in modo umano*, il Mulino, Bologna 2023.

5 M. Pasquinelli, *The Eye of the Master A Social History of Artificial Intelligence*, Verso, New York/London 2023, p. 23

approcci logici ed epistemologici distinti. La prima vede l'intelligenza come una rappresentazione del mondo, che può essere trasformata in funzioni proposizionali e quindi riprodotta attraverso processi logici deduttivi. La seconda, invece, considera l'intelligenza come un'esperienza diretta del mondo, che può essere tradotta in modelli approssimativi basati sulla logica induttiva. Nessuno dei due approcci è riuscito, e mai riuscirà, a replicare l'intelligenza umana, piuttosto si sono dimostrati utili a replicarne analogicamente alcuni aspetti, e, in molti casi, a superare nelle loro specificità applicative la cognizione umana. Tuttavia, il *machine learning* e le ANN<sup>6</sup>, grazie alla loro capacità di elaborare dati complessi e multidimensionali, si sono rivelati molto efficaci nel riconoscere schemi e nell'automatizzare molte attività. Quello che è caratteristico di queste tecnologie è l'aver reso gli algoritmi in qualche misura adattivi. Comunque la si metta, la AI, o forse sarebbe opportuno declinare il sostantivo al plurale, è oggi quella che Lewis Mumford definiva "macchina paradigmatica"<sup>7</sup>, ovvero un artefatto che segna un'epoca della scienza, e quindi della cultura e della società. Ad ogni tipo di società si può far corrispondere un tipo determinato di macchina. Sempre più processi decisionali e cognitivi sono ad oggi delegati a questa tipologia di macchine, che, lungi dall'essere neutrali, incarnano degli imperativi categorici scaturenti dai rapporti sociali, dal sistema di valori e dalla scienza e conoscenza atte a costituirle. In sintesi, le tecnologie sono sedimenti e concrezioni dello *Zeitgeist* e delle finalità dello *architecton* che le ha concepite<sup>8</sup>. Esse, come tali, sono sempre rimandabili a un piano trascendentale, tecnico, economico, materiale, antropologico e valoriale che le costituisce, pur potendo queste retroagire e influenzare il piano costituente che le ha inventate<sup>9</sup>. Se questo è vero, occorrerà a un tempo considerare la AI in quanto macchina non come mera applicazione di visioni epistemologiche o scoperte scientifiche, ma in comprenderla in funzione e a partire da problemi tecno-pratici e dei rapporti sociali di cui è in qualche modo espressione. Ciò vale a dire interpretare l'algoritmo e l'intelligenza artificiale sulla base di una "teoria delle macchine".

6 *Artificial neural network*

7 Cfr. L. Mumford, *Tecnica e Cultura*, tr. it. di E. Gentili, Milano 2005, pp. 25 ss.

8 Ciò non significa che una tecnologia si esaurisca nel fine per cui è stata programmata. Gli effetti possono spesso eccedere la finalità per cui erano state programmate e avere una effettualità "preterintenzionale". Sul tema Cfr. C. Di Martino, *Pensare gli effetti*, in L. De Stefano (a cura di), *Tecnica e coesistenza. Prospettive antropologiche, fenomenologiche ed etiche*, Mimesis, Milano-Udine 2024, pp. 23. 47; R. Redaelli,

*Dall'intenzionalità alla preterintenzionalità. Una riflessione sui sistemi intelligenti*, in "Mechane", n.7, 2024, pp. 89-108.

9 Nel un suo recente lavoro, *The Entanglement* (Princeton University Press, Princeton 2023) Alva Noë afferma che la filosofia, similmente all'arte nella sua accezione più vasta, è una modalità in cui l'umano riorganizza se stesso; la filosofia mira alla comprensione (*understanding*) mentre l'arte mira al piacere estetico (cfr. *ibid.*, p. XII ss.).

## 2. Umani e macchine

Nell'intelligenza artificiale convergono due linee: da un lato il tentativo teorico di tradurre in operazioni il pensiero umano, come ultimo tentativo di traduzione meccanicistica della *natura* in un sistema di regole o di risoluzione della *res cogitans* nella *res extensa*, dall'altra una linea essenzialmente pratica, che vede nel calcolo e nella macchina strumenti tecnici e tattici per la risoluzione di istanze in prima battuta empiriche, come ad esempio l'automazione, la semplificazione, il potenziamento di un lavoro, l'autoregolazione dei sistemi, le necessità belliche.

Per una genealogia della AI, bisogna considerare che la storia dello sviluppo e la scoperta scientifica degli algoritmi, come regole della *physis* e in seconda battuta del pensiero, si interseca con la storia e l'ontologia delle macchine. La AI, in quanto macchina algoritmica, incorpora da un lato la storia e lo sviluppo del sapere teorico scientifico e matematico<sup>10</sup>, che dalla civiltà vedica, egizia e paleo babilonese giunge al machine learning, dall'altro la storia della cultura materiale, che ha portato allo sviluppo di macchine in grado di riprodurre meccanicamente aspetti e funzioni umane, come proiezione, potenziamento ed esteriorizzazione delle stesse<sup>11</sup>. È una caratteristica essenzialmente della cultura occidentale e della tradizione filosofica post (o pseudo) aristotelica vedere una patrizione tra l'aspetto teorico, etico e poetico, che si traduce in una differenza tra *techne* ed *episteme*<sup>12</sup>. La macchina, in quanto espressione del nostro comportamento tecnico, come mostrerò a breve, rappresenta la giuntura tra questi due aspetti. Essa non si esaurisce in una semplice esteriorizzazione di una funzione fisiologica, quindi "naturale", dell'uomo, pur avendo in questa la sua prima ragione, o nella concrezione e ripro-

10 Karl Marx nella sua nozione di "Intelletto Generale" ha ben compreso questo punto. Nei Lineamenti Fondamentali della critica dell'economia politica Marx nel noto Frammento sulle macchine si sofferma sui rapporti tra rivoluzione sociale, macchina e scienza. Il frammento dei *Lineamenti* fornisce una riflessione critica sul ruolo della scienza, delle macchine e della società. Marx utilizza il termine *General Intellect* per descrivere l'insieme delle conoscenze e delle capacità collettive sviluppate dall'umanità, identificandolo come un'espressione della società nel suo complesso. Secondo Marx, la tecnologia e le strutture organizzative sono elementi chiave per comprendere l'evoluzione dell'uomo e della società. Egli introduce l'idea di "interiorizzazione" per evidenziare come queste tecnologie e forme organizzative non siano semplici strumenti esterni, ma diventino parte integrante del tessuto sociale e culturale. Nella sua analisi, Marx interpreta la tecnologia e l'organizzazione come manifestazioni concrete delle relazioni sociali, delle idee, dei processi lavorativi e degli stili di vita. Questi aspetti non operano in modo isolato, ma sono strettamente connessi e si influenzano reciprocamente, contribuendo a plasmare e trasformare la società. Cfr. K. Marx, *Lineamenti fondamentali della critica dell'economia politica*, Vol. II, tr. it. E. Grillo, La Nuova Italia, Firenze 1997, pp. 387-411. Su Marx pensatore della tecnica cfr. K. Axelos, *Marx pensatore della tecnica*, tr. it. A. Bonomi, Sugar Editore, Milano 1963 e J. Fallot, *Marx e la questione delle macchine*, La Nuova Italia, Firenze 1971.

11 Mi sono occupato diffusamente della questione in L. De Stefano, *La mente esteriorizzata Per una critica genetica dell'Intelligenza Artificiale*, in "Lo Sguardo" n. 36, 2023, pp. 255-284, a cui rimando per una trattazione più approfondita dell'argomento.

12 Cfr. *Metaph.* VI, 1, 1025 b 1 – 1026 a 35.

duzione empirica di teorie, ma più propriamente costituisce una via traversa per la realizzazione di scopi umani, eccedenti rispetto al normale corso della natura. Da questo punto di vista, la macchina agisce *para physin* ossia aggirando la natura, rispetto al *kata physin* che riguarderebbe la spontaneità del corso naturale. In un certo senso, l'agire tecnico dell'umano, che rappresenterebbe il suo essere *kata physin*, consiste proprio nel macchinare *para physin*, introducendo così nel corso naturale una causalità "esterna"<sup>13</sup>.

Prima di effettuare una qualsiasi ricostruzione genealogica dell'algoritmo o della AI, occorre dunque sinteticamente soffermarci su cosa sia una macchina secondo quella che Nicola Russo ha definito "teoria delle macchine"<sup>14</sup>. In epoche storiche cruciali la scienza è stata una teoria della tecnica e non piuttosto la tecnica una messa in pratica della scienza<sup>15</sup>. Ciò vale a dire che la comune interpretazione del nesso scienza-tecnica, che vede la seconda un'appendice applicativa della prima, è una generalizzazione sin troppo schematica. La logica delle scienze astratte come la geometria e la meccanica ha tratto stimoli per la sua implementazione da questioni di ordine pratico e religioso. Archimede, ad esempio, in una lettera ad Eratostene, menziona un metodo che possa render conto di dati matematici mediante nozioni meccaniche<sup>16</sup>; questo metodo meccanico preannuncia il calcolo infinitesimale. Come è noto, tuttavia, i capisaldi della meccanica statica archimedeo nascevano dal problema tecnico di individuare il vantaggio meccanico per il sollevamento dei pesi, ossia per potenziare attraverso una via traversa la capacità umana di sollevamento. La stessa dinamica moderna e la geometria analitica cartesiana nasceranno grazie all'impulso di orologi e cannoni<sup>17</sup>. In tempi più moderni, come ancora segnala Russo, "è il problema del rendimento della macchina a vapore, all'epoca della prima rivoluzione industriale, che porta Sadi Carnot a enunciare i principi fondamentali della termodinamica"<sup>18</sup>, e saranno i principi della termodinamica, e la loro realizzazione nel termostato, a costituire l'oggetto paradigmatico della prima letteratura cibernetica. Nel passaggio da meccanica a termodinamica a cibernetica, è il problema dell'amplificazione e del rumore nei servomeccanismi e nei circuiti meccanici di controllo e informatici a dare origine a quest'ultima e alla

13 *Kata physin* e *para physin* sono termini aristotelici, presenti nella *Fisica* aristotelica e nella *Meccanica* dello Pseudoaristotele. Più che indicare l'opposizione tra ciò che avviene secondo natura e contro natura, indicherebbero piuttosto la distinzione tra ciò che accade spontaneamente in natura e ciò che accade per l'intervento di un agente "esterno". La *techné* interviene dunque a modificare un corso naturale non a stravolgerlo, perché agirebbe sempre secondo le medesime leggi. Colgo queste suggestioni da N. Russo, *Para physin. Spunti aristotelici, e non, intorno al concetto di macchina* in "Bollettino Filosofico" n. 38, 2023, pp. 98-106.

14 N. Russo, *Il contributo della teoria delle macchine alle scienze della natura e dell'uomo*, in Id., *Polymechanos Anthropos. La natura, l'uomo, le macchine*, Guida, Napoli 2008, pp. 55-111.

15 *Ibid.*

16 *Ivi.*, p. 87 s.

17 E. Mach, *La meccanica nel suo sviluppo storico critico*, a cura di A. D'Elia, Bollati Boringhieri, Torino 1992, p. 149 ss.

18 N. Russo, *Polymechanos Anthropos*, op. cit., p. 88.

teoria dei sistemi, che dipendono dal principio termodinamico dell'entropia nella formulazione boltzmaniana. Lo sviluppo dei primi calcolatori automatici, come vedremo, nasce da specifiche esigenze di razionalizzazione tecnica del lavoro cognitivo nell'epoca industriale, a cui i sistemi di controllo cibernetici promettevano una efficace soluzione.

La traducibilità scientifica di ciò che emerge a livello di arti meccaniche parte dal presupposto epistemologico della immediata analogia tra macchina e natura. Questa concezione, che possiamo vedere non ancora espressa nella matematica vedica, egizia o babilonese, è esplicita nella scienza alessandrina<sup>19</sup> e soprattutto nel meccanicismo moderno in Bacone, Descartes e La Mettrie. Poiché dunque la macchina funziona come la natura, da un lato essa può essere utilizzata per studiare i fenomeni naturali, e quindi anche il pensiero una volta naturalizzato, dall'altro lato la conoscenza scientifico-teorica delle leggi naturali può tradursi in via di principio in macchine che riproducono esattamente la natura<sup>20</sup>.

