

73
PICCOLA
BIBLIOTHIKI

LEGGERE LA IA

Analogico e digitale

Dello stesso autore con Asterios:

- De Rebus Natura. *Una riflessione sulla conoscenza, sulla nostra posizione nel tempo e nell'universo, sul senso della vita.*
- Epigenetica. Il DNA che impara. *Istruzioni per l'uso del patrimonio genetico.* Seconda edizione rivista e ampliata.
 - Pandora, amore mio.
 - Essere. *La scienza e gli spazi della filosofia.*
- Gaia Universalis. *L'universo è un organismo vivente.*
 - La Mente umana e la mente artificiale.
- Il Golem che ci attende. *Un'etica per ogni cosa.*
 - Sulla natura. Περὶ φύσεως.
 - Manuale intergalattico.
- Una proposta indecente. *Purtroppo non c'è più per noi molto futuro, a meno di non fare pace col Pianeta, o di cambiare qualcosa della nostra epigenetica. Forse qualcosa si può tentare...*
 - Epimente. *Epigenetica della mente.*
- Quid enim sum? *Che cosa realmente sono?*

Ernesto Di Mauro

Analogico e digitale

*I limiti della Intelligenza Artificiale,
codice genetico e codice neurale*



Asterios Editore

Trieste 24

Prima edizione nella collana PB: Settembre 2024

©Ernesto Di Mauro, 2023

©Asterios Abiblio editore 2023

posta: asterios.editore@asterios.it

www.asterios.it

I diritti di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento totale o parziale
con qualsiasi mezzo sono riservati.

Stampato in UE.

ISBN: 97888-9313-276-3

Indice

Prefazione, 11

CAPITOLO I

Analisi del significato delle parole

- 1. 1. Analogico, 13
- 1. 2. Digitale, 14
- 1. 3. Contesto, 15
- 1. 4. Vocabolario, 15
- 1. 5. Enciclopedia, 17
- Note del Capitolo I, 19

CAPITOLO II

Come funziona il cervello umano?

In modo analogico o in modo digitale?

- 2. 1. La percezione. Nella nostra mente tra riduzionismo e olistico, là dove le due categorie si incontrano, 25
- 2. 2. Sulla complessità del cervello umano, 29
- 2. 3. Elaborazione della percezione, 30
 - 2. 3. 1. *Integrazione*, 31
 - 2. 3. 2. *Il punto unico di Plotino*, 33
- 2. 4. Complessità ed emersione
 - 2. 4. 1. *Complessità*, 35
 - 2. 4. 2. *Emersione*, 36
 - 2. 4. 3. *Proprietà emergenti*, 37
 - 2. 4. 4. *Continuità*, 39
- 2. 5. Sistema Complesso Adattativo, 40
- 2. 6. Fontanelle e la conoscenza della complessità, 43
 - 2. 7. Modelli, 46
 - 2. 7. 1. *Oltre a questi*, 48

- 2. 8. Piccolo Bignami dei modelli pregressi, 50
 - 2. 9. Sfere, 53
 - 2. 10. Coscienza e quanti, 57
 - 2. 11. Domande aperte, 59
 - Una nota di cautela, 63
 - Note del Capitolo II, 65

CAPITOLO III

Intelligenza Artificiale, come funziona?

- 3. 1. Intelligenza, 69
- 3. 2. Il cervello della specie umana funziona meglio on line, 72
 - 3. 2. 1. *Gli esempi sono davanti a noi*, 74
- 3. 3. Organismi sociali, epigenetica evoluta, 77
 - 3. 4. Non sembrava possibile, 78
- 3. 4. 1. *Dove sta arrivando l'Intelligenza Artificiale*, 78
 - 3. 4. 2. *Letteratura, commedia, giochi*, 79
- 3. 4. 3. *Azioni mirate e risultato operativo sul campo*, 81
- 3. 4. 4. *Le macchine rispondono alle macchine*, 82
 - 3. 4. 5. *Percezione dell'ambiente*, 83
 - 3. 4. 6. *Sonno*, 84
- 3. 4. 7. *Tra presente e futuro prossimo*, 86
 - Nota del Capitolo III, 89

CAPITOLO IV

Forme elaborate di coscienza: tendenza al riduzionismo, alla matematica, alla musica, alla astrazione, alla ricerca di regole e ripetizioni.

Tendenza alla geometrizzazione, alla ricerca di dimensioni, 91

- 4. 1. L'invenzione della geometria. Il percorso dei sentieri che si biforcano nella rappresentazione preistorica del corpo femminile: la comparsa della geometrizzazione e la conservazione della rotondità, 92
 - 4. 1. 1. *L'approccio combinatorio e l'approccio unificatore, in generale*, 94
 - 4. 1. 2. *Esiste solo il percorso che abbiamo percorso*, 96

- 4. 1. 3. *Combinazioni casuali*, 97
- 4. 1. 4. *Unità del reale*, 99
- 4. 2. La scelta della dimensione, 115
 - 4. 2. 1. *Creazione artistica*, 115
- 4. 2. 2. *Rappresentazioni che privilegiano la prima dimensione*, 121
- 4. 2. 3. *Rappresentazioni bidimensionali*, 125
 - 4. 2. 4. *La terza dimensione*, 127
- 4. 2. 5. *Rappresentazioni nella quarta dimensione*, 127
- 4. 3. Tendenza al riduzionismo, alla matematica, alla astrazione, alla ricerca di regole comuni e ripetitive, 135
 - 4. 3. 1. *Henry Bergson*, 135
 - 4. 3. 2. *Matematica e musica*, 136
 - 4. 3. 3. *Pitagora*, 137
 - 4. 4. *La musica*, 139

CAPITOLO V

**Il codice genetico e il codice neurale.
Sono analogici o digitali?**

- 5. 1. Codici, 143
- 5. 2. Il codice genetico, 147
 - 5. 2. 1. *La tabulazione del codice genetico*, 149
- 5. 3. Cooperazione di codici:
l'ingranaggio verso la complessità, 152
 - 5. 3. 1. *Gli acidi nucleici si sono impadroniti delle proprietà delle proteine*, 153
 - 5. 3. 2. *Informazione*, 154
 - 5. 4. Codice neurale, 156
- 5. 5. L'attore del codice genetico: il DNA, 158
- 5. 6. L'attore del codice neurale umano:
il sistema nervoso, 159
- 5. 7. La Teoria della mente IA, 160
- 5. 8. L'energia necessaria per far funzionare i codici, 166

Tutte le immagini del presente testo sono state scaricate da Internet. È stato impossibile trovare i possessori dei diritti di riproduzione e chiedere il loro permesso per l'utilizzo. Si desidera ringraziare tutti gli Enti e le persone in possesso di diritti di riproduzione per la loro benevola e virtuale concessione.

Prefazione

Una condivisa estensione del pensiero epicureo è: vivere con la mente leggera, non porsi domande. Ma, se proprio si deve, porsi solo domande importanti. La mia domanda importante è: cosa è la “coscienza-di-sé”? Cerco di formulare una ragionevole possibile risposta: propongo che la “coscienza-di-sé” sia la risultante di natura *analogica* di input che sono (o meglio: che vengono considerati e trattati come) *entità unitarie digitali*, che si comportano come unità di misura del sistema. La “coscienza-di-sé” è la risposta d’insieme *quasi*-continua a domande e ad input sensoriali che giungono parcellizzati e singoli.

Analizzo i fatti coerenti con la conclusione che la coscienza è la percezione della eccitazione generale dei sistemi sensoriali, che dà così luogo a un sistema percettivo di natura olistica e analogica. Questo implica che tutti gli organismi che hanno un sistema nervoso sono coscienti, perché tutti hanno input, tutti si devono porre continuamente domande comportamentali, e tutti devono fornire risposte per sopravvivere. Il solo modo in cui ho esperienza del mondo nel suo insieme è attraverso la “coscienza-di-me”.

Ha “coscienza-di-sé” ogni organismo che ha un sistema nervoso, organismi vegetali quindi esclusi. Gli organismi vegetali sono esempio di funzionamento metabolico di primo e meccanico – ancorché elegantemente complesso – livello. In qualche modo le piante sono il controllo del sistema, dicono come una vita biochimica e complessa può esistere anche senza “coscienza-di-sé”.

Per una parte degli organismi viventi la “coscienza-di-sé” è fenomeno emergente, intendendo per tale l’entità che si osserva avere proprietà e comportamenti che le sue parti non hanno da sole; queste proprietà o comportamenti emergono solo quando le parti interagiscono in un sistema più ampio. [leggi nella pagina 19 Nota 1, **Emergentismo, come riferito alla mente**].

Il “*quasi*” del “*quasi*-continuo” è dovuto alla struttura della materia, che verso il basso non ha confini noti a sufficienza. Quel “*quasi*” è dovuto all’errore di fondo provocato dal considerare che esiste una differenza qualitativa tra una unità e le sue frazioni componenti. ... 0.998, 0.999, **1.00**, 1.001, 1.002, Di conseguenza, la “coscienza-di-sé” è *quasi*-analogica, fintanto che tra digitale ed analogico esiste *quasi* una vera differenza. Il mondo del ragionamento umano è un *quasi*-mondo, nel quale emergono geometria, matematica, musica, rappresentazione artistica.

Una analisi della natura dei codici sui quali è basato l’organismo umano, il codice genetico e quello neurale, illustra le differenze sostanziali tra la Intelligenza animale e la Intelligenza Artificiale.

CAPITOLO I

Analisi del significato delle parole

1. 1. Analogico

L'aggettivo *analogico* è usato per definire un segnale che è specificamente caratterizzato dall'essere continuo, ottenuto con la trasformazione di una grandezza fisica in un'altra di tipo diverso ma di uguale significato. Il significato della parola *analogico* cambia di poco se usato in elettronica, informatica, tecnologia ed ingegneria (idraulica e meccanica, ad esempio). È analogico l'angolo della lancetta dell'orologio che misura il tempo e ce lo comunica, è analogica l'altezza in millimetri del termometro a mercurio che misura la temperatura, lo sono il segnale elettrico che deriva da un segnale acustico in un microfono e il segnale acustico che deriva da un segnale elettrico in un altoparlante.

