

MARTINA ARDIZZI

L'algoritmo bipede

L'avvincente storia di come mente,
corpo e tecnologia evolvono insieme

Prefazione di
LUCA DE BIASE



L'algorithmo bipede

Che cosa succede al nostro cervello quando le nostre mani iniziano a utilizzare una tecnologia inventata dalla nostra stessa mente? Un viaggio affascinante tra neuroscienze, evoluzione e innovazione che ci racconta come siamo diventati esseri umani e come (forse) stiamo diventando qualcos'altro.

Martina Ardizzi ci guida con leggerezza e ironia attraverso i meccanismi più profondi della nostra mente, svelando come ogni nostro strumento – dal primo sasso scheggiato ai visori virtuali – non sia solo un oggetto esterno, ma una vera e propria protesi del nostro pensiero.

Un saggio che trasforma la complessità scientifica in una narrazione coinvolgente, dove scopriamo che il cervello umano non è un organo chiuso, ma un sistema dinamico che si adatta costantemente all'ambiente, incorporando tecnologie, linguaggi e nuove esperienze.

Il racconto che si dipana in queste pagine ci restituisce la meraviglia di scoprirci esseri in continua evoluzione, capaci di immaginare mondi nuovi e reinventarci senza sosta. Un libro che non solo spiega come funzioniamo, ma ci invita a riflettere su chi siamo e chi potremo diventare.

MARTINA ARDIZZI è Ricercatrice al Dipartimento di Medicina e Chirurgia, Unità di Neuroscienze, dell'Università di Parma, dove insegna Psicobiologia e Psicobiologia dell'identità di genere e dell'orientamento sessuale. È membro del Centro di Bioetica dello stesso ateneo, siede nel comitato scientifico della Biennale della Tecnologia di Torino ed è trustee di Imminent Translated's Research Center.

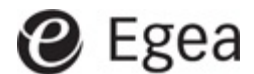
CULTURA E SOCIETÀ

MARTINA ARDIZZI

L'algoritmo bipede

L'avvincente storia di come mente, corpo
e tecnologia evolvono insieme

Prefazione di
LUCA DE BIASE



Copertina: Mauro Zignani, Studio Wise, Milano

Illustrazione: Altri fiumi, Trezzo sull'Adda (MI) (immagine generata con [Openart.ai™](#))

Impaginazione: Valentina Apolloni, Milano

Copyright © 2025 EGEA S.p.A.

Via Salasco, 5 – 20136 Milano

Tel. 02/5836.5751 – Fax 02/5836.5753

egea.edizioni@unibocconi.it – www.egeaeditore.it

Tutti i diritti sono riservati, compresi la traduzione, l'adattamento totale o parziale, la riproduzione, la comunicazione al pubblico e la messa a disposizione con qualsiasi mezzo e/o su qualunque supporto (ivi compresi i microfilm, i film, le fotocopie, i supporti elettronici o digitali), nonché la memorizzazione elettronica e qualsiasi sistema di immagazzinamento e recupero di informazioni. Per altre informazioni o richieste di riproduzione si veda il sito www.egeaeditore.it.

Date le caratteristiche di Internet, l'Editore non è responsabile per eventuali variazioni di indirizzi e contenuti dei siti Internet menzionati.

Prima edizione: marzo 2025

ISBN volume 979-12-229-3020-6

ISBN ebook 978-88-238-8960-6

Indice

Prefazione, di *Luca De Biase*

Introduzione

- 1 Homo Garrulus
- 2 Se non vedo, non credo
- 3 Martelli per costruire, occhiali per vedere e lettere per parlare
- 4 E se Darwin avesse avuto il 5G?
- 5 Un cervello che accetta i cookies

Prefazione

di *Luca De Biase**

A San Francisco i robotaxi devono fronteggiare la protesta di alcuni cittadini che come forma di lotta sociale hanno scelto anche quella di piazzarsi davanti alle macchine senza guidatore per impedirne la circolazione. Secondo testimoni oculari, sorprendentemente, alcuni di quei robot su quattro ruote hanno imparato che, dopo essersi fermati per non nuocere ai pedoni, possono tentare di ripartire cominciando a dare delle leggerissime spintarelle alle persone che si sono fermate davanti, in modo da non danneggiarle ma riuscendo a spostarle quanto basta per ripartire. La «spinta gentile» è valsa un Nobel a Richard Thaler, l'economista che l'ha inventata, ma per adesso non è stata sufficiente per convincere l'Accademia svedese a offrire un premio anche al robotaxi che l'ha applicata.

La vicenda si inquadra in una sorta di conflitto tra un certo numero di cittadini della città californiana e le auto senza pilota, da loro considerate pericolose, inefficienti, socialmente sbagliate. Secondo altri, invece, le auto senza pilota libereranno le città dal traffico, ridurranno le emissioni di gas-serra, ridurranno gli incidenti. Tutto questo non manca di suggerire pressanti questioni all'attenzione di chi dibatte sul futuro del rapporto tra gli umani e le macchine. Un fatto però è certo. Le intelligenze hanno conquistato il centro della scena. Artificiali, collettive, biologiche; allucinate, manipolabili, geniali; spaziali, emotive, razionali, motorie; informate, controllate, visionarie: ce n'è per tutte le curiosità. Sicché, le domande si moltiplicano per chi studia i cervelli di ogni tipo.

Le neuroscienze, sulla scorta di tecnologie di osservazione sempre più potenti e di teorie sempre meno convenzionali, abbracciando un approccio interdisciplinare che unisce fisiologia e biologia molecolare, fisica e

psicologia, informatica e chimica, medicina e statistica, sono salpate dai porti sicuri e si sono lanciate nell'esplorazione della complessità di migliaia di miliardi di relazioni tra sinapsi, cellule nervose, corpi e ambienti, manufatti e significati. Si ha l'impressione che questa volta non se ne esca senza una trasformazione profonda del modo di pensare il pensiero. Stretti tra le macchine che ragionano, le tensioni sociali che montano e l'ambiente che si ribella, gli umani – specialmente se maschi, bianchi, boomer, occidentali e di ceto medio – rischiano di dover affrontare una crisi di identità. Missioni disumane e rivoluzioni autoritarie mettono in difficoltà qualsiasi declinazione della convinzione che l'etica delle trasformazioni richieda di difendere la posizione dell'uomo al centro. E il progresso della scienza è anche il regresso della posizione dell'umanità nell'universo, che era artificialmente più elevata, almeno in Occidente appunto, prima di Niccolò Copernico, Charles Darwin, Sigmund Freud, Alan Turing e delle loro conseguenze paradigmatiche.

Difficile in questo contesto immaginare come il caro vecchio «cogito ergo sum» possa essere modernizzato. Penso, mi adatto, innovo: dunque divento? Oppure: evolvo dunque sono? Tra le riformulazioni del grande slogan di René Descartes alcune sono meno efficaci, altre sono meno chiare: ma tutte cercano di spiegare perché il metodo per leggere le relazioni tra il pensiero e l'essere richieda un discorso più complesso di quello che il filosofo francese sviluppava nel 1637. Alla fine del primo quarto del XXI secolo la domanda «chi sono?» è sempre meno comprensibile senza tener conto di «che cosa siamo».

In tutto questo i neuroscienziati, appunto, aiutano. Pensando a noi stessi pensanti, questi ricercatori affrontano il compito più vicino alla definizione di complessità, insieme forse alla fisica quantistica. E il risultato, in sintesi, di questa ricerca comincia ad apparire più evidente. Il mondo che la mente degli umani può conoscere, l'ambiente nel quale si svolge la vita degli umani, le tecnologie che gli umani creano non sono realtà separate: sono gli elementi costitutivi di un sistema unitario che i cervelli degli scienziati che studiano i cervelli cominciano a riconoscere. È un bellissimo labirinto pieno di sorprese, curiosità e scoperte fondamentali. E per chi voglia avventurarsi

in questo percorso, Martina Ardizzi è una magnifica guida, originale e chiarissima, ironica e appassionata.

In principio, ovviamente, c'è il tempo. Cioè, in altri termini, l'evoluzione che è, insieme, la prospettiva interpretativa e la struttura della storia che si dipana sotto gli occhi dei ricercatori, composta di grandi novità e profonde permanenze. In questa prospettiva il tempo non è una successione di passato, presente e futuro, ma il riflesso della complessità delle durate dei fenomeni: lenti, come spesso è la dinamica della biologia; relativamente veloci, come l'innovazione della tecnologia; rapidissimi, come gli aggiustamenti del cervello alle novità transitorie. Tutti fenomeni connessi, incomprensibili isolatamente, tanto da definire questa storia come una co-evoluzione tra tutti gli elementi ecologici e culturali in gioco. Le varie forme dell'adattamento all'ambiente e le forze che modificano l'ambiente si svolgono in contesti definiti dalle menti degli umani, nei quali i rapporti con l'ecosistema sono mediati dalle tecnologie, nel quadro di narrazioni che aiutano a interpretare il mondo: le nicchie ecologiche sono anche nicchie cognitive. È una fusione tra naturale e artificiale che l'intelligenza del presente è chiamata a comprendere.

Un passaggio nel quale le neuroscienze si trovano perfettamente a loro agio. Come dimostra la leggerezza con la quale le parole di Martina Ardizzi esplorano le frontiere dell'evoluzione e gli argomenti più affascinanti. Come per esempio il linguaggio: non più un argomento specialistico ma il nodo di una ricerca interdisciplinare che va dalla sopravvivenza nell'ambiente alla postura del corpo, dai movimenti delle mani alla forma della faringe, dalla capacità di astrazione alla molteplicità delle lingue e delle strutture della collaborazione, con per di più l'abolizione della distanza abissale che un tempo si immaginava intercorresse dal punto di vista linguistico tra gli umani e gli animali (o tra gli umani e le loro tecnologie, come le intelligenze artificiali generative inducono a pensare).

Del resto, per converso, il patrimonio genetico risulta un argomento sopravvalutato se considerato separatamente dall'ambiente: la differenza genetica tra umani e scimpanzé è troppo ridotta per poter essere chiamata in causa nella spiegazione delle distanze comportamentali, tecnologiche e cognitive tra le due specie. E d'altra parte quella piccola differenza risulta

strategica proprio perché consente maggiori probabilità di adattamento e interazione con l'ambiente: una delle mutazioni che sono accadute agli umani ma non ai primati più simili agli umani ha l'effetto di rallentare il processo che riduce la plasticità del cervello e consente agli umani di imparare di più, con maggiore flessibilità, in modo costantemente innovabile, per applicarsi a diversi argomenti, adattarsi a diversi contesti, accettare diverse tecno-nicchie.

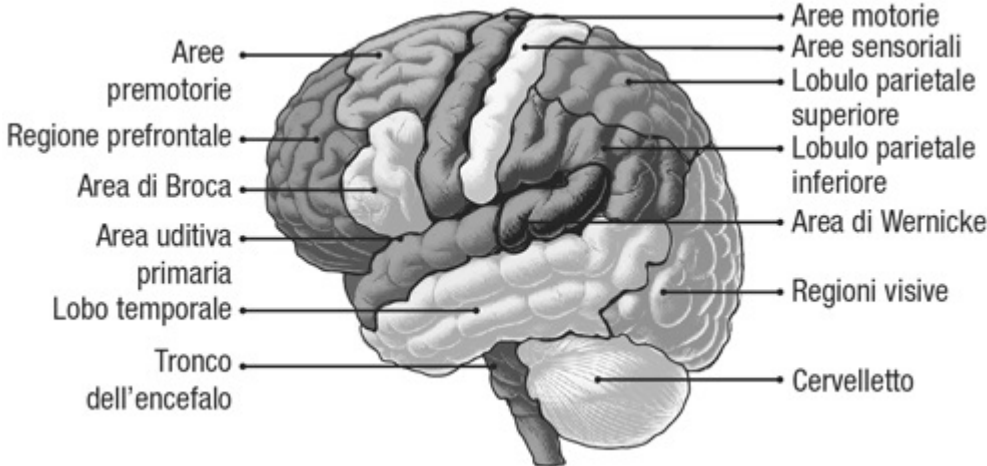
Già. Perché come le tecnologie possono servire a modificare l'ambiente per renderlo più adatto alla sopravvivenza degli umani, così le stesse tecnologie si impongono agli umani per indurli ad adattarsi all'ambiente che hanno creato. E Internet, i social network, le intelligenze artificiali hanno queste capacità, per esempio trasformando le strategie di memorizzazione, le capacità di attenzione e concentrazione, lo stesso senso della realtà. Più profondamente, inoltre, le tecnologie digitali sono al culmine dell'esperienza che gli umani hanno coltivato con l'esternalizzazione – e la collettivizzazione – di certe funzioni cognitive, come l'accumulazione della conoscenza: gli umani non pensano più da soli, non sono più gli unici abitanti del proprio corpo, non sono più individui. O meglio, sono insieme individui, coppie, comunità, collettività. Per qualcuno sono addirittura «dividui». Di certo, sperimentano molteplici identità, come diverse realtà e contesti. In tutto questo, il cervello immagina e si illude, proietta la conoscenza del proprio corpo su qualsiasi cosa lo ricordi, si comporta in modo talvolta prevedibile e dunque manipolabile. Solo la consapevolezza di questi «meccanismi» può salvare quello che resta di una sorta di libertà. Martina Ardizzi ci aiuta a coltivarla, quella libertà. Senza sottrarsi, appena può, a un sorriso.

Tutto questo è essenziale, in un momento storico nel quale gli umani sono ancora stupefatti dalla bravura di certe intelligenze artificiali disincarnate, ma già si preparano a costruire macchine capaci di muoversi nello spazio, imparare a ripetere i gesti degli altri, leggere le emozioni e agire di conseguenza, apprendere a contrastare i comportamenti troppo inefficienti degli umani. Si prepara, insomma, l'epoca della convivenza degli umani con i robot nella vita quotidiana. Non sarà soltanto un'ennesima rivoluzione. Ma una nuova tappa dell'evoluzione.

* Giornalista dell'innovazione per *il Sole 24 Ore*. Autore e voce per Rai Radio 3. Docente di Storia del futuro alla Luiss, collabora con il master in Comunicazione della scienza della Sissa di Trieste. Gateway designer al National Biodiversity Future Center. Autore, tra l'altro, di *Il lavoro del futuro* (2018), *Eppur s'innova. Viaggio alla ricerca del modello italiano* (2022), *Apologia del futuro* (2024). Scrive su blog.debiase.com e sulla newsletter *Media Ecology*.

*La moka è già pronta.
Non farti fregare, i gatti hanno già mangiato.
Ti ho rubato le ciabatte, al solito.
Ci vediamo a casa stasera.*

Il nostro cervello... oggi



Introduzione

La distanza tra le rotaie della maggior parte delle strade ferrate di tutto il mondo è 1435 millimetri. George Stephenson, ingegnere britannico, la utilizzò per progettare la Stockton-Darlington Railway e la Liverpool-Manchester Railway.

Lo scartamento aveva questa dimensione per via della larghezza delle carrozze inglesi. Le carrozze inglesi erano fatte così per poter percorrere i solchi tracciati sulle strade di pietra londinesi costruite secoli prima dai Romani.

I Romani avevano inciso solchi alla distanza di 1435 millimetri perché quella era la larghezza delle loro bighe.

Le bighe erano costruite considerando questa specifica distanza perché corrispondeva alla larghezza necessaria per avere due muli al tiro.

Una bambina curiosa chiede a sua madre perché tagli le estremità del prosciutto prima di cuocerlo.

La donna risponde che è così che sua madre faceva.

La bambina allora si rivolge alla nonna e anche lei dice di aver imparato a tagliare le due parti della carne dalla propria madre.

La bisnonna, interrogata, spiega che lo faceva perché la teglia che usava era troppo piccola per contenere il prosciutto intero.

Queste due storie sono entrambe inventate. O, meglio, 1435 millimetri è realmente la dimensione dello scartamento standard ma la sua derivazione dalla larghezza del dorso dei muli romani è alquanto discussa e probabilmente falsa.

Proprio per la loro natura immaginaria, queste narrazioni mettono ben in luce la tendenza umana (soprattutto occidentale) a concepire le connessioni tra gli eventi come una serie sostanzialmente lineare.

Per lungo tempo anche l'evoluzione dell'uomo è stata narrata da una prospettiva lineare e vista come il lento, seppur inesorabile, susseguirsi di cause ed effetti che ci hanno portati ai giorni nostri.

Secondo questa visione le cause della nostra evoluzione sono sostanzialmente ambientali: climi più o meno ostili, presenza di predatori, scarsità o abbondanza di cibo, epidemie e così via. Le conseguenze sono principalmente biologiche: perdita o crescita del pelo corporeo, sviluppo di strategie difensive, selezione di individui in grado di resistere a intossicazioni o infezioni di vario tipo, ecc. L'ambiente chiede, l'organismo si adatta; ciò che ha successo si mantiene, ciò che fallisce si estingue e alla fine eccoci qua: varie versioni di ominidi glabri che camminano verso destra sui sussidiari di tutto il mondo.

La pressione selettiva dell'ambiente esiste, il punto cruciale, però, è che l'uomo per adattarsi e assicurarsi maggiori possibilità di sopravvivenza non ha «solamente» modificato il proprio organismo ma ha fatto anche una cosa che non è mai riuscita a nessun'altra specie animale: ha modificato l'ambiente. Vediamo un esempio.

A causa di una mutazione genetica, alcuni esemplari di falena *Biston betularia* si trovarono con una colorazione scura delle loro ali, altrimenti tipicamente chiare e utili a mimetizzarsi sui tronchi bianchi di betulla. La prima falena *carbonaria* (così sono chiamati gli esemplari con ali scure) viene catturata nei pressi di Manchester nel 1845. In quegli anni la presenza di molta fuliggine rilasciata dalle industrie inglesi aveva scurito i tronchi degli alberi, sfavorendo le falene senza mutazione e favorendo quelle portatrici dell'anomalia genetica. La falena *carbonaria* ha acquisito un vantaggio mimetico sulla forma tipica della sua specie diventando in breve tempo numericamente prevalente e incarnando il fenomeno detto melanismo industriale.

Nello stesso periodo anche l'uomo affrontava alcuni adattamenti dovuti all'aumento dell'inquinamento industriale. L'esposizione prolungata a fuliggine e fumi tossici andava infatti producendo in alcuni individui un adattamento fisiologico che permetteva loro una maggiore resistenza al nuovo contesto ambientale. Al contempo, però, l'uomo modifica l'ambiente. In quel periodo, per esempio, per aumentare l'ossigenazione delle aree urbane vennero promosse, pianificate e realizzate specifiche isole verdi: gli attuali parchi pubblici.

La falena ha favorito la propria sopravvivenza attraverso la selezione di una mutazione biologica; l'uomo ha affiancato a un adattamento dell'organismo anche una sostanziale modifica dell'ambiente.

Se ci fermassimo a questa lettura potremmo parlare di «semplice» *interdipendenza* uomo-ambiente: l'ambiente agisce sull'uomo che a sua volta agisce sull'ambiente. Ambiente e uomo sarebbero quindi due entità autonome che esercitano una reciproca influenza avendo entrambe un'azione interferente sull'altro. In realtà, la questione è molto più complessa di così. L'evoluzione della nostra specie non si limita infatti a modificare l'ambiente producendo in esso dei cambiamenti, anche molto estesi; nella sua azione sull'ambiente, l'uomo ha creato degli *strumenti tecnologici* e questo fa un'enorme differenza.

Tornando all'epoca della rivoluzione industriale, accanto alla progettazione di parchi pubblici, l'uomo ha inventato alcuni strumenti che gli permettevano di eseguire le mansioni ad alta esposizione tossica a una maggiore distanza. Col tempo, questi strumenti sono evoluti diventando macchinari automatici e robot industriali.

Uno strumento tecnologico, a differenza di un oggetto, è un elemento funzionale esterno che viene integrato nel sistema biologico dell'agente modificando la sua esperienza dell'ambiente fino a diventare obbligatorio per generare e sostenere le attività ecologiche e culturali di una specie. Così, se raccogliamo da terra un sasso per spaccare il guscio di una noce, stiamo usando un oggetto; ma se quel sasso lo scegliamo o lo modifichiamo per adattarsi alla nostra mano e lo portiamo con noi, iniziamo a preferire le noci ad altri frutti perché evitiamo la competizione alimentare, insegniamo quindi ai giovani membri della specie come usarlo e magari ne sviluppiamo diverse versioni; ora stiamo usando uno strumento tecnologico. Non lo chiamiamo più sasso; lo chiamiamo lama, falce o coltello.

Dalla prima pietra affilata, al controllo del fuoco, fino al cannocchiale, ai vaccini e all'intelligenza artificiale, la tecnologia ha costituito un fattore unico e cruciale della storia evolutiva dell'uomo. Nel corso dell'evoluzione la nostra specie ha creato strumenti motori, sensoriali e cerebrali fino ad arrivare agli strumenti ontologici di oggi.

L'uomo è un *animale empirico* che procede dall'esperienza per alimentare e costruire il proprio mondo mentale. L'introduzione della tecnologia cambia l'esperienza alla portata del nostro corpo, dei nostri sensi e del nostro cervello alimentando il mondo mentale secondo una traiettoria nuova. L'uso di lame affilate (*strumento motorio*) cambia ciò che le nostre mani possono fare; l'adozione di microscopi (*strumento sensoriale*) cambia quello che i nostri occhi possono vedere; la scrittura (*strumento cerebrale*) modifica il nostro modo di ricordare e pensare; infine, l'intelligenza artificiale (*strumento ontologico*) ha sfuocato i confini antropomorfi portandoli all'esterno della nostra carne.

Da un punto di vista neuroscientifico modificare l'esperienza motoria o sensoriale del mondo significa modificare anche la mente di coloro che usano quello strumento. È ormai da tempo che non pensiamo più solo con il nostro cervello: gli strumenti che abbiamo attorno costituiscono un'impalcatura *materiale* a un processo che non è più squisitamente *mentale*¹. Da questo mondo mentale emergono nuovi strumenti tecnologici che stimolano nuovi confini, e così via in un circolo infinito. Ecco perché è così rilevante dal punto di vista dell'evoluzione umana aver prodotto e utilizzato degli strumenti tecnologici per adattarsi all'ambiente.

In realtà, l'immagine dell'evoluzione umana è molto fitta e articolata ([Figura 1](#)). Oltre a contenere un corpo che cambia forma e modo di camminare (e perde peli), deve considerare anche gli strumenti tecnologici e gli *ambienti antropomorfi* che si susseguono². Uomo e ambiente non sono solamente interdipendenti: piuttosto *co-evolvono*, grazie alla mediazione che la tecnologia ci garantisce. La co-evoluzione è il processo attraverso cui due o più specie, sistemi o entità si influenzano reciprocamente nella loro evoluzione. Siamo di fronte a co-evoluzione quando i cambiamenti in una specie o sistema innescano cambiamenti in un'altra, portando a un'evoluzione parallela e interdipendente.