Nel meccanicismo moderno, nella sua impostazione "realista" o "naturalista"<sup>21</sup>, il rapporto tra scienza e tecnica si risolve a favore della scienza, in quanto conoscenza esatta di cause e dati che regolano la natura e devono dirigere consapevolmente ciò che l'artigiano o l'inventore realizzano inconsapevolmente<sup>22</sup>. Questo approccio, ben radicato nella nostra cultura, ha due bias di fondo; il primo di ordine logico: se è vero che le macchine funzionano grazie alle leggi di natura, non si può necessariamente inferire che la natura funzioni come una macchina. Il secondo è di ordine ontologico: la macchina non è mai neutrale trasposizione o imitazione della natura: essa da un lato agisce *para physin*, per via traversa rispetto alla natura,

19 Sul tema cfr. L. Russo, *La rivoluzione dimenticata*, Feltrinelli, Milano 1996, e anche L. Laino, *Cosa iscrive una macchina? Alcune ipotesi su tecnica e scienza*, in "Mechane", n.7, 2024, p. 39-53.

20 Nel *Novum Organon* leggiamo infatti: "La scienza e la potenza umana coincidono, perché l'ignoranza della causa preclude l'effetto, e alla natura si comanda solo ubbidendole: quello che nella teoria fa da causa, nell'operazione pratica diventa regola. F. Bacon, *Nuovo organo*, Bompiani, Milano 2002, p. 49.

21 Utilizzo questi termini nella stessa accezione espressa da Husserl nella *Crisi*, indicando l'"idolatria del fatto" di cui sarebbe vittima la scienza moderna. Husserl riteneva che l'origine di tale atteggiamento era ascrivibile a Galileo Galilei, il genio che scopre e occulta, e alla sua idea di un universo scritto in linguaggio geometrico. La scienza moderna ignora che il sistema di regole matematiche che regolerebbero il cosmo, lungi da essere espressione dei fatti in sé stessi, traevano altresì origine nella soggettività trascendentale; non esisterebbero dunque meri fatti empirici o un *data*, come crede il realismo, senza una coscienza che li esperisce. Cfr. E. Husserl, *La Crisi delle scienze europee e la fenomenologia trascendentale*, tr. it. E. Filippini, Il Saggiatore, Milano 2015.

22 Come accennato, il pregiudizio di un inconcusso primato della teoria sulla prassi affonda le proprie radici nella metafisica greca. Nella teoria della linea del VI libro della *Repubblica* Platone pone la *dianoia* e la *noesis* come il vertice della conoscenza, in conformità a un ordinamento ontologico dell'ente che vedeva il primato dell'intelligibile sul visibile (*Resp.* 509d-511e). Ancora, da presupposti diversi, Aristotele nella *Metafisica* classifica gerarchicamente le scienze in base all'universalità dei loro oggetti tematici (*Metaph.* VI, 1, 1025 b 1 – 1026 a 35).

dall'altro da una prospettiva strutturalista, come dicevamo, nasce sempre in seno a un determinato *Zeitgeist* di cui riproduce tensioni, aspettative e rapporti di potere e dominio, che costituiscono un apriori storico-culturale, che solo in un secondo momento la scienza traduce. Ciò spiega perché macchine, come ad esempio il termostato e la Turing Machine, incorporano principi scientifici che divengono pienamente espliciti in epoche successive. A questo si aggiunge che, se vi è trasposizione mimetica tra natura e macchina, allora nella macchina non si annuncia mai niente di nuovo, ma la presa d'atto e riproduzione di fenomeni naturali, cosa che è discutibile se si considera cosa sia e a cosa serva un acceleratore di particelle o un LLM. Che le cose non stiano così ce lo testimoniano anche l'etimologia, l'ontologia e la storia. Nella macchina è incorporata un'eccedenza dell'ingegno umano che supera la mera riproduzione della natura<sup>23</sup>. Macchinare è essenzialmente risolvere problemi. Se è vero che la termodinamica è legata alle macchine a vapore, così come l'informatica è legata ai *computer* e la cibernetica agli elaboratori analogici<sup>24</sup>, è anche vero che queste macchine non sono servite solo a raccogliere dati o ad imitare la natura, ma è stata la considerazione teorica del loro significato tecnico e teorico a divenire il fondamento dello studio scientifico della natura e suo criterio ermeneutico. Questo spiega anche perché una macchina informatica funziona secondo le leggi dell'elettronica, ma realizza le leggi della cibernetica prima ancora che la cibernetica nasca come scienza<sup>25</sup>. Spesso quindi la struttura tecnica precede le nozioni scientifiche che la vedrebbero spiegata. Questo perché, ancora seguendo Russo, la macchina è diversa dal meccanismo, che ne identificherebbe il mero funzionamento. Il meccanismo è spesso approntato grazie a regole scientifiche di livello inferiore a quelle che la macchina stessa realizzerebbe. Da questo punto di vista, la macchina paradigmatica è un "evento" che realizzerebbe ciò che la scienza

23 Un'analisi dell'irriducibilità della creatività umana alle rigide regole della necessità è stata operata da E. Garroni in *Creatività*, Quodlibet, Macerata 2024.

24 Ancora più radicalmente la l'intera impalcatura epistemologica della cibernetica si basa su equiparazione tra macchine calcolatrici, funzionanti grazie alla logica booleana e al sistema binario, e il cervello biologico. N. Wiener, *La cibernetica. Controllo e comunicazione nell'animale e nella macchina*, tr. it. G. Barosso, il Saggiatore, Milano 1968, pp. 159-178.

25 Cfr. *Ibid.* Le macchine calcolanti di cui parla Wiener sono effettivamente state sviluppate da Vannevar Bush negli anni 40 circa otto anni prima della pubblicazione del volume *La cibernetica*. Wiener lavorò a una loro implementazione, in particolare dell'analizzatore differenziale, a partire dal 1940 quando l'invasione nazista della Gran Bretagna sembrava imminente, per finalità di guerra, essenzialmente balistiche, e per la progettazione di ali di aeroplani. Wiener riuscirà poi a realizzare il predittore antiaereo in grado di prevedere le mosse future del nemico. Questo fu possibile a partire dalla considerazione del predittore come prototipo della mente di un pilota, e più generalmente dei sistemi umani di retroazione propriocettiva ed elettrofisiologica. Queste macchine calcolanti, peraltro, davano soluzione alle equazioni differenziali introdotte dal calcolo differenziale di Newton e Leibniz intorno al 1670 e implementato poi dai fratelli Jacob e Johann Bernoulli nel 1695. Ciò dimostra nei fatti la fondatezza dell'ipotesi della teoria delle macchine che vedrebbe la scienza agire un po' come la noddia di Minerva di hegeliana memoria rispetto alla macchina. Cfr. *Ibid.*, p. 25-26. Sul tema: P. Galison, *L'ontologia del nemico: Norbert Wiener e la visione cibernetica*, in "Discipline filosofiche", n. 17, 1, 2007, pp. 41-84.

comprende e tematizza solo in secondo momento; l'inventore, in alcuni casi, nel suo intuito realizza qualcosa che la scienza non è ancora in grado di comprendere pienamente<sup>26</sup>. In questo senso, ad essere trainante nel concepimento della macchina non è tanto la teoria scientifica o la presunta natura in essa mimeticamente incorporata, ma lo scopo per il quale essa viene costruita. È proprio la natura teleologica e tattico-artefattuale della macchina a costituire l'eccedenza di questa rispetto alla natura<sup>27</sup>. L'inventore pertanto, non è necessariamente lo scienziato geniale che

26    Si noti come questa concezione abbia più di una somiglianza con la teoria del genio in Kant e Schelling, a patto che per arte non considerino solo le arti figurative, ma la *techne* in senso lato e si epuri la concezione da una certo retroterra romantico-idealista. Possiamo sicuramente trarre alla definizione del genio nella *Critica del giudizio*, come colui che “dà la regola all'arte” e la “disposizione innata dell'animo innata mediante cui la natura dà la regola all'arte”, un modello interpretativo della figura dell'inventore rispetto allo sviluppo generale della scienza. In particolare il punto 2 del §46 Kant afferma che i prodotti del genio costituiscono esemplari che non sono frutto di imitazione. La macchina incorpora esattamente questo: un nuovo standard paradigmatico che non è una mera imitazione della natura o una messa in atto di regole e teorie. In un certo senso il genio dell'inventore, che occorre ricordarlo nella nostra prospettiva è sempre legato alla visione del mondo in cui l'inventore stesso esiste ed opera, è il campo di manifestazione della regola prima che essa risulti pienamente compresa e formalizzata. Ciò è possibile grazie all'immaginazione, che unisce una problematica empirica con dei principi superiori, in questo caso non le idee, bensì le teorie scientifiche precedenti. In questo modo, idee di epoche precedenti, trovano applicazione e realizzazione nella macchina, come nel caso della cibernetica descritta in *supra*: nota 46 e 47. Certo, nella nostra ricostruzione, ed è questo il punto di distacco dal soggettivismo kantiano che ci porterebbe in terreni transfiguratamente idealisti, occorre ricordare che il genio è sempre frutto di una storia e di una visione del mondo, e che ciò che si realizza della macchina non è unicamente la natura, ma anche l'intelletto generale nella sua accezione marxiana (cfr. *supra* nota 37). Per quel che riguarda i passi della *Terza critica* kantiana discussi, cfr. I. Kant, *Critica del Giudizio*, tr. it. A. Gargiulo, Laterza, Bari 2008, pp. 291 s.

27    La possibilità di una teleologia della natura è un tema vastissimo che non possiamo discutere in questo ambito, ci limitiamo a sottolineare che l'idea di una natura teleologicamente orientata è di matrice aristotelica e sopravvive ancor più durante la scolastica medievale, proprio perché la natura è considerata un *ens creatum*. Mentre in Aristotele il *telos* era immanente alla *physis* stessa, essendo il *theion* aristotelico non assimilabile al Dio cristiano completamente trascendente, nella metafisica scolastica, si pensi ad esempio a Tommaso, l'orientamento della stessa riposava sulla creazione. Questa impostazione sopravvive durante la modernità probabilmente fino all'800 quando Wiliam Paley nel suo lavoro *Natural Theology or Evidences of the Existence and Attributes of the Deity* ripropose la celebre analogia cartesiana dell'orologio e la prima esposizione della teoria del “disegno intelligente”. Il colpo decisivo alla teleologia naturale fu inflitto dalla Teoria dell'evoluzione di Charles Darwin e i suoi successivi sviluppi come la teoria della *exaptation* di Gould e Vrba. Darwin la affina proprio in una lettera del 22 maggio del 1860 all'amico botanico e cristiano Asa Gray che riportiamo in originale: “Rispetto alla visione teologica della questione, per me è sempre doloroso. Sono confuso. Non avevo intenzione di scrivere in modo ateistico. Ma ammetto che non riesco a vedere, con la stessa chiarezza di altri – e come vorrei io stesso – prove di un disegno e di una benevolenza che ci circondino da ogni parte. A mio avviso, c'è troppa miseria nel mondo. Non riesco a convincermi che un Dio benefico e onnipotente abbia deliberatamente creato gli Ichneumonidi con l'intento preciso che si nutrissero all'interno dei corpi ancora vivi dei bruchi, o che un gatto debba divertirsi a tormentare i topi. Non credendo a ciò, non vedo alcuna necessità di ritenere che l'occhio sia stato progettato in



intuisce le regole della natura grazie a una conoscenza più vasta e sintetica, può essere certamente anche questo, come la storia della AI ci conferma nelle persone di Turing e von Neumann, ma è essenzialmente un tecnico che intuisce una determinata finalità da realizzare nell'artefatto, integrando procedure tecnico-scientifiche e la comprensione della causalità naturale. Da questo punto di vista, il binomio scienza-tecnica, che è un *unicum* storico-culturale della razionalità occidentale, è una possibile declinazione dell'operare tecnico come universale antropologico, in base a cui non si può schiacciare la seconda come mera applicazione della prima. Pertanto, la scienza moderna potrebbe essere considerata come una teorica della struttura delle macchine.