In elettronica un segnale elettrico è detto *analogico* quando i valori utili che lo rappresentano sono in stretta analogia con il fenomeno che li genera e sono *continui* (tecnicamente infiniti). Per coprire l'intervallo spazio-temporale tra due punti di un potenziometro si passa per una infinità di mutazioni elettriche, non numerabili ma ciascuna in diretta analogia con la posizione dell'asse del potenziometro. *Una misura ed un valore analogico sono quindi continui, non discreti ed indiretti.*

Assumiamo momentaneamente che il significato della parola "analogico" cambi di poco se usato in neurobiolo-

gia. La mia mente funziona in modo continuo, non avverto gli intervalli del mio pensiero, con o senza stimoli e percezioni, io sono io tutto il tempo, senza intervalli. Al massimo, mi distraigo un po', o sogno, oppure altero o diluisco la consapevolezza di una mia coscienza. La mia mente funziona anche in riduzione o assenza degli stimoli che ha ricevuto durante il giorno che precede la notte, durante l'infanzia che precede l'età matura e la vecchiaia. *Io* rimango unitariamente *io* in funzione di quello che mi succede e di quello che mi è successo in precedenza. La percezione di continuità è un valore aggiunto del sistema.

1. 2. Digitale

L'aggettivo "digitale" si riferisce a sistemi che operano su rappresentazioni numeriche dei dati. Un sistema digitale usa valori discreti e misure primarie, senza passaggi intermedi e metaforici, senza trasposizione di equivalenza.

Una misura, un valore, un sistema digitale sono quindi discreti e diretti.

Ogni percezione è di sua natura un singolo input; se una percezione sembra continuare, o connettersi, o evolvere, o essere complessa, significa solo che sono più percezioni che si susseguono, che si accavallano, che avvengono e sono percepite in modo multiplo e/o ridondante. Anzi, meglio: siamo effettivamente costruiti in modo da avere e da poter gestire sensazioni complesse e multiple. Questo non significa affatto che una sensazione non sia di principio un evento singolo, che non basti un singolo neurone per darci un singolo segnale.

I computer generalmente in uso sono elaboratori digitali, mentre un computer analogico è un computer che sfrutta, per modellare e risolvere il problema affrontato, fenomeni fisici associati a variabili continue. La funzione rappresentata dalle reti neurali nella IA pone un proble-

ma di interpretazione [leggi nella pag. 20, Nota 2, **rete neurale**].

Un computer quantico estende e dilata questo concetto di analogia essendo, nel suo caso, la variabile continua una condizione di estrema indeterminazione, difficile da controllare.

Un computer analogico non è soggetto al problema del rumore di fondo (che era il problema iniziale di Claude Shannon, per risolvere il quale è in effetti nata l'elettronica moderna) [leggi nella pag. 22, Nota 3. **Il rumore di fondo e la Tesi di Claude Shannon**]. Inoltre, un computer analogico può sbagliare, nel senso che può fornire risultati diversi agli stessi quesiti, la sua risposta può non essere sempre la stessa. È da molto tempo che cerchiamo di costruire macchine che possano aiutarci a fare calcoli [leggi nella pag. 23, Nota 4. **La macchina di Anticitera**].

1. 3. Contesto

È opportuno sottolineare che nella distinzione tra i concetti di digitale ed analogico dovrebbe essere applicato il concetto di contesto. Il parallelo più appropriato è quello che descrive la differenza tra Vocabolario ed Enciclopedia. Ciò equivale a sostenere che una parola (e ciò che rappresenta) può essere trattata in modo vocabolario o enciclopedico; che può essere definita, può acquistare un senso diverso e specifico a seconda del contesto nel quale si considera.

Fino a che punto la differenza tra digitale ed analogico corrisponde alla differenza tra Vocabolario ed Enciclopedia? Vediamo cosa si intende con queste parole.

1. 4. Vocabolario

Un vocabolario è un *complesso di vocaboli e di locuzioni proprie di una lingua, di un dialetto, di una varietà set-*

toriale o anche di un individuo: il vocabolario italiano, il vocabolario medico, il vocabolario di Dante, il vocabolario di un bambino. Il vocabolario è lo strumento che definisce il significato di un vocabolo, ed un vocabolario ben fatto raccoglie in ordine alfabetico quasi tutte le parole di una lingua, il suo patrimonio lessicale. Un vocabolo è un segnale quando viene pronunciato o scritto.

La definizione di un vocabolo all'interno di un Vocabolario è, all'interno dell'ambito definito (idioma, momento storico, ambito geografico), di tipo assoluto. Una definizione, appunto. A volte in lessicografia si usa senza apparente differenza anche il termine "dizionario"; è quindi importante la chiarificazione secondo la quale:

Vocabolario e Dizionario: *“Nessun fondamento – scrive il linguista Bruno Migliorini (1) – hanno vecchie distinzioni tra vocabolario ‘raccolta di vocaboli’ e dizionario ‘raccolta di vocaboli e locuzioni’ [...]. Semmai, «dizionario» è più esteso in quanto si può riferire a trattazioni disposte in ordine alfabetico, ma non propriamente lessicali: si può dire Dizionario biografico ma non Vocabolario”.*

Umberto Eco individua (2) una forma pura di dizionario nel modello dell'Albero di Porfirio, commento neoplatonico del III secolo d.C. alle *Categorie* di Aristotele, descritto in *Isagoge*. Porfirio è il primo a tradurre in albero le divisioni analitiche di Aristotele, base del suo tentativo di sistema classificatorio. Ogni genere posto ad un nodo alto dell'albero comprende le specie che ne dipendono, ed in tal senso risponderebbe a tutte le funzioni richieste a un buon dizionario. A dimostrazione della maturità cui era giunta l'elaborazione di questi

(1) Bruno Migliorini, *Che cos'è un vocabolario*, Firenze, Le Monnier, 1961.

(2) Umberto Eco, in *Scritti sul pensiero medievale*, Bompiani, Il pensiero occidentale, 2012-2016.

argomenti in epoca tardo-romana, Porfirio dichiara di non voler esaminare se i generi e le specie esistano in sé o se siano concezioni della mente.

1. 5. Enciclopedia

L'enciclopedia è *un'opera che raccoglie voci informative* secondo un sistema logico o sotto forma di voci singole distribuite in ordine alfabetico, riguardanti un ambito specifico delle conoscenze umane o il suo insieme. Una enciclopedia fornisce per ogni termine una spiegazione e una descrizione.

È molto interessante il fatto che il termine *encyclo-pædia* sia stato formulato nel Rinascimento, epoca alla ricerca di un sapere unitario e coerente, coniandolo dall'espressione greca di Plinio il Vecchio ἐγκύκλιος παιδεία (*enkyklios paideia*), «istruzione circolare», ossia completa, intesa per essere in grado di comprendere tutte le discipline. Il vero logos in grado di riassumere il pensiero del Rinascimento potrebbe essere l'apoforisma di Protagora “*di ogni cosa è misura l'uomo*”, e di questo uomo ideale una enciclopedia racchiudeva il sapere. Plinio intese la sua *Naturalis historia* come una enciclopedia in senso moderno, nello stesso senso che gli attribuiamo noi, ed è il progenitore diretto della *Encyclopédie* di Diderot e d'Alembert, pubblicata a Parigi nella seconda metà del XVIII secolo.

Protagora comunque, citandolo per intero nel suo contesto di argomentazione sofistica, diceva: “*L'uomo è misura di tutte le cose, di quelle che sono per ciò che sono, e di quelle che non sono per ciò che non sono*” (Protagora, fr. 1, in Platone, *Teeteto*, 152a). Il che lo rende ancora più attuale. Con «uomo» Protagora intendeva il singolo individuo e con «cose» gli oggetti percepiti attraverso i sensi. Nel suo pensiero la realtà oggettiva appare differente in base agli individui che la interpretano. Sempre dal 152a: «*quali le singole cose appaiono a*

me, tali sono per me e quali appaiono a te, tali sono per te: giacché uomo sei tu e uomo sono io».

All'interno di una enciclopedia, ogni termine assume un valore assoluto e relativo al tempo stesso, la descrizione e la spiegazione che ne vengono fornite sono garantite dalla autorità di chi scrive, fanno testo. Il fatto che alcune delle storie raccontate da Plinio siano palesemente assurde sta lì ad indicare che il sapere è relativo, condizionato, apparente, momentaneo, circoscritto. Esattamente come sembra essere la "coscienza-di-sé" di un singolo individuo, che prende tutto in considerazione.

La differenza tra Dizionario ed Enciclopedia, sostanzialmente una differenza di messa in contesto, si applica veramente alla differenza analogico/digitale? In Enciclopedia si estende, si contestualizza a tanti situazioni differenti, si considera la loro storia, il loro inverarsi in una applicazione vissuta e reale; in Dizionario no, si hanno valori assoluti, non si hanno risposte differenti. Un Dizionario serve a formulare le domande in modo corretto, una Enciclopedia è un manuale di istruzioni per elaborare risposte, per vivere.

Con questo argomento ci siamo allontanati dalla complessa elaborazione definitoria che a partire da Aristotele ha occupato millenni di discussioni, e che vedeva la classificazione basata soprattutto sulle differenze. È sempre Umberto Eco (*op. cit.*, pag 541) ad evidenziare che: *"In un albero composto di sole differenze, queste possono essere riorganizzate di continuo secondo la descrizione sotto la quale un dato soggetto è considerato, e pertanto l'albero diventa una struttura sensibile ai contesti, non un dizionario assoluto"*.

In sostanza, è solo allontanandosi dalla elaborazione aristotelico-scolastica che possiamo sperare di chiarire questi concetti e definizioni in termini contemporanei. Non dimenticando che la classificazione degli organismi in uso, quella formalizzata da Linneo (*Systema naturae*, 1735), è un vero *arbor porphyriana* su base aristotelica.