Figura 1 La co-evoluzione di uomo, ambiente e tecnologia (immagine esemplificativa)



Il libro che vi apprestate a leggere osserva il passato, analizza il presente e si domanda quale sarà il futuro della co-evoluzione di uomo e ambiente da una *prospettiva neuroscientifica*. Prenderemo innanzitutto in esame come l'esperienza del corpo e dei sensi costruisca il nostro mondo mentale ([Capitolo 1](#)). Oggi parliamo perché prima abbiamo iniziato a muovere le mani in un certo modo ([Capitolo 2](#)) mentre la vista, insieme agli altri sensi, costruisce ciò che pensiamo anche quando non vediamo con i nostri occhi ma grazie a strumenti tecnologici ([Capitolo 3](#)). La storia di come strumenti motori, sensoriali e cerebrali si siano co-evoluti con la nostra mente umana ([Capitolo 4](#)) farà da anticamera a un'analisi del presente per capire come Internet, le tecnologie immersive e l'intelligenza artificiale stiano interagendo con la nostra mente ([Capitolo 5](#)). L'intelligenza che oggi riconosciamo come umana non è «naturale» come non lo sono la nostra creatività, la nostra memoria o il nostro ambiente. Viviamo in un mondo dove i *cookies* non sono più fatti solo di burro e nocciole, ma sono anche piccoli frammenti di codice che raccolgono informazioni per trasformarle in adattamenti digitali. Anche il nostro cervello accetta i *cookies* tecnologici per trasformarli in *adattamenti neurali e poi mentali*. Per questo nelle ultime pagine faremo riferimento al futuro della nostra mente in un contesto in cui corpo, mente e tecnologia si fondono in un processo ontologico ([Capitolo 6](#)).

Ma procediamo con ordine. Se ora sto scrivendo queste righe è anche perché posso e so usare il linguaggio. Partiamo proprio da qui. Che relazione c'è e c'è stata tra esperienza corporea e linguaggio?

Note

¹ L. Malafouris, *How things shape the mind. A theory of material engagement*, Cambridge (Mass.), The MIT Press, 2013.

² F. Parisi, *La tecnologia che siamo*, Torino, Codice, 2019.

1 Homo Garrulus

Tak-tak-tak-trrrrr

Nella mitologia greca Melampo è un taumaturgo e veggente capace di comprendere il linguaggio degli animali. Questo potere gli è stato donato da due serpenti che, grati per il funerale che Melampo aveva organizzato per la loro madre, gli leccarono le orecchie mentre dormiva.

Il sogno di dialogare con gli altri animali accompagna l'essere umano praticamente da sempre in tradizioni che si ripetono in moltissime culture. San Francesco d'Assisi, re Salomone, Sigfrido, Brigid nella mitologia celtica ed Enkidu nella mitologia sumera sono tutti personaggi che tra le loro molte abilità avevano anche quella di parlare con gli animali. Oggi c'è chi questo sogno lo ha preso particolarmente sul serio. Nel 2019 il biologo David Gruber ha dato vita al progetto CETI (Cetacean Translation Initiative) nel quale cetologi, informatici, linguisti, esperti di robotica e crittografia lavorano insieme allo scopo di utilizzare l'intelligenza artificiale per chiacchierare con i capodogli¹; il piano proposto prevede la raccolta di enormi dataset bioacustici, l'analisi delle unità di comunicazione di base e l'uso di modelli di apprendimento profondo² per rilevare strutture linguistiche avanzate. La sfida attuale del progetto è sviluppare tecnologie in grado di rispondere in tempo reale alle vocalizzazioni dei capodogli, simulando conversazioni interattive. Questi sistemi di playback autonomi potrebbero monitorare e interagire con gli animali senza la presenza umana diretta³.

Sul nostro pianeta vivono più di otto milioni di specie animali e noi capiamo il «linguaggio» soltanto di una decina di queste specie, ma appunto



ci stiamo attrezzando per capirne e parlarne sempre di più. CETI non è infatti l'unico progetto a sfruttare l'intelligenza artificiale per decodificare la comunicazione animale: l'Earth Species Project⁴ ha l'obiettivo di creare una piattaforma per la comunicazione interspecie; il software DeepSqueak⁵ utilizza reti neurali per analizzare le vocalizzazioni ultrasoniche dei roditori; Zoolingua⁶ mira a decodificare i segnali comportamentali e vocali dei cani, sviluppando una app che consenta una comunicazione più chiara tra umani e animali domestici. Questi sono solo alcuni dei progetti in fase di sviluppo più avanzata, ma non dubito che ce ne siano molti altri.

Per i nostri scopi, CETI è il tentativo più interessante soprattutto perché ha scelto di parlare con una delle specie animali con le capacità comunicative più sorprendenti. I capodogli sono animali incredibili, capaci di emettere vocalizzi, i *click*, che costituiscono la sorgente acustica biologica più intensa mai registrata (223 dB re 1μPa/1m). «Tak-tak-tak-trrrrr-tk-tk-tk-crrrrr- tak-tak-tak-trrrrr-tk-tk-tk-crrrrr»: questo è, più o meno, il nome proprio dei capidogli del Mediterraneo, uno schema 3+1 di click e suoni sordi. Normalmente il capodoglio emette sequenze regolari per esplorare l'ambiente in cerca di potenziali prede, utilizzando il suono come noi useremmo la vista. Quando però non sta cacciando, il capodoglio può produrre treni di click in sequenze stereotipate, i *codas*, con i quali comunica ad altri individui la sua identità o, meglio, il nome del suo clan: riconoscere chi fa parte del proprio clan diventa particolarmente utile soprattutto se puoi coprire centinaia di chilometri in una sola battuta di caccia.

Il modello 3+1 è il nome che si sono dati i capidogli del Mediterraneo e che le femmine adulte insegnano ai cuccioli del loro clan (i maschi adulti vivono solitari). Nonostante la complessità e la versatilità della comunicazione di questo cetaceo, il capodoglio però non parla. *L'uomo è l'unico animale a parlare*. Tutti gli altri animali comunicano. Questa affermazione non è figlia di una sorta di antropocentrismo becero, ma dipende principalmente dalla definizione che si è data di linguaggio (sì, certo, definizione che ne abbiamo dato noi umani, dando prova di riflessività linguistica). Il linguaggio verbale è una forma di comunicazione che avviene attraverso un determinato complesso di suoni, gesti, simboli e

movimenti dotati di significato, e che presenta ricorsività, generatività e un'articolata organizzazione sintattico-grammaticale. Nonostante alcune forme di comunicazione animale siano estremamente avanzate, il linguaggio umano rimane unico (Figura 2).

Figura 2 Le principali differenze tra linguaggio umano e comunicazione animale

Ricorsività	 <p>Capacità di inserire frasi all'interno di altre frasi in modo illimitato, creando strutture complesse e significati nuovi.</p>	 <p>I segnali sono limitati a forme e strutture predefinite.</p>
Sintassi	<p>Uso di regole per combinare parole e frasi in modi specifici.</p>	<p>Modelli sequenziali, privi di regole sintattiche complesse.</p>
Arbitrarietà	<p>Lo stesso significato può essere espresso con suoni, lettere o gesti diversi.</p>	<p>Comunicazione direttamente legata a segnali specifici con significati concreti.</p>
Dislocazione spaziotemporale	<p>Si possono identificare eventi in tempi, spazi e circostanze differenti.</p>	<p>Comunicazione legata all'immediato presente e alle circostanze contingenti.</p>
Apprendimento culturale	<p>L'uomo ha la capacità innata di acquisire il linguaggio ma il suo apprendimento viene trasmesso culturalmente.</p>	<p>Gli animali hanno un'innata comprensione e produzione della maggior parte dei segnali comunicativi della loro specie. Le tipizzazioni per clan o gruppi sono apprese per imitazione.</p>
Riflessività	<p>L'uomo può parlare e riflettere sul linguaggio (come stiamo facendo ora).</p>	<p>Assente.</p>

[Clicca per la descrizione estesa](#)

Le api, per esempio, comunicano messaggi anche molto complessi attraverso la danza dell'addome. Questa forma di comunicazione non verbale venne scoperta dal biologo austriaco Karl Ritter von Frisch che poi nel 1973 vinse il Nobel insieme a Nikolaas Tinbergen e Konrad Lorenz. Quando un'ape mellifera trova una risorsa alimentare nell'ambiente fa ritorno all'alveare e si reca nell'area adibita alle danze, demarcata da segnali chimici. Qui, in mezzo a uno sciame ammassato di compagne, esegue la danza, tracciando una figura a forma di otto: percorre un tratto rettilineo agitando ad alta frequenza l'addome (fase oscillatoria), poi compie una svolta a destra per ritornare al punto di partenza (fase di ritorno), esegue un'altra fase oscillatoria, seguita da una svolta a sinistra, e così in successione. Le vibrazioni con frequenze tra 230 e 270 Hz prodotte durante la fase oscillatoria richiamano le api bottinatrici (quelle che

raccolgono e portano il nettare nell'alveare) che raggiungono l'esemplare danzante e su di esso appoggiano le loro antenne pronte ad ascoltare il messaggio. L'odore sul corpo della danzatrice rivela la natura della risorsa; la direzione e la lunghezza del tratto percorso oscillando indicano il luogo del ritrovamento; infine, più è lunga e vivace la danza più la risorsa è di interesse. Anche se estremamente complessa, questa forma di comunicazione è stereotipata e limitata, parla di eventi specifici, contingenti e presenti. Inoltre, sebbene un'ape *cerana cerana* possa capire la danza di un'ape *mellifera ligustica*, non è presente una vera e propria trasmissione culturale.

L'esclusività del linguaggio umano ha complicato non poco il suo stesso studio perché non ha permesso di osservare gli altri animali. Possiamo apprendere molto della comunicazione animale ma è impossibile trasferire direttamente all'uomo quello che sappiamo. Per questo attorno al linguaggio ci sono ancora molte diatribe scientifiche e visioni completamente opposte su alcune domande fondamentali. Come è accaduto che questo ominide glabro si sia messo a parlare? Quando è successo che ha avuto così tante cose da dire da iniziare a usare le parole? Perché è successo solo a lui e non ad altri animali?

A un angolo, armati di mocassini, i fautori della *discontinuità* sostengono che il linguaggio umano sarebbe emerso in modo improvviso e radicale, come un big bang evolutivo. Grazie a una specifica quanto ignota innovazione biologica, il cervello della nostra specie si sarebbe trasformato ottenendo la capacità di sviluppare regole grammaticali, sintassi complessa e un repertorio infinito di significati. Data la sua eccezionalità, il linguaggio avrebbe seguito un percorso evolutivo unico, dettato da nuove pressioni selettive che ne hanno fatto un balzo evolutivo tutto umano.

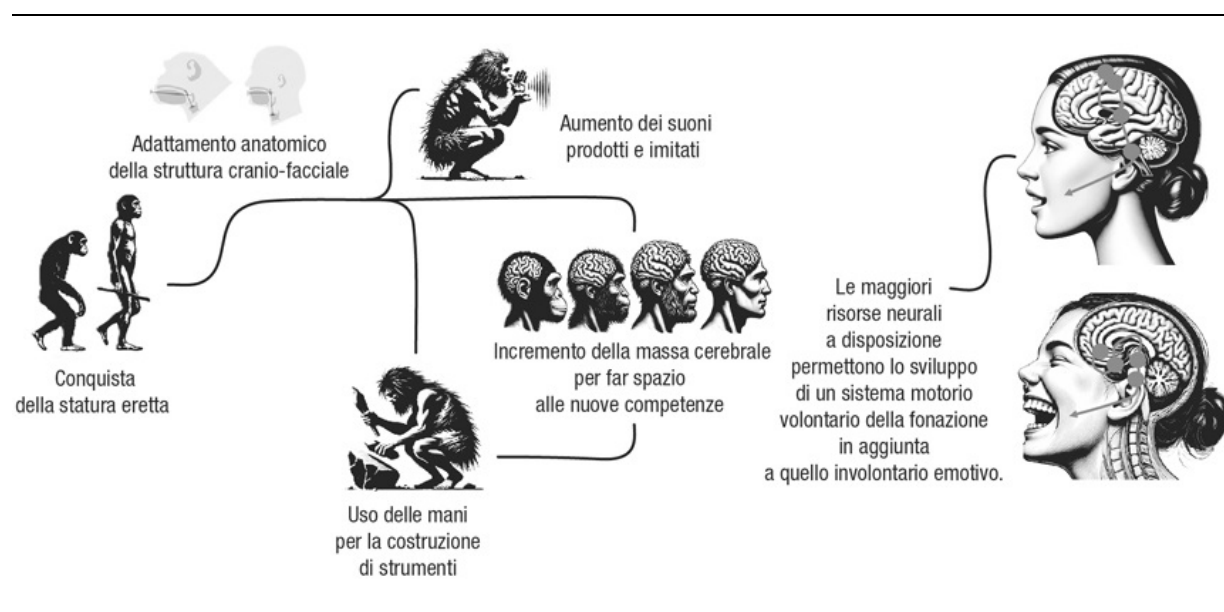
All'altro angolo del ring, sguainati i loro laser pointer, i simpatizzanti della posizione opposta, quella della *continuità*, sostengono che il linguaggio si sia evoluto gradualmente rispondendo alle classiche regole dell'evoluzione, come ha fatto qualsiasi altra competenza o caratteristica umana. Il linguaggio non è un balzo ma il risultato di una fortunatissima serie di coincidenze.

Una serie di (s)fortunati eventi

Tra mocassini e puntatori laser, oggi possiamo dire che ad aver maggior credito siano i sostenitori dell'ipotesi della continuità. È molto ragionevole pensare che il linguaggio umano abbia seguito le stesse regole evolutive che vediamo all'opera ancora oggi e che certamente continueremo a vedere nel futuro. È altrettanto vero e corretto puntualizzare che l'ipotesi della continuità spieghi molto bene alcuni aspetti del linguaggio, mentre non è esaustiva su altri. Per esempio, è molto efficace se pensiamo allo scopo comunicativo e funzionale del linguaggio, ma non è in grado di spiegare fino in fondo la nascita della sintassi e della ricorsività linguistica.

Ad ogni modo, il consenso attorno all'ipotesi della continuità si concentra sul ruolo filogenetico⁷ di due comportamenti propri dei primati e dei nostri antenati: la *vocalizzazione* e i *gesti*. Proprio come nelle vicende che si susseguono nei tredici capitoli dei tredici libri più uno della saga scritta da Lemony Snicket (pseudonimo di Daniel Handler), una serie nel nostro caso non di «(s)fortunati eventi» ma di coincidenze e aggiustamenti evolutivi hanno portato la nostra specie a parlare, e tutto sembra originarsi dalla «scelta» di camminare eretti avvenuta circa sei milioni di anni fa⁸ (Figura 3).

Figura 3 Serie temporale di coincidenze evolutive che hanno portato la nostra specie a parlare



[Clicca per la descrizione estesa](#)

Camminando eretti, infatti, la struttura cranio-facciale della nostra specie subisce delle modifiche anatomiche; tra le altre, la laringe si abbassa e si forma il tratto vocale sopra-laringeo a due canne con rapporto 1 a 1 e orientamento incrociato [1:1(90°)]. Questo significa che la nostra lingua e la orofaringe sono in posizione orizzontale, mentre la faringe e la laringe sono poste in verticale, formando un angolo retto: questo ci permette di articolare più suoni. Questo adattamento ce lo portiamo appresso ancora oggi, infatti il tratto vocale dell'uomo adulto è diverso sia da quello dei primati non umani sia anche da quello dei neonati. Potendo vedere anche più lontano grazie al fatto di stare in piedi su due gambe, i protoumani iniziano inoltre a integrare la loro comunicazione, fatta di un limitato numero di vocalizzazioni, con l'imitazione dei versi di altre specie per avvertire i compagni di potenziali minacce. Progressivamente non si limitano più a richiami di allarme, ma aggiungono importanti informazioni identificando il pericolo: riconoscere la natura del predatore o dell'antagonista permette infatti di sapere se arriverà dall'alto, dalla boscaglia, se sia necessario correre, arrampicarsi o nascondersi, se ci vuole mangiare o se sia pericoloso

per le nostre risorse. E si ottiene subito un vantaggio evolutivo, chi è più bravo a imitare e a capire il significato comunicativo di quei vocalizzi, è dotato di maggiore capacità di apprendimento e memorizzazione e quindi sopravvive più facilmente. Apprendere, imitare e ricordare diventano competenze cruciali, e *il cervello si ingrandisce per farvi spazio*.

Nel frattempo, l'andatura bipede ha liberato anche le mani dei nostri antenati, che ora le possono usare non solo per spostarsi ma anche per portarsi appresso degli oggetti, per mangiare, per chiamare i compagni e per proteggersi gli occhi dal sole o dalla sabbia. La *coordinazione mano-bocca* migliora sempre di più al punto da permettere, circa 2,5 milioni di anni fa, la costruzione dei primi strumenti. Le tecnologie litiche danno a loro volta il via a un uso più sofisticato e preciso delle dita delle mani, che progressivamente guadagnano indipendenza nel movimento. Le regioni cerebrali che controllano i movimenti volontari delle mani divengono sempre più grandi e si sviluppano connessioni discendenti per il loro controllo motorio fine. Ecco allora che non si raccoglie più un sasso da terra per lanciarlo ma lo si affila e magari lo si incastra su un sostegno così da poterlo usare per tagliare la carne da mangiare.

L'aumento dei gesti funzionali che coordinano le mani con la bocca, la sempre più vasta produzione comunicativa vocale e la vicinanza anatomica delle regioni cerebrali adibite al controllo motorio delle mani con quelle associate al controllo della bocca fanno sì che ben presto si sviluppi un sistema per il controllo motorio volontario anche della vocalizzazione. Oggi sia gli uomini che i primati non umani hanno un *sistema motorio emotivo* che controlla la produzione spontanea (non volontaria) delle vocalizzazioni emotive, ma solo individui della nostra specie hanno un sistema motorio per il *controllo volontario della fonazione linguistica*. Questo doppio controllo della muscolatura facciale è visibile in alcuni casi di afasia o di aprassia bucco-facciale in cui i pazienti non riescono a produrre volontariamente parole o espressioni facciali ma possono irrompere in impropri se sbattono il mignolo contro lo spigolo della porta o scoppiare in una fragorosa risata se qualcosa li diverte.

Tornando al passato, l'estendersi delle capacità manuali e di vocalizzazione aumenta progressivamente anche la necessità di comunicare.

Abbiamo cioè sempre più cose da dirci. È importante scambiare informazioni sul mondo esterno, sulla procedura per costruire uno strumento, sul suo uso o su come procacciarsi il necessario per costruirlo di nuovo. Il linguaggio inizia a essere uno strumento indispensabile a sostegno delle pratiche quotidiane. Grazie a queste esperienze ed esigenze, il cervello continua a espandersi favorendo anche l'emergere di nuove competenze pragmatiche e intellettuali.

La serie di «fortunati eventi» che vi ho descritto rivela dunque che il linguaggio si è evoluto dalle esperienze motorie che le nostre mani hanno iniziato a fare milioni di anni fa: il controllo del gesto della mano è servito come rampa di lancio per il controllo del gesto della bocca, permettendoci di parlare.

La continuità tra i gesti e la parola la si può ancora osservare nell'ontogenesi umana⁹. Tipicamente, a nove mesi i bambini comunicano intenzionalmente solo tramite gesti; possono mostrare movimenti molto comunicativi come indicare un oggetto desiderato o simulare l'uso di qualcosa che è particolarmente interessante, vi possono associare delle vocalizzazioni emotive ma nessuna parola. A 15-17 mesi, il numero di gesti e di parole è lo stesso, come anche il numero di gesti e parole combinati. Infine a 24 mesi le parole superano i gesti e si avvia l'uso esclusivo (o quasi) del linguaggio. Anche da adulti, peraltro, se non ci viene in mente una parola, poniamo «chiave», iniziamo a muovere la mano ruotando il polso e brandendo tra le dita un immaginario e piccolo oggetto di metallo. Il legame tra gesti e linguaggio è così serrato che in adulti sani simulare l'azione aumenta di oltre il 90 per cento la probabilità di recuperare il nome dell'oggetto associato a quel movimento funzionale.

Lo stretto legame tra movimento e linguaggio lo possiamo vedere anche se osserviamo la comunicazione dei nostri parenti più prossimi: i primati non umani possiedono un repertorio piuttosto ampio di gesti che usano per comunicare intenzioni pacifiche, ludiche, aggressive o sessuali. Se abituati alla presenza dell'uomo, questi animali possono apprendere alcuni gesti nuovi e usarli in una comunicazione interspecie. Negli anni Cinquanta del secolo scorso, una coppia di ricercatori, i coniugi Hayes, adottarono una piccola di scimpanzé di nome Viki e la crebbero come fosse figlia loro.

L'intento era quello di offrire a Viki le stesse stimolazioni offerte a un bambino umano per verificare se potessero essere sufficienti a sviluppare il linguaggio verbale. Dopo anni di sforzi, Viki riusciva a pronunciare quattro parole («mama», «papa», «cup» e «up») che usava abitualmente con Catherine e Keith Hayes ma nulla di più. Dieci anni dopo, un'altra coppia di coniugi scienziati (già!), Allen e Beatrix Gardner, adottarono Washoe, un'altra scimpanzé a cui provarono a insegnare la lingua dei segni americana. Washoe imparò decine di segni, persino inventando il segno «acqua-uccello» per indicare un cigno, dimostrando una certa creatività linguistica. Washoe poteva chiedere «more» quando voleva ancora cibo o «tickle» quando voleva giocare intrattenendosi in vere e proprie conversazioni con gli umani. Con oltre mezzo secolo di anticipo, i coniugi Gardner fecero quello che oggi si propone il progetto CETI, certo senza l'intelligenza artificiale e piuttosto con l'uso di un'intelligenza tutta motoria.

Carichi di entusiasmo per i successi di Washoe, gli scienziati che appoggiavano la teoria della continuità alzarono allora ulteriormente il tiro: a quel punto volevano verificare se i primati non umani potessero apprendere la grammatica e la sintassi trasformando la comunicazione per gesti in un vero e proprio linguaggio. Questo avrebbe definitivamente confermato una gradualità dell'evoluzione del linguaggio umano. Negli anni Settanta lo scienziato Herbert Terrace iniziò dunque a lavorare con Nim Chimpsky, uno scimpanzé chiamato così in «onore» del linguista Noam Chomsky (fautore della teoria della discontinuità). Nim imparò centinaia di segni, ma li usava e li combinava in modo caotico e meccanico, senza la sintassi e la ricorsività che caratterizzano il linguaggio umano. Per chiedere da mangiare Nim ripeteva la serie di segni per «eat», «me» e «Nim», in un simpatico e stereotipato mix di autoconsapevolezza e fame. I nostri cugini sembravano refrattari sia alla sintassi che alla grammatica. Non è così per i bambini che apprendono la lingua dei segni. Se le persone attorno ai bambini nati con sordità parlano loro attraverso i segni, lo sviluppo del linguaggio gestuale segue esattamente le stesse tappe dello sviluppo del linguaggio verbale dei bambini nati senza sordità. A nove mesi un bambino con sordità muove le dita in modo ritmico dal suo seggiolone

per comunicare il piacere di ciò che sta assaggiando con chi glielo sta offrendo: questi movimenti sono il corrispettivo motorio della lallazione verbale e servono ad affinare le competenze motorie per poter poi articolare i gesti della lingua dei segni. I segni che un bambino nato con sordità padroneggia nel corso dello sviluppo sono paragonabili sia per qualità che per quantità al numero di parole che un bambino senza sordità acquisisce nel canale verbale. Intorno ai tre anni la sintassi e la grammatica appaiono evidenti sia che si parli con la bocca sia che si parli con le mani. Insomma, l'uomo parla a prescindere dal canale che si trova a utilizzare e il legame tra linguaggio ed esperienza motoria è ancora vivo e vegeto nel nostro sofisticatissimo e sintatticissimo cervello.