L'equazione non sarebbe, quindi, immediatamente natura-macchina, ma quest'ultima, in quanto artefatto, è per natura un *medium*; la relazione è triadica e deve necessariamente coinvolgere un altro attore. Macchina è medio tra uomo e natura, come tale essa è un tipo particolare di strumento. La parola *mechane* deriva dal termine *mechos* che traduce essenzialmente il mezzo. Il mezzo presuppone sempre una intenzionalità; per quanto l'utilizzo di strumenti può essere diffuso e concretizzato in culture materiali nel mondo animale<sup>28</sup>, l'uso del mezzo per un fine determinato implica sempre un sapere previsionale circa i risultati attesi. L'essenza della macchina non è quindi sovrascrivibile "meccanicisticamente" allo strumento e al suo mero funzionamento, ma alla finalità del suo funzionare. La macchina è, secondo questo ragionamento, individuata dal raggiungimento del suo scopo. La macchina non è però nemmeno

modo esplicito. D'altra parte, non posso in alcun modo accontentarmi di considerare questo meraviglioso universo – e in particolare la natura umana – e concludere che ogni cosa sia frutto di mera forza bruta. Sono propenso a ritenere che tutto derivi da leggi deliberate, mentre i dettagli, buoni o cattivi che siano, siano lasciati a ciò che possiamo definire caso. Ma questa idea non mi soddisfa affatto. Sento nel profondo che l'intera questione è troppo complessa per l'intelletto umano, così come un cane potrebbe soltanto azzardarsi a speculare sulla mente di Newton. – Che ognuno sperì e creda come meglio può.». La lettera è visionabile al sito: <https://www.darwinproject.ac.uk/letter?docId=letters/DCP-LETT-2814.xml>. Per una trattazione di questi temi vedi T. Pievani, *La vita inaspettata. Il fascino di un'evoluzione che non ci aveva previsto*, Raffaello Cortina Editore, Milano 2011; J. Monod, *Il caso e la necessità*, tr. it. A. Busi, Mondadori, Milano 1986, che risolve la teleonomia nel concetto di invarianza riproduttiva. Una tentativo di naturalizzazione di istanze teleologiche è stato recentemente riproposto dal c.d. *Organizational account*, debitore al concetto "cibernetico" di organizzazione e organismo, e dalla teleologia esternalista di Daniel W. McShea. Sul tema vedi: L. Galli e E. N. Meinardi, *The Role of Teleological Thinking in Learning the Darwinian Model of Evolution*, in *Evolution: Education and Outreach*, n. 1, 4, marzo 2011, pp. 145–152; R. Dawkins, *The Blind Watchmaker: Why the Evidence of Evolution Reveals a Universe Without Design*, Norton, 1987, D. J. Depew, *Is Evolutionary Biology Infected with Invalid Teleological Reasoning?*, in *Philosophy and Theory in Biology*, n.2, 2010. Sulle nuove prospettive teleologiche segnalo una bella tesi di laurea di M. Gatti, *Il ritorno della teleologia nelle spiegazioni biologiche*, a.a. 2023/2024, Università di Padova, consultabile al sito: [https://thesis.unipd.it/retrieve/650d535a-19d8-4110-a530-e39dc05176fd/Gatti\\_Mirko.pdf](https://thesis.unipd.it/retrieve/650d535a-19d8-4110-a530-e39dc05176fd/Gatti_Mirko.pdf).

28 Sul tema vedi anche: C. Boesch, *Wild Cultures. A Comparison Between Chimpanzee and Human Cultures*, Cambridge University Press, Cambridge, 2014 e M. Tomasello, *Diventare Umani*, Raffaello Cortina Editore, Milano 2019.

sussumibile alla mera strumentalità; la sua natura artificiale implica che sia un mezzo, approntato secondo regola per un determinato fine. Uno strumento può essere anche un oggetto trovato in natura, come ad esempio quelli utilizzati dagli scimpanzé per ottenere miele<sup>29</sup>. Ciò che distingue la macchina nella categoria generale della strumentalità è piuttosto il suo agire indiretto: essa segue per ottenere il suo fine una via traversa<sup>30</sup>. *Mechane* è dunque essenzialmente una via traversa, un'espedito e un'astuzia in vista di un fine prefigurato, che non riprodurrebbe la natura, bensì la "forzerebbe" e supererebbe. Mentre l'attrezzo, come il martello o la forbice, puntano immediatamente allo scopo, la macchina, come ad esempio la leva o la macchina a vapore, lo otterrebbe mediante la trasformazione o il potenziamento dell'energia. La macchina non è, quindi, immediatamente identificabile con il suo meccanismo, anche se quest'ultimo è fondamentale per la sua individuazione. Da questa prospettiva, vediamo come le tecniche, anche le tecniche algoritmiche che menzioneremo tra poco, prefigurino le macchine. Tuttavia, affinché le tecniche algoritmiche diventino macchine "concrete" devono acquistare un certo grado di autonomia, devono essere, dunque, inglobate all'interno di un artefatto tecnologico che la realizzi. La storia della tecnologia è anche la storia di una sempre maggiore automazione delle compagini della macchina e del lavoro da essa svolta in vista di un fine. Pertanto, la macchina ingloba una causalità finale, ma anche una efficiente, deve avere una certa autonomia, o per usare un termine di moda: una *agency*; deve essere in grado di performare in maniera relativamente autonoma e ripetibile dopo la sua realizzazione. Autonomia, che ripetiamo è un tratto della cosiddetta natura, lo stesso però non può esser detto rispetto allo "a che" della causa finale. La macchina non è pensabile solo in base al suo lavoro, alla sua dinamica, al suo meccanismo, ma sempre in base al fine per cui è approntata. Il fine, tuttavia, è sempre eteronomo, in quanto istanza culturale o pratica: da questo punto di vista, il trascendentale che presiede alla tecnopoesi è identificabile come integrazione tra il piano culturale, il sistema dei bisogni e la struttura psico-fisiologica dell'umano. Laddove il meccanismo è privo di senso ed esibisce la relazione e la dinamica tra le sue parti, la macchina non è pensabile se non a partire dal piano trascendentale che la inverte, dalla sua teleologia che è sempre ad essa esterna e dalla subordinazione della causa efficiente alla causa finale. Essa presuppone sempre un mondo già dispiegato, una precomprensione storica della realtà, una tradizione, ma anche una tensione verso il non ancora, in sintesi: una teleologia. La precomprensione storica della realtà è essenzialmente la struttura in cui lo o gli inventori e ingegneri sono gettati, identificabile con l'immagine del mondo e della natura che storicamente si dà nell'apertura di senso di ogni cultura, nei rapporti economici, sociali, nei sistemi di valori e di conoscenze. Tale immagine del mondo vede

29    Cfr., W.C. McGrew, *Chimpanzee Technology*, in "Science", 328(5978), 579–580, 2010.

30    N. Russo, *Polymechanos Anthropos*, op. cit., p. 102.

nella tecnica meccanica come “trasformazione autonoma della prassi”<sup>31</sup> la sua massima espressione, nella catena di montaggio e nel computer, nella loro riduzione di lavoro e pensiero a dato computabile<sup>32</sup>, i suoi artefatti paradigmatici e nell’automazione, divisione e controllo del lavoro manuale e cognitivo il suo specifico tratto antropologico e culturale.

### 3. Algoritmi e regole

Bisogna ora porsi il problema se gli algoritmi rientrano in qualche modo nella definizione di macchina e in che modo la AI esprima la sua “essenza macchinica”. La AI è nel suo albero genealogico una evoluzione di quel particolare tipo di artefatti “cognitivi”<sup>33</sup>, che sono gli algoritmi. Per comprendere cosa sia la AI e la razionalità algoritmica, è necessario, pertanto, capire cosa siano gli algoritmi, come sono stati applicati nella storia dell’umanità, e in che misura possano essere definiti una specie *mechane*. A darci una definizione formalmente completa di algoritmo ci pensa Jean-Luc Chabert nella sua monumentale curatela *A History of Algorithms. From Pebble to the Microchip*:

Oggi, un algoritmo è definito come un insieme finito e organizzato di istruzioni, destinato a fornire la soluzione a un problema e che deve soddisfare determinate condizioni. Un esempio potrebbe essere:

1. L’algoritmo deve poter essere scritto in un certo linguaggio: un linguaggio è un insieme di parole scritte utilizzando un alfabeto definito.
2. La questione posta è determinata da alcuni *data* già dati, chiamati input, per i quali l’algoritmo verrà eseguito.
3. L’algoritmo è una procedura che viene eseguita passo dopo passo.
4. L’azione in ciascun passo è strettamente determinata dall’algoritmo, dai dati di input e dai risultati ottenuti nei passi precedenti.
5. La risposta, chiamata output, è chiaramente specificata.
6. Qualunque siano i dati di input, l’esecuzione dell’algoritmo terminerà dopo un numero finito di passi<sup>34</sup>.

31 Cfr. M. Heidegger, *Sentieri interrotti*, tr. it. P. Chiodi, La Nuova Italia, Firenze 1968, p. 72.

32 Questa concezione è stata sviluppata da M. Heidegger nella conferenza del 1965 per Bisswanger edita poi in edizione italiana come *Filosofia e Cibernetica*, a cura di A. Fabris, Edizioni ETS, Pisa 1988.

33 Utilizzo qui il termine in senso lato, indicando un qualcosa che facilita il pensiero o il raggiungimento di un risultato cognitivo. Chiariremo dopo in che senso l’algoritmo può esser definito una macchina o pseudo-macchina cognitiva. Sul tema degli artefatti cognitivi cfr. M. Fasoli, *Artefatti cognitivi*, in “APhEx” n.20, 2019.

34 J.-L. Chabert (ed.), *A History of Algorithms. From Pebble to the Microchip*, Springer, Heidelberg 1999, p. 455.

Questa definizione, assai larga, ci permette di annoverare tra gli algoritmi qualsiasi serie di operazioni effettuate a partire da procedure determinate. Lorraine Daston nel suo *Rules*<sup>35</sup> inserisce gli algoritmi in una storia generale delle regole. Daston riconosce tre tipologie di regole: algoritmi, leggi e modelli: l'algoritmo è una regola che dev'essere seguita inequivocabilmente, senza interpretazione e contestualizzazione, laddove leggi e modelli indicherebbero delle procedure sì determinate, ma più flessibili. Ad ogni modo, secondo la storia della scienza, antichi ricettari, rituali, le procedure standard per ottenere un determinato artefatto, operazioni, matematiche, tavole delle leggi e software apparterebbero alla macrocategoria di regole attraverso le quali l'uomo tenta di dare stabilità al mondo, evidenziandone la regolarità e la prevedibilità dei processi<sup>36</sup>. Rispetto alle regole, gli algoritmi si distinguono per la loro natura aritmetica e in un certo senso macchinica. *Inizio modulo*

Tali artefatti non sono affatto nuovi, ogni procedura di tipo matematico che ci dia un determinato output dopo un numero determinato e codificato di operazioni e regole è ascrivibile alla categoria. Molto spesso, tuttavia il discorso pubblico identifica l'algoritmo o la procedura algoritmica come un che di astratto. In realtà, proprio in quanto fattispecie di regole, gli algoritmi hanno come pretesa di fondo la regolarizzazione, la previsione e l'ottimizzazione della realtà, più che una semplice descrizione, e questo sin dall'inizio è un loro tratto ontologicamente costitutivo. Da un punto di vista operativo, l'algoritmo è una tecnica che reca in sé un'istanza di governo<sup>37</sup> e ordine del reale e, in quanto tale, è latore di un'istanza di dominio<sup>38</sup>. Qui non si tratta solo di portare la natura davanti al tribunale della ragione, sebbene questa sia un'istanza fondamentale, ma di indagarne la prevedibilità o cercare

35 L. Daston, *Rules. A History of What we live by*, University press, Princeton 2022.

36 Citiamo un passaggio: "Un'isola di stabilità e prevedibilità in un mondo tumultuoso, qualunque sia l'epoca o il luogo, è il risultato arduo e sempre fragile della volontà politica, dell'infrastruttura tecnologica e di norme interiorizzate. In qualsiasi momento essa può essere improvvisamente travolta da guerra, pandemia, disastro naturale o rivoluzione. In simili emergenze, regole sottili diventano improvvisamente più spesse, regole rigide diventano flessibili e regole generali si fanno specifiche" (*Ibid.*).

37 Foucault con il termine governo intendeva la capacità di "strutturare il campo di azione possibile degli altri" quindi di dirigere la condotta altrui (M. Foucault, *Perché studiare il potere*. M. Foucault, *Perché studiare il potere. La questione del soggetto*, in H. Dreyfus, P. Rabinow, *La ricerca di Michel Foucault. Analitica della verità e storia del presente*, Ponte alle grazie, Firenze, 1989, p. 249). In questo contesto l'alterità è intesa in maniera più larga rispetto alla definizione foucaultiana, non solo come l'altro uomo, ma come l'alterità in generale non-egoica, quindi anche la natura, o il mondo come la totalità dell'ente.

38 Quando uso la parola dominio, intendo con Nietzsche, qualcosa di moralmente neutrale (anzi pre-morale), alludo cioè alla semplice volontà di potenza e governo, che si estroflette nel tentativo di regolarizzazione e messa in forma della realtà. È da intendere, pertanto, da un punto di vista fisio-logico, etologico, antropologico; infatti, laddove c'è vita, lì c'è anche una tendenza al dominio e alla trasfigurazione. Sul tema cfr. F. Nietzsche, *Su verità e menzogna in senso extramorale*, a cura di F. Tomatis, Bompiani, Milano 2006.

di ottimizzare o velocizzare alcuni dei suoi processi. Per allacciarci al nostro tempo corrente, sappiamo che gli algoritmi predittivi di cui la rete è popolata sono tutt'altro che "immateriali" nell'accezione ingenua del termine, ma sono, piuttosto, procedure ben determinate attraverso cui le piattaforme – tra cui i cosiddetti Tech Giants o GAFAM – riescono a monitorare, prevedere e monetizzare il nostro comportamento, come il best seller di Shoshana Zuboff *The age of Surveillance capitalism* ha argomentato<sup>39</sup>. Gli algoritmi dunque, oltre ad essere artefatti matematici e simbolici, ed in quanto tali "al di là del bene e del male", se utilizzati per sviluppare e implementare tecnologie decisionali o aletheiologiche<sup>40</sup> come il machine learning e la AI, possono estendere la loro istanza di razionalizzazione, di previsione al parco umano, divenendo vere e proprie tecnologie esplicite del dominio<sup>41</sup>. In questa via implicita e traversa risiede parte del loro carattere macchinico.