La nomenclatura linneana binomiale è basata sulla definizione aristotelica di un *genere prossimo* e una *differenza specifica*; è oggi considerata insoddisfacente da un punto di vista formale ma è funzionale da un punto di vista empirico e rimane la migliore possibile, soprattutto come punto di riferimento tassonomico. È solo con la acquisizione di nuovi dati di genomica molecolare che trova spazio sempre maggiore l'applicazione di nuovi metodi di classificazione, come la *cladistica*.

In sostanza, è solo allontanandoci dalla elaborazione aristotelico-scolastica che possiamo mantenere una definizione di vocabolario = digitale e di enciclopedia = analogico. Secondo Umberto Eco (*op. cit.*) ogni dizionario è una enciclopedia semplificata, l'Enciclopedia è inevitabile.

Perché IA abbia una vera conoscenza deve diventare capace di ragionare in termini enciclopedico-analogici.

Note del Capitolo 1

Nota 1. **Emergentismo, come riferito alla mente.** L'emergentismo è la corrente filosofica, oggi molto importante in neurobiologia, che ritiene che la mente sia un fenomeno emergente. I fenomeni mentali sarebbero formalmente delle proprietà emergenti del cervello. Oltre alla mente e alle sue funzioni, sono fenomeni emergenti la vita, i comportamenti sociali, gli aspetti delle strutture complesse che non sono limitate alla somma delle proprietà dei componenti del sistema. Nascono dall'emergentismo la *Swarm Logic* (intelligenza collettiva), i *Multi-agent Systems*, le *Constrained Generative Procedures* (procedure generative vincolate) che sono alla base di algoritmi genetici, automi cellulari e reti neurali.

Storicamente, l'emergentismo nasce come compromesso tra riduzionismo e olistismo, includendo nel riduzionismo il meccanicismo ed il monismo materialista, e includendo nell'olismo il vitalismo ed il dualismo (cartesiano

e di altra natura, spiritualismo incluso). Assumendo che i fenomeni emergenti sono fenomeni spontanei generati naturalmente dall'insieme delle interazioni tra le parti della totalità, questo compromesso diventa sintesi.

Il termine è nato nell'ambito della filosofia inglese degli anni '20 dalle opere di George Lewes, si è diffuso in ambito scientifico negli anni '60 quando Ernest Nagel distinse con chiarezza le due forme principali di emersione: l'emersione nel tempo di nuove strutture fisiche a partire da strutture fisiche preesistenti (emersione diacronica) e l'emersione di fenomeni imprevedibili a partire da strutture fisiche (emersione sincronica). Lo sviluppo delle reti neurali, della Teoria della complessità e dei lavori di John H. Holland, hanno dato nuovo slancio all'emergentismo, oggi chiave di interpretazione di molti fenomeni della mente.

Nota 2. Rete neurale, neural network. Una rete neurale è un gruppo interconnesso di neuroni artificiali che usano un modello matematico per elaborare informazione sulla base di un approccio connessionistico. La rete è adattativa, cambia cioè la propria struttura a seconda del flusso di informazioni che gli scorre attraverso.

Le reti neurali, dette anche *reti neurali artificiali* (artificial neural networks, ANNs) sono il nucleo degli algoritmi deep learning. Nome e struttura vengono dal cervello umano, ed imitano il modo in cui i neuroni biologici si scambiano segnali. Gli ANNs sono composti di nodi organizzati in strati: uno strato di entrata, uno o più strati interni, uno strato di uscita. Ogni neurone artificiale o nodo è connesso ad un altro ed ha un peso ed una soglia (1). Un valore acquisito di output-uscita più alto del valore di soglia fa sì che il nodo sia attivato e che trasmetta informazione. Il meccanismo base del funzionamento è in principio semplice: le connessioni dei nodi sono modellate sui pesi dei componenti: un peso positivo indica eccitazione e trasmissione, un valore negativo provoca inibizio-

ne e blocco. L'insieme è, di partenza, un sistema lineare. L'aggettivo "deep" di deep learning si riferisce a quanti strati di neuroni interni sono interessati nel processo. La proprietà particolarmente rilevante di una rete neurale è che potrebbe in linea di principio mostrare un complesso comportamento globale determinato dalle connessioni tra gli elementi processanti e gli elementi di parametro. Non si hanno finora, credo, indicazioni di comportamento globale dell'IA con proprietà definibili come emergenti.

Un ANN viene addestrato acquisendo dati, attivando a vario grado i componenti e conservando, elaborando e trasmettendo informazione, in modo molto rapido ed accurato. I concetti quantitativi associati alle reti neurali e al loro funzionamento sono ben chiariti e disponibili, ad esempio in IBM Developer, accessibile da Google "Neural Network IBM".

Esistono vari tipi di reti neurali, derivate dal Perceptron concepito da Frank Rosenblatt nel 1958 (2). I perceptron sono particolarmente adatti a risolvere problemi semplici di classificazione di *pattern*. Sono organizzati a più strati (di entrata, interni, di uscita) come descritto sopra, e sono oggi per lo più composti da neuroni a comportamento sigmoidale adatti a rispondere ai problemi del mondo naturale (esempi: visione, procesamiento del linguaggio) che in generale sono non-lineari. Il modello base è detto *feedforward* ovvero direzionale. Da questo derivano i *Convolutional neural networks* (CNNs), simili ai precedenti ma potenziati da un sistema di uso di principi di algebra lineare per identificare *pat-*

(1) Hopfield, J. J. (1982). *Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities*. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 79 (8): 2554-2558.

doi:10.1073/pnas.79.8.2554.

(2) Rosenblatt, F. (1958). *The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in The Brain*. *Psychological Review*. 65 (6): 386-408.

doi:10.1037/h0042519.

tern all'interno dell'oggetto esaminato, ad esempio di una immagine. Sono particolarmente utili per il riconoscimento di immagini, visione, identificazione di ripetizioni, serialità. L'aggiunta di retro-azione (capacità di feedback) li rende *Recurrent neural networks* (RNNs), utili a valutare l'entrata di funzioni temporali nel sistema. Ecco allora le possibilità di predizioni del futuro, a tutti i livelli.

Nota 3. Il rumore di fondo e la Tesi di Claude Shannon. Il modo in cui consideriamo il concetto di informazione oggi ruota intorno alla figura di Claude Shannon, alla sua opera prima (*Una teoria matematica della comunicazione*, 1948) e alle elaborazioni successive, i cosiddetti teoremi. La sua teoria matematica della comunicazione pone la base teorica per lo studio dei sistemi di codificazione e trasmissione dell'informazione, e si concentra sul problema di ricostruire, esaminandone il grado di certezza, le informazioni trasmesse da un mittente. Il problema che muoveva gli studi iniziali di Shannon era il problema del rumore di fondo nella trasmissione di segnali, che aumentava con la complessità del sistema fino ad oscurare l'informazione contenuta nel messaggio. Nella sua Tesi di laurea "*Un'analisi simbolica dei relè e dei circuiti*", Shannon aveva dimostrato che il fluire di un segnale elettrico attraverso una rete di interruttori – dispositivi che possono essere in uno di due stati – segue esattamente le regole dell'algebra di Boole se si fanno corrispondere i due valori di verità – vero e falso – della logica simbolica allo stato aperto o chiuso di un interruttore. Pertanto un circuito digitale può essere descritto da un'espressione booleana, la quale può poi essere manipolata secondo le regole di questa algebra. Shannon definì così il metodo per l'analisi e la progettazione dei sistemi digitali di elaborazione dell'informazione. È molto interessante che Shannon abbia applicato il suo metodo in primo luogo ai sistemi genetici per la sua Tesi di laurea (dal titolo *Un'algebra per la*

genetica teorica, 1940), svolta in quello che sarà il tempio americano della biologia molecolare, il Laboratorio di genetica di *Cold Spring Harbor*. La chiave della teoria dell'informazione di Shannon è il tentativo di memorizzare le informazioni in modo da poterle trasferire e collegare tra loro.

Nota 4. **La macchina di Anticitera.** La macchina di Anticitera è un congegno meccanico di epoca ellenistica di circa 30 per 15 cm, costruito per calcolare moti celesti, per definire regole e fare previsioni temporali. È stato trovato nel 1900 in fondo al mare antistante l'isola greca di Cerigotto vicino Creta in un relitto di nave romana che trasportava statue di bronzo e di marmo. In una concrezione di pietra si conservano corrose strutture di ruote dentate in rame organizzate in un complesso ingranaggio ad orologeria in grado di calcolare il sorgere del sole, le fasi lunari, i movimenti dei cinque pianeti allora conosciuti, gli equinozi, i mesi, i giorni della settimana e le date dei giochi olimpici (1). Rimangono 82 frammenti di bronzo corrosivo, comprese parti di 30 ruote dentate.

Le ruote sono ricoperte di iscrizioni (circa 2000 caratteri), decifrate ma non ancora completamente pubblicate, anche se studi parziali sono stati resi noti (2). Il funzionamento originario (3) e l'uso specifico (4) sono stati descritti.

(1) P. Ball, *Complex rock combines calendars*. *Nature*, 561, 454, 2008.

(2) M. Allen, W. Ambrisco, et. al., *The Inscriptions of the Antikythera Mechanism* (= *Almagest*, 7.1), Turnhout, Brepols Publishers, 2016.

(3) Derek J. de Solla Price, *Gears from the Greeks. The Antikythera Mechanism: A Calendar Computer from ca. 80 B. C.*, in *Transactions of the American Philosophical Society (New Series)*, n. 64, 1974, DOI:10.2307/1006146.

(4) Sarah Kaplan, *The World's Oldest Computer Is Still Revealing Its Secrets*, in *The Washington Post*, 14 giugno 2016.