Parla come mangi

Lo ammetto: leggo poesia. D'altronde non tutti sono perfetti (tranne Mary Poppins). Come parte di questo brutto vizio, ogni anno aspetto l'uscita dell'antologia *The Pushcart Prize: Best of the Small Presses* che raccoglie i lavori selezionati dall'omonimo premio statunitense tra le poesie, i racconti e i saggi brevi pubblicati da riviste o editori indipendenti¹⁰. Quest'anno la mia preferita è, senza l'ombra del dubbio, *If Adam Picked The Apple* (Se Adamo avesse colto la mela) di Danielle Coffyn. Un altro fatto del quale non vi è dubbio è che nel cervello di tutti voi che avete letto il titolo di questa poesia, insieme alle regioni occipitali e temporali associate direttamente al processamento visivo e mnestico delle parole e dei loro significati, si sono attivate le regioni frontali adibite al controllo dei movimenti di mano. Leggere, o ascoltare, parole come «cogliere», «mordere», «calciare», «stritolare» (anche se non nella vostra lingua madre)¹¹ comporta il reclutamento delle regioni sensomotorie legate a quell'esperienza.

Comprendere il linguaggio non è solo un'attività cerebrale astratta e simbolica, ma coinvolge anche le nostre esperienze sensoriali e motorie. Il linguaggio si è davvero evoluto dall'uso delle nostre mani, da come le abbiamo mosse nel tempo per creare strumenti sempre più sofisticati, e oggi di questa esperienza motoria vi è ancora traccia. L'approccio della

*cognizione incarnata*¹² denuncia proprio come i nostri processi cognitivi non siano isolati dal corpo, ma anzi vi siano profondamente radicati. Nel contesto linguistico ciò significa che per comprendere il significato di una parola o di una frase il nostro cervello attiva rappresentazioni corporee e motorie associate a quell'esperienza. Questi formati sensomotori non si limitano a farci accedere a concetti concreti ma aiutano anche la comprensione del linguaggio figurato. Se Coffyn avesse scritto una poesia intitolata *If Adam Picked God's Brain* (Se Adamo avesse colto la mente di Dio), lo stesso verbo «to pick» (cogliere, raccogliere) avrebbe assunto un significato figurato completamente diverso dal suo significato letterale: di certo la poesia non avrebbe trattato di un Adamo intento ad afferrare con le mani la testa di Dio per toglierla dal sostegno del suo collo, ma piuttosto di un Adamo intento a comprendere, carpire, interpretare la mente di Dio. Nessuno di noi, nel leggere il titolo, avrebbe avuto alcun dubbio. Anche in questo caso le regioni motorie del nostro cervello coinvolte nell'azione concreta rispondono facilitandoci la comprensione del significato metaforico del titolo della poesia. Lo stesso vale se leggiamo espressioni quali: «mi hai punto sul vivo», «quella è una persona viscida», «qui l'aria si taglia con un coltello». «Pungere», «viscido», «tagliare» sono tutte esperienze motorie e sensoriali che vengono vivificate per accedere al loro significato figurato. D'altronde le parole non le usiamo a caso. Per darvi ad intendere che di quella persona non mi fido è molto efficace evocarvi la spiacevole sensazione tattile di qualcosa di oleoso, molliccio, sfuggente; in una parola: «viscido». L'esperienza è a tal punto comune che molto spesso queste espressioni sono simili nelle diverse lingue (in inglese diremmo: «That person is sleazy»).

I concetti linguistici non sono quindi solo simboli amodali¹³ ma sono anche costruiti attraverso metafore corporee e disposizioni all'azione¹⁴. Tutto questo ci dimostra che la cognizione va ben oltre i confini della mente individuale, è stato così nella serie di (s)fortunati eventi che ci hanno portato all'evoluzione del linguaggio ed è così ancora oggi. L'esperienza corporea è maturata e matura nel nostro linguaggio.

L'artificio incarnato

Da qualche tempo possiamo dire di non essere più gli unici a usare il linguaggio. Non sono degli altri animali ad averci raggiunto in questo Olimpo evolutivo ma delle macchine. Questi «parlatori artificiali» sono noti come *chatbot*: software progettati per simulare una conversazione umana, spesso tramite messaggi di testo o audio. È un chatbot l'assistente vocale che utilizziamo per mettere della musica mentre cuciniamo alla sera, è un chatbot la chat di assistenza del sito Internet da cui stiamo cercando di noleggiare un furgone e, ovviamente, sono chatbot ChatGPT, Google Bard, Claude, ELIZA e tutti gli altri che ormai conosciamo benissimo. La caratteristica di queste tecnologie è la loro capacità di simulare il linguaggio naturale offrendo risposte coerenti, tanto coerenti da sembrare umane.

Nel 1950 il matematico e informatico britannico Alan Turing ideò quello che oggi conosciamo come test di Turing¹⁵. Il test nasce come un gioco di imitazione in cui un giudice umano interagisce con una macchina e una persona: se il giudice, dalle sole risposte, non riesce a distinguere con certezza la macchina dall'umano, la prima passa il test. Nella formulazione iniziale Turing intendeva misurare l'intelligenza della macchina e arrivò a sostenere che «tra cinquant'anni sarà possibile far giocare i computer al gioco dell'imitazione così bene che un interlocutore medio avrà non più del 70 per cento di probabilità di fare la giusta identificazione dopo cinque minuti di interrogatorio». Sebbene il test sia un tema di discussione e non rappresenti di certo una misura dell'intelligenza della macchina, esso ha ispirato diversi dibattiti e ricerche scientifiche. Siamo ancora ben lontani dalla soglia del 70 per cento profetizzata da Turing (e francamente arbitraria) ma Chat GPT-4 viene giudicato umano il 54 per cento delle volte, superando ELIZA (22 per cento) e rimanendo inferiore agli esseri umani (67 per cento)¹⁶. GPT-4 ha quindi una probabilità quasi casuale di essere considerato umano, tutto sommato non un pessimo risultato.

Più che la percentuale di corretto o scorretto riconoscimento è interessante notare che cosa, nel comportamento linguistico del chatbot, risulti umano o bot. I comportamenti più umani includono l'uso di un tono colloquiale, errori occasionali di battitura e una certa «personalità» nel

rispondere. I tratti più bot, invece, sono legati a un'eccessiva velocità nella risposta e a una conoscenza uniforme e priva di sfumature emotive degli eventi recenti e delle esperienze personali. I tratti umani possono però essere esplicitamente richiesti al chatbot: il prompt con il quale Chat GPT-4 è stato preso per umano il 54 per cento delle volte fornisce per esempio non solo informazioni generali sul test ma chiede anche al chatbot di simulare un uomo giovane, conciso, che non prende il gioco seriamente; gli chiede di usare slang e di commettere occasionali errori di ortografia. Inoltre, per evitare che il chatbot risponda a velocità sovrumane, i messaggi sono inviati con un ritardo basato sul numero di caratteri contenuti nella risposta. Infine, il modello ha impostata una temperatura¹⁷ di 1 che rende le risposte più imprevedibili e creative. Con questo prompt alla domanda «qual è il tuo gusto di gelato preferito?» la risposta da bot che cerca di passare per umano è «menta e cioccolato, un po' freddo, un po' dolce, un po' croccante. Semplicemente perfetto!». I gusti sono gusti, il tono è colloquiale, la risposta è coerente ma questa è una descrizione di qualcuno o qualcosa che sa com'è la menta e cioccolato senza averla mai avuta sulla lingua!

Il difficile accesso dei parlatori artificiali all'esperienza è dimostrato anche dalla scarsa competenza dei chatbot nella comprensione del sarcasmo, dell'ironia e delle metafore fisiche¹⁸. Chat-GPT è molto più a suo agio con metafore mentali che veicolano un significato astratto come «Irma è un leone», rispetto a metafore fisiche come «Sei la fotocopia di tua madre», che richiamano contenuti tangibili.

I chatbot possono *simulare* il linguaggio umano in modo convincente ma mancano di una vera esperienza incarnata che caratterizza la cognizione umana e animale, nella sua evoluzione ma anche oggi. Questo limite si riflette nelle difficoltà dei modelli nel comprendere appieno il contesto e i significati situazionali, poiché non hanno accesso a esperienze corporee e sensoriali. Di fatto, nessun chatbot ha la lingua, e l'esperienza di qualsiasi chatbot è racchiusa nel prompt linguistico utilizzato per istruirlo. Il chatbot non ha un corpo materiale e tangibile con il quale fare l'esperienza del mondo.

La natura disincarnata dei parlatori artificiali ha fatto emergere due moti reattivi.

Da un lato, l'Embodied Artificial Intelligence mira a creare intelligenze artificiali situate in corpi robotici o meccanici capaci di apprendere e interagire con il mondo. Nell'ambito del linguaggio si sperimentano i primi Embodied Human Language Models (EHLM), un'evoluzione degli attuali Large Language Models (LLM) che, come GPT-4, si basano su pattern statistici e su vasti *corpora* di testo, generando risposte linguistiche senza esperienze dirette e senza una vera comprensione del contesto sensoriale o fisico del mondo. Essi simulano il linguaggio umano ma restano disincarnati, limitandosi a collegare parole e frasi sulla base di probabilità piuttosto che sulla base dell'esperienza. Gli EHLM, invece, non si limitano alla generazione di testo, ma incorporano l'inferenza attiva¹⁹ e la percezione sensomotoria, permettendo una comprensione del linguaggio che si avvicina a quella umana, in quanto legata a esperienze concrete.

Dall'altro lato, si moltiplicano i tentativi che vogliono esplorare che cosa significhi parlare senza un corpo. Per i chatbot i canali testuali fungono da equivalenti dei canali sensomotori negli agenti incarnati, rendendo possibile una forma di interazione indiretta con il mondo. Il linguaggio umano è radicato in competenze corporee più concrete, i chatbot potrebbero sviluppare abilità astratte senza una corporeità tangibile procedendo da esperienze basate sul linguaggio e non sulla fisicità tangibile²⁰.

Non importa quale nicchia ci faccia sentire più a nostro agio. I chatbot sono modelli biologicamente implausibili di come l'esperienza basata sul linguaggio possa aiutare a sganciare un sistema concettuale fondamentalmente incarnato. Al contrario, la necessità di un'esperienza fisica per un linguaggio artificiale che simuli quello naturale evidenzia *la portata del contributo incarnato nella mente umana*. Da una parte o dall'altra, stiamo trattando le nuove tecnologie come strumenti ontologici. Su quest'ultimo punto ritorneremo, per ora concludiamo che l'esperienza corporea ha forgiato l'evoluzione e la natura del linguaggio umano in un modo che resta inedito e unico.

Note

¹ www.projectceti.org

² Per un glossario della terminologia legata all'intelligenza artificiale si veda il box dedicato nel [Capitolo 4](#).

³ J. Andreas, G. Beguš, M.M. Bronstein, R. Diamant, D. Delaney, S. Gero, R.J. Wood, «Toward understanding the communication in sperm whales», *Iscience*, 25(6), 2022.

⁴ www.earthspecies.org

⁵ K.R. Coffey, R.E. Marx, J.F. Neumaier, «DeepSqueak: a deep learning-based system for detection and analysis of ultrasonic vocalizations», *Neuropsychopharmacology*, 44(5), 2019, pp. 859-868.

⁶ <https://zoolingua.com/>

⁷ Per *filogenesi*, secondo la definizione che troviamo nell'*Enciclopedia Treccani* online, si intende la «Storia evolutiva di un gruppo di organismi alla luce delle loro relazioni reciproche di discendenza e di affinità».

⁸ J.D. Leongómez, K. Pisanski, D. Reby, D. Sauter, N. Lavan, M. Perlman, J. Varela Valentova, «Voice modulation: from origin and mechanism to social impact», *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 376(1840), 2021, 20200386; M.C. Corballis, *From hand to mouth. The origins of language*, Princeton, Princeton University Press, 2002.

⁹ Il termine *ontogenesi*, secondo la definizione dell'*Enciclopedia Treccani* online, indica «I processi vari e complessi, di accrescimento e differenziamento, che subisce l'organismo animale per raggiungere, dall'uovo, la forma dell'adulto».

¹⁰ <http://www.pushcartprize.com/>

¹¹ S. Garello, F. Ferroni, V. Gallese, M. Ardizzi, V. Cuccio, «The role of embodied cognition in action language comprehension in L1 and L2», *Scientific Reports*, 14(1), 2024, 12781.

¹² V. Gallese, J. Lakoff, «The Brain's Concepts: The Role of the Sensory-Motor System in Conceptual Knowledge», *Cognitive Neuropsychology*, 22(3), 2005, pp. 455-479.

¹³ In psicologia, si designa così una esperienza percettiva che avviene in assenza di uno stimolo esterno (DSM-5-TR; APA; 2022).

¹⁴ V. Cuccio, V. Gallese, «A Peircean account of concepts: grounding abstraction in phylogeny through a comparative neuroscientific perspective», *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 373(1752), 2018, 20170128.

¹⁵ A.M. Turing, «Computing machinery and intelligence», *Mind*, Volume LIX, Issue 236, ottobre 1950, pp. 433-460.

¹⁶ C.R. Jones, B.K. Bergen, «People cannot distinguish GPT-4 from a human in a Turing test», arXiv preprint arXiv:2405.08007, 2024.

¹⁷ «La temperatura è un parametro che controlla la casualità dell'output generato dal modello di intelligenza artificiale. Una temperatura più bassa si traduce in risultati più prevedibili e conservativi. [...] una temperatura più elevata consente maggiore creatività e diversità nelle risposte» (fonte: <https://learn.microsoft.com/it-it/>).

¹⁸ C. Barattieri di San Pietro, F. Frau, V. Mangiaterra, V. Bambini, «The pragmatic profile of ChatGPT: Assessing the communicative skills of a conversational agent», *Sistemi intelligenti*, 35(2), 2023, pp. 379-400.

¹⁹ L'inferenza attiva è la capacità del modello di integrare nel processo generativo il feedback ambientale ottenuto dall'interazione sensomotoria.

²⁰ S. McGregor, S. (2023, July). «Is ChatGPT Really Disembodied?», *Artificial Life Conference Proceedings*, 35 (Vol. 2023, No. 1, p. 133), 24 luglio 2023.

2 Se non vedo, non credo

Nessuno come la canocchia

Credo che tutti nella vita abbiamo provato almeno un briciolo di simpatia per l'innegabile tempismo di san Tommaso, unico assente la sera in cui un Cristo morto in croce e sparito dal sepolcro appare ai restanti apostoli. Lo scetticismo di Tommaso, cui viene concessa una seconda apparizione per permettergli di credere vedendo con i propri occhi ciò che altri sostenevano, è l'emblema dell'epistemologia della mente umana: ciò che conosciamo – o pensiamo di conoscere – lo abbiamo prima esperito mediante il nostro corpo e i nostri sensi. Il nostro corpo è il mezzo mediante il quale la realtà esterna arriva alla nostra mente e crea conoscenza. Abbiamo già visto il ruolo dell'esperienza motoria per il linguaggio, lo stesso vale per i sensi nella cognizione in genere. La conoscenza passa necessariamente attraverso la prova dei sensi.

Il nostro corpo è un ricettacolo di recettori sensoriali capaci di registrare uno specifico spettro delle stimolazioni esterne. Così i fotorecettori dell'uomo, posti sullo strato più profondo della retina, rendono la luce visibile quando l'energia luminosa ha lunghezze d'onda comprese tra circa 380 e 780 nanometri. Allo stesso modo, le cellule ciliate dell'orecchio interno registrano le onde sonore quando queste hanno frequenze comprese tra 30 hertz e 30 kilohertz. Sia la luce che il suono si propagano nell'ambiente a lunghezze d'onda e frequenze sopra e sotto questi limiti, ma noi non ce ne accorgiamo. Magari se ne accorgono le canocchie pavone, che hanno sviluppato il sistema visivo più complesso del regno animale¹: questi crostacei hanno gli occhi più veloci e mobili di qualsiasi altro essere vivente, vedono con pochissima luce percependo anche la luce ultravioletta

(da 400 a 4 nanometri) e distinguono i colori in modo vivido e brillante avendo ben sedici fotorecettori diversi. Per confronto, l'uomo possiede solo due tipi di fotorecettori.

Nonostante questo, la nostra specie ha comunque fatto della vista il mezzo principale con cui conoscere il mondo e la vista è indubbiamente il senso più sviluppato tra gli esseri umani. La corteccia visiva primaria, situata nel lobo occipitale del cervello, è la corteccia sensoriale più ampia per numero di neuroni e per connessioni in ingresso e in uscita (lo potete vedere bene nella mappa del nostro cervello che trovate nelle prime pagine); questa maggiore estensione e interconnettività riflette la rilevanza evolutiva della vista per la nostra specie. Il primato della vista non è però certo un destino, piuttosto è stata una delle possibili alternative data dall'interazione tra il nostro corpo, la pressione dell'ambiente e la tecnologia che il nostro cervello ha saputo creare.

È letteralmente dall'alba dei tempi che, dove non possono arrivare i nostri occhi, arriva la nostra tecnologia. Se il fuoco non è di per sé una tecnologia, il suo controllo, la sua conservazione e il suo uso opportunistico lo sono. L'uomo è l'unico animale a impiegare il fuoco per i suoi scopi. È molto probabile che in origine l'uomo sia venuto a contatto con il fuoco in modo fortuito, per esempio quando durante una tempesta un fulmine ha incendiato parte della vegetazione, e che vi abbia poi mostrato interesse perché gli offriva dei vantaggi immediati come la possibilità di afferrare qualche piccola preda folgorata. Da qui si è probabilmente dovuto aspettare la statura eretta, una più articolata organizzazione sociale, mani più agili e siti abitativi più ampi perché si potesse usare il fuoco e non solo sfruttarlo. Il dominio del fuoco ha prodotto effetti a cascata². Per prima cosa, il controllo del fuoco ci ha permesso di cuocere gli alimenti, diminuendo le infezioni e incrementando l'apporto calorico, consentendo così al nostro cervello di aumentare di dimensione. Non dimentichiamo che ora il nostro cervello consuma circa il 25 per cento delle calorie giornaliere ingerite pur contando solo per un 2-3 per cento del peso corporeo totale: ogni giorno immagazziniamo dalle 500 alle 800 calorie solo per permettere al nostro cervello di funzionare. L'uso del fuoco ci ha però anche permesso di illuminare ciò che prima era buio e questo ha cambiato i nostri ritmi

circadiani portando le ore di veglia produttiva a circa sedici rispetto alle otto della maggior parte dei mammiferi. È stato così possibile trascorrere le ore serali, buie e più fredde, attorno a un rudimentale focolare foraggiando lo sviluppo di competenze sociali e, con alta probabilità, contribuendo allo sviluppo del linguaggio umano. Illuminare le caverne ci ha poi permesso di acuire la nostra vista e specializzarci nella percezione dei dettagli, migliorando il controllo occhio-mano e assicurandoci un futuro fatto di pitture rupestri e manoscritti.

Il controllo del fuoco è stato probabilmente la prima tecnologia che ci ha consentito di superare i limiti imposti dai nostri occhi e di vedere ciò che prima era letteralmente al buio, e questo ha influenzato non solo lo sviluppo della percezione visiva ma anche della cognizione umana tutta. Se la canocchia pavone ha adattato il suo corpo, l'uomo, di nuovo, ha giocato di tecnologia.

Per una epistemologia *deep fake*

La presenza del fuoco nelle caverne dei nostri antenati ha prodotto un nuovo contesto evolutivo, una nuova *nicchia* nella quale le successive generazioni hanno vissuto adattandosi. L'intreccio tra il controllo del fuoco e le nostre esigenze di mammifero di media taglia con una buffa andatura su due zampe hanno portato a un predominio della vista sugli altri sensi. Come risultato – allora e anche oggi – la nostra specie usa soprattutto la vista per conoscere. Ci fidiamo più della vista che di qualsiasi altro senso. Immaginate di essere concentrati su queste pagine e di sentire la voce di qualcuno chiamarvi. Se guardandovi intorno non vedete nessuno, derubricate rapidamente questa sensazione immaginando di esservi sbagliati e tornate alla lettura, casomai con una perplessa espressione sul volto. La vista vince sull'udito. Difficile che diate maggior credito all'udito alzandovi o rispondendo a questa voce.

Prima di essere un'esperienza comune, questo è il modo in cui funziona il nostro cervello. Le informazioni che provengono dall'ambiente esterno e che raggiungono i nostri diversi organi di senso vengono integrate o segregate dal nostro cervello secondo regole ben precise³. Per amore di

sintesi, possiamo dire che queste regole non vengono definite in modo democratico tra i sensi, ma è la vista a dettar legge e quindi a influenzare massimamente la costruzione della percezione multisensoriale del mondo esterno: il cervello dell'uomo funziona così. Anzi, quando non funziona così è possibile esperire delle alterazioni della percezione come accade alle persone con schizofrenia per le quali la presenza di allucinazioni è in parte dovuta a una lassità e a uno sbilanciamento della predominanza visiva nel processo di integrazione percettiva.

Dal primato della vista sugli altri sensi discende anche la sua centralità nella cognizione umana. La presenza di immagini aumenta la credibilità di un messaggio, facilita la sua memorizzazione, organizza i rapporti spaziali ma anche logici tra oggetti materiali e di pensiero.

Permettetemi una digressione.

Ognuno ha le sue perversioni, la mia è controllare la classifica di Data is Ugly⁴ che contiene la raccolta delle peggiori e più faziose scenografie statistiche. Tipicamente, articoli scientifici, report epidemiologici o sondaggi presentano i dati organizzandoli in grafici: lo scopo è quello di facilitare la comprensione delle differenze o dei rapporti tra le variabili indagate. Spesso, però, dati veri vengono presentati in modo da facilitare determinate conclusioni, e per il nostro cervello un'impressione visiva vale più di un pugno di cifre. Emblematico fu il caso⁵ del Dipartimento di Salute Pubblica della Georgia che mostrò un istogramma per sostenere il decremento dei casi di Covid-19 nelle due precedenti settimane: i casi stavano effettivamente diminuendo ma non con l'andamento netto e lineare che si era ottenuto sacrificando nella presentazione grafica sia l'ordine cronologico dei dati sia una loro coerente sequenza di raggruppamento in contee; sostenere il decremento dei casi mostrando un grafico completo di queste informazioni sarebbe stato certamente più complesso ma soprattutto la rappresentazione non avrebbe supportato la trasmissione di un chiaro messaggio visivo su cui costruire la tesi. Il grafico fu poi corretto e ci furono ritrattazioni pubbliche, ma il punto resta. La validità ontologica che il nostro cervello attribuisce alla vista è talmente forte che prima di tutto crediamo a ciò che vediamo.

Troviamo più credibili le notizie che contengono fotografie rispetto ad articoli che descrivono i medesimi fatti ma usando solo parole. La storia moderna è costellata di scatti che hanno cambiato l'opinione pubblica mostrando i fatti attraverso le immagini.