La scoperta degli algoritmi è tuttavia assai più antica dell'invenzione dei moderni *computers*. Come è noto, il nome algoritmo risale a Muhammad ibn Musa al-Khwarizmi, un matematico arabo originario della città di Khwarizm (attualmente Khiva) il cui testo scritto intorno all'825 *Hisab al-jabr w'al-muqabala*<sup>42</sup> diede anche nome all'algebra. Esempi di algoritmi archetipici sono ancora più antichi: sia la formula algebrica della matematica sessagesimale babilonese per la risoluzione dell'equazione di secondo grado, sia le costruzioni geometriche greche possiedono le caratteristiche di riduzione e costruzione esplicitate nel lavoro di al-Khwarizmi<sup>43</sup>. Come sottolinea Paolo Zellini, un'implementazione della matematica antica è dovuto a contesti religiosi. Sembrerebbe dunque che quelle che noi oggi denominiamo matematica, religione e metafisica nelle civiltà antiche non costituissero ambiti così separati dell'esperienza. Esse dividevano problemi comuni come l'equivalenza di figure di diversa forma, i principi e le regole del movimento e della generazione in generale. "Dai problemi posti dagli dèi provengono i cardini

39 S. Zuboff, *Il capitalismo della sorveglianza, Il futuro dell'umanità nell'era dei nuovi poteri*, tr. it. P. Bassotti, Luiss University Press, Roma 2019.

40 La definizione di macchina aletheiologica, come macchina capace di produrre verità e interpretazioni è presa da E. Sadin, *Critica della ragione artificiale. Una difesa dell'umanità*, tr. it. F. Bononi, Luiss University Press, Roma 2019.

41 Per la verità, Evgeny Morozov è più attento e sottile di Zuboff nella sua recensione a *Il capitalismo della sorveglianza* intitolata *Capitalism's New Clothes* quando afferma che l'idea di un sodalizio senza precedenti tra capitalismo industriale e rivoluzione digitale è in realtà figlia di una prospettiva sbagliata. Secondo Morozov la tematica del surplus comportamentale, che gli algoritmi trasformerebbero in un prodotto scambiabile nel processo di valorizzazione del capitale, è, lungi dall'essere una dinamica nuova, nient'altro che "non riconosciuta riproposizione dei meccanismi di feedback dibattuti dalla cibernetica nel 1940" (E. Morozov, *Capitalism's New Clothes*, in "The Baffler", 4.2.2019, <https://thebaffler.com/latest/capitalisms-new-clothes-morozov>). Sul tema vedi anche V. Pinto, *Tecnologie ambientali di governo. Dalla machine à gouverner alla governamentalità algoritmica*, in L. De Stefano (a cura di), *Tecnica e coesistenza, Prospettive antropologiche, fenomenologiche ed etiche*, op. cit., p. 49-62.

42 Tradotto: calcoli mediante costruzione e riduzione.

43 Sul tema cfr. C.B. Boyer, *Storia della matematica*, tr. it. A. Carugo, Mondadori, Milano 1990, pp. 264-287

di un pensiero senza il quale la matematica sarebbe oggi impensabile”<sup>44</sup>. Il pensiero algoritmico originario nasce essenzialmente dal problema della commensurabilità delle figure di forma diversa, ma anche dal tentativo di comprendere *genesis* e *dynamis* secondo incrementi regolari<sup>45</sup>.

Le prime tracce di questo pensiero sono rinvenibili probabilmente nei *ulvas tra* (Sutra della corda, ovvero lo strumento assieme ai paletti per calcolare le misure dei rituali). Uno dei rituali più antichi ancora oggi celebrati, il rituale Indù dell’Agnicayana descritto nella menzionata appendice dei Veda dedicata alla geometria, è basato su procedure di tipo matematico. Il rito simbolizza la rinascita del dio Prajapati smembrato durante la nascita dell’universo, la cui ricomposizione è basata sulla giustapposizione di mattoni fino a comporre la figura di un falco. Ogni mattone è posizionato secondo un processo definito accompagnato da mantra<sup>46</sup>, ed è esso stesso un dio da invocare secondo la Upanishad. Come sottolinea Pasquinelli, che riprende gli studi di Zellini, la procedura seguita nel rituale rientra a tutti gli effetti nella regolarità algoritmica definita e testimonia l’originario radicamento socio-materiale delle procedure matematiche, riflettenti la differenza tra lavoro materiale e sociale del sistema di caste<sup>47</sup>. In questo rituale assai complesso il sapere procedurale, che non è mai meramente astratto, ma anche pratico, è mediato dal sistema regolatorio sociale e religioso nella sua esigenza di esattezza, in una convergenza peculiare tra esercizio spirituale e disciplinamento dell’azione e del lavoro. Anche nella storia del pensiero greco troviamo simili processi. Il raddoppiamento dell’area del quadrato negli Elementi di Euclide<sup>48</sup> mediante lo gnomone, una figura a forma di L, che aggiunta a un parallelogramma ne produce uno di diverse dimensioni ma simili, sembra ispirato agli stessi principi incrementali della costruzione dell’altare nel rito dell’Anjicayana. Nella filosofia pitagorica il numero è il medio che armonizza gli enti con l’anima rendendoli oggetto di episteme<sup>49</sup>. La natura dominatrice del numero è visibile nei fatti demonici e divini, ma soprattutto nelle

44 P. Zellini, *La matematica degli dèi e gli algoritmi degli uomini*, Adelphi, Milano 2016, p. 29.

45 Zellini sottolinea come tuttavia la geometria vedica si fondi su costruzioni geometriche che, in epoche successive, trovano una corrispondenza negli *Elementi* di Euclide. Tuttavia, le due tradizioni non perseguono sempre gli stessi obiettivi: negli *Elementi* emerge il rigore delle dimostrazioni matematiche, mentre nei *Sulvasūtra* prevale l’idea di una trasformazione dinamica delle figure geometriche e il principio secondo cui la forma rimane invariata al variare delle dimensioni.

46 *Ibid.*, p. 46.

47 M. Pasquinelli, *The Eye of the Master A Social History of Artificial Intelligence*, op. cit. p. 25.

48 La cosiddetta dimostrazione geometrica del binomio:  $(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$ .

49 Da questo punto di vista, il realismo galileiano è un pitagorismo integrale. In particolare vedi: G. Galilei, *Il Saggiatore*, in *Opere VI*, Ed. Naz. a cura di Favero, Barbera, Firenze 1968, p. 232. Una importante testimonianza è in Filolao DK 44 B11: “ora questo (il numero n.d.a.) armonizzando tutte le cose con la percezione nell’interno dell’anima, le rende conoscibili e tra loro commensurabili secondo la natura dello gnomone (*katà gnōmonos physin*), perché compone e scompone i singoli rapporti tra le cose, delle illimitate come delle limitanti. H. Diels, W. Kranz, *I presocratici*, a cura di G. Reale, Bompiani, Milano 2006, pp. 841-843.

opere tecniche umane, inclusa la musica. Il numero è potenza (*dynamis*) che domina e promette un dominio sulla realtà, chi lo padroneggia possiede la legge del divenire e la chiave della *physis*. Da questo punto di vista, la posizione pitagorica non è troppo differente al realismo moderno di matrice galileiana, in cui il dominio matematico della legge naturale si traduce nella possibilità di una conoscenza esatta della natura. Tuttavia, come vedremo, le due posizioni non sono integralmente sovrapponibili, in quanto nella fisica greca la *physis* non è ancora esplicitamente un *ens creatum*, non avrebbe pertanto una origine artificiale, per quanto divina; il realismo greco non prevede una mediazione concettuale con l'“artificiale” per comporre *logos* umano e *logos* del mondo<sup>50</sup>. Rispetto allo eracleismo, questa posizione rappresenterebbe una estremizzazione qualitativa del *logos* del frammento DK 22 B1. Il *logos* nella sua accezione di misura e ragione del *kosmos* è immediatamente numero. Gli enti crescono e decrescono secondo rapporti incrementali ed algoritmici. Seguendo ancora Zellini, vediamo che i numeri pitagorici si possono immaginare come punti disposti in modo ordinato nello spazio, dove la loro crescita segue un principio geometrico proprio dello gnomone.

La traduzione degli antichi Śulvasūtra vedici di Baudhāyana, realizzata da George Thibaut nel XIX secolo, ha rivelato un'interessante analogia con i numeri pitagorici: anche nella costruzione degli altari vedici, come quello dedicato ad Agni, si seguiva un principio simile. Si partiva da un quadrato di 4 mattoni e, aggiungendone 5, si creava un quadrato di 9, poi 7 per arrivare a 16, e così via. Questo processo rifletteva un'idea di crescita potenzialmente infinita.

Questa modalità di accrescere le figure è stata allo stesso modo esposta da Euclide per spiegare la crescita del quadrato geometrico e algebrico. Nel suo teorema (Elementi, II, 4), dimostra che il quadrato di una somma ( $a + h$ ) può essere scomposto nel quadrato di  $a$ , quello di  $h$ , e due volte il rettangolo con lati  $a$  e  $h$ . Questa stessa formula venne poi utilizzata da Newton e Raphson per sviluppare un metodo iterativo che approssimava radici quadrate.

L'idea centrale è che il cambiamento, rappresentato dall'aumento di un segmento, segue regole precise algoritmiche che Euclide aveva già intuito. Più tardi, Brook Taylor formalizzò questo concetto introducendo la formula di Taylor, un principio fondamentale del calcolo differenziale che analizza come una funzione varia con piccoli incrementi della variabile. Questo ha portato allo sviluppo di metodi per calcolare minimi e massimi di funzioni, basilari in campi come l'ottimizzazione

50 È noto infatti il pudore aristotelico nell'equiparazione tra *poliumena* e *physei onta* nel secondo libro della *Fisica* (cfr. Aristotele, *Phys.* II, 192b ss.), che da un lato esprime una prospettiva generale della visione del mondo greca, dall'altro, come spesso è nel caso dello Stagirita, determina il criterio interpretativo futuro dell'ente tecnico. Per la verità una prima equiparazione tra gli enti tecnici e gli enti naturali in quanto “generati” si ha nel mito del demiurgo nel *Timeo* platonico, che però appunto è un mito. L'idea di una modellizzazione della natura e di una sostanziale analogia tra natura e macchina emerge nella scienza alessandrina. Sul tema vedi L. Laino, *Cosa “inscrive” una macchina? Alcune ipotesi su tecnica e scienza*, op. cit. e A. Jones, *La macchina del cosmo, La meraviglia scientifica del meccanismo di Anticitera*, Hoepli, Milano 2019, p. 299.

e il machine learning. Tuttavia, metodi iterativi come quello di Newton possono risultare instabili in alcune circostanze, ad esempio quando i valori numerici crescono rapidamente o si verificano arrotondamenti eccessivi. Questi problemi si ripropongono anche nei calcoli moderni, come nei processi di apprendimento automatico, dove la minimizzazione degli errori gioca un ruolo centrale ma non sempre garantisce risultati stabili<sup>51</sup>.

La riproduzione mimetica dell'operare del divino, o della *dynamis* fisica, non è l'unica modalità esplicativa del pensiero algoritmico. Anche il pensiero umano e il ragionamento sono interpretati in via di principio come riproducibili algoritmicamente, o quantomeno, standardizzabili in formule. Se è matematizzabile l'ordine del *kosmos*, allora anche l'anima che di questo ordine è parte, è in via di principio razionalizzabile nei suoi processi. Questa prospettiva, che rimane implicita nell'antichità, giungerà a piena coscienza di sé nel meccanicismo moderno, e finanche nella cibernetica e nelle scienze cognitive.

Nell'antichità, passando dalla *physis* al pensiero puro, Aristotele nei *Topici* tenta un trattamento sistematico delle definizioni e negli *Analitici primi* dei sillogismi come primo tentativo di un metodo logico obiettivo di decisione<sup>52</sup>. Fu poi Lullo a progettare nel 1274 nella sua *Ars Magna* un metodo logico in cui il pensiero potesse essere ridotto e standardizzato in algoritmi. Il tentativo lulliano era di ridurre il pensiero a termini semplici da cui dovevano risultare tutte le verità possibili. Questi termini dovevano essere nove predicati assoluti, nove predicati relativi, nove questioni, nove soggetti, nove virtù e nove vizi. La mnemotecnica lulliana, come sappiamo ebbe una relativa fortuna nel Rinascimento e trovò il suo massimo interprete in Giordano Bruno.