La sua fattura è probabilmente di Siracusa, ed è il più antico calcolatore meccanico conosciuto. La sua calibrazione è sul cielo del 23 dicembre del 178 a. C., ad indicare una tradizione di altissima tecnologia e la capacità di realizzare oggetti in grado di eseguire calcoli complessi. In questo caso le ruote dentate ed il differenziale che le coordinava permettevano di produrre dati sulle lunazioni, ottenuti per sottrazione del moto solare dal moto lunare siderale. I risultati erano coordinati allo scorrere del ciclo Metonico, l'antico sistema calendariale greco basato sull'osservazione che un ciclo Metonico è uguale a 235 cicli lunari, corrispondenti quasi esattamente a 19 anni solari. Il "quasi" era corretto attraverso il confronto con la versione di calcolo detta ciclo Callippico. Di questa tradizione computazionale avanzata fanno parte la macchina a vapore di Erone e la macchina circolare di Archimede dedicata allo studio delle eclissi, della quale scrive Cicerone (5).

(5) Cicerone, *De re publica*, Liber I, 21-22; *Tusculanae disputationes*, Liber I, XXV. 63.

CAPITOLO II

Come funziona il cervello umano? In modo analogico o in modo digitale?

2. 1. La percezione. Nella nostra mente tra riduzionismo e olistismo, là dove le due categorie si incontrano

Il sistema di percezione del mondo esterno passa attraverso sistemi costituiti da unità di reazione agli stimoli, organizzati in unità. Una unità può essere un singolo neurone, o un gruppo più o meno grande di neuroni collegati, o una struttura organulare. Molte di queste strutture hanno negli umani un nome ed una organizzazione definita: il corpuscolo di Krause, il corpuscolo del Pacini, le papille tattili, il recettore del Ruffini, l'organo del Golgi; per non parlare di organizzazioni a livello più alto: occhio, orecchio, e tutto il resto. I libri di anatomia comparata ed animale sono pieni di esempi di strutture cellulari che descrivono adattabilità e specializzazioni. In linea generale, gli organi di senso vengono distinti in base al tipo di segnale fisico che percepiscono:

Chemiorecettori, percepiscono stimoli chimici, classicamente lo sono il gusto e l'olfatto. Sono in genere organizzati in glomi nelle grandi arterie, dove spesso sono deputati a percepire variazioni di O_2 e CO_2 .

Meccanorecettori, percepiscono stimoli come pressione, tocco e dolore, lo sono nell'uomo tatto e udito. Nei pesci lo sono le cellule della linea laterale, che sentono la pressione.

Termorecettori, che percepiscono stimoli termici. Oltre a dirci se fa caldo o fa freddo, permettono in alcuni animali la visione della temperatura, soprattutto la percezione delle radiazioni infrarosso, quella che permette alla vipera di distinguere le prede al buio.

Fotorecettori, che percepiscono l'energia luminosa a vari livelli di lunghezza d'onda, dall'ultravioletto all'infrarosso (e qui diventano termorecettori). Cosa a noi umani non concessa, alcuni animali sentono le differenze di polarizzazione della luce: i polpi distinguono la direzione delle onde luminose, che noi non percepiamo a causa della polarizzazione. Questa abilità può essere molto raffinata: i gamberi mantide distinguono ad esempio la polarizzazione lineare da quella circolare. E può essere adattata alle esigenze specifiche: gli occhi delle libellule possono percepire 300 impulsi luminosi al secondo, 400 volte più rapidamente delle stelle marine: rami diversi dell'evoluzione, comunque collegati dagli stessi principi fisici. Ognuno percepisce la luce quanto serve all'interno del proprio ambiente.

Stato-acustici, che permettono l'orientamento del corpo nello spazio, percepiscono suoni, sviluppano ecolocazione, sentono vibrazioni di vario tipo. Questa percezione è molto varia: gli elefanti sbattono le orecchie a frequenze bassissime e le loro zampe sono così sensibili da rilevare le vibrazioni create da altri animali fino a 15 chilometri di distanza. Gli scorpioni hanno 8 neuroni dorsali, due file di quattro neuroni in parallelo, che percepiscono da quale parte venga la vibrazione, in che direzione si muova una preda; la misurano valutando la velocità di conduzione del segnale tra una fila e l'altra. L'ecolocazione è tipica dei pipistrelli: funziona attraverso ultrasuoni prodotti dalla laringe ed emessi dal naso o, più comunemente, dalla bocca aperta. L'intervallo di frequenza dei suoni prodotti dai pipistrelli va da 14.000 a più di 100.000 Hz, molto al di là della capacità dell'orecchio umano che percepisce suoni con una frequenza che va da 20 a 20.000 Hz. L'ecolocazione non è

limitata ai pipistrelli e si è sviluppata anche nei delfini e altri Odontoceti.

Recettori di campi elettromagnetici ed elettro-recettori, specializzati nell'apprezzare intensità e variazioni dei campi elettrici e magnetici. Ne esistono tanti esempi, per noi difficili da capire ed immaginare, perché li abbiamo persi. Gli squali hanno le ampolle di Lorenzini attraverso le quali percepiscono i campi elettromagnetici prodotti dai corpi delle vittime potenziali. I bombi usano i peli per rilevare il campo elettromagnetico di un fiore: accumulano volando una carica elettropositiva mentre i fiori hanno una carica elettronegativa; possono così percepire i campi fioriti e volare verso di loro. È ben nota la bussola delle api, in grado di rilevare il campo magnetico del nostro pianeta e le sue variazioni; si pensa che questo sia dovuto ad un minerale magnetico presente nell'addome degli insetti che si comporta come una bussola. E poi tutti gli animali migratori, le farfalle, gli uccelli, le anguille, i salmoni, e tutti coloro che si spostano da un punto all'altro di questo pianeta che con la sua struttura dice loro come fare e dove andare. A partire dai nematodi, che possiedono una singola fila di neuroni che rileva il campo magnetico della Terra e consente loro di orientarsi. L'orientamento geomagnetico è un meccanismo ancora in parte sconosciuto. Non sappiamo come molti uccelli, specialmente i migratori, percepiscano il campo magnetico terrestre; forse hanno sviluppato una forma di sinestesia in grado di far loro vedere le linee magnetiche terrestri come blocchi colorati o luminosi. A noi umani è rimasto l'orientamento tramite il sole e l'utilizzo di punti di riferimento.

L'esistenza diffusa e variegata di sensi aggiuntivi, estensivi ed alternativi rispetto ai nostri indicano con chiarezza il principio generale della necessità di essere attivamente a proprio agio nel mondo che ci circonda, di decifrarlo. Viene allora subito in mente il domenicano Tommaso Campanella, per il quale "sentire" significa

assumere e far proprie le qualità della realtà percepita, così che il fondamento del conoscere è costituito dal senso. Per Campanella, e per il naturalismo di Bernardino Telesio che Campanella accettava, a fondamento della conoscenza certa del reale vi è un'autocoscienza sensibile. Telesio rivendicava l'importanza della sensibilità quale fonte primaria ed esclusiva di ogni conoscenza: la sua era una fisica «iuxta propria principia», i principi che operano all'interno stesso della natura. Queste parole vengono dal titolo della sua opera principale: *De rerum natura iuxta principia*.

L'aforisma che riassume il pensiero di Telesio e Campanella è: "coscienza è sentire di sentire". Campanella fu perennemente perseguitato dal pensiero ufficiale del suo tempo (si difese e si salvò dall'Inquisizione fingendosi pazzo) perché il nucleo del suo pensiero implicava che le astrazioni concettuali possono essere tutte ricondotte alla percezione. La neurobiologia di oggi ci porta ad essere pienamente d'accordo, ma le autorità ecclesiastiche di allora trovavano poco spazio per la divinità all'interno di questa fenomenologia delle percezioni.

L'avvocato della somiglianza tra percezione negli animali e percezione umana è il filosofo Peter Singer. Il nucleo del suo pensiero è che un animale è una persona se ha coscienza-di-sé nel tempo; la parola che lui usa è *self-awareness*. Secondo Peter Singer: *'La coscienza non è esclusiva degli uomini, e neanche dei primati'*. Hanno coscienza non solo i vertebrati, ma anche molti invertebrati. I polpi sono esseri coscienti, hanno sviluppato la loro "coscienza-di-sé" indipendentemente da noi. Chi non ne sa abbastanza non deve far altro che guardare il documentario *My Octopus Teacher*. In termini evolutivi, la coscienza-di-sé viene da lontano.

Singer ha avuto successo, il suo libro *Animal Liberation: A New Ethics for our Treatment of Animals* (1975) ha convinto molti sulla realtà che la neurobiologia ci mette davanti agli occhi: gli animali sentono dolore

fisico e psichico come noi, moralmente hanno quindi i nostri stessi diritti. Sappiamo ormai che le qualità intellettuali che si ritenevano esclusivamente umane sono localizzate in aree cerebrali che abbiamo in comune con gli animali, non nelle zone frontali che *Homo* ha sviluppato di recente. Etichettare questo atteggiamento come generico animalismo è ingiustificato.

Comunque, ovunque negli organismi senzienti ogni struttura di base della percezione può essere considerata come unitaria in rapporto alla propria singola e definita funzione. In questo senso ogni singolo neurone, ognuna di queste strutture di base è una struttura digitale.

Il sistema percettivo funziona dunque in modo digitale, neurone per neurone, unità di funzionamento per unità di funzionamento anche se è, nel suo insieme, strutturato in modo talmente complesso da tendere a diventare analogico.

Quale è, se esiste veramente, il confine tra i concetti di digitale ed analogico? Non sarebbe più corretto dire che in *Homo sapiens* il sistema è digitale ma *tende* all'analogico? Conseguenza finale di questo tipo di ragionamenti sarebbe che esistono organismi semplici in cui il sistema nervoso è, nel suo insieme, sufficientemente semplice da essere e rimanere a struttura esclusivamente digitale, incapace di arrivare alla complessità umana tendente all'analogico. È necessario quindi, per tentare una risposta, chiarire i concetti di *complessità* ed *emersione*.

2. 2. Sulla complessità del cervello umano

La struttura funzionale di base del cervello umano non ha nulla di originale; come nella maggioranza degli altri animali, è una impalcatura che sorregge ed organizza una rete biologica neurale composta da gruppi di neuroni connessi chimicamente e associati funzionalmente. Ogni

singolo neurone può essere connesso a molti altri neuroni a formare connessioni che possono essere molto estese. Le connessioni, dette sinapsi, sono formate dagli assoni con i dendriti, e possono essere di vario tipo. La trasmissione di segnale nella rete è elettrica e per diffusione controllata di neurotrasmettitori.