Se le parole possono mentire, le immagini non possono. O meglio, non potevano. Mai prima d'ora la realtà è stata così facilmente riproducibile. Il recente avvento dei cosiddetti *deep fake* ha sottratto il primato di realtà alle immagini, aprendo un nuovo scenario nel quale video e foto possono essere falsi pur sembrando veri e nel quale i nostri occhi non riescono a capire la differenza. L'esistenza dei deep fake ha richiesto riflessioni e approfondimenti in campi che vanno dalla politica all'economia, passando per la psicologia e non trascurando l'epistemologia. La DeepFake Geography⁶, per esempio, applica l'intelligenza artificiale ai dati geospaziali per creare mappe false ma molto verosimili sulle quali poi calcolare la percentuale di deforestazione o gli effetti di uno specifico evento climatico.

Se il potenziale uso strategico di queste informazioni fasulle può comprensibilmente spaventarci, per approfondire la relazione tra corpo, mente e tecnologia è utile ricordare che abbiamo già fatto un uso fazioso delle immagini del nostro pianeta e lo abbiamo fatto proprio in virtù del primato della vista tra i nostri sensi. Appese alle pareti delle scuole primarie e secondarie di tutta Europa vi sono migliaia di cartine geografiche chiamate «di Mercatore» perché ottenute utilizzando la proiezione del cartografo fiammingo del XVI secolo. Rappresentare un mondo tridimensionale e sferico su una superficie piana e rettangolare è un'operazione complessa, e i cartografi utilizzano un meccanismo chiamato proiezione, per rendere il globo in 2D. Ogni proiezione ha delle distorsioni: quella di Mercatore permette di mantenere invariati gli angoli ma distorce le reali dimensioni delle terre emerse a mano a mano che ci si allontana dall'equatore. Così l'Europa e il Nord America appaiono più grandi di quanto non siano, mentre l'Africa e l'India sono sensibilmente più piccole sulla carta che nella realtà. La reale dimensione delle terre ai poli non era la principale preoccupazione dei navigatori per i quali la carta di Mercatore fu pensata; e poiché costoro erano più interessati a conoscere le principali rotte

marittime commerciali che si allungano dall'Europa nel mar Mediterraneo, Mercatore decise di porre al centro proprio l'Europa. Sebbene utile ai fini per i quali è stata concepita e utilizzata, la proiezione di Mercatore ha contribuito a una visione eurocentrica del mondo.

Nel 1973 Arno Peters, uno storico e giornalista berlinese, annuncia la sua nuova proiezione della Terra: la «carta di Peters» o «Gall-Peters». Sapendo che ogni proiezione della sfera sul piano impone delle deformazioni, Peters vuole recuperare, anche attraverso il rispetto delle dimensioni di ogni singolo paese, la dignità di ogni popolo, la reale dimensione del suo territorio. È, insomma, una logica anticoloniale, che dà al Sud del mondo la stessa importanza del Nord. Uno scopo molto diverso da quello che animava Mercatore e il suo tempo. Con la proiezione di Peters si ottiene dunque un'immagine del mondo in cui l'esatta proporzione delle superfici va a scapito dell'esattezza delle distanze: i continenti assumono così una forma allungata ma si mantengono corretti i rapporti di distanza di qualsiasi punto dall'equatore; l'Europa non è più così grande, le terre presenti nel Sud del mondo sono molte di più e molto più vaste di quelle al Nord. Nel 1973, del resto, i navigatori possono contare su tecnologie più sofisticate di una mappa geografica per condurre le loro merci e l'esigenza contestuale, in un clima come quello della Guerra Fredda, è più che altro rappresentare la vastità dei paesi e dei loro rapporti politici e sociali. La carta di Peters non mostra più una visione eurocentrica del mondo e confrontarla con quella di Mercatore produce una sorta di disorientamento geografico. La mappa di Mercatore resta comunque a tutt'oggi la più utilizzata e sicuramente averla sotto gli occhi per così tanto tempo ha contribuito alla formazione di una certa idea di dove sia il centro del mondo e se accostiamo la mappa di Mercatore a quella di Peters risulta davvero evidente come una comune carta geografica non sia solo uno strumento per orientarsi nello spazio, ma anche un potente mezzo per plasmare la percezione del mondo. Il modo in cui rappresentiamo il mondo sulla carta non è innocente: ogni scelta di scala, colore e proiezione racconta una storia diversa e conduce a interpretazioni differenti.

La cartografia, come ogni tecnologia umana, risponde a uno scopo pragmatico ma ha in sé una potenza ontologica offerta e rinforzata dalla

dominazione della vista sugli altri sensi.

Cartografie cerebrali

Possiamo certamente sostenere che a vedere ciò che non possiamo percepire con i nostri occhi ci abbiamo preso gusto. L'uso del fuoco, i microscopi elettronici, la cartografia, i telescopi ma anche l'impiego dei raggi X sono tutte tecnologie sviluppate per permetterci di superare i nostri limiti fisici e gettare lo sguardo ben oltre.

La stessa scienza procede da questa esigenza. Per capire dobbiamo vedere; vedere per conoscere.

A cavallo tra XVI e XVII secolo Francis Bacon promosse esplicitamente l'empirismo come metodo scientifico, sostenendo che la conoscenza derivi dall'osservazione sensoriale e dall'esperienza e che la vista, come senso principale, sia imprescindibile per ogni esplorazione. D'altra parte, negli stessi anni, Galileo Galilei mise in pratica queste formulazioni teoriche, usando il telescopio per fare scoperte fondamentali come le lune di Giove, le fasi di Venere e i rilievi lunari. Queste osservazioni dirette ed empiriche furono cruciali per confutare il sistema geocentrico e sostenere il modello eliocentrico di Copernico. Il primato della visione, e dei sensi in generale, nella ricerca scientifica si riassume nell'emblematico «Eppur si muove», attribuito a un perplesso Galileo dopo il processo dell'Inquisizione nel 1633. Galileo ha creduto ai suoi occhi mentre osservava il movimento della Terra intorno al Sole, a fronte di una cultura secolare che dichiarava convintamente il contrario. È stata l'evidenza dei sensi a stimolare le domande e a spingere lo scienziato nella sua ricerca. Nella scienza, ma anche nella vita umana, ci fidiamo dei nostri sensi e procediamo da essi per costruire la nostra conoscenza del mondo.

Nel Rinascimento la dissezione del corpo umano diviene una pratica comune per la ricerca scientifica, sebbene ostracizzata e formalmente proibita dalla Chiesa. I medici e gli studiosi la praticano in segreto e con vari stratagemmi. Per sua stessa ammissione Andrea Vesalio, medico di corte dell'imperatore Carlo V d'Asburgo e poi del figlio Filippo, trafuga i corpi di criminali giustiziati per poterne studiare l'anatomia. Grazie a questa

attività non proprio edificante, nel 1543 Vesalio pubblica la prima edizione del *De humani corporis fabrica*: un volume di 663 pagine divise in sette libri e arricchite da trecento serigrafie realizzate dalla bottega di Tiziano. L'opera è il primo atlante anatomico moderno. Per la prima volta si può osservare l'infinitamente vicino. Medici, chirurghi e scienziati di tutto il mondo ora possono vedere la forma e anche il colore dei muscoli, delle ossa, degli organi interni e del sistema nervoso. L'atlante diviene presto un fondamentale per gli studi medici per diversi secoli a venire.

Secondo alcune ricostruzioni storiche Vesalio supervisionava personalmente la realizzazione delle serigrafie, e lo faceva con un'attenzione maniacale. In un passaggio della sua *Epistola sulle radici della Cina*⁷, in cui il medico fiammingo commenta un rimedio erboristico alla moda, scrive: «Non sono abituato a dire qualcosa con certezza dopo solo una o due osservazioni». Vesalio era convinto che la conoscenza anatomica dovesse basarsi sull'osservazione del corpo umano, il suo intento era quello di fornire delle immagini a tal punto accurate che chiunque potesse giovare dello studio del suo atlante come se facesse esperienza diretta del corpo.

Prima di Vesalio le conoscenze sull'anatomia del corpo umano facevano riferimento al lavoro di Galeno di Pergamo (II sec. d.C.) il quale però aveva potuto studiare solo corpi di animali, soprattutto mucche e tori (dettaglio da ricordare!), e non aveva mai visto con i suoi occhi l'anatomia di un corpo della nostra specie. Le osservazioni e le immagini di Vesalio misero in luce circa 220 errori nella medicina di Galeno e tra questi il più ingombrante riguarda proprio il cervello! Galeno sosteneva l'esistenza di una *rete mirabile* nel cervello umano. Secondo la concezione anatomica di Galeno, la rete mirabile sarebbe una complessa matassa di piccoli vasi sanguigni situata vicino alla base del cranio che aiuterebbe a mantenere costante e a temperature ottimali il flusso sanguigno verso il cervello. Nel groviglio anatomico della rete mirabile, infatti, piccoli vasi venosi corrono vicino a quelli arteriosi permettendo il raffreddamento di questi ultimi; inoltre, le anse che la costituiscono formano un complicato gioco di pendenze che rende l'afflusso sanguigno al cervello indipendente dalla posizione della testa rispetto al tronco. La rete mirabile è quindi utile soprattutto ad animali

di grossa taglia, che passano parecchio tempo con la testa abbassata e i cui corpi producono molto calore, in altre parole: mucche e tori.

Non si può certo biasimare Galeno per aver sfruttato ciò che aveva a portata di mano. Egli è stato a lungo il medico dei gladiatori e si trovava quindi spesso a bazzicare le arene. I Romani organizzavano frequentemente le cosiddette *venationes*, specie di corride in cui animali selvatici venivano cacciati dentro l'arena da gladiatori o cacciatori professionisti. Galeno prendeva due piccioni con una fava: curava gli uomini e studiava i corpi delle bestie che non riuscivano a cavarsela. Non potendo studiare direttamente il cervello umano, Galeno procedette dunque dall'assunto che alcune strutture anatomiche fossero comuni a tutte le specie, magari con piccole differenze, ma sostanzialmente replicate nel mondo animale. Se la rete mirabile c'era nei bovini, non c'era motivo di dubitare della sua presenza anche nell'uomo.

Per oltre tredici secoli la medicina si è basata sulla scuola di Galeno e la rete mirabile è stata parte di quello che si sapeva sul funzionamento del sistema nervoso centrale dell'uomo. Alla rete mirabile erano affidati ruoli fondamentali nella regolazione del flusso sanguigno e nella produzione di pneuma, il «soffio vitale» o spirito vitale, essenziale per la vita mentale. Quando però Vesalio vide con i suoi occhi il cervello dell'uomo, la rete mirabile non era lì! E tutti si accorsero che non era lì.

Immaginate lo shock. Milletrecento anni di teorie, pratiche e saperi costruiti sull'assunzione dell'esistenza di qualcosa che non c'era e non c'era mai stata. La scoperta dell'inesistenza della rete mirabile nel cervello umano produsse conseguenze enormi sulla scienza medica dell'epoca e, più in generale, sull'approccio formale alla conoscenza. Al posto delle assunzioni galeniche ora c'erano più di seicento pagine e trecento tavole anatomiche e l'esigenza di vedere per credere. Si è dovuto ripensare l'intera circolazione cerebrale e cambiare anche diverse teorie sul ruolo funzionale svolto da specifiche regioni del cervello. Da allora la medicina moderna si basa sulla sperimentazione e sull'osservazione empirica. Da allora, ci fidiamo solo dei nostri occhi, o quasi.

L'asse Pavia-Saragozza

1872 – Abbiategrasso, Italia

Camillo Golgi armeggia nella cucina dell'appartamento messogli a disposizione dalla clinica per malati cronici di Abbiategrasso, il Pio Luogo degli Incurabili, di cui è da poco diventato primario. Sta facendo spazio ad alcuni microscopi, pile di vetrini e ampolle meticolosamente etichettate. È fortemente motivato a costruire un rudimentale laboratorio per proseguire gli studi di istologia iniziati presso l'Università di Pavia. Certamente il tempo che vi può dedicare non è più quello che aveva a disposizione in precedenza, ora deve assolvere a molti incarichi clinici, ma almeno non ha nessuno che si intrometta nei suoi studi e che gli dica che cosa fare.

Golgi non è di certo famoso per la sua tempra mite e accondiscendente. Sono ormai mesi che sta lavorando a una sostanza che gli possa permettere di vedere di che cosa sono fatti i campioni di tessuto nervoso incollati con tocchi di gomma plastica ai vetrini. Intorno al 16 febbraio 1873 ci riesce. Quel giorno Golgi scrive a un suo collega per dirgli che è finalmente riuscito nel suo intento. Se si lascia reagire il nitrato d'argento su campioni di tessuto precedentemente induriti con immersioni in bicromato di potassio per il giusto tempo (anche fino a 45 giorni), il contatto tra i due reagenti provoca un'inaspettata precipitazione selettiva di un sale di colore scuro, il cromato d'argento, che riempie il corpo della cellula e tutti i suoi prolungamenti.

Nessuno era ancora riuscito a colorare per intero una cellula nervosa. E fino ad allora non si sapeva che forma avesse un neurone e neanche se il cervello fosse costituito da cellule o meno.

La *reazione nera* (così Golgi chiama questa procedura di marcatura istologica), o «impregnazione cromoargentina», produce un'amplificazione morfologica delle formazioni cellulari; il cromato d'argento è scuro e insolubile in acqua e si deposita intorno o all'interno delle strutture cellulari così da inspessirle fino a rendere visibili anche i filamenti più fini. Ma è la casualità della reazione a renderla così efficace: solo un certo numero di cellule visibili nel campo microscopico (fino a un massimo del 5 per cento del totale) viene infatti macchiato e amplificato riuscendo così a

distinguersi dalle strutture circostanti. Ancora oggi non sappiamo con precisione la ragione di questa selettività, ma se si fossero colorate tutte le cellule presenti in un lembo di tessuto trattato, Golgi si sarebbe trovato di fronte a un groviglio intricatissimo nel quale non avrebbe avuto modo di identificare singole componenti. Collegando il microscopio a una camera lucida (una specie di proiettore che permette di sovrapporre otticamente l'immagine da ritrarre al foglio sul quale si sta disegnando), Golgi inizia a riprodurre con la massima accuratezza quello che vede. E, come Vesalio secoli prima di lui, vede non solo l'incredibilmente vicino ma anche l'infinitamente piccolo, e lo mette su carta. Questi primi disegni anatomici vengono pubblicati nell'agosto del 1873 sulla rivista locale *Gazzetta Medica Italiana-Lombardia* in un articolo dal titolo «Sulla struttura della sostanza grigia del cervello».

Grazie alla reazione nera Golgi scopre numerosissime informazioni sulla struttura del cervello e del cervelletto, e ritorna come professore all'Università di Pavia. Lo studio della struttura del sistema nervoso è per lui la necessaria anticamera allo sviluppo di fondate teorie sul funzionamento cerebrale, di cui all'epoca si sapeva ancora molto poco.

All'epoca di Golgi il principio dell'*olismo* (la concezione secondo cui un sistema debba essere visto come un tutto e non semplicemente come la somma delle sue parti) è radicato in varie discipline, inclusa la biologia, e molti scienziati vedono il corpo umano come un sistema altamente integrato, in cui tutte le parti lavorano insieme in un'interazione continua e interdipendente. Applicata al sistema nervoso, quest'idea porta a vedere il cervello e le reti neuronali non come un insieme di cellule individuali, ma piuttosto come una grande rete continua e interconnessa: un *reticolo nervoso*. Il cervello viene considerato come un organo unitario che esercita una singola azione e che può essere compreso solo se se ne osserva la struttura per intero e non nel dettaglio. Nel reticolo le informazioni possono fluire liberamente e senza interruzioni, proprio come l'acqua attraverso una rete di canali. Golgi appoggia tale visione, ma quello che vede nel microscopio non va in questa direzione. La reazione nera mette in luce una serie di unità (i neuroni), accomunate da una struttura molto simile. Si vede perfettamente il corpo del neurone insieme a dei lunghi filamenti (quelli che

oggi chiamiamo assoni) e delle folte ramificazioni (quelli che oggi definiamo dendriti). Secondo la teoria olistica i dendriti di tutte le cellule nervose convergono in un'unica matassa per dare origine al sistema unitario e strettamente interconnesso che si pensa sia il cervello. Ma non è così. Quello che Golgi disegna sono infatti dendriti e assoni che terminano liberi e diversi neuroni che non si toccano tra loro. Procedendo dall'idea che ha in mente, Golgi ipotizza allora che i dendriti possano avere un ruolo nutritivo collegandosi ai vasi sanguigni (non visibili in reazione) e che il compito di creare la rete unitaria sia riservato ai filamenti assonici, che al momento sono meno visibili perché più sottili e non abbastanza ingranditi dalla reazione nera. Per Golgi quel reticolo deve essere lì! Non è malafede: semplicemente si aspetta l'esistenza di questa rete olistica, parte dal presupposto che essa ci sia.

La scienza non è un catalogo di fatti ma un esercizio deduttivo. Non si possono separare i pensieri dai pensatori, Golgi rimarrà convinto dell'esistenza di un reticolo nervoso per tutta la sua vita. Sbagliando.

1887 – Madrid, Spagna

Santiago Ramón y Cajal regge un bicchiere di La Rioja nella mano destra mentre è chino sul microscopio del laboratorio privato che Luis Simarro, psichiatra e neurologo di Valencia, è riuscito a costruirsi a Madrid adattando una veranda sul retro di casa. I due si sono incontrati qualche ora prima presso il salotto biologico di Calle de la Gorguera – un laboratorio amatoriale a pochi passi da Plaza de Santa Ana. Qui, lontano dagli spazi formali dell'università, si possono discutere e sperimentare tecniche innovative senza troppa pressione. Cajal è venuto a Madrid da Saragozza, dove vive e lavora, perché invitato a far parte di una commissione che deve scegliere il nuovo docente di anatomia dell'ateneo della città. Simarro invece è appena tornato da Parigi da dove ha riportato del materiale che non ha perso tempo a condividere con i suoi colleghi al salotto.

Tra i campioni che Simarro mostra quel pomeriggio in Calle de la Gorguera, tutti in fettine sottili vivacemente colorate e incollate con gomma arabica su vetrini, spicca un grumo annerito di cervello: è stato preparato

utilizzando una tecnica inventata a Pavia. Ciò che Cajal vede nel salotto di biologia a Madrid cambia la sua vita; la sera stessa si fa invitare a casa di Simarro per poter vedere una rara copia di alcuni dei disegni realizzati da Golgi e consultare le ricette per la tecnica di colorazione, pubblicate in un *memoir* dello scienziato italiano che Simarro ha con sé. Eccolo lì, con un bicchiere di vino in mano e lo sguardo incredulo.

La notte successiva Cajal non riesce a dormire e la mattina seguente si presenta di nuovo alla porta di Simarro, implorandolo di poter osservare ancora quel grumo di cervello colorato chimicamente con quella che abbiamo già chiamato reazione nera. Tornato a Saragozza, Cajal divora tutti i lavori di Golgi che riesce a trovare e inizia ad applicare la tecnica della reazione nera sui campioni di tessuto nervoso che ha a sua disposizione. Dopo poco inizia ad apportare qualche modifica alla procedura per renderla più efficace. Inizialmente applica due impregnazioni, riuscendo a colorare anche i filamenti assonici più sottili, che Golgi non era riuscito a mettere in luce. Poi inizia a lavorare con dei tessuti nervosi di origine animale di capi giovani o addirittura di embrioni. Se la reazione colora in modo casuale solo un certo numero di cellule, semplificando il sistema nervoso in esame si può ottenere la colorazione di quasi tutte le cellule presenti. Ma negli organismi giovani, e soprattutto nei tessuti embrionali, la struttura del sistema nervoso centrale è più semplice e in larga parte non mielinizzata: l'idea che Cajal ha allora in mente è che, usando questi campioni piuttosto che gli intricati tessuti adulti, si possa vedere la quasi totalità delle cellule presenti e capire in quali relazioni siano fra loro.

Negli anni che separano la sperimentazione di Golgi da quella di Cajal, l'idea vigente attorno alla natura del sistema nervoso centrale è molto cambiata. La gran parte dei fisiologi non è più convinta dell'ipotesi olistica di Marie-Jean-Pierre Flourens, che a proposito del cervello riteneva che la vita mentale fosse qualcosa di unitario, collegato a una struttura indivisibile, e appoggia l'ipotesi di *discontinuità anatomica* tra i singoli elementi che compongono un organo. Non si pensa più che la trasmissione del segnale nervoso avvenga in modo unitario e generale all'interno di una rete che collega tutti i neuroni in un sistema. Piuttosto, si ritiene che la comunicazione nervosa avvenga tra singole cellule in modo coordinato,

certo, ma discontinuo. Negli anni, la teoria cellulare, proposta da Matthias Schleiden e Theodor Schwann a cavallo tra il 1838 e il 1839, secondo la quale tutti gli organismi viventi sono composti da cellule, ha ottenuto consistenti conferme. Perché il cervello dovrebbe costituire un'eccezione?

Quando Cajal implementa e migliora la reazione nera, quello che vede è inequivocabile: grazie alle modifiche apportate alla ricetta del procedimento chimico, la quasi totalità dell'estensione degli assoni e quasi tutte le cellule dei «semplici» tessuti embrionali vengono colorate. Come lui stesso scrive, non c'è nessun reticolo: gli assoni di una cellula terminano nelle prossimità dei dendriti della successiva. La rete è complessa ma non unitaria. Grazie a queste osservazioni Cajal formula la *dottrina del neurone* nella quale si afferma che il sistema nervoso è composto da unità cellulari individuali e distinte, chiamate appunto neuroni. I tre principi della dottrina del neurone sono:

- il neurone è l'unità fondamentale del sistema nervoso;
- i neuroni sono cellule separate, ma comunicano tra loro tramite contatti specifici, noti come sinapsi;
- ogni neurone costituisce un'unità autonoma sia funzionalmente che morfologicamente.

In un qualsiasi manuale di neuroscienze, neuroanatomia o fisiologia che oggi trovate in libreria, entro le prime trenta pagine potete leggere questi tre principi.

1906 – Stoccolma, Svezia

La grande sala dell'Accademia Reale delle Scienze di Svezia è gremita, si stanno annunciando i vincitori dei Nobel. Il premio per la Medicina viene spartito tra due grandi neuroscienziati per il loro contributo essenziale alla scoperta delle basi anatomiche del sistema nervoso centrale: i co-vincitori sono Camillo Golgi e Santiago Ramón y Cajal. A Golgi il merito di aver individuato una tecnica di eccezionale utilità per la visualizzazione anatomica; a Cajal il pregio di averla sfruttata per formulare la dottrina del neurone. Golgi e Cajal sono rivali da tredici anni. Golgi non ha mai

abbandonato la sua visione reticolare del sistema nervoso centrale e mal tollera che proprio usando la sua tecnica si possa sostenere una posizione completamente opposta – posizione che per di più è ormai appoggiata da scienziati e studiosi di tutto il mondo. Uno smacco troppo grande per uno scienziato della sua risma.