Nella modernità il tentativo razionalista di ridurre il pensiero, la *res cogitans*, che ancora manteneva in Descartes una sua autonomia metafisica<sup>53</sup>, a calcolo trova in Thomas Hobbes un autorevole esponente. Nel *Leviatano* leggiamo:

Quando una persona ragiona, non fa altro che concepire una somma totale risultante dall'addizione di parti o un resto derivante dalla sottrazione di una somma da un'altra. Fare la stessa cosa con le parole significa concepire in successione conseguente i nomi di tutte le parti fino al nome dell'intero oppure il nome dell'intero e di una parte fino al nome dell'altra parte [...]. Queste operazioni non riguardano soltanto i numeri, ma ogni specie di oggetti che possano essere addizionati e sottratti gli uni agli altri [...]. La ragione non è altro che il calcolo (cioè l'addizionare e il sottrarre) delle conseguenze dei nomi generali che sono stati stabiliti di comune accordo per notare e significare i nostri pensieri.<sup>54</sup>

51 Per il passo originale cfr. P. Zellini, *La matematica degli dei, gli algoritmi degli uomini*, op. cit., p. 59-65.

52 Cfr. *Analitici primi*, 45b.

53 R. Descartes, *Meditazioni metafisiche*, in *Opere* a cura di G. Belgioioso, Bompiani, Milano 2012 pp.713-725.

54 T. Hobbes, *Leviatano*, a cura di A. Pacchi, Laterza, Bari 2005, p. 34.



Il discorso puramente nominalista hobbesiano identifica il *logos* con la categoria della operatività. Hobbes preconizza la riduzione del pensiero ad operazioni di tipo logico matematico, che troverà una esplicita tematizzazione nella *Dissertatio de arte combinatoria* di Leibniz, precedente il metodo di aritmetizzazione algoritmica sviluppato da Gödel negli anni 30<sup>55</sup>. Come è noto, Leibniz, che era pensatore assai raffinato, distingueva tra le verità di ragione e le verità di fatto, le prime della logica, le seconde proprie della scienza. Tra le due corre la stessa differenza che esiste tra numeri razionali ed irrazionali: così come per i numeri irrazionali occorre una infinita scomposizione, anche per le verità di fatto è necessaria un'analisi infinita che pertiene solamente a Dio. L'uomo può invece legittimamente ambire a una conoscenza esatta delle verità di ragione mediante una apposita *ars judicandi*. Di fatto Leibniz pone esplicitamente le basi per il ragionamento algoritmico; citiamo un passaggio dal *De scientia universalis*:

Quando sorgeranno delle controversie non ci sarà maggior bisogno di discussione fra due filosofi di quanto ce ne siano tra due calcolatori. Sarà sufficiente, infatti, che essi prendano la penna in mano, si siedano a tavolino, e si dicano reciprocamente (chiamando, se vogliono a testimone un amico): *Calculemus!*<sup>56</sup>

L'intuizione leibniziana che la logica sillogistica potesse essere formalizzata e resa algoritmica sulla base di logica proposizionale ed algoritmi<sup>57</sup> si è dimostrata giusta, e fu perfezionata dai contributi di Eulero, Gergonne, Boole<sup>58</sup>. In particolare, sarà l'algebra o logica booleana a fondare l'algoritmo paradigmatico per tradurre le leggi del pensiero in linguaggio formale<sup>59</sup>. Su questa scia si colloca anche lo

55 K. Gödel, *Über formal unentscheidbare Sätze der Principia mathematica und verwandter Systeme I*, in "Monatshefte für Mathematik und Physik", n.38, 1931, pp. 173-198.

56 G.W. Leibniz, *De scientia universalis seu calculo philosophico*, in *Philosophische Schriften* Bd. 7, hrsg. G. Gerhardt, Berlin, 1875, pp. 173-198.

57 Sul tema vedi M. Davis, *Il calcolatore universale. Da Leibniz a Turing*, tr. it. G. Rigamonti, Adelphi, Milano 2012.

58 Cfr. P. Odifreddi, *Perenni indecisioni*, in H. Hosni (a cura di), *Menti e macchine. Alan Mathison Turing a cento anni dalla nascita*, Edizioni della Normale, Pisa 2015.

59 La logica booleana, sviluppata dal matematico e logico inglese George Boole, rappresenta un contributo fondamentale alla formalizzazione del pensiero logico e una pietra miliare nella storia della scienza. La sua opera principale, *The Mathematical Analysis of Logic* (1847), segna l'inizio della formalizzazione del ragionamento logico attraverso simboli matematici, mentre in *An Investigation of the Laws of Thought* (1854) affrontò sistematicamente i principi del pensiero umano e il loro rapporto con le strutture logiche. Basata su operatori logici (AND, OR, NOT) per rappresentare relazioni tra proposizioni, la logica booleana consente l'analisi di processi decisionali complessi in termini rigorosi. La sua natura binaria – con proposizioni che assumono valori vero (1) o falso (0) – ha rivoluzionato non solo la logica formale, ma anche la filosofia della scienza, offrendo strumenti per verificare la coerenza di teorie scientifiche e formalizzare il metodo scientifico. Il lavoro di Boole ha ispirato discipline come l'informatica e la teoria dell'informazione; ad esempio, Claude Shannon utilizzò l'algebra booleana per sviluppare la teoria dei circuiti logici, base dell'elettronica digitale moderna. Le riflessioni sullo statuto ontologico della logica booleana continuano a porre in questione i fondamenti epistemologici

*Entscheidungsproblem* di Hilbert e Ackermann<sup>60</sup>. La strada era spianata per Turing e per il suo tentativo, in quel momento solamente teorico, di costruire una macchina universale in grado di eseguire qualsiasi tipo di algoritmo, e quindi, potenzialmente, qualsiasi tipo di ragionamento.

#### 4. Algoritmi e macchine

Accanto alla storia della scoperta di algoritmi come tecniche del pensiero umano, ne esiste una contemporanea, riguardante la progettazione e la costruzione di macchine calcolatrici per implementare ed automatizzare l'uso di tali algoritmi. Le due storie convergono, come già detto, nell'intelligenza artificiale come unione del software e dell'hardware. Prototipi di quest'ultimo sono tutte le macchine nate per facilitare le operazioni di calcolo come ad esempio l'abaco, il mesolabio e i *quipu* incaici. Facendo un salto di diversi secoli nella modernità, nel 1642 Blaise Pascal costruì la famosa pascalina, una macchina a ruote dentate per fare somme e sottrazioni. Leibniz poi nel 1671 realizzò una macchina a rulli per fare i prodotti. Charles Babbage cercò di sostituire il calcolo manuale, tradizionalmente eseguito dai "computer umani"<sup>61</sup> con macchinari automatizzati. La sua *Difference Engine*, celebrata come precorritrice dei moderni computer, fu ispirata dalla necessità di tabelle logaritmiche prive di errori, cruciali per la navigazione e l'astronomia, soprattutto durante l'espansione coloniale britannica. Ispirandosi al "metodo delle differenze" di Gaspard de Prony, che divideva calcoli complessi in piccoli compiti manuali, Babbage immaginò di meccanizzare questi processi ripetitivi usando macchinari alimentati a vapore.

L'innovazione di Babbage derivava dai principi industriali da lui esposti in *On the economy of Machinery and Manufactures*, che anticipa di un secolo l'opera di Taylor *The principles of scientific managment*; dobbiamo dunque annoverare Babbage tra i primi teorici della divisione del lavoro in ambito industriale, che per-

delle teorie scientifiche da un lato, e dall'altro la natura stessa del pensiero, evidenziando il valore delle strutture formali per comprendere leggi e ragionamenti scientifici. La logica booleana non è dunque solo un sistema formale, ma una lente epistemologica per interpretare le relazioni logiche centrali al metodo scientifico.

60 D. Hilbert, W. Ackermann, *Grundzüge der theoretischen Logik*, Springer, Berlin 1928.

61 In passato, i computer erano persone che eseguivano calcoli seguendo metodi precisi. Questi computer umani facevano i tipi di operazioni che oggi vengono svolte dai computer elettronici e lavoravano in settori come il commercio, il governo e la ricerca. A partire dagli anni 20, si iniziò a usare sempre più il termine "macchina per il calcolo" per indicare qualsiasi dispositivo in grado di svolgere il lavoro di un computer umano, ovvero una macchina capace di eseguire calcoli con metodi efficaci. Tra la fine degli anni 40 e l'inizio degli anni 50, con l'arrivo delle macchine elettroniche per il calcolo, l'espressione "*computer machine*" fu progressivamente sostituita dalla parola "computer", spesso preceduta da "elettronico" o "digitale". Questo testo ripercorre la storia di queste macchine. Cfr., J Copeland, *The modern history of computing*, in "Stanford Encyclopedia of Philosophy", 2000.

metteva di scomporre i compiti in moduli e calcolare con precisione i costi (il cosiddetto principio di Babbage). Le sue macchine riflettevano questa organizzazione, automatizzando e velocizzando, come nota Pasquinelli<sup>62</sup>, il lavoro mentale così come gli strumenti industriali meccanizzavano il lavoro manuale<sup>63</sup>. Sebbene la Difference Engine fosse limitata – non programmabile e con hardware e software unificati – la sua Analytical Engine, mai realizzata, separava teoricamente operazioni e dati sfruttando un sistema a tessere perforate, brevettato da Jacquard nel 1801 nei suoi telai<sup>64</sup>. Si vede come il calcolare umano, conformemente alla teoria della macchina, venga ottenuto, surrogato ed implementato grazie a soluzioni meccaniche e tecniche prese a prestito da epoche differenti.

La collaboratrice di Babbage, Ada Lovelace, ampliò le sue idee, riconoscendo il potenziale delle macchine nel manipolare simboli oltre i numeri, come la musica o le relazioni astratte. Lovelace immaginava la macchina come uno strumento per il calcolo generalizzato, pur respingendo l'idea che potesse “pensare” autonomamente come l'essere umano. Nel suo lavoro di traduzione edito nel 1843 del lavoro di Luigi Menabrea *Notions sur la machine analytique de M. Charles Babbage*, noto poi come *Menabrea's paper*, Lovelace nella nota G del manoscritto descrive un algoritmo per la Analytical Engine per computare i numeri di Bernoulli, indivi-

62 M. Pasquinelli, *Eye of the Master*, op. cit., p. 54.

63 Babbage aveva ben chiara la necessità eminentemente pratica e non teorica della sua macchina, come testimonia il capitolo *On the Division of Mental Labour* del suo lavoro del 1832 *On the economy of Machinery and Manufactures* (Cambridge, University press).

64 L'idea di fondo di Babbage era quella di realizzare una macchina in grado di automatizzare qualsiasi calcolo aritmetico. Babbage aveva già lavorato su un progetto precedente, la Difference Engine, progettata per calcolare tabelle matematiche specifiche (soprattutto polinomi). L'Analytical Engine, invece, avrebbe dovuto essere molto più potente e flessibile, in grado di essere “programmata” per eseguire una varietà di operazioni diverse. Per farlo, Babbage riconvertì un'idea rivoluzionaria: i telai Jacquard, strumenti che impiegavano schede perforate per selezionare i disegni da tessere. Se nel telaio Jacquard i fori nelle schede decidevano il percorso dei fili per creare motivi nel tessuto, nella Analytical Engine essi avrebbero indicato quali operazioni eseguire e su quali dati. La macchina, avrebbe avuto due sezioni principali: una memoria, chiamata “Store”, e un'unità di calcolo, detta “Mill”. Nel “Store” sarebbero stati immagazzinati i numeri – e quindi tutti i dati necessari al calcolo – mentre il “Mill” sarebbe stato il “cervello meccanico” della macchina, responsabile dell'esecuzione vera e propria delle operazioni aritmetiche (come addizione, sottrazione, moltiplicazione e divisione). Il meccanismo del “Mill” prevedeva un complesso sistema di ruote dentate, leveraggi e ingranaggi capaci di gestire il passaggio dei numeri e realizzare quei movimenti di “riporto” (*carry*) che conosciamo quando eseguiamo operazioni in base decimale. L'abilità di effettuare correttamente il riporto e, nel caso delle sottrazioni, il “prestito”, era cruciale per garantire risultati matematicamente accurati. Questa architettura ha costituito l'archetipo della TM. Per istruire la macchina su cosa fare, Babbage immaginò due tipi di schede perforate: alcune avrebbero contenuto i numeri da immettere nel “Store” (cioè i dati), altre avrebbero definito le operazioni da eseguire (le istruzioni vere e proprie o l'algoritmo). Questo sistema riflette l'idea di un “programma” – in altre parole, una sequenza ordinata di istruzioni che la macchina avrebbe letto e seguito. Sulla base di queste schede, la Analytical Engine avrebbe saputo quando sommare, moltiplicare, ripetere più volte un calcolo oppure passare a un'altra operazione.

duati nel 1712. Anche qui vediamo, conformemente alla teoria delle macchine, come questo primo algoritmo per l'implementazione di un computer, fin qui solo teorico, prefiguri nella sua realizzazione qualcosa che tecnicamente solo in epoche successive, con la macchina di Turing e con il machine learning sarà possibile realizzare e, ad un tempo, applichi problematiche scientifiche di epoche precedenti.