Anche se non è originale, il cervello umano è molto complesso. I neuroni in *Homo* sono circa 76 miliardi, tutti ben organizzati in strutture definite la cui auto-organizzazione è stupefacente. La frase che ripete che il cervello umano è la struttura più complessa dell'universo è giustificata. Almeno per quanto sappiamo.

2. 3. Elaborazione della percezione

Il cervello percepisce e analizza gli input in modo digitale (riassume ad esempio il volto di una persona attraverso un numero di punti definito e minore di 10) [Leggi a pag. 61 la Nota 1, elaborazione delle immagini], poi elabora i dati, in modo sempre digitale, attraverso un numero definito di processori (neuroni dedicati) ma il risultato (sistema strano, ed è qui il suo vero interesse) ha molte delle caratteristiche di un sistema analogico: il suo modo di essere sembra proprio essere privo di soluzioni di continuità e diretto. A partire dalla percezione e dal singolo bit di memoria entra in funzione un meccanismo di elaborazione complesso, fatto di un insieme di elementi molto alto, valutabile attraverso il valore che si ottiene moltiplicando il numero dei neuroni coinvolti per il numero di elettroni impegnati nel passaggio di segnale alle sinapsi, il tutto immerso in una cornice dinamica e metabolicamente attiva. Una messa a punto di quanto conosciamo sulla memoria è in "*Memoria e oblio*" e in "*L'arte di ricordare. La memoria e i suoi segreti*" di Alberto Oliverio (1).

(1) Alberto Oliverio, *Memoria e oblio*, Rubbettino, Soveria Mannelli, 2003.

L'arte di ricordare. La memoria e i suoi segreti, Rizzoli 2003.

La dinamica delle percezioni comincia ad essere compresa e descritta con il nome di “trasmissione topologica nei connettomi”, processo che coinvolge centri della memoria, archivi, sistemi di elaborazione, e tanto altro, in corso di studio e determinazione [Leggi a pag. 61 la Nota 2, Connettomi, topologia dei connettomi].

Il processo di elaborazione di una percezione è quindi un insieme composto da un numero molto alto di fattori. In principio il meccanismo ed il processo seguitano ad essere digitali, ma in realtà il processo è diventato un continuum perché gli elementi impegnati per una risposta sono molti di più di quelli impegnati nella domanda posta dalla percezione e formano un insieme ininterrotto (coinvolgimento di altre parti del cervello, “*altre*” rispetto ai pochi definiti elementi della percezione singola; più un hardware centrale e relativamente stabile), o almeno percepito come tale. Si ha allora emersione di un nuovo stato di cose, e l’apparizione sulla scena di una apparente casualità, in parte legata alla complessità e alla storia individuale.

2. 3. 1. *Integrazione*

Gli input da percezione consistono in eventi fisici che vengono elaborati in forma digitale; delle singole percezioni elaborate rimane traccia scritta in codice neurale; la struttura conserva la memoria di ogni singolo input per usarlo al meglio se e quando servirà. Il risultato finale di ogni percezione consiste nelle risposte che vengono fornite al momento, ed è conseguenza della somma degli input presenti e di quelli pregressi, la cui memoria si estende a tutto l’arco della vita.

Il risultato della somma degli input sensoriali è la “coscienza-di-sé” che, considerata così, non sarebbe altro che l’insieme, con caratteristiche di tipo analogico, delle memorie di vario livello di passati-e-presente, mescolate tra loro e immerse in uno stato funzionale unitario di

base. Stiamo qui attribuendo alla memoria (considerando le memorie specifiche in via di formazione momentanea e la memoria stabilizzata nel suo insieme) un carattere digitale e analogico allo stesso tempo. Un esempio di sistema simile semplificato lo forniscono i sistemi di archiviazione di qualsiasi personal computer, quando segnalano che un dato file è già presente, e domandano se sostituirlo o conservarlo. Il nostro cervello ha però qualcosa in più: ha la sensazione di sentire, la percezione di essere in attività, mantenuta attiva da quanto sta arrivando da fuori in quel momento.

Questo modello comporta che alla base della coscienza, del nostro io, ci sia uno stato attivo (quasi)-continuo complesso ma a bassa intensità, paragonabile ad un ronzio di fondo simile a quello di un motore diesel acceso a scaldarsi senza marce ingranate. *È questo stato di base quello che è difficile ridurre a definizione.*

L'effetto più noto di un sistema di questo tipo è fornito dalla sensazione che si ha il primo istante dell'incontro della nostra immagine in uno specchio. Da questo brevissimo corto-circuito si esce con la rapida, necessaria ed automatica distinzione tra interno-esterno. Forse è qui la chiave per poter cercare la definizione della coscienza-di-sé. Sperimentalmente: domandiamoci quale è la coscienza-di-sé che ha un altro individuo, o quale è la coscienza-di-sé di un animale. In questo caso potremmo guardare il problema dall'esterno.

Conosco un solo esempio letterario che descriva il mettersi "fuori" per poter osservare. È il cavallo pegaseo di Giordano Bruno, rivolgendosi al quale dice: *Certo nessun potrà più espressamente che voi comprendere tutto perché siete fuor del tutto, possete entrar per tutto perché non è cosa che vi tegna rinchiuso, possete haver il tutto perché non è cosa che habbiate* (Giordano Bruno, *Cabala del cavallo pegaseo*).

2. 3. 2. *Il punto unico di Plotino*

Altro è pensare un oggetto diverso da sé, altro è pensare se stesso (Plotino, *Enneadi* V 6 ,1). A un certo punto della storia 700 anni di intense riflessioni sulla natura umana (diciamo, per mettere un punto di inizio, a partire da Socrate) vennero semplificate e ridotte entro lo schema filosofico del cristianesimo. Plotino (203/205-270 d.C.) rimase per lungo tempo l'ultimo ad aver elaborato una costruzione generale ed una visione filosofica completa della natura umana non esclusivamente religiosa. Il titolo della sezione V, 6, 1 delle *Enneadi* è *“Il pensante è uno in quanto pensa se stesso”* (come riportato nella versione pubblicata da Rusconi nel 1992, a cura di Giuseppe Faggin).

Non è possibile riassumere le argomentazioni di Plotino nelle quali ogni paragone ed ogni termine è studiatamente preciso; Plotino sostanzia con cura questa sua affermazione. Basti riportare le parole finali di V, 6, 1: *“poiché chi pensa, pensando si fa due, o, più esattamente, è due in quanto pensa, è uno in quanto pensa se stesso”*. Ecco dunque ben chiarito il processo di percezione (il *“possedere in se stesso ciò che vede”*) e del suo ruolo nel definire l'uno ed il suo processo di interazione con l'altro da sé.

È istruttivo riportare anche un altro passaggio delle *Enneadi* (I, 4, 10): *“Cosicché la coscienza pare offuschi gli atti che essa rende consci, i quali, da soli, hanno più purezza, più vita; e in questo stato d'incoscienza più intensa è la vita degli uomini diventati saggi, poiché essa non si disperde nelle sensazioni, ma si raccoglie in se stessa in un solo punto”*. Ovvero: alcune sensazioni arrivano alla coscienza, altre vengono contro-selezionate e momentaneamente scartate, “offuscate”, e non arrivano alla superficie senziente. Il pensiero conscio di un saggio è in un solo unico punto. Non sappiamo ancora dove sia questo punto, perché probabilmente è dappertutto nel cervello (vedi Capitolo 5).

Sta diventando sempre più chiaro che le proprietà del funzionamento del cervello sono dettate da regole topologiche. Nel senso che in topologia non sono le distanze tra i punti che contano, ma le posizioni reciproche, l'ordine di connessione dei punti in considerazione. In topologia sono altrettanto importanti le posizioni di sequenza dei punti che formano un circuito chiuso, e lo spazio vuoto che rimane al centro. Lo spazio vuoto identifica la forma della linea di connessione che lo circonda. Applicata alle reti neurali ed analizzata in funzione di quello che succede in seguito ad uno stimolo, l'interpretazione topologica ha rivelato che gli stimoli viaggiano tra nodi (aree ad alta connessione) secondo le regole delle forme topologicamente chiuse, secondo anse (*loop*) ben definite, prescritte e predefinite dalla organizzazione dei neuroni tra loro. Alcune anse hanno la forma di circuiti semplici, altre hanno complesse strutture tridimensionali che toccano varie aree cerebrali. I fatti più interessanti a questo proposito sono che la forma di queste anse è sempre la stessa tra le varie persone studiate, e che non si prendono scorciatoie.

Facciamo un esempio generico: arriva all'improvviso all'occhio un segnale di possibile pericolo: dal cortex visivo il segnale va all'amigdala ("ansia, attenzione"), poi al cortex motorio ("salto via?"), nel frattempo il cortex frontale ("decisioni") ha contattato ippocampo ed altri centri della memoria ("cosa ne so?"). Decido per confronto con esperienze pregresse che quel segnale lo conosco già e che non è segnale di pericolo, e seguito per la mia strada. Il segnale torna all'amigdala e la disattiva.

Interpretiamo l'esempio: l'ansa del piccolo fulmine ha fatto il suo percorso circolare ed ha assolto la sua meccanica funzione, il suo termodinamico dovere funzionale. Io nel frattempo ho fatto un ragionamento ed ho percepito di essere me. Queste anse funzionali sono rigidamente definite e solidamente installate, in parte geneticamente. È facile dedurre che le strutture potenziali che i segnali dovranno

percorrere devono essere e rimanere nell'equilibrio che è loro proprio; se un'ansa nasce o diventa troppo rigida o troppo forte rispetto alle altre, si entra in disequilibrio, si affacciano comportamenti "diversi". Ma, inoltre ...

... il sistema ha funzionato perché un segnale digitale si è integrato con molto altro, trasformandosi ed usando in modo programmato ed olistico quanto era già codificato.

Comunque, alla domanda se il cervello umano sia, nel suo insieme, a struttura digitale, la risposta è NO.