All'annuncio dei vincitori, i due si alzano per ricevere l'applauso dei presenti schivando l'uno lo sguardo dell'altro. Nel giro di pochi giorni dovranno tenere le loro rispettive *lectiones magistrales*. L'11 di dicembre, il giorno dopo la premiazione, tocca a Golgi che ha scelto di intitolare il suo intervento *La dottrina del neurone: teoria e fatti*. Per un'intera ora si scaglia apertamente contro questa teoria, facendo della sua *lectio* un diretto attacco al co-vincitore del premio e a tutto il suo lavoro. Golgi sostiene che il reticolo nervoso deve essere considerato «un'entità anatomica molto concreta e per nulla [...] un'ipotesi»⁸. Così concreta che la raffigura come mai prima d'ora: Golgi accompagna infatti la sua conferenza con inediti disegni della corteccia cerebellare, che appaiono completamente diversi da quelli pubblicati nel 1880. Mentre nei disegni dell'inizio della sua carriera i rami degli assoni terminano perlopiù liberamente e le loro anastomosi (i collegamenti diretti) con altre cellule sono pochissime, nell'illustrazione presentata a Stoccolma il reticolo nervoso diventa estremamente evidente. Diversi studiosi di storia della medicina ritengono tuttavia che quest'ultimo disegno rappresenti una versione idealizzata piuttosto che un'osservazione diretta fatta con la camera lucida: il confronto tra le prime immagini e quest'ultima sembra mostrare un graduale passaggio da un atteggiamento di oggettività meccanica (disegnare ciò che gli strumenti offrono) a uno di interpretazione elaborata. Sebbene il discorso di Golgi sottolinei sarcasticamente «il genio della dottrina, degno della mente elevata dell'illustre collega spagnolo»⁹, la sua aperta polemica contro questa co-assegnazione è dunque palese.

Il giorno successivo, a mezzogiorno, è il turno di Cajal. Il suo intervento si svolge con calma e serenità, concentrandosi più sul mettere in luce le proprie scoperte e quelle di altri sostenitori della dottrina del neurone, che sul controbattere le argomentazioni di Golgi. Il discorso si rivela un disastro per Golgi, sancendo così il trionfo sociale e scientifico di Cajal. In

particolare, dopo che lo spagnolo, con abilità e a suo vantaggio, descrive nei *Recuerdos* la drammatica scena di Stoccolma e la reazione del pubblico presente, l'immagine di Golgi tra i neuroscienziati diviene quella di un uomo arrogante e presuntuoso, incapace di ammettere i propri errori.

Golgi e Cajal sono due grandi neuroscienziati che hanno osservato lo stesso oggetto vedendovi tuttavia cose diverse. Cajal osserva il cervello con lo stesso metodo di Golgi ma con l'aspettativa di trovare delle singole unità tra loro distinte; questo presupposto influenza la selezione del materiale su cui sviluppare gli esperimenti e anche le modifiche apportate alla reazione nera. Mentre Golgi ama le reti diffuse e per questo ha scelto di lavorare sull'intricato e complesso cervello adulto, Cajal cerca di semplificare per arrivare alle unità e, di conseguenza, utilizza soprattutto materiale embriologico.

Quando introduce la *Struttura delle rivoluzioni scientifiche*¹⁰ Thomas Kuhn scrive che nessun gruppo di scienziati potrebbe lavorare senza «un insieme di credenze ricevute» su come è fatto il mondo. Kuhn ha cioè intuito – e oggi è molto chiaro a tutti – che la scienza si basa su fondamenta stabilite in precedenza. Serve un codice di convenzioni, non si può ricominciare ogni volta da capo. Nessuno scienziato, come nessuno di noi quotidianamente, può procedere riverificando tutto ciò che è già stato verificato. Le nuove esperienze che facciamo sono in parte già determinate dalle esperienze passate, da quello che ci aspettiamo e da che cosa conseguentemente cerchiamo. L'uomo, inoltre, è certamente un animale empirico, procede dai suoi sensi, ma questi non sono scissi dall'uomo stesso: l'esperienza sensoriale nutre il mondo mentale, il quale a sua volta guida i nostri sensi. L'esperienza che l'uomo fa del mondo non è però solo quella naturale e, come abbiamo già visto, essa è costantemente mediata dalla tecnologia che noi stessi progressivamente come specie umana inventiamo.

Ripercorriamo allora insieme il passato in cui la tecnologia ha modificato la nostra esperienza del mondo attraverso la costruzione di un mondo mentale completamente nuovo.

Note

¹ I.M. Daly, M.J. How, J.C. Partridge, N.W. Roberts, «Complex gaze stabilization in mantis shrimp», *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1878), 2018, 20180594.

² J.A. Gowlett, «The discovery of fire by humans: a long and convoluted process», *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1696), 2016, 20150164.

³ B.E. Stein, T.R. Stanford, B.A. Rowland, «Multisensory integration and the society for neuroscience: Then and now», *Journal of Neuroscience*, 40(1), 2020, pp. 3-11.

⁴ <https://www.reddit.com/r/dataisugly/>

⁵ Si veda per esempio Jürgen Symanzik, *The Good, the Bad, and the Ugly Coronavirus Graphs*, presentazione disponibile su www.usu.edu, 7 gennaio 2021.

⁶ B. Zhao, S. Zhang, C. Xu, Y. Sun, C. Deng, «Deep fake geography? When geospatial data encounter Artificial Intelligence», *Cartography and Geographic Information Science*, 48(4), 2021, pp. 338-352.

⁷ *Vesalius: The China Root Epistle. A New Translation and Critical Edition*, Edited and translated by Daniel H. Garrison, Cambridge, Cambridge University Press, 2015.

⁸ P. Mazzarello, «From images to physiology: a strange paradox at the origin of modern neuroscience», *Progress in brain research*, 243, 2018, pp. 233-256.

⁹ *Ibidem*.

¹⁰ T.S. Kuhn, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche* [1962], ed. it. Torino, Einaudi, 2009.

3 Martelli per costruire, occhiali per vedere e lettere per parlare

Di pidocchi fossili e zanzare metropolitane

Siamo sinceri, sotto molti aspetti non possiamo considerarci l'animale che incarna il maggior successo evolutivo. Siamo mammiferi di piccola o media taglia, glabri. Non siamo velenosi, non corriamo particolarmente veloci, non abbiamo zanne, ali o corna. Non ci mimetizziamo, circa il 30 per cento di noi soffre di vertigini e un altro 10 per cento è allergico alle graminacee (stime aggiornate al 2022). Se dovessi scommettere chi tra me e Zelda, la mia gatta, abbia più probabilità di sfuggire alle fauci di un cane aggressivo, scommetterei tutto su di lei.

Eppure, nel regno animale godiamo di una posizione invidiabile. Possiamo considerarci dei predatori apicali, cioè dei predatori non predati, insieme a poche altre specie animali: leoni, aquile calve, coccodrilli d'acqua salata, squali bianchi e orche. Abbiamo colonizzato praticamente tutti gli habitat, dai più freddi ai più caldi; viviamo un numero ragguardevole di anni e tipicamente facciamo esperienza della vecchiaia. Nel regno animale solamente noi, le orche e i globicefali (un genere di cetacei) facciamo esperienza della menopausa, quel periodo di vita in cui non si è più fertili ma si è ancora vivi e vegeti. Dal punto di vista evolutivo, la sopravvivenza di individui non in grado di generare altri membri della specie è molto dispendiosa e solo le specie animali che vivono in strutture sociali molto articolate e con rischi evolutivi relativamente bassi se lo possono permettere. Questa posizione non l'abbiamo di certo raggiunta grazie alla

nostra prestanza fisica. Piuttosto, là dove non arriva la nostra biologia è arriva la nostra tecnologia.

Nello spazio creato tra la nostra capacità fisica e l'ambiente si è da sempre inserita la tecnologia garantendoci un adattamento e un successo evolutivo senza precedenti. Dal controllo del fuoco, alla ruota, fino al linguaggio, ai microchip e ai frullatori intelligenti, l'uomo ha sempre creato tecnologie per colmare il divario tra i propri bisogni e le richieste ambientali, siano esse conservare più a lungo gli alimenti o calcolare traiettorie di lancio di shuttle spaziali. La tecnologia non è infatti un'entità autonoma che guida il cambiamento in una sorta di tensione solitaria verso un futuro più o meno prossimo; essa è piuttosto uno strumento che viene modellato dai valori, dalle visioni, dai bisogni e dalle decisioni delle persone e delle società. In altre parole, tecnologia e società co-evolvono, influenzandosi reciprocamente¹.

Vediamo un esempio.

Un gruppo di biologi, antropologi e archeologi della Florida² studia il corredo genetico di due specie di pidocchi moderni. L'idea è quella di utilizzare i dati ricavati dal genoma di questi pidocchi per datare l'emergenza di una tecnologia tanto fondamentale quanto scontata: l'abbigliamento.

La nostra specie inizia a perdere il pelo (tutta la mia stima a coloro che leggendo hanno completato la frase con «ma non il vizio»: giochiamo nella stessa squadra) circa 1,2 milioni di anni fa. Questo evento è considerato una fase fondamentale per lo sviluppo successivo dell'abbigliamento. Con la perdita della maggior parte dei peli corporei, i pidocchi del corpo umano vengono confinati alla testa evolvendosi fino ai giorni nostri nella specie che conosciamo con il nome *Pediculus Humanus Capitis*, i classici pidocchi. Solo in seguito, quando l'uomo inizia a coprirsi con abiti rudimentali ottenuti dalle pelli di altri animali e poi da tessuti di origine vegetale, una nuova specie di pidocchi fa la sua comparsa, i *Pediculus Humanus Corporis* o pidocchi vestimentari. Questa nuova specie di pidocchi è un parassita che vive e si riproduce nei vestiti, migrando sul corpo umano solo per nutrirsi. La comparsa dei pidocchi vestimentari è quindi strettamente collegata all'inizio dell'uso regolare di capi

d'abbigliamento da parte dell'uomo. Seguendo questo ragionamento, il gruppo di scienziati della Florida studia queste due specie di pidocchi per comprendere qualcosa del loro ospite, l'essere umano.

Le stime delle dimensioni della popolazione dei pidocchi vestimentari sono inferiori rispetto a quelle dei pidocchi della testa, il che indica che i primi hanno avuto origine da una piccola popolazione ancestrale di pidocchi della testa. Analizzando quattro specifici geni dei parassiti (COI, 18S rRNA, EF-1 α , e RPII) gli studiosi hanno dimostrato che i pidocchi dei vestiti si sono separati da quelli della testa tra 83.000 e 170.000 anni fa, suggerendo che l'uso dei vestiti sia dunque iniziato in questo intervallo temporale, probabilmente da parte degli esseri umani moderni in Africa. Questo è anche il momento del nostro passato filogenetico con i maggiori eventi di espansione, come l'uscita dall'Africa di esemplari di *Homo Sapiens* verso latitudini più fredde. Le condizioni climatiche più rigide durante l'ultima era glaciale (circa 190.000-130.000 anni fa) avrebbero indotto le popolazioni umane a utilizzare per la prima volta i vestiti, una tecnologia che si dimostra essenziale non solo per affrontare i contingenti cambiamenti climatici ma anche per il successo nella successiva espansione verso territori dai climi più freddi.

Grazie alla datazione dei pidocchi è stato possibile mettere in luce che l'abbigliamento ha anticipato – e in una certa misura garantito – il movimento della nostra specie verso altri territori con condizioni climatiche differenti, e non il contrario. La tecnologia, dunque, non solo ci permette di adattarci meglio all'ambiente circostante e contingente, ma di fatto crea ed estende le *nicchie ecologiche* che la nostra specie può abitare con successo. Nel caso dei nostri antenati, la tecnologia ha letteralmente permesso l'ingresso in continenti e territori che altrimenti sarebbero stati, nella migliore delle ipotesi, inospitali e, nella più probabile, letali. L'abbigliamento ha funzionato insomma come un antesignano delle future macchine spaziali: col primo abbiamo colonizzato l'Europa, con le seconde colonizzeremo altri pianeti.

Questa tecnologia creata dall'uomo per l'uomo ha inoltre generato una nuova nicchia che ha influenzato non solo il nostro sviluppo ma anche quello di altre specie animali. Il pidocchio vestimentario, infatti, esiste solo

in virtù dell'esistenza dell'abbigliamento: questo pidocchio ha cioè subito un processo di *speciazione* indotto dalla presenza della tecnologia umana. La speciazione indica il processo biologico attraverso cui una popolazione evolve in una o più nuove specie a causa di pressioni particolari di tipo genetico, geografico o comportamentale. Il pidocchio vestimentario del nostro esempio diviene una specie indipendente a causa di una pressione ambientale molto specifica: la tecnologia umana.

Il pidocchio però non è l'unico ad aver modificato la propria traiettoria evolutiva in risposta a un'azione tecnologica dell'uomo. Stessa sorte è toccata alla *Culex pipiens molestus* o zanzara della metropolitana di Londra. Questa specie di zanzare si è evoluta separatamente dalle zanzare di superficie (*Culex pipiens*) distinguendosi dal punto di vista genetico e comportamentale. La specie *molestus* vive e si riproduce negli ambienti sotterranei (non solo nella metropolitana londinese), è attiva tutto l'anno, si nutre principalmente di sangue umano, non necessita di un periodo di letargo invernale e non ha bisogno di acqua per deporre le sue uova. Tutto sommato, non è difficile immaginare perché la si sia nominata *molestus*. La *Culex pipiens molestus* è stata notata per la prima volta durante la seconda guerra mondiale, quando gli abitanti di Londra vivevano nelle stazioni della metropolitana per proteggersi dai bombardamenti. La creazione di ambienti sotterranei da parte dell'uomo ha prodotto un vantaggio evolutivo per le comuni zanzare di superficie che si sono trovate con una grande quantità di cibo a disposizione e la quasi totale assenza di predatori dai cieli. Questa nuova nicchia e l'isolamento geografico hanno premuto a tal punto da produrre un nuovo ramo evolutivo.

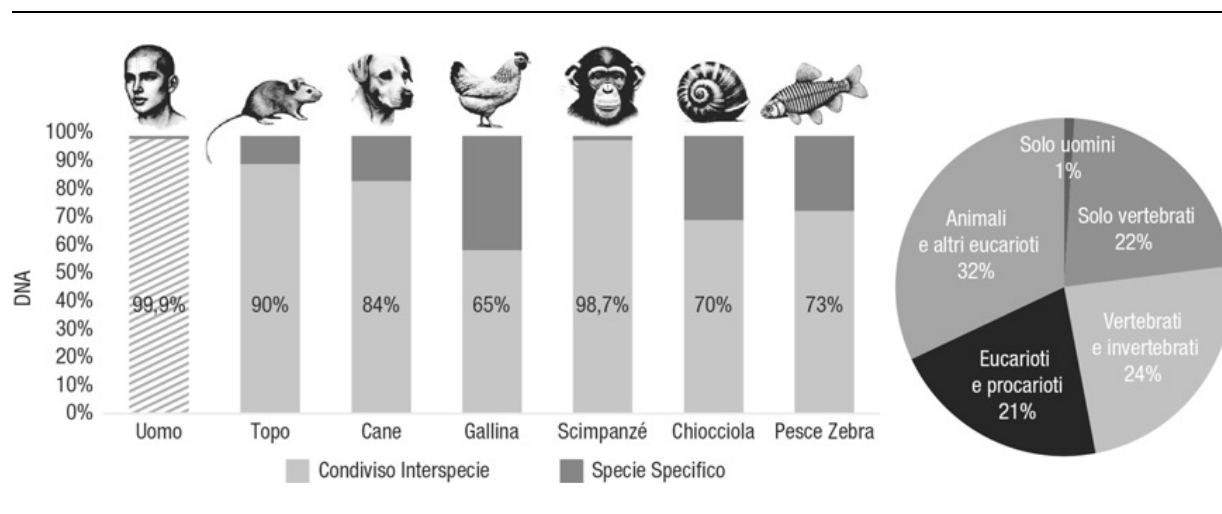
La nostra azione sull'ambiente produce quindi dei cambiamenti e articola i processi di selezione ambientale sia per noi sia per le altre specie animali e vegetali con cui condividiamo la nicchia.

Modificare l'ambiente e creare nuove nicchie ecologiche ha un peso incredibile nei processi evolutivi. Sebbene siamo ingenuamente portati a pensare che l'evoluzione di una specie abbia molto a che fare con i geni, questo non è vero. Prendiamo per esempio la specie *Homo Sapiens* (noi) e i suoi parenti viventi più prossimi, la specie *Pan Troglodytes* (lo scimpanzé comune). In una recente ricerca apparsa sulla prestigiosa rivista *Science*³,

alcuni ricercatori hanno sequenziato i genomi di 809 individui appartenenti a 233 specie di primati non umani, un gruppo eterogeneo di creature che copre quasi la metà delle 521 specie di primati riconosciute. Da questa mappatura gli scienziati hanno scoperto che la stirpe che ha portato agli esseri umani si è separata da quella che ha portato agli scimpanzé «solo» tra 6,9 milioni e 9 milioni di anni fa. Considerando che l'ultimo antenato comune di tutti i primati oggi viventi si aggirava sulla Terra circa 60 milioni di anni fa, 9 milioni sono un soffio. Tra noi e questi primati che sono il nostro parente più prossimo abbiamo in comune il 98,7 per cento del DNA: una percentuale altissima se pensiamo alle enormi differenze che ci separano a livello sociale, culturale, cognitivo e fisico. Anche la comunanza genetica tra i membri della stessa specie ha percentuali sorprendenti. Noi appartenenti alla specie *Homo Sapiens* condividiamo il 99,9 per cento del DNA con gli altri membri della nostra specie, e quello 0,1 per cento di patrimonio genetico «personale» che ci distingue da chiunque altro corrisponde a 3 milioni di coppie di basi azotate ed è responsabile delle differenze nel colore dei capelli, degli occhi, nell'altezza e nella predisposizione a specifiche malattie. Devo ancora capire se pensare che tra me e Amber Heard (la donna con il 91,85 per cento di simmetria facciale e per questo giudicata come la più bella del mondo secondo uno studio londinese) ci siano poche manciate di geni mi faccia sentire infinitamente bene o maledettamente male; ma tant'è... Da minime variazioni genetiche possono emergere macroscopiche differenze (sigh!).

Se ci allontaniamo dai nostri parenti più prossimi, la percentuale di DNA condiviso scende, ma resta considerevole. Per esempio, l'uomo condivide il 90 per cento del DNA con i topi e il 65 per cento con le galline (Figura 4 a sinistra). Si arriva perfino a un considerevole 70 per cento con le chioccioline e a un 63 per cento con il moscerino della frutta. I derivi «solo umani» sono meno dell'1 per cento della totalità dei geni presenti sul nostro pianeta, e i geni esclusivi di tutti gli animali vertebrati e invertebrati corrispondono a un misero 24 per cento del totale (Figura 4 a destra).

Figura 4 L'istogramma a sinistra mostra la percentuale di DNA condiviso (in grigio chiaro) e non condiviso (in grigio scuro) tra l'uomo e altre specie animali: nella prima colonna l'area tratteggiata indica la percentuale di DNA condiviso tra tutti gli esseri umani. Il grafico a torta a destra mostra invece la percentuale di DNA condiviso tra diverse classi tassonomiche di esseri viventi



Da questa vasta «aspecificità genetica» possiamo intuire come la nostra specie – e ogni specie insieme a lei – non sia il risultato della comparsa di nuovi geni. Piuttosto, siamo tutti il risultato dell'interazione di questo patrimonio con l'ambiente circostante. Nel caso dell'uomo, in particolare, non è tanto la quantità di «nuovo» DNA a renderci più o meno distinti da altre specie, quanto piuttosto la qualità del rapporto con l'ambiente decisa da questo DNA tutto umano.

Nell'1,3 per cento di DNA che non abbiamo in comune con gli scimpanzé e nell'1 per cento di DNA che la nostra specie possiede in modo esclusivo, troviamo alcuni geni che regolano i tempi di maturazione del sistema nervoso centrale. Quasi la metà dei geni che ci appartengono in modo esclusivo rallenta significativamente la maturazione pre- e post-natale del nostro cervello, con un effetto massiccio sulle regioni prefrontali – le più nobili e sofisticate dal punto di vista cognitivo⁴. Nell'uomo, i geni coinvolti nello sviluppo e nella crescita del cervello mostrano una maggiore espressione nella tarda adolescenza, mentre negli scimpanzé l'espressione di questi geni non va oltre i primi anni di vita. Ciò equivale a dire che

l'architettura molecolare del cervello umano mantiene una plasticità maggiore durante l'intero sviluppo rispetto ad altre specie.

Ed è proprio questo pugno di geni diversi a ritardare significativamente il nostro sviluppo cerebrale, una frenata che ha divaricato in modo decisivo la nostra storia evolutiva da quella degli scimpanzé.

Prendiamo come esempio il gene SRGAP2⁵. All'incirca 2,5 milioni di anni fa ha subito una mutazione incappando in un processo di duplicazione parziale e generando l'inedita copia SRGAP2C. Questa duplicazione ha casualmente rallentato il processo di maturazione delle connessioni neuronali, in particolare la sinaptogenesi (ovvero la nascita di nuove sinapsi) e lo sviluppo delle spine dendritiche nel cervello dei suoi portatori. A sua volta, questo rallentamento ha permesso un prolungamento della fase di plasticità cerebrale, allungando la finestra temporale in cui il cervello umano è più flessibile e aperto a modellarsi in risposta alle esperienze ambientali. Gli individui portatori di questa mutazione si sono quindi adattati meglio all'ambiente circostante e hanno avuto maggiori chance di sopravvivere e riprodursi. In modo non più casuale questa duplicazione è stata mantenuta e si è selezionata positivamente poiché ha conferito un vantaggio evolutivo. Quello che ha fatto di noi la specie che siamo oggi è soprattutto la permeabilità all'ambiente circostante, proprio quell'ambiente che è sempre più ricco della tecnologia da noi stessi costruita.

Nessuno mette Charles in un angolo!

Ingenuamente potremmo pensare che oggi grazie allo sfrenato arredamento tecnologico con cui abbiamo improntato l'ambiente in cui viviamo siamo riusciti a ingannare la pressione che esso esercita su di noi e sulla nostra probabilità di sopravvivere e riprodurci.

Possiamo tollerare di immaginarci figli di mutazioni avvenute due o tre milioni di anni fa ma facciamo molta più fatica a non considerarci oggi gli autori del nostro cambiamento e successo. D'altronde disponiamo di alcuni dati macroscopici che ci potrebbero indurre in questo errore di prospettiva.

La speranza di vita alla nascita nel nostro paese è passata da 69,12 anni nel 1960 a 82,9 anni nel 2022⁶. Anche la mortalità infantile è drasticamente

calata. In Italia, siamo passati da 46.350 bambini deceduti entro i 5 anni di età nel 1960, a 1.076 nel 2022⁷. Abbiamo sconfitto la maggior parte delle malattie infettive e anche quelle tuttora attive sono molto meno impattanti. In Italia, per epatite B sono morte 3.556 persone nel 1980 e 1.524 nel 2021⁸. In termini d'insieme, lo Human Development Index ideato dal Programma delle Nazioni Unite per lo Sviluppo è passato da un valore di 0,61 a uno di 0,73 in poco più di sessant'anni: un incremento consistente (considerando anche la scala di riferimento che come punteggio massimo ha 1) e che sottolinea un miglioramento complessivo di salute, istruzione e standard di vita della nostra specie⁹.