Le intuizioni di Babbage e di Lovelace furono realizzate ben prima che la cibernetica e l'informatica si sviluppassero come scienze propriamente dette. Il lavoro di Babbage rappresentava l'intersezione tra innovazione tecnologica, pianificazione economica e gerarchia sociale. La sua visione meccanizzava non solo il lavoro, ma anche la sua misurazione, incorporando la logica della fabbrica e dell'ottimizzazione dei costi nella progettazione delle macchine. Questo gettò le basi per il paradigma computazionale moderno, con implicazioni di vasta portata per l'automazione e l'intelligenza artificiale. Vediamo qui come sia l'apriori storico culturale, unito a una necessità di razionalizzare, per una via traversa, il lavoro, ad aver informato questo tipo di macchina.

Da un certo punto di vista, i modelli contemporanei di intelligenza artificiale basati sul machine learning come i LLM rispondono ad un'esigenza assolutamente simile di automatizzazione e implementazione del lavoro cognitivo. Di poco successivo alle invenzioni di Babbage è il Logic Piano di Jevons, la prima macchina logica automatica in grado di risolvere problemi ed effettuare operazioni logiche espresse secondo la logica booleana ad un elevatissima velocità<sup>65</sup>.

Ma fu nel Novecento Alan Turing a dare un impulso decisivo allo sviluppo dell'intelligenza artificiale e in generale all'incorporazione dell'algoritmo nella macchina, concependo nel 1936 la Macchina di Turing (TM), un modello teorico che simula il calcolo umano attraverso un nastro infinito e un insieme di regole<sup>66</sup>. La TM, ideale progenitrice dei moderni computer, poteva replicare processi logici e simulare il pensiero, inteso come calcolo simbolico. Turing sviluppò anche il concetto di Macchina Universale di Turing (UTM), capace di eseguire qualsiasi algoritmo. Durante la Seconda Guerra Mondiale, il matematico inglese contribuì alla progettazione di Colossus, il primo calcolatore elettronico programmabile, utilizzato per decrittare codici nazisti prodotti da un'altra macchina: Enigma, progettata da Arthur Scheribus nel 1918. Colossus è stato uno dei primi esemplari di computer elettronico programmabile, e come si vede, è stato realizzato da Max Newman su modello della UTM di Turing a partire da specifiche necessità belliche. Turing ha un approccio assolutamente realista al pensiero, egli non si occupa di determinarne la natura, ma di descriverne il "funzionamento" e gli effetti a partire dalla sua manifestazione, per cui è in via di principio sempre possibile, una riproduzione del suo funzionamento e dei suoi risultati. Queste idee sono

65 W.S., Jevons, *On the mechanical performance of logical inference*, in "Philosophical Transactions of the Royal Society", n.160, 1870, pp. 497-518.

66 A.M. Turing, *On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem in Proceedings of the London Mathematical Society*, Series 2, n.42, 1936-37, pp. 230-265.

compiutamente espresse nel suo *Computer Machinery and Intelligence* del 1950 apparso sulla rivista *Mind*<sup>67</sup>. Qui Turing, in polemica con le conclusioni di Lovelace, pone esplicitamente la domanda se una macchina possa pensare, ovvero se possa avere una *agency*; i tempi erano ormai maturi per l'ipotesi circa la realizzabilità di un'intelligenza artificiale sia dal punto di vista teorico che della sua costruzione tecnico-ingegneristica<sup>68</sup>. Turing sostiene una possibile analogia nelle funzioni tra calcolatore meccanico e intelligenza umana, ma una sostanziale differenza nel funzionamento, laddove a guidare il funzionamento del cervello sono dinamiche chimiche. Tuttavia, nel momento in cui si rinuncia a descrivere cosa sia ontologicamente pensiero, bisogna ammettere in via di principio che gli effetti del pensare sono di fatto replicabili "artificialmente". La somiglianza si gioca sul piano delle analogie matematiche di funzionamento. Nel noto *imitation game* esposto nell'articolo del '50, Turing sostiene che, in via di principio, un calcolatore digitale discreto possa in alcune situazioni replicare il pensiero umano e ingannare un ipotetico giudice chiamato a giudicarne la natura. Questo perché, anticipando la cibernetica e riprendendo le teorie comportamentiste stimolo-risposta, Turing afferma una sostanziale analogia strutturale di fondo tra un'ipotetica "macchina bambino" e il calcolatore digitale. Il bambino, in analogia a quanto sostenuto da John Locke, si presenta come un taccuino bianco, una *tabula rasa* su cui l'educazione, basata su processi di rinforzo secondo il modello comportamentista di Skinner<sup>69</sup>, andrà a costituire il libro delle regole o il programma per la sua azione. TM e macchina bambino sono sostanzialmente analoghi nel funzionamento: laddove le macchine sono composte di memoria, unità operativa e governo, il bambino presenta materiale ereditario, mutazioni e selezione naturale/sociale<sup>70</sup>. La memoria è il luogo delle regole, quindi del programma e dell'algoritmo, che sostituirebbe il libro delle regole del calcolatore umano, il governo è il dispositivo di controllo che presiede alla corretta applicazione delle regole e alla loro ricorsività, nell'umano tale funzione regolativa del sistema è operata dall'agente esterno, la selezione naturale, l'educatore o il contesto. Come tale, la TM si configura come una macchina altamente autonoma, fatta eccezione per il suo "libro delle regole", ovvero il programma, che necessita un intervento esterno del programmatore, laddove nell'uomo il processo è interiorizzato; in questo equilibrio tra programma e sistema di controllo, la TM aderisce perfettamente alla descrizione della macchina propria della cibernetica. Allo stesso tempo, essa sarebbe una riproduzione per via di un espediente del funzionamento "naturale" dell'umano; agirebbe pertanto *para physin*, realizzando per via traversa ciò che la natura e la storia hanno realizzato nel calcolo umano come capacità co-

67 Id., *Computing Machinery and Intelligence*, in "Mind", LIX, n.236, 1950.

68 Una traduzione dell'articolo è stata pubblicata in N. Dazi, V. Somenzi, *La filosofia degli automi*, Bollati Boringhieri, Torino 1965 e ripubblicata in Aa. Vv., *La filosofia degli automi*, Mimesis, Milano-Udine 2022, pp. 111-137.

69 *The Behavior of Organisms* di Skinner è del 1938, mentre la "teoria del riflesso condizionato" di Pavlov è addirittura del 1903.

70 A. Turing, *Computing Machinery and Intelligence*, op. cit., p. 114.

gnitiva. Nell'articolo il matematico inglese, si spinge ad ammettere la possibilità di realizzare macchine autenticamente pensanti, se debitamente "istruite", e in grado di apprendere in base a sistemi di regole logico-algoritmiche generali, anticipando di fatto il machine learning e addirittura i LLM<sup>71</sup>. Come si vede, tale analogia è basata essenzialmente sull'eguagliamento pragmatico e a priori tra strutture cognitive, regole logiche e processi cibernetici.

Per quel che riguarda il fondamentale contributo di von Neumann nello sviluppo dell'intelligenza algoritmica, tra i suoi numerosi meriti, segnaliamo l'aver introdotto nella architettura del *computer* la RAM, la memoria grazie alla quale la linearità operativa della TM veniva superata nel nuovo design logico e fisico dei successivi computer, e di aver pensato a fondo la possibilità di realizzazione artificiale di un neurone<sup>72</sup>. Il modello, da teorico, diviene pratico, se lo scopo della TM era in generale una macchina per automatizzare la computabilità e riprodurre potenziamente qualsiasi operazione di calcolo, l'architettura aveva come scopo principale il costruire computer funzionanti. Il nastro infinito della UTM, rispetto a cui non era possibile una reversibilità, è sostituito da una memoria limitata e condivisa e l'esecuzione degli algoritmi non è più definita da regole, bensì sequenziale e basata su software. La memoria centrale dell'architettura permetteva di immagazzinare tanto i dati quanto le istruzioni, la *control unit* la gestione delle istruzioni stesse, l'unità aritmetico-logica i calcoli e le operazioni, che provengono dai gli input in vista di un determinato output. In questa organizzazione gerarchica, si potrebbe intravedere la divisione del lavoro intellettuale e fisico della società del dopoguerra così come nel rituale Agnicayana, l'organizzazione rifletteva il sistema delle caste. Il modello algoritmico dell'architettura riflette in qualche modo l'organizzazione della macchina sociale e del lavoro, oltre che l'architettura gerarchica del sistema nervoso. Von Neumann ci tende a specificare che, nonostante ci possa essere analogia tra sistema nervoso e il suo neurone artificiale, tuttavia una completa analogia tra computer e cervello non è di fatto possibile, agendo il primo in parallelo, il secondo in serie.

Il vero e proprio antenato dei moderni sistemi di machine learning e deep learning è tuttavia il percettrone di Rosenblatt. Il percettrone ha come precursore il lavoro di McCulloch e Pitts *A Logical Calculus of the Ideas immanent in Nervous Activity*, ampiamente letto e criticato dallo stesso von Neumann, in cui gli autori discutevano della possibilità di imitare logicamente il funzionamento di un neurone biologico<sup>73</sup>. I due scienziati, sulla base delle loro osservazioni empiriche, conclusero che i circuiti neurali del cervello si comportavano secondo le porte logiche di Shannon (AND, OR, NOT), che incorporavano la logica booleana nei circuiti elettrici e nei chip, dando origine all'era informatica. Tuttavia, l'imitazione

71 Ivi., pp. 131-137.

72 J. von Neumann, *Computer e cervello*, tr. it. P. Bartesaghi, il Saggiatore, Milano 2021. A questo andrebbe aggiunta la prima modellizzazione artificiale della riproduzione cellulare.

73 W. Mc Culloch & W. Pitts, *A Logical Calculus of the ideas Imminent in Nervous Activity*, in "Bulletin of Mathematical Biophysics", n.5, 1943.

di neuroni cerebrali umani non è l'unica matrice che portò allo sviluppo di tali tecnologie, in quanto, come sostenuto, l'idea di una tecnica come mimesi della natura è una semplificazione che non sempre esaurisce le ragioni dei fatti. Anzi, è proprio perché McCulloch e Pitts avevano già interpretato meccanicisticamente il corpo umano *sub speciae machinae*, e quindi i neuroni come un artefatto tecnologico animati da corrente elettrica, che è stato possibile concepire l'idea di un neurone artificiale. La prospettiva sottointesa era che il cervello sarebbe nella sua fisiologia un omologo dei sistemi di comunicazione dell'epoca: sostanzialmente un meccanismo elettronico a feedback<sup>74</sup>. Questa equazione tra cervello e sistema di comunicazione fu a dir la verità già preconizzata da Kapp nel suo *Grundlinien einer Philosophie der Technik*<sup>75</sup>, così come da Samuel Morse e da Hermann von Helmholtz. Lo sviluppo della rete infrastrutturale delle comunicazioni ha funto quindi da paradigma esplicativo dei sistemi bio-fisiologici di organizzazione, rovesciando di fatto il rapporto mimetico tra natura e macchina: è la macchina a fungere da criterio interpretativo della natura e non viceversa. In una rielaborazione dell'adagio kantiano: è la natura ad essere portata dinanzi al tribunale della tecnoscienza. La macchina diviene modello anche per spiegare dinamiche di tipo logico e fisiologico. L'antropomorfizzazione della tecnica, che si agita dietro il progetto della intelligenza artificiale, nasconde nella sua genesi un'obliata, ma agente a priori, considerazione: è possibile un'antropomorfizzazione della macchina solo perché l'uomo è già stato interpretato sin dall'inizio come macchina. La cibernetica e la termodinamica sono proprio spia di questo pregiudizio moderno, nell'equiparazione di natura, cervello e organismo ad un sistema di controllo a feedback, che apprende secondo il modello comportamentista stimolo risposta, come esposto nei lavori di Turing. Queste hanno dunque costituito lo sfondo teorico di alcune delle prime tecnologie di machine learning, confermando il precetto della teoria delle macchine secondo cui l'intelligenza artificiale realizza ed è spiegabile a partire da teorie e tecniche di rango inferiore. L'interpretazione su modello teleologico e proto-cibernetico degli organismi<sup>76</sup> per la verità ha un antecedente in biologia nella figura di Jacob von Uexküll e nel suo *Theoretische Biologie* del 1928<sup>77</sup>. Il biologo baltico fu tra i primi ad aver interpretato l'organismo come un sistema autonomo adattivo il cui la *Innenwelt* (sistema nervoso) e la *Umwelt* (ambiente) si relazionano

74 McCulloch stesso definì nel 1948 alla conferenza di Hixon in neuroni come “*telegraphic relays*”. Cfr. L.A. Jeffress (ed.), *Cerebral Mechanisms in Behavior: Hixon Symposium*, Wiley, New York, 1951.