Per sostanziare questa affermazione tentiamo di applicare il concetto di complessità nell'ambito del funzionamento del cervello. Lo scenario di fondo nel quale ci muoviamo è che ciò che crea emersione di qualcosa di qualitativamente diverso ed è dato dalla complessità del sistema.

2. 4. Complessità ed emersione

2. 4. 1. Complessità

Un sistema complesso è un sistema dinamico nel quale i fenomeni non sono lineari. La mente palesemente lo è.

Un sistema complesso è un sistema dinamico *non-lineare*. Un sistema è *lineare* se lo si può scomporre in un insieme di sotto-sistemi indipendenti tra loro. Se i vari componenti/aspetti del sistema interagiscono tra loro in modo da renderne impossibile la separazione, si ha *non-linearità*. Un sistema è lineare se risponde in modo direttamente proporzionale alle sollecitazioni ricevute, se si ha sovrapposizione degli effetti. Se alla sollecitazione S1 il sistema dà la risposta R1 e alla sollecitazione S2 dà la risposta R2, un sistema lineare risponderà alla sollecitazione (S1+S2) con (R1+R2).

In un sistema complesso la linearità di partenza carat-

teristica dei suoi componenti di base è perduta. I sottosistemi che lo compongono interagiscono tra loro tramite retro-azioni e feedback, attraverso la messa in funzione dei prodotti secondari delle varie fasi del processo in modo continuo ed integrato.

La maggior parte dei sistemi naturali sono sistemi complessi, e di regola è molto difficile distinguerne i componenti e separarne la analisi. I sistemi complessi possono essere analizzati solo attraverso metodi olistici, ovvero nel loro insieme. Un fenomeno biologico, sia esso una trascrizione genetica, un evento di differenziamento o una infezione virale, o il volo di uno stormo di uccelli, è difficilmente riconducibile alla analisi del comportamento dei singoli componenti. Il volo di uno stormo è difficilmente analizzabile seguendo il volo dei singoli uccelli, anche se ne è la somma e la risultante; l'andamento di una infezione non è analizzabile seguendo il fato e gli effetti di ogni singola particella virale. Questo succede non solo per la complessità del sistema in se stesso, ma perché, al di là di una definita numerosità dei componenti, entrano in gioco fattori di stocasticità e si affacciano le regole del caso. L'effetto constatato è la comparsa di fenomeni emergenti, la loro *emersione*.

2. 4. 2. *Emersione*

Secondo la accettata definizione corrente, *emersione* è il concetto chiave nella teoria della *complessità* nella quale gli eventi di un sistema avvengono come risultato del comportamento collettivo del sistema stesso. La prima discussione dell'argomento la troviamo in Aristotele:

“Per tutto ciò che ha pluralità di parti, e la cui totalità non è una semplice giustapposizione, ma il cui insieme è altro che la somma delle parti, esiste una causa di unità ...” (*Metafisica*, H, 5, 1045a 10).

Se consideriamo un caso specifico e complesso per sua natura: la “vita”, ci rendiamo conto che la “vita” è conseguenza di emersione di proprietà, il che equivale a dire che le proprietà emergenti dei sistemi viventi sono le proprietà che non erano presenti prima che il sistema raggiungesse quel dato livello di complessità. Cosa è la *vita* di un organismo, considerando non viventi il suo DNA, né una qualsiasi sua proteina, né la loro somma, né un rene, né una mano amputata?

Vengono dunque definite, quando è possibile, come emergenti le proprietà che compaiono nel sistema nel suo insieme ma che non sono presenti nelle sue parti. Quindi: le proprietà emergenti rilevanti per giungere ad una definizione di vita sono quelle che caratterizzano le proprietà dei sistemi viventi, e che sono assenti nel non-vivente, nelle singole reazioni e gruppi di reazioni che la compongono. Ma cosa si intende in modo formale per “emersione”?

2. 4. 3. *Proprietà emergenti*

Le proprietà emergenti di un sistema sono di difficile definizione e generalmente possono essere più facilmente descritte che definite, come vale nel caso della “vita”. Oltre che nei sistemi complessi l'emersione si manifesta, forse soprattutto, anche in contesti elementari, come ad esempio la fisica delle particelle; questo confuta alla base la visione riduzionista e meccanicistica, secondo la quale esistono regole generali valide a tutti i livelli. Una proprietà emergente è ad esempio il concetto di temperatura che, nella teoria cinetica dei gas, emerge dalla energia cinetica media del grande numero delle particelle del sistema. Oltre che nei testi contemporanei di varie discipline, troviamo ben descritto il concetto di emersione in Lucrezio:

Ventus enim quoque paulatim cum verberat et cum /

*acre fluit frigus, non privam quamque solemus /
 particulam venti sentire et frigoris eius, /
 sed magis unorsum, fierique perinde videmus/
 corpore tum plagas in nostro tamquam aliquae res /
 verberet atque sui det sensum corporis extra.*

Così quando il vento ci sferza via via, e quando il freddo striscia pungente, non sentiamo ogni particella del vento e del freddo, ma tutte insieme, e allora avvertiamo dei colpi che s'abbattono sul nostro corpo, come se qualcosa ci frustasse e ci desse la sensazione del suo corpo all'esterno (Lucrezio, *De rerum natura*, IV, 259-264).

Il freddo è dunque, per l'uomo e per le sue sensazioni, una proprietà emergente. Rimanendo nel tema che ci interessa qui, la *sensazione* di freddo esiste solo se esistiamo noi. Allo stesso modo, nella stessa logica, sono proprietà emergenti il tempo e lo spazio. Quello che emerge, in noi, è una forma di armonia.

Sono dunque proprietà emergenti la vita, lo spazio, il tempo, l'informazione, il pensiero? Sì, così come dal seme emerge la forma dell'uomo attraverso la complessità dei processi differenziativi, così come dalle note può emergere armonia. Censorino, retore del II secolo, unisce i due concetti:

*...dum aut semen in sanguinem aut sanguis in carnem
 aut caro in hominis figuram convertitur, inter se conla-
 tos rationem habere eam, quam haberit, quae in musicæ
 σύμφωνοι vocantur,*

così come il seme in sangue e il sangue in carne e la carne nella figura dell'uomo si convertono, tra loro congiunti avendo quel rapporto che hanno quelle cose che in musica vengono dette *armonia* (Censorino, *De die natali*, IX, 3).

Ripensando alle parole dell'Aristotele della *Metafisica*, vediamo come egli prenda chiaramente posizione per una interpretazione monista dei fenomeni emergenti. Nulla di più chiaro e rigoroso di questa formulazione è stato finora detto in proposito.

2. 4. 4. *Continuità*

Olivier Sartenaer (*Qu'est-ce que l'émergence?*, Vrin, 2018) ha introdotto nella discussione un concetto importante, quello della continuità: i fenomeni detti emergenti non sono sconnessi dai processi soggiacenti dai quali dipendono. Un processo emergente è allo stesso tempo continuo e discontinuo rispetto agli elementi o processi dai quali deriva. Questo ha portato alla definizione di emersione come “*discontinuità apparente e continuità reale*” (2). Secondo questa linea di pensiero, si ha una sola condizione necessaria: che tutto avvenga in un insieme ontologico unitario e unificante, ed è in questo che risiede l'esigenza monistica da parte della emersione. Il quale monismo ci riporta ad Aristotele, sottolineando che esistono contenitori nei quali avvengono i fenomeni e nei quali maturano e appaiono le nuove proprietà. Il contenitore del quale ci stiamo occupando è la nostra scatola cranica.

L'emersione è dunque il crearsi di *proprietà nuove* a partire dalle proprietà dei livelli intermedi, inferiori, secondo un processo piramidale di continuità.

Il lucreziano *eadem ratio*, che molti altri riformuleranno nei secoli successivi con *natura non facit saltus*, riassume il problema. Per Lucrezio *eadem ratio res terminat omnis*, una stessa norma delimita tutte le cose (Lucrezio, *De rerum natura*, II, 719), nei processi naturali non esistono salti improvvisi. Fin dove valgono le regole dei

(2) A. Fagot-Largeault, P. Léna, F. Combes. *Ontologie du devenir : L'évolution, l'univers et le temps*. Odile Jacob, Paris, 2021.

componenti, e dove subentrano regole nuove? Ecco, una proprietà emergente è una proprietà che risulta dall'unione di componenti, atto che determina il suo emergere, e causa l'evoluzione qualitativa, senza salti appunto, di qualcosa che potenzialmente era già lì.

Se la domanda è: *“la vita è una proprietà emergente?”* in questo sistema piramidale il problema sparisce o si diluisce tra i vari componenti, il DNA, un rene, una mano mozzata, l'informazione che passa da una generazione all'altra, componenti che sono tutti più o meno viventi, a vario grado. Se focalizziamo il problema nel suo aspetto centrale: qual è il rapporto tra materia e vita, e su tutti gli aspetti correlati che il tema comporta, la materia sarebbe la base fisica soggiacente all'emersione della vita. Ma è necessariamente così? Cosa autorizza a distinguere tra materia e vita come tra due immiscibili a priori?

La tesi di dipendenza dell'emergente dalle sue parti di base ha un solo prerequisito, una sola condizione: che tutto avvenga in un regno ontologico unitario e unificante, e in questo risiede l'esigenza monistica da parte della emersione. Se riconsideriamo la categoria “vita”, è lecito domandarsi: *“esistono proprietà emergenti in quello che costituisce la vita che siano capaci di spiegare la sua apparizione?”* La vita appare veramente? O era già lì, intrinsecamente presente in tutti gli strati della piramide dell'universo? E se consideriamo la “coscienza-di-sé”, quali sono le domande da porsi?

2. 5. Sistema Complesso Adattativo

Così come lo sto raffigurando, il sistema cervello umano somiglia molto a quello che viene definito un Sistema Complesso Adattativo (CAS), ovvero un sistema dinamico con capacità di auto-organizzazione composto da un numero elevato di parti interagenti in modo non lineare che danno luogo a comportamenti globali che non possono essere spiegati da una singola legge fisica. I

CAS sono molto sfruttati nei sistemi radio militari e nei sistemi anti-intrusione delle reti informatiche. Che il cervello umano sia un CAS è parte delle acquisizioni contemporanee, che tutto al suo interno segua le sue regole lo è forse un po' meno. Quali sono queste regole?