Il progresso nella qualità delle condizioni di vita è innegabile ma non tale tuttavia da permetterci di raggirare la pressione dell'ambiente e con esso il suo processo selettivo. Studi genetici molto recenti mostrano infatti come in realtà la selezione naturale sia tuttora attiva e funzionante, sebbene ne siano certamente mitigati gli effetti diretti sulla sopravvivenza dei singoli individui.

Quello che Charles Darwin aveva teorizzato ne *L'origine delle specie* a metà dell'Ottocento è ancora valido. È ancora vero che caratteristiche che conferiscono un vantaggio per la sopravvivenza e la riproduzione in un determinato ambiente tendono a diventare più comuni. Questo è valido per tutti gli organismi viventi. Prendiamo per esempio le piante d'orzo. Studiando l'adattamento genetico dal 1929 a oggi di 58 generazioni di piante d'orzo¹⁰, si è osservata un'accelerazione della selezione naturale che ha favorito l'evoluzione di un'unica linea dominante, portando a un'omogeneità genetica sorprendente data l'elevata diversità iniziale. Questa selezione è avvenuta per mano dell'uomo, letteralmente: è stata infatti causata dalle pratiche agricole e dalle esigenze alimentari e di allevamento richieste per il sostentamento della nostra specie.

Se la selezione naturale funziona sulle piante d'orzo, figuriamoci che cosa può fare su un animale che si è distinto filogeneticamente proprio per la sua permeabilità all'ambiente. Di questa porosità abbiamo avuto prova analizzando il corredo genetico di popolazioni molto ampie, presso le quali sono stati individuati eventi recenti che hanno facilitato l'eredità di specifiche mutazioni o caratteristiche fenotipiche nella nostra specie. La

mutazione CCR5-Δ32, per esempio, rende gli individui resistenti all'infezione da HIV bloccando l'ingresso del virus nelle cellule; e diversi studi hanno osservato una maggiore presenza di questa mutazione tra le popolazioni europee suggerendo un processo di selezione naturale innescato da epidemie passate come quella da vaiolo del XVIII secolo ed esacerbato da epidemie più recenti come quella da AIDS del 1981. Altri studi hanno osservato la selezione di specifiche varianti genetiche che permettono alle donne di riprodursi più a lungo; questi stessi geni concorrono anche a una più lenta progressione dell'invecchiamento cellulare dell'intero organismo, come attestato dalla lunghezza dei telomeri, un indicatore della salute cellulare e dell'invecchiamento. L'allungamento della speranza di vita dell'ultimo secolo ha favorito quegli organismi che riuscivano a mantenere un buono stato di salute per più tempo, rendendoli più adatti a una vita che si struttura in un arco di ottant'anni invece che di cinquanta.

Darwin aveva quindi ragione ma trattava principalmente gli adattamenti biologici delle specie. Nella sua formulazione l'evoluzione dell'uomo era ancora simile alla figura con la quale abbiamo aperto questo saggio: l'ambiente chiede, la biologia risponde. L'uomo però, con la sua capacità di creare tecnologie, può essere visto come un esempio di come le richieste ambientali si possano assolvere anche con degli adattamenti a loro volta ambientali, anzi tecnologici. Se quindi i processi di selezione naturale sono ancora in atto e agiscono sulla nostra specie indirizzando la nostra evoluzione nel regno animale, che cosa ha significato vivere in un ambiente tecnologico? Saremmo l'animale che siamo oggi se non avessimo affilato le due facce di una pietra per farcene un primordiale coltello?

Una evoluzione a 2×

Nel corso dell'evoluzione animale, il cervello fa la sua prima apparizione come *ampolla*, un rigonfiamento della parte più anteriore del sistema nervoso. La posizione è invidiabile e serve efficacemente alla regolazione del corpo e dei suoi movimenti. Evolvendosi, praticamente tutte le specie animali divengono progressivamente più grandi e sviluppano un'anatomia simmetrica bilaterale e la conseguente capacità di muoversi lungo l'asse

principale del piano corporeo. È in questo momento che, per questioni di convenienza, si forma la testa per come la conosciamo noi oggi, cioè prima parte del corpo a incontrare gli stimoli e regione dove è funzionale che si concentrino gli organi sensoriali. Le funzioni nervose si sono allora progressivamente accumulate in questa estremità del corpo, portando alla *cefalizzazione*: un processo attraverso cui una specie dopo l'altra è apparsa dotata di un neurasse, di centri superiori e infine di un telencefalo e di una corteccia cerebrale.

Fino qui tutto regolare e molto comune.

Da un certo punto in avanti però, per i primati prima e gli ominidi dopo, l'espansione del cervello diventa peculiare procedendo ad ampie falcate. Il cervello della nostra specie ha più che raddoppiato le sue dimensioni passando dall'essere circa 510-600 centimetri cubi a 1200-1600 centimetri cubi in un milione di anni circa. Praticamente è passato dall'essere grande come una mela cotogna a prendere le fattezze di un melone. E lo ha fatto a una velocità pazzesca. Per avere un confronto, il samoterio, un mammifero artiodattilo estinto vissuto tra i cinque e dieci milioni di anni fa, antenato delle giraffe moderne, possedeva un collo di circa un metro; si stima che per raggiungere la contemporanea conformazione delle giraffe e raggiungere colli della lunghezza di due metri ci siano voluti sette milioni di anni. Con un calcolo, certo approssimativo ma che trova conferma in letteratura, il cervello dell'uomo ha avuto un incremento annuo dell'1,6 per cento mentre il collo del samoterio si è allungato dello 0,14 per cento ogni anno.

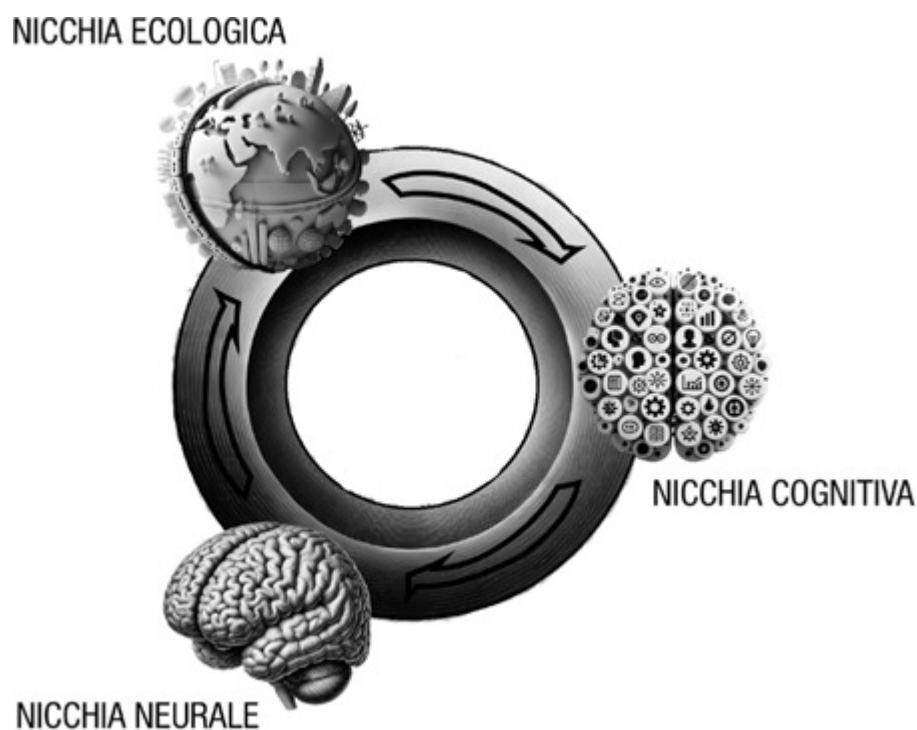
Se non siete scioccati, state mentendo!

Il cervello non fa eccezione al principio biologico secondo cui gli organi utili si sviluppano e ingrandiscono in risposta alle maggiori richieste e risorse. Il collo della giraffa serviva più lungo possibile per accedere alle foglie poste più in alto e avere così un vantaggio sugli altri erbivori. Alla nostra specie il cervello serviva il più grande possibile per rendere l'ambiente esterno più docile e addomesticato. Ma come ha fatto la dimensione del nostro cervello a crescere in così poco tempo mentre altri adattamenti biologici sono stati molto più lenti?

L'accelerazione del processo evolutivo del cervello della nostra specie è dovuta principalmente all'interazione di nicchie ecologiche, cognitive e

neurali mutuamente rinforzanti¹¹: in una parola, alla co-evoluzione di tecnologia, mente e corpo. L'uomo ha costruito *nicchie ecologiche* introducendo strumenti tecnologici nell'ambiente naturale. L'ambiente così modificato ha facilitato lo sviluppo di *nicchie cognitive* in cui nuove funzioni emergevano per adattamento all'ambiente. Queste nicchie cognitive, a loro volta, hanno richiesto lo sviluppo di specifiche aree del cervello, cioè di *nicchie neurali*. Ognuna di queste nicchie evolve in modo interdipendente, in un circolo senza fine. Trovandosi con maggiori risorse neurali è possibile costruire nicchie ecologiche sempre più complesse, che spingono avanti nuove nicchie cognitive, che necessiteranno di nuovi substrati neurali e così via all'infinito. Da qui l'accelerazione. Da qui la nostra specie per come la conosciamo oggi (Figura 5).

Figura 5 L'interazione di nicchie ecologiche, cognitive e neurali

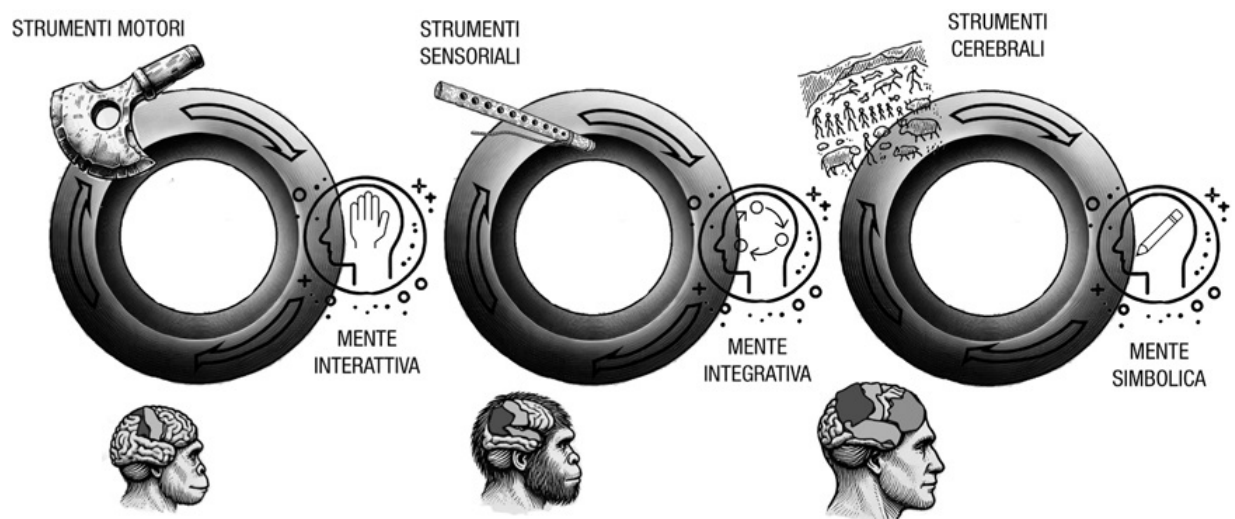


Cervelli di cera

Per scoprire praticamente tutto quello che sappiamo su come si è evoluto il nostro cervello ci siamo ingegnati parecchio. Quello che abbiamo a disposizione sono i resti dei nostri antenati e dei loro manufatti rinvenuti nei maggiori siti archeologici. A causa della decomposizione dei tessuti molli, non abbiamo di certo accesso diretto ai cervelli contenuti nei crani fossili, ma già dalla fine del Settecento si procede con la tecnica che oggi chiamiamo degli *endocasti*. Riempendo le cavità craniche dei reperti archeologici con gesso o resine sintetiche o anche sfruttando le più recenti mappature 3D, si ottengono modelli della cavità cranica sorprendentemente dettagliati. Si possono osservare forma, dimensione, increspature e anche la vascolarizzazione superficiale del cervello dei nostri antenati e quella di altri animali.

Osservando la forma degli endocasti e intersecandoli con i reperti materiali contemporanei, i neuroarcheologi concordano nell'individuare tre macro *nicchie evolutive* che il genere *Homo* ha edificato nel tempo modificando l'ambiente ecologico, l'ambiente cognitivo e quello neurale (Figura 6).

Figura 6 Le tre nicchie evolutive del genere *Homo*



La prima nicchia, in senso cronologico, corrisponde alla costruzione di *strumenti motori* cioè di oggetti tecnologici che estendono l'azione del corpo, la portata delle nostre mani o ampliano la loro efficacia (nicchia ecologica). L'*Homo Habilis*, circa 2,6 milioni di anni fa, usa pietre scheggiate su un lato per creare strumenti chiamati *chopper*, utili per rompere ossa e accedere al midollo degli animali. Dopo di lui, l'*Homo Erectus* è la prima specie a utilizzare asce di pietra bifacciali, conosciute come asce acheuleane, per tagliare carne e pelli, ma anche per lavorare il legno e scavare.

A questo punto, il mondo esterno non è più solo quello a portata di mano: si è espansa la cognizione spaziale ed è aumentata la coordinazione motoria della nostra specie, così come si sono iniziate a comprendere le relazioni causa-effetto (nicchia cognitiva). Si sviluppa un'iniziale consapevolezza corporea e dei cambiamenti che il corpo subisce. L'azione proattiva del corpo nel mondo ci fa conoscere il mondo: è nata la *mente interattiva*. Come abbiamo visto nel [Capitolo 1](#), cambia l'esperienza, cambia la mente. Gli endocasti di questo periodo mostrano lo sviluppo di aree specifiche del cervello, come il lobo parietale e le aree motorie (nicchia neurale). A volano, questa prima espansione cerebrale ha permesso agli esseri umani di migliorare la precisione manuale e la capacità di progettare strumenti che diventano sempre più sofisticati, come le asce di pietra e altri utensili del successivo periodo paleolitico. Nel tempo, queste abilità hanno aumentato la pressione selettiva per un cervello più grande, portando allo sviluppo di due nuove specie: l'*Homo Neanderthalensis* e il coetaneo *Homo Sapiens*.

Queste due specie sono le protagoniste della seconda nicchia evolutiva che ha visto la comparsa di *strumenti sensoriali*, cioè di oggetti tecnologici che hanno permesso ai nostri antenati di percepire informazioni al di fuori della portata dei sensi naturali (nicchia ecologica). Se le mie mani possono raggiungere nuovi orizzonti non si capisce perché non lo possano fare anche i miei occhi o le mie orecchie. Compaiono i primi sistemi di ingrandimento, di amplificazione del suono e anche i primi strumenti musicali. Lo strumento musicale più antico che si conosca è con alta probabilità il flauto di Divje Babe rinvenuto nella Slovenia occidentale e attribuito al periodo

paleolitico. Il flauto era probabilmente in uso all'*Homo Neanderthalensis* che lo aveva ricavato dal femore di un giovane orso delle caverne facendovi alcuni fori distanziati sul lato posteriore. È la prima volta che la voce si fa suono.

Nello stesso periodo l'*Homo Sapiens* sviluppa anche rudimentali tecniche per migliorare la visione, usando specchi d'acqua o superfici riflettenti naturali (i popoli Inuit ideano primitivi occhiali da sole fatti di ossa e altri materiali per ridurre il riverbero del sole sul ghiaccio, permettendo loro di proteggere la vista nelle condizioni estreme dell'Artico). Grazie agli strumenti sensoriali, l'uomo sviluppa competenze visuo-spaziali sofisticatissime. Il suo mondo diviene popolato di nuove esperienze sensoriali, la percezione del colore e del movimento si affina; la vista acquista progressivamente maggiore rilievo; il cervello deve imparare sempre di più e sempre meglio come integrare queste informazioni sensoriali e ha necessità di un maggiore esercizio della memoria. In un mondo che, come abbiamo visto nel [Capitolo 2](#), viene conosciuto attraverso i sensi, nasce così la *mente integrativa* (nicchia cognitiva). Nel cervello dell'uomo di Saccopastore, un *Homo Neanderthalensis* rinvenuto a Roma, e in altri resti di uomo moderno vivente in questa nicchia evolutiva, è ben visibile una riorganizzazione del lobo frontale che si porta in posizione orbitale (dietro agli occhi), insieme a una progressiva e ulteriore espansione del lobo parietale e, per l'*Homo Sapiens*, un'espansione dei lobi temporali (nicchia neurale).

A questo punto dell'evoluzione la nostra specie agisce e percepisce il mondo in un modo totalmente inedito. Riusciamo a pensare alle conseguenze delle nostre azioni, a conoscere i nostri limiti e a progettare strumenti che ci permettano di superarli. Il mondo è più a portata di mano e dei nostri sensi, iniziamo a prendere consapevolezza di noi e di noi nel mondo.

È in questo momento che arriviamo alla terza nicchia evolutiva, con la creazione degli *strumenti cerebrali* che permettono un'esternalizzazione delle funzioni cognitive e che consentono di conservare e trasmettere informazioni nel tempo (nicchia ecologica). Compaiono pitture rupestri, il linguaggio simbolico orale e quello scritto. Iniziamo ad accumulare saperi e

informazioni che devono essere ricordati e trasmessi alle nuove generazioni. Abbiamo qualcosa da dire e da scrivere e iniziamo a farlo. Ora esistiamo in una *mente simbolica* (nicchia cognitiva), gli oggetti del mondo non sono più solamente materiali ma esistono in modo astratto anche nella nostra mente. Le funzioni cognitive mantengono la loro connessione con gli aspetti corporei e sensoriali da cui emergono, ma acquistano statuti proposizionali e simbolici. Emergono processi sociali più complessi e le prime forme di trasmissione culturale. Grazie allo spostamento in zona orbitale delle cortecce frontali, inizia a espandersi significativamente il lobo prefrontale, che va a riempire la parte più anteriore del nostro encefalo (nicchia neurale). Non abbiamo più la fronte spiovente tipica ancora oggi dei primati non umani e la nostra fronte ora scende dritta. Parallelamente le cortecce associative parietali proseguono nel loro processo espansivo, avendo sempre più materiale da collegare e integrare.

Tre nicchie evolutive si sono dunque susseguite nel tempo e ci hanno reso l'animale che siamo oggi. Forse ora, rispetto alle prime righe di questo capitolo, riusciamo ad avere un po' più di benevolenza nei nostri confronti. Non avremo l'aspetto dell'animale meglio piazzato in questa corsa evolutiva, però qualche risorsa l'abbiamo tirata fuori. Sicuramente abbiamo «sbilanciato» il processo evolutivo permettendo che l'adattamento possa essere biologico e tecnologico e abbiamo così innescato una circolarità in un processo che altrimenti sarebbe stato a senso unico o quasi.

Insomma, già nei suoi primi passi l'evoluzione del cervello umano non può essere considerata solo come una mera risposta biologica all'ambiente, quanto piuttosto come un processo di co-evoluzione tra mente, corpo e tecnologia. Il cervello della nostra specie ha progressivamente maturato una *capacità cognitiva protesica* integrando strumenti nella sua organizzazione sensomotoria, potenziando la cognizione e superando le limitazioni fisiche del sistema nervoso.

Con questo bagaglio siamo arrivati fino ai giorni nostri, ma in quale nicchia evolutiva abitiamo oggi?

Note

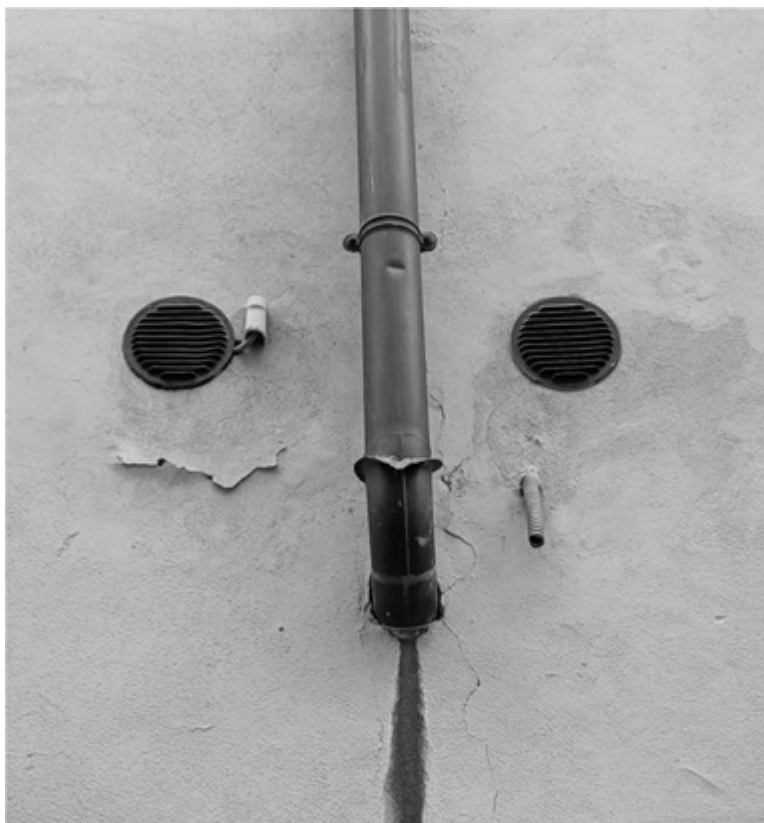
- ¹ L. De Biase, *Homo pluralis. Essere umani nell'era tecnologica*, Torino, Codice, 2015.
- ² M.A. Toups, A. Kitchen, J.E. Light, D.L. Reed, «Origin of clothing lice indicates early clothing use by anatomically modern humans in Africa», *Molecular biology and evolution*, 28(1), 2011, pp. 29-32.
- ³ S. Vignieri, «Understanding our own order», *Science*, 380, 2023, pp. 904-905.
- ⁴ M. Somel, H. Franz, Z. Yan, A. Lorenc, S. Guo, T. Giger, P. Khaitovich, «Transcriptional neoteny in the human brain», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(14), 2009, pp. 5743-5748.
- ⁵ M.Y. Dennis, X. Nuttle, P.H. Sudmant, F. Antonacci, T.A. Graves, M. Nefedov, E.E. Eichler, «Evolution of human-specific neural SRGAP2 genes by incomplete segmental duplication», *Cell*, 149(4), 2012, pp. 912-922.
- ⁶ Fonte: www.worldbank.org
- ⁷ *Ibidem*.
- ⁸ Fonte: <https://ourworldindata.org/>
- ⁹ <https://hdr.undp.org/data-center/human-development-index#/indicies/HDI>
- ¹⁰ J.B. Landis, A.M. Guercio, K.E. Brown, C.J. Fiscus, P.L. Morrell, D. Koenig, «Natural selection drives emergent genetic homogeneity in a century-scale experiment with barley», *Science*, 385(6705), 2024, eadl0038.
- ¹¹ A. Iriki, M. Taoka, «Triadic (ecological, neural, cognitive) niche construction: a scenario of human brain evolution extrapolating tool use and language from the control of reaching actions», *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367(1585), 2012, pp. 10-23.

4 E se Darwin avesse avuto il 5G?

Non fare così Fred!