75 E. Kapp, *Grundlinien einer Philosophie der Technik*, George Westermann Verlag, Braunschweig 1877.

76 Come è noto, un concetto teleologico del vivente era stato già preconizzato da Spinoza e da Kant. Viene poi ripreso da Hans Jonas in *Organismo e libertà*, a cura di P. Becchi, Einaudi, Torino 1999. Anche la definizione che troviamo in H. Marturana & F. Varela dell'organismo come “macchina autopoietica”, tradisce una impostazione teleologica e cibernetica. Cfr., Id., *Macchine ed esseri viventi*, Astrolabio, Roma 1992. Sull'ipotesi Gaia cfr. J. Lovelock, *Gaia*, Bollati, Boringhieri, Torino 2011.

77 J. von Uexküll, *Biologia teoretica*, tr. it a cura di L. Guidetti, Quodlibet, Macerata 2015.

vano secondo un *Funktionkreis* (circolo funzioale)<sup>78</sup>. Tale prospettiva è stata poi ripresentata in un'ottica sistemica da Lovelock, uno dei padri dell'ecologia, nella sua ipotesi di Gaia<sup>79</sup>. Per entrambi i modelli, il criterio ermeneutico era ancora una volta una macchina: la caldaia tanto cara alla termodinamica<sup>80</sup>. L'equazione era qui semplice: se Gaia è il macrorganismo in cui viviamo, allora la biosfera può essere interpretata come gigantesco sistema di feedback. In realtà ciò che agisce dietro tale considerazione è una meccanicistica interpretazione della biosfera sotto scorta delle leggi della termodinamica. Grey Walter, qualche anno dopo rispetto alle analisi di von Uexküll, nel 1948 realizzerà i primi robot autonomi simili a tartarughe, chiamati *Machina speculatrix*, unendo cibernetica, comportamentismo pavloviano e ingegneria meccanica.

Il cibernetico Ron Ashby nel suo *Principles of the Self-Organising Dynamic System*<sup>81</sup> tentò di dimostrare, attraverso la realizzazione dell'omeostato, come l'auto-organizzazione fosse una caratteristica comune tra organismi, sistema nervoso e computer. I tempi erano oramai maturi, dunque, per un tentativo cosciente di realizzazione macchinica della razionalità algoritmica, ovvero di macchine autonome, che come gli organismi fossero capaci di autoregolarsi sulla base di principi codificati matematicamente. Snodi fondamentali da questa prospettiva si ebbero con il lavoro di Gottard Günther *Das Bewußtsein der Maschinen*<sup>82</sup>, di Donald Hebb intitolato *Organisation of Behavior*<sup>83</sup> in cui quest'ultimo espone l'autoorganizzazione delle reti neurali, e infine per l'appunto con il celebre *Progetto per un cervello* di Ashby<sup>84</sup>.

Il percettrone di Rosenblatt nasce proprio in questa temperie culturale sulla scorta del lavoro di Hebb e dell'imperativo cibernetico dell'autoorganizzazione dell'informazione. Essi riprodurrebbero a un tempo il principio di autoorganizzazione dell'organismo e del mondo sociale, che, come sappiamo dalla cibernetica erano considerati rispondere a dinamiche simili<sup>85</sup>. Le reti neurali artificiali (ANN) e gli algoritmi del machine learning riflettono dunque non tanto una *mimesis* della natura, ma una *mimesis* del sistema socio-culturale in cui queste sono state concepite.

78 Un'interpretazione del vivente su modello cibernetico è esplicitamente sostenuta anche da M. Tomasello, *Dalle lucertole all'uomo. Storia naturale dell'azione*, tr. it. S. Ferraresi, Raffaello Cortina Editore, Milano 2023.

79 Sul tema vedi: N. Russo, *Filosofia ed ecologia*, Guida, Napoli 2000, pp. 120 ss.

80 Ivi., p. 95 ss.

81 R. Ashby, *Principles of the Self-Organizing Dynamic System*, in "The Journal of General Psychology", n. 37, 1962, pp. 125–128.

82 G. Günther, *Das Bewußtsein der Maschinen. Eine Metaphysik der Cibernetik*, AGIS Verlag, Krefeld und Baden-Baden, 1963.

83 D.O. Hebb, *The Organization of Behaviour. A Neuropsychological Theory*, John Wiley & Sons, New York 1949.

84 R. Ashby, *Progetto per un cervello*, a cura di L. Fabbris e A. Giustiniano, Orthotes, Napoli 2021.

85 Sul tema vedi S.J. Heims, *I Cibernetici. Un gruppo e un'idea*, tr. it. G.M. Fidora, Editori Riuniti, Roma 1997.



Il primo esemplare di percettrone fu presentato nel 1957 durante Cornell Aeronautical Laboratory, dove Rosenblatt per la prima espone una rete neurale artificiale statistica. Il percettrone fu concepito come un sistema auto-organizzante, capace di riconoscere schemi attraverso l'ottimizzazione dei propri parametri, regolati progressivamente in risposta ai dati in input. Il prototipo iniziale, il Mark I Perceptron, era una macchina analogico-digitale con una "retina" composta da 400 fotocellule che registrava semplici forme geometriche o lettere. Questi segnali erano elaborati da un livello di neuroni artificiali, che applicavano una logica cumulativa, ispirata alla regola di Hebb, per memorizzare i risultati.

In seguito, alla conferenza del 1959 intitolata *Self-Organising Systems*, Rosenblatt illustrò come il percettrone potesse generalizzare stimoli visivi riconoscendo schemi in ambienti rumorosi, affrontando il problema della generalizzazione al di là del dataset di addestramento. Questo processo, descritto come una forma di apprendimento spontaneo, permetteva al sistema di organizzarsi autonomamente senza che tale organizzazione fosse predefinita. Rosenblatt sottolineò come il percettrone potesse astrarre le trasformazioni più comuni in un ambiente e applicarle a nuovi stimoli. In questo, esso è eminentemente una macchina.

La progettazione del percettrone segnò una svolta nella computazione, che passò da un approccio lineare, tipico dei computer numerici tradizionali, a un modello auto-organizzante che operava in parallelo, in base alla disposizione spaziale dei dati e secondo feedback. Questo cambio di paradigma introdusse una dimensione topologica, distinta dal tradizionale trattamento lineare dell'informazione. Inoltre, il percettrone prefigurava la differenza tra l'AI simbolica e il modello connessionista: mentre la prima si basava già allora su rappresentazioni e regole logiche e deduttive che dovevano essere incorporate nel software, la seconda utilizzava algoritmi statistici per modellare interazioni neurali e apprendere dai dati.

Questa evoluzione rifletteva anche una trasformazione sociale, in cui le tecnologie computazionali, come le reti neurali, miravano a catturare e riprodurre logiche di cooperazione collettiva, ponendo le basi per molte delle tecniche di apprendimento automatico contemporanee. Un particolare da non sottovalutare è che la conferenza menzionata fu diretta da Marshall Yovits capo della *Information System Branch* della ONR<sup>86</sup>. In quel contesto, furono chiamati esponenti sia del connessionismo che della AI simbolica<sup>87</sup>. Oggetto della conferenza erano i *self-organizing*

86 Cfr. M. Pasquinelli, *Eye of the Master*, op. cit., p. 154.

87 Hubert e Stuart Dreyfus circa la differenza tra le due scuole affermano quanto segue: "Una fazione vedeva i computer come un sistema per manipolare simboli mentali; l'altra, come un mezzo per modellare il cervello. Una cercava di utilizzare i computer per realizzare una rappresentazione formale del mondo; l'altra, per simulare le interazioni dei neuroni. Una considerava la risoluzione dei problemi come paradigma dell'intelligenza; l'altra, l'apprendimento. Una utilizzava la logica; l'altra, la statistica. Una scuola era l'erede della tradizione filosofica razionalista e riduzionista; l'altra si considerava una forma idealizzata e olistica di neuroscienza. Passo tratto da M. Pasquinelli, *Eye of the Master*, op. cit., p. 160; Cfr., H. Dreyfus and S. Dreyfus, 'Making a Mind versus Modeling the Brain: Artificial Intelligence Back at a Branchpoint', "Daedalus", n.117, 1988, pp. 15-44.

*systems* capaci di una elevata capacità di autoorganizzazione<sup>88</sup>. Yovis stesso segnala come mentre studiosi delle scienze della vita, tra cui psicologi, embriologi e neurofisiologi, lavoravano insieme per studiare le proprietà dei sistemi biologici in grado di auto-organizzarsi, matematici, ingegneri e fisici si dedicavano alla creazione di sistemi artificiali in grado di replicare queste capacità<sup>89</sup>. Ed in effetti dagli atti della conferenza emerge come la cibernetica abbia interessato tanto l'autoorganizzazione dei sistemi radar, quanto l'organizzazione e la riorganizzazione delle cellule embrionali, definite *growing automata*<sup>90</sup>, dal punto di vista matematico e della teoria dell'informazione. Nel 1952 anche il teorico del neoliberalismo Friedrich von Hayek nel suo trattato *The Sensory Order* esplorò le prospettive connessioniste. Questo ci dimostra come il tema dell'autoorganizzazione dei sistemi avesse di fatto superato l'ambito unicamente cibernetico o termodinamico per interessare anche economisti, industriali e militari. La cibernetica, come propaggine della razionalità algoritmica diviene il sapere teorico che di fatti sostanzia i principi dell'autoorganizzazione industriale, della definitiva automazione e autoregolazione del lavoro, della riduzione del pensiero a dati computabili, che oggi trovano vasto campo di applicazione nello *internet of things* e nelle cosiddette *unmanned factories*. Stafford Beer nel suo lavoro del 1960 *Cybernetics and Management*<sup>91</sup> propose esplicitamente

88 In questa macroarea rientravano la stampa automatica, il riconoscimento del linguaggio, la traduzione automatica, la *pattern recognition* e il controllo dei sistemi complessi (Cfr. M. Pasquinelli, *Eye of the Master*, op. cit. p. 147).

89 M. Yovits and S. Cameron (eds.), *Self-Organizing Systems*, Pergamon Press, New York, 1960, pp. V-VI.

90 Un contributo decisivo in questo ambito fu dato, ancora una volta, da von Neumann nel lavoro con A. W. Burks *Theory of self-reproducing automata*, in "Urbana", University of Illinois Press, Illinois 1966. Gli automi cellulari (CA) sono strumenti matematici utilizzati per simulare sistemi e processi complessi. Vengono applicati in diversi ambiti, come biologia, fisica e chimica, per studiare fenomeni quali la crescita delle piante, l'evoluzione del DNA e lo sviluppo degli embrioni. Già negli anni 40, von Neumann sviluppò formalmente il concetto di automi cellulari per creare un modello teorico che rappresentasse una macchina capace di riprodursi autonomamente. Egli era spinto dalla volontà di approfondire e riprodurre i meccanismi che regolano l'evoluzione biologica e l'autoriproduzione. Da questo punto di vista, egli è molto vicino negli intenti a quanto sostenuto circa la razionalità algoritmica antica, che vedeva nella matematica e nell'algoritmo un metodo per riprodurre la *genesis* e la *dynamis* della natura. Nel 1948, von Neumann lavorava alla descrizione di una macchina in grado di riprodursi da sola in un articolo intitolato *The General and Logical Theory of Automata*, scritto per il Simposio di Hixon. Tuttavia, in quel momento non aveva ancora concepito l'idea degli automi cellulari e non riusciva a trovare una soluzione completa al problema teorico dell'autoriproduzione. La svolta arrivò grazie a Stanislaw Ulam, un collega di von Neumann, che suggerì di utilizzare un approccio basato su celle. Questo spunto permise a von Neumann di elaborare un modello che descriveva una macchina in grado di replicarsi autonomamente. Il modello teorico si fonda sul concetto di automi cellulari, descritto in dettaglio nel libro citato *Theory of Self-Reproducing Automata*, completato e pubblicato nel 1966 da Arthur Walter Burks dopo la morte di von Neumann nel 1957.