Perché un sistema sia CAS non deve essere necessariamente composto da molti elementi, ma il loro comportamento deve essere non-lineare. Ed è “complesso” quando è non predicibile dal comportamento dei singoli componenti, impegnati in una rete di interazioni dinamiche; è “adattativo” quando il comportamento dei singoli componenti e del loro insieme cambia e si auto-organizza seguendo il cambiamento delle condizioni man mano che queste si determinano.

Molto chiara è la esposizione che ne fa John Holland (3). In particolare, credo che sia Holland il primo a sottolineare che un sistema CAS è caratterizzato dalla capacità di apprendere, estensione del concetto di adattamento: CAS «*are systems that have a large numbers of components, often called agents that interact and adapt or learn*” (4) sono sistemi che hanno un gran numero di componenti, spesso chiamati agenti che interagiscono e si adattano o apprendono. La formalizzazione moderna del pensiero sulla complessità deve molto a molti; chi è interessato non può non leggere, oltre a John Henry Holland (5) anche Edgard Morin (6). Morin, muovendo da una critica al riduzionismo e dal riconoscimento del-

(3) John Henry Holland, *Can There Be A Unified Theory of Complex Adaptive Systems?* in: Harold J. Morowitz, Jerome L. Singer, editors. *The Mind, The Brain, and Complex Adaptive Systems* (1995). Addison-Wesley

(4) John Henry Holland (2006). «*Studying Complex Adaptive Systems*» (PDF). *Journal of Systems Science and Complexity*. **19** (1): 1–8. doi:10.1007/s11424-006-0001-z. hdl:2027.42/41486. S2CID 2739820

(5) John Henry Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems* (1975, MIT Press)

l'importanza del comportamento emergente, sviluppa la epistemologia della complessità: un pensiero complesso non può essere sviluppato prescindendo dal senso scientifico della complessità. Il dibattito è aperto da molti anni (7), interessa sia i sistemi globali quali quelli biologici (genetici, metabolici e mentali), sia quelli al confine tra fisica euclidea e fisica quantistica e, ultimamente, il livello mesoscopico, lì dove è la frontiera tra le due fisiche tra loro apparentemente inconciliabili.

Holland ha sottolineato la proprietà di auto-organizzazione dei sistemi CAS (8). Questa proprietà li distingue da ogni generico cosiddetto sistema MAS (Multi-Agent System), definito come un sistema composto semplicemente da agenti multipli interagenti. In un Sistema Complesso Adattativo accanto ad auto-organizzazione,

– *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity* (1995, Basic Books).

– *Emergence: From Chaos to Order* (1998, Basic Books).

– *Signals and Boundaries: Building Blocks for Complex Adaptive Systems* (2012, MIT Press).

– *Complexity: A Very Short Introduction* (2014, Oxford University Press).

(6) Edgar Morin, «*Il metodo 3. La conoscenza della conoscenza*», Feltrinelli, Milano, 1989 (poi Raffaello Cortina Editore, Milano 2007).

– *Introduzione al pensiero complesso*, Sperling & Kupfer, Milano, 1993.

– «*Le vie della complessità*», in G.Bocchi, M.Ceruti (a cura di), op. cit., pagg. 49-66.

(7) Isabelle Stengers, «Perché non può esserci un paradigma della complessità», in G.Bocchi, M.Ceruti (a cura di), *La sfida della complessità*, Feltrinelli, Milano, 1985 (prima edizione), Bruno Mondadori, Milano, 2007 (nuova edizione), pagg. 61-83.

(8) Holland, John H. (John Henry) (1996). *Hidden order: how adaptation builds complexity*. Addison Wesley, ISBN 0201442302. OCLC 970420200.

complessità ed emersione, troviamo auto-somiglianza dei componenti, una loro storia comune, una capacità di interazione collettiva quasi obbligata, premonizione di adattamento alle perturbazioni e di capacità di sviluppare risposte evolutive.

Il fatto che nel sistema vivente umano la coscienza, il linguaggio o la capacità auto-riflessiva sono ritenute proprietà emergenti perché non spiegabili dalla semplice interazione tra neuroni sembra comunque indicare che il fascino profondo del riduzionismo è sempre presente. Nel cervello non c'è altro che neuroni (e strutture di supporto diretto), il problema rimane capire la complessità di interazione, sapere quanto le strutture formate debbano alla storia delle interazioni dinamiche pregresse, e quanto alla dinamica del presente e vivo e al suon di lui.

2. 6. Fontenelle e la conoscenza della complessità

Il libero arbitrio. Bernard le Bovier de Fontenelle è stato un intellettuale francese vissuto 100 anni a cavallo tra il '600 ed il '700, soprattutto noto per "*Entretien sur la pluralité des mondes*" (Conversazioni sulla pluralità dei mondi) (1686), riconosciuto anticipatore dei temi dell'Illuminismo, segretario perpetuo per un quarantennio dal 1697 della Académie des Sciences. Scrisse di tutto, molti suoi titoli conservano un fascino tutto loro (*Psyché, L'amour noyé, Relation curieuse de l'Île de Borneo*, tra i tanti). I suoi *Nouveaux dialogues des morts* ed il suo *Entretien*, molto citato e discusso da Kant e che gli valse il titolo di primo autore di fantascienza, mostrano la sua conoscenza della letteratura latina, di Luciano in particolare. Non voleva mostrarsi quale filosofo originale, ma in *Doutes sur le système physique des causes occasionelles*, critica aperta del pensiero di Malebranche, mostra quali fossero i suoi interessi profondi. Il ricordo che ha lasciato è quello di uomo dolce, raffinato, schivo ma coraggioso quando era opportuno, aperto alle opinio-

ni altrui. Il suo scopo intellettuale era giungere a verità che fossero condivisibili dal numero di persone più ampio possibile. Quello che ci interessa particolarmente del suo pensiero è il *Traité de la liberté de l'âme*.

Il problema che poneva nel *Traité* era riguardo al confine che esiste tra cose conoscibili e cose non conoscibili perché soggette alle regole del caso. Tra queste ne esistono di inconoscibili anche per Dio stesso (*donc Dieu ... ne peut jamais prévoir ce qui ne dépend pas d'un ordre nécessaire et invariable*). La parola che usa per separare le due categorie, il conoscibile ed il non-conoscibile nelle cose, nei fatti e nel loro divenire è “prescience”, nell’accezione di cosa prevedibile e conoscibile (“*j'appelle prescience toute connaissance de l'avenir*”). La conclusione dei suoi ragionamenti è che Dio non può conoscere quello che non è conoscibile quando questo fa parte di un sistema troppo complesso da poter essere calcolato e valutato: *la natura della prescienza di Dio mi è sconosciuta, ma conosco negli uomini quella prescienza con la quale posso giudicare quella di Dio, perché è comune a Dio e a tutti gli uomini*. Con queste parole era andato un po' troppo in là: per l'ortodossia Dio conosce tutto a priori, essendone il creatore, ed essendo quindi l'artefice anche di ciò che la mente umana non può quantizzare e ridurre a previsione calcolabile. Ed effettivamente appena stampato (1700) il libro fu immediatamente destinato al rogo per ordine del Parlamento, probabilmente per questa eccessiva umanizzazione di Dio.

Il punto che interessava veramente Fontenelle era il libero arbitrio, presente e reale solo se l'entità che lui chiama *âme* anima è in grado di sapere. Nel ragionarne dice qualcosa di molto chiaro: *Se lei [il soggetto: l'anima che deve fare delle scelte] lo può, ha in sé il potere di determinarsi, poiché nel suo cervello tutto tende solo all'indeterminazione, eppure si determina*. L'anima decide, anche in un sistema che tende alla indeterminazione, perché: *Suppongo con tutti i metafisici [...] che tutti gli*

oggetti, anche spirituali, a cui si pensa, lascino disposizioni materiali, cioè tracce nel cervello.

Ecco espresse, in poche e chiare parole, quello che sappiamo oggi dopo quattro secoli di neurobiologia. Tutto lascia traccia, tutto entra in un sistema *potenzialmente* indeterminato (in grado di decidere), e lo determinano.

Più un sistema è complesso, più le regole del suo funzionamento si allontanano da uno stato di ordine eccessivamente deterministico e si avvicinano alle regole del disordine. In questo equilibrio, se e fin che dura, prende forma lo “spazio delle possibilità”, nel quale è possibile scegliere tra più comportamenti e configurazioni alternative. È qui che in questi sistemi operano capacità di apprendimento e adattamento. È qui che c'è spazio per l'individualità e per il libero arbitrio.

Tutti hanno coscienza-di-sé, ma definirla è un altro fatto. La definizione richiede un passo ulteriore, per formularla diventa necessario mettersi al di fuori del sistema. S. Agostino ha espresso bene questo problema, con le parole riferite al tempo: *Eppure lo misuriamo il tempo: non quello che non è ancora, né quello che non è più, né quello che si estende in durata, né quello che non ha limiti; cioè non lo misuriamo né futuro, né passato, né presente, né passante, eppure lo misuriamo, il tempo* (S. Agostino, *Confessioni*, XI, 34). E ancora, sempre dal Libro XI: *È in te, spirito mio, che misuro il tempo* (*Ibidem*, XI, 36). Il tempo è una componente importante della coscienza-di-sé. Per questo definire la coscienza-di-sé non è facile.