Qualche anno fa ho passato un periodo in Inghilterra. La facciata della palazzina dove risiedevo aveva un buffo gioco di griglie e grondaie che ricordava un volto. Io e gli altri inquilini avevamo preso a chiamare il palazzo Fred: «Buongiorno, Fred!», «Splendida serata, Fred!», «Ho lasciato la bici sotto il naso di Fred» e così via. Le avevamo pure dato un accento spiccatamente *British* e una personalità sgradevolmente supponente. Il fatto è che Fred aveva una faccia (Figura 7). Sulla salute mentale mia e dei miei coinquilini, soprattutto in quel periodo, non scommetterei un centesimo, ma questo fenomeno è normalissimo e frequentissimo (sebbene più frequente tra le donne che tra gli uomini). Si chiama *pareidolia* ed è la tendenza del cervello a trovare strutture ordinate e forme familiari in immagini disordinate. Particolarmente frequente è l'organizzazione di caratteristiche visive in conformazioni facciali.

Figura 7 Fred



Vi sto parlando di Fred perché questi fenomeni, come tanti altri, mettono in luce un fondamentale funzionamento cerebrale: il cervello, se può, risparmia. Nel confrontarsi con una realtà sempre mutevole e soverchiante le nostre possibilità di elaborazione, l'approccio del cervello può essere quello di verificare se «in casa» possiede già un meccanismo che possa essere riutilizzato. Piuttosto che creare nuovi circuiti, nuovi neuroni e nuovi sistemi di elaborazione, la prima tendenza del cervello è riusare ciò che già possiede. Se funziona, cioè se si ottiene un buon risultato per l'organismo, il cervello prosegue mutuando meccanismi che già utilizza per altro.

Di esempi ne potremmo fare tanti altri. Quando siamo esclusi e soffriamo per una condotta ostracizzante nei nostri confronti, nel nostro cervello si attivano alcune delle aree legate al dolore fisico. Non significa che il nostro cervello non sappia distinguere se ci siamo martellati un dito o se invece siamo mal tollerati dai colleghi; piuttosto, il fenomeno mette in

luce come il cervello elabori in modo parzialmente simile due esperienze molto salienti e negative: sia che ci martelliamo il dito, sia che ci escludano dalla cena aziendale, queste sono esperienze spiacevoli, da evitare e che ci espongono a un certo grado di pericolo o rischio. Riutilizzare alcune regioni utili all'elaborazione del dolore fisico per il dolore sociale ci permette di risparmiare risorse metaboliche e cerebrali, di procedere rapidamente e di ottenere un buon risultato.

Questo non significa però che il cervello non cambi. Tutt'altro. Significa che per cambiare il cervello deve avere una validissima ragione. Il cambiamento del cervello è sempre in funzione di un miglior adattamento alle richieste ambientali. La plasticità del cervello dell'uomo mostra una combinazione di durata, complessità e flessibilità che la rende unica nel regno animale.

Oggi per fortuna non dobbiamo riempire nessun cranio di gesso o resine per vedere il nostro cervello e possiamo addirittura vederlo funzionare, per così dire, in diretta. Le tecniche di neuroimaging, come la risonanza magnetica funzionale, e quelle elettrofisiologiche, come l'elettroencefalografia, ci permettono di avere un'ottima risoluzione spaziale e temporale sul funzionamento del nostro cervello per come è ora. Questa è la prima volta nella storia della nostra evoluzione che possiamo studiare come il nostro cervello stia sfruttando la sua capacità plastica per adattarsi all'ambiente esterno, comprese le tecnologie che usiamo quotidianamente.

Come è stato nel passato, così anche oggi, il nostro cervello reagisce all'ambiente esterno e alle tecnologie in esso presenti, cambiando.

Due sono le forme principali di plasticità cerebrale: funzionale e strutturale. La *plasticità funzionale* si riferisce alla capacità del cervello di riorganizzare i circuiti esistenti, permettendo a diverse aree di svolgere nuovi compiti o compensare funzioni danneggiate senza creare nuove connessioni o modifiche strutturali permanenti. È tipicamente temporanea e si basa su processi come la modulazione della quantità di neurotrasmettitori rilasciati o la sensibilità dei recettori post-sinaptici. La *plasticità strutturale*, invece, riguarda cambiamenti fisici nel cervello, come la crescita di nuove connessioni sinaptiche o la modifica del numero e della forza delle sinapsi.

Il cervello adulto, anche in assenza di lesioni, può andare incontro a un processo di neurogenesi, cioè di creazione di nuovi neuroni. Un tempo si pensava che questi processi fossero possibili solo nei primi anni di vita ed è all'incirca dall'inizio degli anni Novanta che diversi laboratori hanno dimostrato la nascita di nuovi neuroni anche in cervelli di adulti sani. I cambiamenti indotti dalla plasticità strutturale sono sostanzialmente definitivi e richiedono molte energie ed esercizio per avvenire e mantenersi.

Immaginiamo di essere per la prima volta su una pista da sci. Infilati gli scarponi e allacciati gli sci, i primi passi slittanti che muoveremo saranno piuttosto goffi e sgraziati. Lentamente, prenderemo sempre più dimestichezza con la nuova conformazione del nostro corpo e a fine giornata, se anche non saremo di certo una Goggia in erba, avremo comunque una sensazione di maggiore controllo. A sera, quando ci toglieremo gli sci, i primi passi che muoveremo saranno incerti come se il nostro corpo avesse bisogno di un po' di tempo per riabituarsi a sé stesso. Questo è un esempio di plasticità funzionale. Il nostro cervello si è adattato a uno strumento modificando il suo modo di operare per migliorare la nostra interazione con l'ambiente esterno. È temporaneo, non avrebbe infatti senso produrre dei cambiamenti definitivi prima ancora di sapere se quella modifica contestuale sarà mantenuta o meno. Una volta tolti gli sci e rifatta esperienza della nostra normale camminata, ecco che il senso di straniamento cessa e tutto torna come prima.

Se invece insistiamo e ritorniamo a mettere gli sci il giorno dopo, quello dopo ancora, perseveriamo, ci ostiniamo per settimane, mesi o anni ecco che iniziano ad avvenire dei cambiamenti strutturali. Con alta probabilità, non diventeremo comunque la nuova Goggia, né vorrà dire che non sapremo più camminare senza sci, ma il nostro cervello adatterà alcune regioni per permetterci di saper sciare domani come tra vent'anni. I cervelli di sciatori esperti, infatti, non sono e non funzionano come quelli dei non sciatori: nei cervelli degli sciatori professionisti la corteccia motoria e la corteccia cerebellare sono più estese per supportare l'apprendimento motorio, le aree motorie e quelle sensoriali sono più connesse per facilitare un rapido adattamento motorio al veloce cambiamento delle conformazioni del terreno e in risposta all'elevata velocità; infine, le regioni medio

temporali di destra, legate all'orientamento spaziale, sono molto più estese. Saper sciare cambia il nostro cervello. Così come tutte le esperienze che accumuliamo nella nostra vita.

Permettetemi un altro esempio. Per lungo tempo i neuroscienziati di tutto il mondo si sono appassionati ai cervelli dei taxisti londinesi. In una serie di studi, ormai diventati classici, Maguire e il suo gruppo di ricerca hanno misurato le dimensioni dell'ippocampo di destra (una struttura cerebrale cruciale per l'orientamento spaziale) di taxisti e normali cittadini londinesi¹. L'ippocampo degli autisti di taxi era significativamente più grande rispetto a quello di coloro che per mestiere facevano tutt'altro pur vivendo nella stessa città. Non solo: tanto più numerosi erano gli anni di pratica lavorativa, tanto più estesa era questa regione del cervello. D'altronde, per fare il taxista a Londra, o in qualunque altra grande città, serve una capacità di orientamento spaziale considerevole. L'esperienza, l'esercizio, gli errori e le ripetizioni dei percorsi accumulati quotidianamente richiedono uno sforzo plastico al cervello che risponde modificandosi e incrementando le risorse a disposizione della funzione che viene sollecitata. Questo processo plastico è tanto evidente da far appassionare diversi gruppi di neuroscienziati a cervelli specifici. Si indagano i cervelli dei taxisti quando si vuole studiare l'orientamento spaziale; gli scacchisti per il ragionamento e la pianificazione; i musicisti per la coordinazione bimanuale e la percezione uditiva; i cuochi per la percezione del tempo e gli scrittori per l'immaginazione visiva. In ognuno di questi cervelli si trovano differenze funzionali e strutturali che ci informano su quali regioni cerebrali concorrano a specifiche funzioni.

Oggi possiamo interrogare il complesso sistema nervoso centrale umano, ma tutto ciò che sappiamo sulla plasticità cerebrale lo dobbiamo a una grossa lumaca di mare chiamata *aplysia*. L'*aplysia* è un mollusco di trenta centimetri conosciuto anche come «lepre di mare». Oltre a essere di dimensioni ragguardevoli, il suo sistema nervoso è molto semplice in quanto conta solo 20.000 neuroni (per confronto il sistema nervoso centrale umano conta circa 86 miliardi di cellule). Grazie a queste caratteristiche, è stato possibile mappare l'intero sistema nervoso centrale dell'*aplysia*. Questo significa che conosciamo uno per uno i neuroni che formano la

struttura nervosa di questo animale, sappiamo come sono connessi, che forma hanno e dove sono collocati. Kandel e il suo gruppo di ricercatori hanno sfruttato queste peculiarità per studiare la plasticità strutturale e funzionale del cervello. Nel loro laboratorio hanno stimolato per intere giornate queste lumache e misurato quanto tempo ci mettessero a reagire ritirando i loro rinofori, gli organi sensoriali dei molluschi di mare posti sul capo e simili alle antenne delle lumache di terra. A ogni nuova stimolazione, la lumaca impiegava sempre meno tempo a ritrarre i rinofori, indicando la presenza di un apprendimento o comunque di una primordiale forma di memoria. Dopo un certo numero di prove, il tempo di risposta del mollusco diventava però costante, mantenendosi nel tempo: era avvenuto un cambiamento a lungo termine. Conoscendo l'intero sistema nervoso dell'*aplysia*, è stato possibile misurare e descrivere quello che è cambiato nel corso dell'apprendimento. Così si è visto che l'apprendimento a breve termine è associato a cambiamenti transitori nell'efficacia delle sinapsi esistenti (plasticità funzionale), mentre l'apprendimento a lungo termine coinvolge la sintesi di nuove proteine e la formazione di nuove connessioni sinaptiche (plasticità strutturale).

È certamente vero che ritrarre in senso difensivo delle antenne non è la stessa cosa che conoscere a memoria la mappa di Londra. È altrettanto vero, però, che il meccanismo fisiologico di base che supporta questi apprendimenti non è differente. La semplicità del sistema nervoso dell'*aplysia* ci ha permesso di vedere quello che nel complesso cervello umano non sarebbe stato così facilmente individuabile e soprattutto di capire per quali esperienze il nostro cervello ingaggia un tale sistema di adattamento funzionale o strutturale.

Se il nostro cervello è in grado di modificarsi in risposta all'ambiente esterno e se le nostre esperienze quotidiane, come quella di guidare un taxi per lavoro o imparare la ricetta della zuppa di pesce, possono modificare il modo in cui il nostro cervello funziona e anche la sua struttura, è legittimo chiedersi come esso si stia adattando alla presenza delle tecnologie attuali. Detto in altri termini, quali nicchie neurali e cognitive sono presenti in quella ecologica attuale?

Oggi, questa è una delle domande più ingombranti sul tavolo. D'altronde, ogni giorno in media passiamo 104 minuti davanti alla televisione², nel nostro paese l'85,3 per cento della popolazione totale possiede uno smartphone e secondo Google Trends nell'esatto momento in cui sto scrivendo questa pagina solo in Italia più di 200.000 persone stanno cercando su Google «Roma Bilbao». La tecnologia ha permeato, è evidente, ogni ambito della nostra vita e nel corso dell'evoluzione siamo passati dall'essere una specie *utilizzatrice occasionale* di tecnologia, all'essere animali con un *uso abituale* di tecnologia per diventare, negli ultimi 300.000 anni, *utilizzatori obbligati di tecnologia*.

In particolare, sono tre le tecnologie che si sostiene abbiano e avranno l'impatto maggiore sullo sviluppo della mente umana: Internet, le tecnologie immersive e l'intelligenza artificiale. Vediamo in che modo.

Online brain

Internet: l'evoluzione nella rete

Semplificando molto, Internet può essere definita come una rete globale di computer connessi che utilizzano protocolli standard per scambiarsi dati. Costituita da milioni di reti private, pubbliche, aziendali e governative che permettono la trasmissione di informazioni su scala globale, non è controllata da un'unica entità, ma è gestita collettivamente tramite infrastrutture decentralizzate, basandosi su server e cavi sottomarini che connettono i continenti. All'interno di norme condivise, chiunque può arricchire il bagaglio informativo di Internet caricando contenuti relativi praticamente a qualsiasi ambito. I contenuti possono avere diverse forme (video, testo, immagini, audio) e possono rimandare l'uno all'altro in una rete complessa e costantemente in crescita. Oggi Internet viene utilizzata praticamente per tutto: dalla comunicazione via email, messaggi e social media, alla ricerca e accesso alle informazioni, fino allo streaming di film e musica, e anche per il lavoro o la scuola con lo smart working e i corsi online.

Tutto è iniziato negli anni Sessanta con ARPANET (Advanced Research Projects Agency Network), un progetto del Dipartimento della Difesa USA finalizzato a creare una rete di comunicazione che potesse resistere a eventuali attacchi nucleari in un clima di aperta Guerra Fredda. Nel 1969 fu inviato il primo messaggio tra due computer; il messaggio doveva essere

«LOGIN», ma si fermò a «LO» prima che il sistema si bloccasse. Negli anni Ottanta la rete si espanse nelle università e nei laboratori di ricerca. Fu però solo con l'invenzione del World Wide Web nel 1989 da parte del fisico britannico Tim Berners-Lee che Internet, come la conosciamo oggi, prese forma. Il web permise di creare collegamenti ipertestuali tra documenti e rese possibile la navigazione online. Il primo browser e il primo sito Internet furono navigabili nel 1991. Il primo sito web (info.cern.ch) conteneva informazioni su come utilizzare la nuova rete, spiegando i concetti di collegamento ipertestuale, URL e browser. I primi contenuti a essere resi disponibili su larga scala furono invece documenti accademici, articoli scientifici e risorse universitarie.

In pochi decenni l'uso di Internet si è esteso a dismisura e ha completamente trasformato il modo in cui cerchiamo informazioni, fruiamo dei media e dell'intrattenimento e gestiamo le nostre reti sociali e le nostre relazioni. Con l'introduzione degli smartphone, nei primi anni Duemila, l'accesso a Internet è diventato portatile e onnipresente, al punto che la popolazione della parte più ricca del mondo può essere considerata costantemente online. L'intera rete di contenuti e informazioni è sempre accessibile e immagazzinata in un hardware multifunzione.

Nel prossimo futuro, l'Internet delle Cose (IoT) vedrà una connessione crescente tra dispositivi e oggetti fisici che comunicheranno tra loro in modo autonomo. Questo significa che non solo smartphone e computer saranno collegati a Internet, ma anche elettrodomestici, auto, città e persino indumenti, creando una nicchia evolutiva in cui tutto sarà sempre più interconnesso.

Per estensione e capillarità d'uso sono circa trent'anni che Internet ha iniziato a rappresentare un cambiamento sostanziale nella nicchia ecologica della nostra specie. Anche in così poco tempo il nostro cervello si è adattato, innescando cambiamenti neurali e cognitivi. Nel 2015 Anne-Dominique Gindrat e colleghi hanno pubblicato uno studio sulla prestigiosa rivista *Current Biology*³ in cui dimostrano che più usiamo lo schermo tattile del cellulare più il cervello espande le regioni addette al controllo motorio e al processamento delle esperienze tattili di pollice e indice. L'esperienza ripetuta di uno strumento ha modificato funzionalmente le regioni maggiormente coinvolte nell'uso efficace di quest'oggetto. Niente di nuovo. Ci è già successo con i primi strumenti per intagliare le pelli e oggi ci succede con gli schermi digitali.

In risposta a questi strumenti il cervello non si è però limitato ad ampliare le risorse neurali che ci servono a interagire fisicamente meglio con gli strumenti, ma ha anche modificato il nostro modo di prestare attenzione, memorizzare e stare insieme⁴.

Parlare di attenzione e Internet, significa considerare il fenomeno del *multitasking digitale*, ovvero la pratica di svolgere più attività o utilizzare diversi flussi di informazioni digitali contemporaneamente o in rapida successione. Il flusso costante di informazioni, notifiche e stimoli online sfida la nostra attenzione, spingendoci a frammentare la concentrazione tra più media e contenuti contemporaneamente. Succede a tutti noi perché tutti noi funzioniamo nello stesso modo: per tutti i cervelli è la novità a costituire l'oggetto di interesse e attenzione; in qualsiasi contesto, il nostro cervello sarà attratto da ciò che è nuovo mentre trascurerà tutta l'informazione ridondante. Non può di certo perdere tempo ed energie per processare ancora e ancora quello che già «sa»! Funzioniamo così e abbiamo sempre funzionato così. Il punto è che ora il contesto è mutato offrendoci una densità maggiore di novità, tutte a portata di click e collegate in una rete di connessioni virtualmente senza fine.

Tipicamente, online, si passa da un contenuto all'altro in media ogni 19 secondi. Il livello di eccitazione aumenta attivando la branca simpatica del sistema nervoso autonomo prima del cambiamento di contenuto, raggiungendo un picco durante il passaggio al nuovo contenuto per poi scemare in attesa del successivo. Sono l'anticipazione e la presenza del cambiamento a stimolare l'organismo e, così facendo, la disponibilità immediata di nuove ricompense informative incentiva il multitasking mantenendolo anche a fronte di un mancato vantaggio operativo.

Inizialmente si pensava che questa pratica potesse migliorare la capacità di gestire compiti multipli. Al contrario, oggi sappiamo che le persone che praticano frequentemente il multitasking digitale faticano maggiormente a spostare l'attenzione da un compito a un altro (*alternanza tra compiti*). Essere abituati all'uso simultaneo di più dispositivi o passare rapidamente da una app di messaggistica a un social media mentre si guarda un video o si lavora a un documento non ci allena a essere degli agonisti del salto in lungo da un compito all'altro; anzi, ci rende più vulnerabili alle distrazioni

esterne e meno capaci di mantenere l'attenzione a lungo sullo stesso oggetto (*attenzione sostenuta*) e di controllare volontariamente più di un compito alla volta (*attenzione divisa*). Allo stesso tempo però il multitasking ci rende più capaci di integrare informazioni tra loro anche quando sono poco salienti. Alcuni recenti studi osservano come questa maggiore volatilità informativa su diversi contenuti aumenti le competenze di pensiero laterale e creatività.

Coerentemente a questi cambiamenti cognitivi, anche le aree del nostro cervello che si occupano di gestire i processi attentivi funzionano oggi in modo diverso rispetto al passato. Il risultato più consistente è una riduzione della sostanza grigia, cioè del numero di neuroni delle regioni prefrontali destre tipicamente associate alla gestione delle distrazioni. Oltre a essere più piccole, queste regioni prefrontali devono essere attivate di più a parità di performance attentiva. In altre parole, per prestare attenzione per lo stesso tempo senza distrarci abbiamo bisogno di più sangue e di più ossigeno verso le regioni cerebrali che ci aiutano a controllare l'attenzione.

Questi adattamenti, che paiono al ribasso, non sono in loro stessi negativi. È necessario uscire da una logica valutativa per abbracciarne invece una adattiva: il nostro cervello sta facendo quello che ha sempre fatto, né più né meno. Si sta adattando all'ambiente circostante e lo sta facendo per ottenere da esso il meglio. Se nel futuro – per non dire già oggi – il flusso di informazioni e le nostre mansioni intellettuali ci richiederanno sempre meno uno sforzo prolungato e sempre più una capacità integrativa e creativa, che senso avrebbe mantenere un assetto focalizzato?

Accanto all'attenzione, anche la nostra *memoria* è molto cambiata da quando esiste Internet.

Internet agisce come un archivio globale che contiene virtualmente tutte le informazioni disponibili. E quando dico tutte, intendo tutte: una montagna di informazioni. Si è calcolato che a metà dell'Ottocento una persona di ceto medio potesse accumulare nell'arco della vita una quantità di informazioni pari a quelle contenute in una rivista settimanale odierna. L'avvento di Internet e dei media digitali hanno aumentato esponenzialmente la quantità di informazioni accumulabili in una vita intera. Oggi si stima che entro i cinque anni di età un bambino europeo di

ceto medio abbia virtualmente già collezionato la stessa quantità di informazioni del suo avo adulto di metà Ottocento. Se allunghiamo lo sguardo oltre l'infanzia, appare evidente che le informazioni sono troppe per il nostro cervello. Sebbene in senso teorico i bacini di memoria a lungo termine non siano limitati, i processi di codifica, immagazzinamento e consolidamento delle informazioni lo sono, eccome. Il nostro cervello semplicemente non può e non riesce a trattenere tutte le informazioni che provengono dall'esterno. Questa esondazione informativa non è una novità, è da tempo che il flusso di informazioni eccede le nostre capacità computazionali e infatti è da tempo che l'uomo crea strumenti (cerebrali) per aiutarsi a ricordare. Questo fenomeno si chiama *memoria transattiva*, un meccanismo attraverso il quale gli individui delegano ad altre persone o a fonti esterne il compito di conservare informazioni. Sono strumenti per la memoria transattiva le vecchie rubriche telefoniche, le liste della spesa (a proposito, in casa manca il caffè), le foto nei nostri album di famiglia, le enciclopedie e anche Internet.

In questo catalogo Internet rappresenta una sorta di «super-strumento» che ha reso ridondanti quasi tutti gli altri strumenti di archivio e recupero di informazioni, ma che allo stesso tempo aggira l'aspetto propriamente trans-«attivo» intrinseco ad altre forme di esternalizzazione cognitiva. Esso agisce infatti come un'unica entità responsabile di conservare e recuperare praticamente tutte le informazioni fattuali, eliminando la necessità per gli individui di ricordare quali informazioni siano esternalizzate e dove si trovino esattamente. Questo porta a una situazione in cui gli individui non solo non devono più ricordare le informazioni in sé, ma neppure devono ricordarsi dove le hanno messe. In altri termini, la preziosa lista della spesa a cui devo aggiungere il caffè la posso scrivere su un pezzo di carta o sulle note del cellulare ma sono io ad averla scritta e perciò so dove ritrovarla quando stasera vagherò tra le corsie cercando di ricordare che cosa mi mancasse in dispensa; quello che mi devo ricordare è dove sia la lista, non quello che in essa è contenuto. Con Internet non funziona così. Le informazioni sono già lì, messe lì da altri, senza che io sappia con precisione dove. Non le devo ricordare, non le devo organizzare, non devo neanche ricordarmi dove le ho messe, ma le devo saper cercare e trovare.

Più che di memoria oggi abbiamo bisogno di strategie per trovare proprio quello che ci serve in modo rapido, efficace, economico e veritiero.