91 S. Beer, *Cybernetics and Management*, in "Journal of Symbolic Logic", n.25 (3), 1960, pp. 258-258.

l'equazione tra fabbrica e cervello, che di fatto sintetizzava l'attitudine riduzionista della cibernetica a considerare come fenomenologicamente ed ontologicamente omologhi organismi, lavoratori, macchine e fabbriche. Vediamo come la stagione della cibernetica sia a tutti gli effetti la preparazione dell'epoca contemporanea dell'infosfera o del dataismo, come la si voglia identificare.

Nel passaggio al modello cibernetico, l'organizzazione dell'informazione diventa da lineare a feedback, quindi ricorsiva, sostituendo di fatto un paradigma lineare che era nato con la nascita della scrittura<sup>92</sup>. Ed effettivamente proprio Rosenblatt nel 1961, durante la conferenza *Principles of Self-Organisation*, spiegò che il percettore si distingueva dalle precedenti reti neurali artificiali, come ad esempio quelle descritte da von Neumann, grazie alla sua capacità di auto-organizzarsi, resa possibile da un sistema di controllo basato sul rinforzo<sup>93</sup>. Anche se Rosenblatt lo definiva un modello cerebrale, il percettore era più focalizzato sull'organizzazione autonoma delle informazioni che sull'imitazione delle strutture biologiche, in quanto macchina cibernetica. Ancora una volta, l'equazione con la biologia era possibile proprio perché a priori i sistemi biologici erano considerati sistemi ciberneticici. Il cosiddetto biomorfismo informatico, di fatto, non è altro che una informatizzazione del *bios*, in questo Heidegger aveva ragione a vedere nella cibernetica la riduzione della vita nel linguaggio calcolante<sup>94</sup>. Questo nascondeva anche una svolta topologica nell'organizzazione dello spazio dell'informazione. Marvin Minsky e Seymour Papert, tra i padri della AI, ribattezzarono in modo critico il connessionismo come “geometria computazionale”, poiché si basava sul calcolo delle relazioni spaziali anziché rappresentare una vera forma di intelligenza artificiale. Questa transizione topologica segnò, più in generale, il passaggio da un modello lineare di gestione delle informazioni a uno fondato sull'auto-organizzazione e controllo, realizzando il modello archetipico della maggior parte delle architetture di apprendimento automatico. La via per quella che noi oggi chiamiamo AI era stata tracciata. La lotta tra paradigma connessionista e quello simbolico nella AI conoscerà alterne vicende nella storia recente delle tecnologie, fino all'affermazione dei modelli recenti basati sul deep learning come Transformer introdotto nel paper *Attention is All You Need* da Vaswani et al. nel 2017<sup>95</sup>. Questa architettura è diventata la base di molte delle tecnologie avanzate nel campo del Natural Language Processing, il cui “meccanismo di attenzione” permette al modello di concentrarsi

92 Sulla rivoluzione della comunicazione dal paradigma orale alla scrittura cfr. E. Have-lock, *Cultura orale e civiltà della scrittura*, Laterza, Bari 1973; sull'ulteriore portata rivoluzionaria della rivoluzione digitale dell'informazione cfr. C. Di Martino, *Pensare gli effetti*, in L. De Stefano (a cura di), *Tecnica e coesistenza*, op. cit. pp. 23-48.

93 M. Pasquinelli, *Eye of the Master*, op. cit., p. 159.

94 Cfr. M. Heidegger, *Unterwegs zur Sprache (1950-1959) (GA12)*, hrsg. von F.-W. Von Herrmann, Klostermann, Frankfurt a. M. 1985; tr. it. di A. Caracciolo, *In cammino verso il linguaggio*, Mursia, Milano 1973, p. 207.

95 Vaswani et al., *Attention is All You Need*, in “Neural Information Processing Systems”, 30, 2017.

su parti diverse della sequenza per capire meglio il contesto<sup>96</sup>. Sarebbe interessante esporre continuare la trattazione fino ai più recenti sviluppi nel campo della AI contemporanea, ma motivi di spazio ci vediamo costretti a interrompere qui la nostra ricostruzione e arrivare alle conclusioni.

## 5. Conclusioni

Dalle considerazioni precedenti è emerso che gli algoritmi, nella loro storia, hanno sempre costituito per l'umanità una via d'accesso privilegiata alla comprensione della natura. Questa ipotesi "naturalista", che implica una natura già mate-

96 Il meccanismo di attenzione e il perceptrone si basano su un principio comune: entrambi utilizzano pesi per determinare l'importanza degli input. Tuttavia, il modo in cui lo fanno e lo scopo che perseguono sono molto diversi, riflettendo la loro distanza temporale e tecnologica. Il perceptrone rappresenta uno dei primi tentativi di simulare il funzionamento del cervello umano attraverso un modello di rete neurale. Il suo funzionamento è relativamente semplice: prende in ingresso una serie di segnali, li moltiplica per dei pesi che ne indicano l'importanza, e poi li combina in un'unica somma ponderata. Da questa somma deriva una decisione, come classificare un input in una delle due categorie. Tuttavia, il perceptrone è limitato: può risolvere solo problemi che si possono separare linearmente, cioè problemi in cui le categorie possono essere distinte da una semplice linea. Il meccanismo di attenzione, invece, rappresenta un'evoluzione sofisticata di questi principi. Anche qui si attribuiscono dei pesi agli input, ma questi pesi non sono statici. Nel perceptrone, infatti, i pesi vengono appresi durante l'addestramento e rimangono fissi, applicandosi sempre allo stesso modo. Nell'attenzione, invece, i pesi vengono calcolati dinamicamente in base al contesto. Questo significa che il modello può adattarsi alle specifiche esigenze di ogni situazione, assegnando maggiore rilevanza agli elementi più utili per il compito in corso. Inoltre, mentre il perceptrone combina gli input in modo semplice e lineare, il meccanismo di attenzione li elabora in modo non lineare e contestuale. Per esempio, nel linguaggio naturale, un termine può avere significati diversi a seconda delle parole circostanti. Il meccanismo di attenzione è progettato per catturare queste sfumature, mettendo in relazione ogni parola con le altre all'interno della frase per capire quali sono più importanti in quel contesto. Un altro punto cruciale è che il perceptrone è rigido, adatto a problemi statici e semplici, mentre il meccanismo di attenzione è flessibile e progettato per gestire complessità elevate, come le sequenze di testo o le relazioni tra immagini. In un certo senso, il perceptrone è un sistema basilare che ha gettato le basi per lo sviluppo delle reti neurali moderne, mentre l'attenzione è un passo successivo, che spinge i concetti iniziali verso un livello di sofisticazione superiore. Entrambi sono invero precetti di auto-organizzazione, adattività, e gestione dell'informazione della cibernetica. Solo che mentre il perceptrone utilizza il feedback attraverso l'algoritmo di apprendimento supervisionato (quando il perceptrone sbaglia, il sistema corregge i pesi per ridurre l'errore futuro, un processo molto simile al controllo cibernetico), il meccanismo di attenzione, anche se in modo più sofisticato, si basa su un concetto di feedback interno. Durante l'addestramento, il modello apprende quali relazioni tra gli elementi della sequenza sono rilevanti, adattandosi iterativamente ai dati.

Possiamo pensare al perceptrone come un faro che illumina una sola direzione con intensità costante: efficace per compiti semplici ma limitato nella sua portata. Il meccanismo di attenzione, invece, è come una torcia regolabile, capace di cambiare intensità e direzione a seconda delle necessità, adattandosi al contesto in modo dinamico. Il meccanismo di attenzione riprende l'idea di pesatura del perceptrone, e di regolazione cibernetica, ma la trasforma per gestire relazioni complesse e sequenze di dati, superando definitivamente i limiti della linearità.

matizzata o matematizzabile, è riscontrabile tanto in alcune culture antiche quanto nel meccanicismo moderno e nella cibernetica. Tale concezione, tuttavia, nasconde un implicito caratterizzante la razionalità algoritmica nella sua accezione più ampia, che chiama in causa la storia dei modelli di rappresentazione del rapporto tra natura e macchina. Gli algoritmi sono tipi particolari di regole, e le regole sono il tentativo umano troppo umano di dare un ordine al cosmo o di dedurne uno da esso. Questa impostazione dal sentore kantiano, o quantomeno relativista, ha guidato il tentativo di una breve genealogia dell'algoritmo contenuta in queste pagine, al fine di evidenziare il ruolo degli algoritmi come "proto-macchine"<sup>97</sup> e tecnologie di dominio. Ricordiamo che qui dominio ha una accezione essenzialmente neutrale, non immediatamente identificabile con rapporti coercitivi di potere, bensì come quella dimensione etologica con cui l'uomo, o forse più in generale l'organismo, tenta di informare il suo proprio mondo.

Gli algoritmi, anche nella loro obiettivazione macchinica, esprimono una volontà di dominio del tutto peculiare, che risponde all'esigenza, anche questa umana troppo umana, di ordinamento di dati e procedure secondo un sistema input-output. Ci permettono, dunque, parafrasando Chabert, di ottenere, qualsiasi siano i dati di input, l'esecuzione "automatica" di procedure in un numero finito di passi e con risultati circoscrivibili e delimitati.

L'intelligenza artificiale, come ultimo prodotto della lunghissima storia della razionalità algoritmica, nasce da una istanza di organizzazione e regolazione dei sistemi da un lato e, in quanto macchina, dalla volontà di trovare vie traverse per la realizzazione e implementazione di compiti cognitivi. La AI costituisce una via traversa, una scorciatoia<sup>98</sup>, per l'intelligenza, l'autoorganizzazione e l'automazione di sistemi complessi senza necessariamente "pensare" in modo umano. O meglio, nel suo iniziale concepimento essa poggia su una semplificazione epistemologica, figlia del pensiero moderno da cui ha avuto origine, secondo cui è possibile pensare la natura, e in questa l'uomo, come riproducibile meccanicamente solo perché la si è già equiparata a macchina e concepita teleologicamente. Ma questo vuol dire sia misconoscere l'autentica dimensione teleologica della macchina, che più che *mimesis* è in realtà "macchinazione", sia attribuire alla natura una istanza teleologica non dimostrabile, e che al massimo può fungere da ideale ermeneutico-regolativo. In sintesi, se la natura teleologica della macchina è deducibile dalla sua struttura ontologica, in quanto ente tecnico, non vale lo stesso per la natura, proprio perché essa non è opera di uno *architecton*. Se concepiamo, dunque, le macchine e, sulla scorta di esse, gli algoritmi e l'intelligenza artificiale come vie traverse, vediamo come siano sin dall'inizio tentativi teleologici di ordinare e dominare l'ente nella sua totalità. Da questo punto di vista,

97 Il motivo principale che mi impedisce una equiparazione tra algoritmo e macchina non è tanto il funzionamento, quanto l'assenza del meccanismo.

98 Cfr. N. Cristianini, *La scorciatoia. Come le macchine sono diventate intelligenti senza pensare in modo umano*, op. cit.

gli algoritmi sarebbero, più che surrogati ed imitazioni, “tattiche” grazie a cui il *polymechanos anthropos* tenta a un tempo di dominare l’essente e di adempiere alla sua natura tecno-poietica caratteristica del suo abitare.

L’intelligenza artificiale, le tecnologie di deep learning e machine learning, proprio in quanto tecnologie algoritmiche, più che rappresentare la prospettiva di una radicale sostituzione dell’umano, rispondono al tentativo di ordinare e razionalizzare la realtà secondo il bisogno, semplificarla, ridurre il più possibile l’errore, modulare l’azione e i processi, previa la loro divisione a un numero quantificabile di passaggi e risultati. Naturalmente, in questa loro natura macchinica ed algoritmica risiede la loro portata antropologica ed epocale, ma anche il loro rischio più grande. Rischio che, nell’epoca della tecno-scienza, si esprime essenzialmente nelle forme del dominio e controllo dell’uomo sull’uomo attraverso la macchina, del dominio calcolante dell’uomo sulla natura, in conformità all’imperativo economicista del “realismo capitalista”. Si badi bene, queste considerazioni sono in primis di natura ontologica e prescindono da una qualsiasi considerazione morale dei fenomeni, almeno in via di principio. Dal momento che le tecnologie incorporano una finalità esterna in queste si riflettono schemi di più ampia portata, sociale, storica, culturale, scientifica, economica e così via. Pertanto, solo attraverso processi di democratizzazione dei processi e della conoscenza, che passano necessariamente per una lotta ai monopoli tecnologici, per una discussione di chi debba detenere la proprietà di queste tecnologie e beneficiare del loro operare, queste sì vere e proprie istanze etico-politiche, sarà possibile far emergere l’autentica portata emancipativa delle tecnologie in esame, ma questo è un discorso che ci porterebbe troppo in là e che ci riserviamo di sviluppare in un’altra occasione.