Senza voler sconfinare nel problema del tempo, vorrei solo ricordare le parole in proposito di Censorino, scritte 150 anni prima di quelle di S. Agostino: *Quanto all'eternità, che è unica e lunghissima, non c'è qui molto da dire: è incommensurabile, senza inizio e senza fine, è sempre stata e sempre sarà di identica estensione e non appartiene a un uomo più che un altro; essa si divide in*

tre parti, passato, presente e futuro. Il passato è senza inizio, il futuro è senza fine, il presente invece, che è tra i due, è di così breve durata ed è così impercettibile da essere senza lunghezza e da sembrare nient'altro che il punto di contatto tra il passato e il futuro, ed è così mobile che non si ferma mai, toglie al futuro e colloca nel passato tutto quello che passa [...] tutto quello che non ha limite non ammette confronto di misura, quidquid enim non habet finem, conlationem mensurae non recipit. (De die natali, XVI, 2). Censorino diceva una cosa in più di S. Agostino: il presente (il tempo "oggettivo", quello dell'azione in atto) non si misura perché non ha limiti quantitativi definibili, se non un vago prima e un altrettanto vago dopo, che sfumano continuamente l'uno nell'altro. Il tempo della nostra mente non esiste dunque in senso digitale quantizzabile in unità, è solo una sensazione totale, dimensione della sfera analogica. Ed è anche per questo che definire la coscienza-di-sé non è facile.

La parola "coscienza". La parola coscienza ha una accezione analogica sin dall'inizio. Il latino *consciuis* deriva da *con-* e *scio*, sapere *con*. Spesso il suo uso veniva esteso a *consciuis sibi*, sapere a se stesso, a sottolinearne il significato di conoscenza unitaria ma condivisa al proprio interno. Questa accezione della parola coscienza si è conservata: coscienza = conoscenza condivisa, e condivisa con se stesso. Secondo quali modello arrivo a condividere con me stesso la realtà, esterna o interna che sia??

2. 7. Modelli

I modelli della coscienza-di-sé mettono in relazione fenomeni cerebrali quali la rapida attività elettrica irregolare ed uno stato di attivazione generale con proprietà della coscienza. Un tentativo di classificazione di questi modelli è stato proposto da Anil Seth (9, 10) che li considera matematici, o logici, o verbali, o concettuali.

Una possibile elencazione delle varie classi di modelli li

distingue tra “i Correlati neurali della coscienza”, proposto da F. Crick e C. Koch (11, 12); il modello di Dehaene-Changeux” (13), anche noto come global cognitive workspace model; le Teorie elettromagnetiche della coscienza (14); il modello a Network reticolare talamico (15); il Modello a schemi multipli (Multiple drafts model) proposto da Daniel Bennett, descritto in dettaglio nel suo libro *Consciousness explained* (16); i differenti modelli centrati sul Funzionalismo, aspetto della teoria della mente secondo il quale gli stati mentali sono costituiti esclusivamente dai loro ruoli funzionali; la *Attention Schema Theory*, proposta da Taylor W. Webb e Michael Graziano (17, 18). Penso che la “*Orchestrated objective*

(9) Seth, Anil (2007), «Models of consciousness».

Scholarpedia. 2 (1): 1328.

Bibcode:2007SchpJ...2.1328S. doi:10.4249/scholarpedia.1328.

(10) Seth, A. K. & Baars, B. J. 2005 Neural Darwinism and consciousness. *Consciousness and Cognition*, 14, 140-168

(11) Crick F. and Koch C. (1990) Towards a neurobiological theory of consciousness. *Seminars in Neuroscience* Vol. 2, 263–275.

(12) Koch, Christof (2004). The quest for consciousness: a neurobiological approach. Englewood, US-CO: Roberts & Company Publishers. ISBN 0-9747077-0-8.

(13) Dehaene S, Changeux JP. *Experimental and theoretical approaches to conscious processing*. *Neuron*. 2011 Apr 28;70(2):200-27.

(14) Pockett, S. (2012). «The electromagnetic field theory of consciousness: a testable hypothesis about the characteristics of conscious as opposed to non-conscious fields». *Journal of Consciousness Studies*. 19 (11-12): 191–223.

(15) Min, B. K. (2010). A thalamic reticular networking model of consciousness. *Theoretical Biology and Medical Modelling*, 7(1) 10. <https://tbiomed.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/1742-4682-7-10>

(16) Dennett D. (1992). *Consciousness Explained*. Back Bay Books. ISBN 0-316-18066-1.

(17) Webb TW, Graziano MS (2015). «The attention schema theory: a mechanistic account of subjective awareness». *Front. Psychol*. 6:

reduction” concepita da Roger Penrose vada considerata a parte, e lo facciamo in (2. 10.) “Coscienza e quanti”, e (2. 11.) “Domande aperte”.

2. 7. 1. Oltre a questi

Oltre a questi, principali modelli contemporanei sulla coscienza sono la *Global Space Theory* e la *Integrated Information Theory*, in parziale contrapposizione tra loro. Questi due modelli sono quelli considerati più significativi perché più direttamente analizzabili in ambito neurobiologico, ed in realtà per entrambi esiste attiva ricerca in corso. La chiave di interpretazione dei dati per poter distinguere tra i due modelli è la misurazione dei diversi gradi di integrazione tra i differenti foci attivi in “ricezione di stimoli-elaborazione-risposta”. Segnali di coscienza separati e singoli favoriscono il primo modello; segnali persistenti ed integrati, se dimostrati con certezza, favorirebbero il secondo.

Secondo la *Global Workspace Theory* GWT la coscienza sarebbe un processo che ha luogo nelle zone sensoriali (e quindi diffuso e multiplo: ad esempio nel cortex visivo, e/o nelle aree dell’udito e degli odori). Secondo questa teoria si ha competizione tra l’attività indotta dagli stimoli provenienti dall’esterno e l’attività endogena di cortex e talamo. Lo stimolo vincente diventa coscienza.

L’altro modello *Integrated Information Theory* IIT è stato formulato da Giulio Tononi nel 2004 (19) e continua ad essere in attiva elaborazione. Secondo Tononi (20) la coscienza esiste, è strutturata, è specifica, è unifi-

500. doi:10.3389/fpsyg.2015.00500. PMC 4407481. PMID 25954242.

(18) Graziano MS (2016). «Consciousness Engineered» (PDF). *Journal of Consciousness Studies*. **23** (11–12): 98–115.

(19) Tononi, G., An information integration theory of consciousness». *BMC Neuroscience*.2004, **5** (1):

42. doi:10.1186/1471-2202-5-42.

cata, è definita; se si è consci di un oggetto per un certo lasso di tempo, si ha un segnale di coscienza per lo stesso periodo. Secondo queste caratteristiche (è una mia interpretazione, non necessariamente in linea con la IIT formale) le percezioni diventerebbero consce solo se inviate ad altre aree integrandole ad altre percezioni o con altri siti attivi, ad esempio uno dei centri di memorie. La sede della coscienza sarebbe allora localizzabile e posta nelle zone di integrazione; secondo il modello IIT, dovrebbe essere interessato il cortex posteriore, data l'osservazione della attività di neuroni di questa zona in processi di percezione conscia (21).

La Integrated Information Theory è basata sulla idea centrale che l'informazione combinata è qualcosa di più della somma delle informazioni singole; in questo "di più" consisterebbe la coscienza. Questa sarebbe allora una proprietà emergente della somma delle percezioni. È solo questo?

È stato proposto che la quantità di coscienza si possa misurare in unità dette "phi". Il sistema consiste nel dividere uno stato di coscienza in parti e nel misurarne l'intensità. Quello che si misura è l'attività dei neuroni coinvolti nelle varie componenti di una situazione di una esperienza definita che coinvolge più percezioni differenti. Se i valori ottenuti per le singole parti influenzano gli altri valori si ha coscienza e la si può misurare; se i valori sono completamente indipendenti tra loro phi è zero, e coscienza non c'è. Il valore di Phi è alto se il sistema integra bene l'attività dei moduli funzionali, come sembra

(20) Tononi, G., Integrated information theory.

Scholarpedia. **10** (1): 4164, 2015. Bibcode:

2015SchpJ..10.4164T. doi:10.4249/scholarpedia.4164.

(21) Boly, M.; Massimini, M.; Tsuchiya, N.; Postle, b. R.; Koch, C.; Tononi, G. Are the Neural Correlates of Consciousness in the Front or in the Back of the Cerebral Cortex? Clinical and Neuroimaging Evidence». *Journal of Neuroscience*. 2017, **37** (40): 9603–9613. doi:10.1523/JNEUROSCI.3218-16.2017.

avvenire nel cortex; è basso nel cervelletto che integra poco l'attività dei suoi numerosi moduli indipendenti. Il sistema di calcolo è reso complesso dall'alto numero di variabili coinvolte e di neuroni del nostro cervello. Sono stati proposti sistemi di calcolo semplificati, basati sui metodi usati per studiare i rapporti tra le stelle nelle galassie in movimento (arxiv.org/abs/1601.02626).

Vale forse la pena considerare anche che la integrazione necessaria perché una percezione divenga coscienza può essere parziale e/o deficitaria. La parzialità potrebbe riguardare il tempo di un processo specifico, che potrebbe essere troppo breve; o la quantità di coinvolgimenti, che potrebbero essere troppo limitati o troppo simili e ripetitivi; o avvenire in sistemi cerebrali compromessi, come nel caso di pazienti split-brain o mancanti di parti (22, 23). Questo spiegherebbe la sussistenza di coscienza in pazienti con vario grado di compromissione.

Nella nostra prospettiva, il modello GWT è di tipo digitale, il modello IIT è puramente analogico.

A questi modelli non siamo arrivati per caso.

2. 8. Piccolo Bignami dei modelli progressi

Si può tracciare un filo rosso che indichi il percorso delle riflessioni sulla percezione, velata di pensiero, sfumata da

(22) De Haan, Edward H. F.; Corballis, Paul M.; Hillyard, Steven A.; Marzi, Carlo A.; Seth, Anil; Lamme, Victor A. F.; Volz, Lukas; Fabri, Mara; Schechter, Elizabeth; Bayne, Tim; Corballis, Michael; Pinto, Yair (2020). «Split-Brain: What We Know Now and Why This is Important for Understanding Consciousness». *Neuropsychology Review*. **30** (2): 224–233. doi:10.1007/s11065-020-09439-3.

(23) Feuillet, Lionel; Dufour, Henry; Pelletier, Jean (2007). «Brain of a white-collar worker». *The Lancet*. **370** (9583): 262. doi:10.1016/S0140-6736(07)61127-1.