Questo spostamento sta modificando significativamente il modo in cui funziona la nostra memoria e le regioni cerebrali ad essa associate. Complessivamente, le regioni temporali e medio-temporali associate alla memoria a lungo termine risultano meno attive quando viene richiesto di raccogliere informazioni da Internet rispetto a quando si consultano documentazioni materiali come enciclopedie o libri cartacei. È come se il nostro cervello, in base all'esperienza pregressa, sappia che il contenuto consultato online sarà nuovamente reperibile, mentre quello visibile su supporto cartaceo no. Perché dovrebbe spendere energie preziose per ricordare qualcosa che posso semplicemente consultare ogni volta che ne ho bisogno? Coerentemente, studi longitudinali hanno dimostrato che un training di ricerca online di soli sei giorni riduce la connettività funzionale nelle aree cerebrali coinvolte nella memoria a lungo termine, portando le persone a essere meno inclini a ricordare le informazioni autonomamente. Contemporaneamente, lo stesso training aumenta i tratti di fibra che collegano i lobi frontali, occipitali, parietali e temporali rendendo gli utenti più efficienti nei compiti di ricerca. Per il nostro cervello «il fine giustifica i mezzi»: se per ottenere lo stesso scopo non devo più memorizzare l'informazione ma saperla cercare, sarà lì che spenderò le mie energie. Ecco allora una riorganizzazione che lascia in secondo piano le regioni cerebrali più associate al consolidamento mnestico per portare invece in prima linea circuiterie più legate al controllo strategico e alla pianificazione di processi cognitivi. Viene proprio da pensare che il cervello accetti i *cookies*!

L'accessibilità praticamente costante dei contenuti e i cambiamenti nei processi mnestici hanno modificato anche la percezione dei *confini uomo-macchina*. Tutti noi, nessuno escluso, siamo sempre meno capaci di distinguere tra le nostre capacità, o conoscenze individuali, e quelle di Internet, con il risultato che pensiamo di sapere molto di più di quello che realmente conosciamo. Questo fenomeno è un'evoluzione *high tech* dell'*illusione della conoscenza* che ci accompagna già da molto prima di Internet. Ognuno di noi sovrastima la propria personale e indipendente conoscenza delle cose che ci sono famigliari. Se vi chiedessi se vi ritenete

capaci di descrivermi il funzionamento di una moka da caffè (se a sera non mi ricordo che mi manca il caffè è grave), la maggior parte di voi mi risponderebbe in modo affermativo pur non essendo effettivamente in grado di dettagliare il meccanismo di equilibrio di pressione che si ottiene tra caldaia e bricco e che permette alla moka di cessare il suo gorgoglio e a noi di bere il caffè. La usiamo tutti i giorni, ci è familiare e pensiamo di conoscerla. Possiamo ammettere di non conoscere nel dettaglio come funziona il protocollo TCP/IP ma la moka, per carità! In pratica ognuno di noi finisce per confondere la disponibilità immediata di informazioni o la familiarità d'uso con la propria conoscenza individuale. Nel caso di Internet questo comporta un'interiorizzazione erronea dei dati trovati online, come se fossero parte della nostra memoria.

Non ci possiamo fare niente e in sé non c'è nulla di male. La nostra mente e la nostra nicchia cognitiva si sono estese a includere anche i nostri strumenti tecnologici. D'altronde il pensiero e la memoria non avvengono solo «dentro la testa», ma si sviluppano attraverso le interazioni con il mondo materiale e oggi nel nostro mondo materiale esiste anche Internet.

In questo stesso ambiente fisico o digitale prendono corpo anche le nostre relazioni sociali. Nel corso della storia umana la tecnologia ha spesso modificato il nostro modo di stare con gli altri e conseguentemente lo sviluppo di specifiche competenze sociali e relative regioni cerebrali. Pensiamo al linguaggio, alla scrittura e più recentemente al telefono: tutte queste tecnologie ci hanno prima permesso di comunicare e poi ci hanno dato la possibilità di farlo su ampie distanze e senza un necessario contatto fisico, stimolando lo sviluppo della mentalizzazione, cioè della capacità di metterci nei panni di un'altra persona, senza necessariamente vederla, ma basandoci su quello che di lei sappiamo. Potenzialmente qualsiasi tipo di tecnologia influenza le relazioni umane andando ad agire indirettamente sulle dinamiche sociali, sui rapporti di potere, sullo status e sui ruoli di una società. I vaccini, per esempio, hanno sostenuto lo sviluppo di collettività più numerose grazie alla prevenzione delle malattie infettive; la lavatrice ha reso meno collettive le mansioni domestiche non essendo più necessario recarsi fuori casa per lavare i panni, riorganizzando così parte dei rapporti informali tra le donne; i refrigeratori hanno permesso di vivere lontani dalle

produzioni agricole, concorrendo a creare sobborghi e dialetti, solo per citare alcuni esempi.

In modo analogo l'avvento di Internet, e soprattutto dei social media, ha modificato la qualità e la quantità delle relazioni sociali umane spostandole dal piano fisico a quello digitale. Complessivamente, però, al cervello questo cambiamento non pare aver sconvolto drammaticamente i piani. Gli studiosi che si interessano di questo tema sono complessivamente in accordo nel dire che il nostro cervello si sia adattato alla socialità digitale riusando le stesse risorse che impiega per la socialità fisica. Vediamo il perché.

Dato il livello di complessità e articolazione della società raggiunto nel corso dell'evoluzione, per l'uomo intrattenere relazioni sociali con altri individui è considerato un bisogno primario. Nessuno di noi può sopravvivere da solo, e possedere una rete sociale permette lo sviluppo tipico di moltissime funzioni cognitive, dal linguaggio al ragionamento astratto. Essere in un gruppo garantisce la nostra sopravvivenza non solo nei primi anni di vita ma anche da adulti. Cumulando i risultati di 148 studi, e potendo quindi aggregare i dati di più di 300.000 persone adulte da tutto il mondo, si è visto che coloro che hanno legami sociali più solidi possiedono anche il 50 per cento di probabilità in più di sopravvivenza rispetto a chi possiede legami sociali più deboli⁵. Le relazioni sociali sono così rilevanti che l'avvento di Internet non ha cambiato le motivazioni che ci spingono a cercarle e neppure la loro struttura macroscopica. Le ricerche dimostrano che le persone sono attratte dalla socialità online per scambiare informazioni e idee, per ottenere sostegno sociale e intraprendere relazioni caratterizzate da un elevato grado di esclusività e intimità, come le relazioni amicali significative o sentimentali di natura romantica.

La struttura stessa delle relazioni significative è simile offline e online. Considerando le amicizie come quelle relazioni in cui due individui mantengono contatti frequenti e condividono un legame emotivo, nella nostra specie emerge un modello consistente che organizza queste relazioni in cinque livelli gerarchici che comprendono: partner primari, relazioni intime, migliori amici, amici stretti e tutti gli altri amici. Ognuno di questi livelli gerarchici segue un rapporto di scala di circa tre volte rispetto al

livello precedente con un valore complessivo medio di centocinquanta amicizie. Il modello delle relazioni della nostra specie è quindi tendenzialmente organizzato su questa serie: 1,5 partner primari; 5 relazioni intime; 15 migliori amici; 50 amici stretti; 150 conoscenti affini. Questo modello è stato osservato in diverse epoche e contesti, dalle società di cacciatori-raccoglitori ai villaggi storici, agli eserciti, fino alle reti personali dei moderni europei e anche nelle relazioni online.

Il legame tra socialità online e offline è visibile anche nel cervello. In uno studio che non ha mancato di destare un certo scalpore⁶ si è osservato come sia la dimensione della rete sociale nel mondo fisico sia il numero di amici su Facebook siano significativamente associati al volume dell'amigdala, una regione cerebrale chiave per la cognizione sociale e la grandezza delle reti sociali. Più amici si hanno, offline o online, più grande è l'amigdala.

Il nostro cervello risponde in modo molto simile anche al rifiuto sociale, reclutando la corteccia prefrontale mediale che ci aiuta nella regolazione emotiva sia quando siamo esclusi dalle relazioni che avvengono nel mondo fisico sia quando veniamo esclusi online.

Ovviamente sussistono delle differenze. Il modo in cui gestiamo i legami sui social media richiede anche capacità cognitive diverse da quelle utilizzate nei contesti fisici. Per esempio, la memorizzazione di molteplici associazioni nome-volto, tipica delle reti online ma non della vita offline, richiede un maggior coinvolgimento delle cortecce temporali legate alla memoria. Durante le interazioni faccia a faccia le regioni temporali e frontali (legate all'empatia e alla coordinazione sociale) dei cervelli delle due persone coinvolte iniziano a funzionare in sincrono. Questa sincronizzazione tende a diminuire se i due stanno parlando attraverso uno schermo, dove il contatto visivo e altri segnali sociali non verbali vengono attenuati.

Complessivamente, se per attenzione e memoria Internet ha costituito uno scossone non da poco, lo stesso non lo possiamo sostenere per la cognizione sociale. In questo caso potremmo dire che cambiano i suonatori, ma la musica resta la stessa. Le relazioni online e offline non sono

ovviamente identiche ma il nostro cervello sembra essere più sensibile alle similitudini tra le due che alle loro differenze.

Virtual brain

Realtà virtuale, realtà aumentata e realtà mista: le nuove dimensioni digitali

La realtà virtuale (Virtual Reality, VR), la realtà aumentata (Augmented Reality, AR) e la realtà mista (Mixed Reality, MR)⁷ sono tecnologie immersive che utilizzano dispositivi come visori, occhiali e sensori per combinare o sostituire la realtà fisica con ambienti simulati. Ognuna di queste realtà ha caratteristiche uniche che ampliano le possibilità di interazione rispetto al mondo fisico.

La VR crea un ambiente completamente simulato e isolato dalla realtà fisica dove grazie a visori gli utenti possono esplorare mondi generati dal computer che rispondono ai loro movimenti fisici e spostamenti nel campo visivo.

L'AR, invece, sovrappone informazioni e oggetti digitali al mondo fisico. Diversamente dalla VR, non si è isolati dall'ambiente esterno ma si interagisce con una versione di esso arricchita da elementi virtuali. Applicazioni come Pokémon GO o strumenti professionali come Microsoft HoloLens consentono di visualizzare oggetti 3D, dati e immagini che si fondono con il mondo fisico circostante.

La MR combina elementi sia della VR che dell'AR, permettendo a oggetti digitali di interagire e coesistere con oggetti fisici in tempo reale. Attraverso dispositivi avanzati la MR consente di manipolare e interagire con oggetti sia fisici che virtuali, creando un nuovo livello di integrazione tra i due piani. Questa tecnologia è utilizzata in settori come la progettazione architettonica, la medicina e l'educazione.

AR e MR si distinguono per il livello di interazione tra il mondo fisico e quello virtuale. Gli oggetti virtuali in AR non interagiscono fisicamente con l'ambiente, ma si limitano ad arricchirlo, fornendo informazioni aggiuntive o elementi grafici che si integrano visivamente con la realtà. La MR va oltre, combinando elementi virtuali e reali in un ambiente ibrido in cui possono interagire tra loro.

Il concetto di realtà virtuale risale agli anni Sessanta, ma la tecnologia ha subito una rapida evoluzione dagli anni Duemila grazie ai progressi nei sensori di movimento e nella grafica computerizzata. Negli anni Novanta la VR era accessibile principalmente per applicazioni militari o scientifiche, oggi invece è entrata nel mercato consumer, trasformando settori come

l'intrattenimento, la formazione professionale e persino la psicoterapia. L'AR ha avuto un boom più recente, con l'introduzione di app per smartphone e dispositivi indossabili come gli occhiali smart; grazie all'uso della fotocamera e dei sensori, l'AR sovrappone immagini digitali alla visuale reale, permettendo esperienze come navigazione assistita, manutenzione di macchinari o interazioni creative per i social media.

In un futuro prossimo si immagina uno spazio virtuale collettivo e condiviso, accessibile tramite Internet, dove gli utenti potranno interagire in tempo reale attraverso avatar digitali: il *metaverso*. Il metaverso non è un luogo fisico, ma una rappresentazione tridimensionale interattiva del mondo virtuale, in cui le persone possono svolgere una vasta gamma di attività, come lavorare, socializzare, partecipare a eventi, fare acquisti o giocare. Può includere mondi virtuali singoli o interconnessi, che si basano su reti decentralizzate, e può essere arricchito da oggetti e spazi che integrano elementi fisici e digitali. Il metaverso sarebbe quindi caratterizzato da persistenza (continua a esistere anche quando l'utente è offline), interattività e interoperatività (le identità digitali, gli asset, i beni e le interazioni si mantengono tra piattaforme diverse e interagiscono anche con il mondo fisico). Il metaverso oggi è in fase di sviluppo e sono diverse le aziende tecnologiche interessate alla sua promozione come spazio centrale per l'interazione sociale e l'economia digitale nei prossimi decenni.

Se la presenza di Internet nella nostra nicchia ecologica ha richiesto principalmente un adattamento di determinate funzioni cognitive, la presenza di *tecnologie immersive* che simulano corpi, oggetti e ambienti reali sfida il nostro senso di sé, del mondo esterno e dei loro reciproci rapporti.

Il nostro cervello è abituato a essere nel nostro corpo. Più che altro è *fatto* per essere nel nostro corpo. In un certo senso è come se desse per scontato di abitare uno e un solo corpo che a sua volta è immerso in uno e un solo ambiente. Possiamo sognare, ma siamo in uno stato di ridotta coscienza che non ci permette di interagire con il mondo fisico; possiamo pure farci assorbire dalle scene e dalla colonna sonora di un thriller, ma non mettiamo in dubbio di essere comodamente seduti sul nostro divano e non incatenati al letto della psicopatica Annie Wilkes (al 17° posto nella classifica dei cinquanta cattivi dell'American Film Institute «AFI's 100 Years... 100 Heroes and Villains»).

Le tecnologie immersive, perché possano essere chiamate «realtà» virtuale, aumentata o mista, devono riuscire a «ingannare» il cervello al punto da fargli credere, o perlomeno sospettare fortemente, che esistano anche un altro corpo (*avatar*) e un altro ambiente (virtuale) che non sono meno reali di quelli fisici. Kljajevic⁸ a questo proposito parla di *illusione consensuale* perché per essere «reali» le tecnologie immersive illudono il cervello sfruttando quei meccanismi di base che esso usa per distinguere sé stesso, il «suo» corpo⁹ e interagire con il mondo esterno.

Come fa quindi il nostro cervello a sapere chi è, chi non è, dov'è e dove non è?

Scienziati e accademici di tutto il mondo si lanciano da tempo arrogantissimi mocassini e laser pointer per definire che cosa sia e che cosa non sia il «sé». A oggi non esiste né una sola definizione né una definizione esaustiva del sé, abbiamo però molte definizioni operative. Per i nostri scopi è utile fare riferimento al concetto di *sé minimale*. Il sé minimale è la forma più basilare e immediata dell'esperienza del sé, è totalmente implicita e riguarda quel convincimento nucleare di proprietà e unicità del proprio corpo e delle proprie azioni nello spazio fisicamente da essi occupato. Mentre sto scrivendo queste parole sulla tastiera del mio computer, non metto in dubbio e non ho bisogno di riflettere sul fatto che le mani che vedo muoversi siano le mie, che il rumore dei tasti sia la conseguenza del movimento delle mie dita e che io sia seduta dando le spalle alla finestra.

Questa esperienza di base del sé è quindi composta da tre componenti fondamentali: la sensazione di possedere il proprio corpo, ovvero la percezione che il corpo che si vede o si sente sia il proprio (*senso di proprietà*), la percezione di essere l'agente delle proprie azioni (*senso di controllo corporeo*) e la localizzazione unitaria del proprio corpo nello spazio (*localizzazione corporea*). La strategia che il nostro cervello sfrutta per sviluppare e mantenere questo senso di sé minimale è l'*integrazione multisensoriale*. Seguendo regole spaziali e temporali, il cervello unisce in una percezione unitaria le stimolazioni sensoriali che occorrono vicine nel tempo e prossime nello spazio. Così le informazioni che provengono o raggiungono il nostro corpo vengono unite in un oggetto unico, il nostro sé minimale. Può sembrare scontato ma il cervello impiega diversi anni, si

stima circa i primi nove anni di vita, per decidere quanto sincrone e quanto vicine due stimolazioni diverse debbano essere per appartenere allo stesso oggetto. Le diverse informazioni sensoriali corrono infatti a velocità differenti verso il nostro cervello: le informazioni visive, per esempio, ci mettono tra i 35 e i 50 millisecondi per raggiungere la corteccia visiva; quelle acustiche viaggiano più velocemente, in 20 o 30 millisecondi sono arrivate alla corteccia acustica. Il nostro cervello non può quindi prendere per buona la perfetta puntualità nel tempo e nello spazio, e ha bisogno di un certo grado di flessibilità. Mettere a punto di quanto allargare queste maglie richiede tempo e ripetute esperienze sensoriali.

Quando vestiamo un visore il nostro cervello continua questo processo di integrazione multisensoriale ma perché la realtà virtuale funzioni deve essere illuso che le informazioni che provengono dall'ambiente virtuale possano essere integrate in quell'oggetto unico che è il nostro sé minimale. In altre parole, il nostro cervello deve estendere il suo senso di proprietà, di controllo e di localizzazione corporea all'avatar nell'ambiente virtuale, come farebbe per il suo corpo nel mondo fisico.

Nel 2013 una trentina di persone sono state introdotte in un CAVE (acronimo di Cave Automatic Virtual Environment, un ambiente virtuale immersivo) dove potevano controllare avatar umanoidi dotati di una lunga coda. Metà degli avatar si muovevano in modo sincrono con i movimenti fisici dei partecipanti, compresa la coda che si scuoteva vigorosamente in risposta a movimenti di bacino. Nell'altra metà dei casi gli avatar rispondevano ai movimenti fisici dei partecipanti ma con un leggero ritardo (circa 300 millisecondi). Quando a sorpresa nel CAVE faceva il suo ingresso un predatore che cercava di azzannare la coda degli avatar, solo coloro che possedevano gli avatar che si muovevano in sincrono cercavano di salvare la loro coda e il loro avatar. Da valutazioni psicofisiologiche successive, è emerso che questi erano gli unici partecipanti ad aver sviluppato un senso del sé minimale nei confronti dell'avatar. Il loro cervello si è illuso di «possedere» il corpo dell'avatar perché l'esperienza sensoriale che stavano avendo seguiva le regole che il nostro cervello si è dato per riconoscersi e distinguersi nel mondo. Si era creato cioè quello che viene definito *senso di presenza*: l'esperienza virtuale era coerente con il

modo di funzionare del cervello dando così l'impressione di essere immersi e presenti in un corpo e in un ambiente reali anche se virtuali. Per tutti gli altri partecipanti era stata una bella esperienza, ma erano sempre rimasti nei loro corpi fisici; il loro cervello non si era illuso. Quando parliamo di illusione non ci riferiamo a un'esperienza allucinatoria: nessuno dei partecipanti, come nessuno di noi quando indossiamo un visore, è convinto di possedere realmente una coda, ma l'esperienza è a tal punto immersiva e integrata da permettere di trattare l'avatar come fosse il corpo fisico.

Se viene illuso efficacemente, il nostro cervello modifica il suo modo di funzionare coerentemente con l'illusione. Buetler e colleghi nel 2022 hanno indotto un gruppo di volontari a illudersi di possedere un braccio di pietra (*stone arm illusion*) modificando l'aspetto dell'avatar e abbinando all'esperienza virtuale suoni e stimoli tattili coerenti con la texture di pietra che avrebbe avuto l'arto. Tanto più questa illusione funzionava, e i partecipanti si illudevano di possedere un braccio di pietra, tanto più aumentavano sia l'eccitabilità corticale della corteccia motoria sia la velocità d'esordio dei movimenti, aggiustamenti necessari per controllare fisicamente un braccio di pietra. Il cervello innescava dei processi di plasticità funzionale per adattarsi alla presenza del braccio di pietra virtuale, in un modo molto simile a quanto avviene quando indossiamo gli sci per la prima volta.

Se invece il cervello non viene illuso efficacemente, avvengono le cosiddette *rotture di presenza* e il mondo virtuale non prevale su quello fisico. Al di là di lasciarci insoddisfatti perché le montagne russe virtuali non sono divertenti come quelle reali, la mancanza di immersività e del senso di presenza per queste tecnologie e per i loro scopi è un enorme problema. Il nostro cervello è abituato a stare nell'ambiente in cui sta il nostro corpo fisico. Se non si illude di abitare il corpo dell'avatar, l'ambiente virtuale perde di salienza e di rilevanza. Diventa sostanzialmente paragonabile allo schermo della televisione da cui stiamo guardando *Misery non deve morire*. Se per esempio assistiamo a una lezione in un ambiente virtuale è sufficiente aggiungere l'avatar di un corpo seduto in una posizione compatibile con il nostro corpo fisico per migliorare la comprensione e la memorizzazione dei contenuti ascoltati. In questo caso

l'esperienza della realtà virtuale induce nell'ippocampo processi plastici responsabili dell'apprendimento e del consolidamento delle memorie. Tanto maggiore è il senso di presenza, tanto maggiori sono gli adattamenti funzionali cerebrali e il numero di contenuti memorizzati. D'altronde, perché il cervello si dovrebbe mettere a memorizzare informazioni e imbarcarsi in esosi cambiamenti plastici del suo funzionamento se quell'esperienza non sta avvenendo dove è il suo corpo?

Lo stesso vale per le competenze motorie. Se nel mondo fisico ci hanno assunti a Montecarlo e dobbiamo imparare a raccogliere le fiches con il rastrello da croupier, dopo appena dieci minuti di pratica il nostro cervello si riorganizzerà funzionalmente per includere il rastrello nel nostro senso di sé e permetterci di coordinare al meglio i movimenti. Lo stesso può avvenire nel mondo virtuale ma solo se la riproduzione dell'esperienza virtuale riesce a garantire un buon senso di immersione e presenza. In quest'ambito le ricerche hanno dimostrato che le informazioni visive non sono sufficienti: servono anche informazioni tattili e propriocettive per convincere il cervello. Quando si riesce a mantenere il senso di presenza, gli effetti sono ingenti e soprattutto generalizzabili al mondo fisico. Per esempio, incarnare il corpo di un avatar bambino nel mondo virtuale modifica le percezioni dello spazio e delle proporzioni del mondo fisico, ingigantendole; indossare un avatar di sesso o etnia diversi dal proprio riduce stereotipi e pregiudizi impliciti nei confronti di questi gruppi sociali; addirittura, muoversi nell'avatar di Einstein aumenta la percezione implicita della propria intelligenza.

Ovviamente le tecnologie immersive non cambiano le nostre reali dimensioni o il nostro reale quoziente intellettuale. Permettono però di integrare nel nostro sé minimale esperienze nuove che innescano processi adattivi. Questo è in sé lo scopo ultimo delle tecnologie immersive, che nascono con l'obiettivo di fornire scenari ed esperienze alternative altrimenti impossibili nel mondo fisico. Al di là degli scopi ludico-ricreativi, che comunque non sono di secondaria importanza essendo fortemente correlati al benessere individuale e sociale, queste tecnologie hanno importanti applicazioni terapeutiche ed educative.

Per esempio, pazienti emiplegici recuperano molto di più e molto più in fretta le residuali competenze motorie se si sono esercitati a muovere oggetti in ambienti virtuali con ambo gli arti del proprio avatar. Nel mondo fisico l'arto affetto non riesce a muoversi adeguatamente ma, se il senso di presenza riesce a essere mantenuto, ciò che si osserva nell'ambiente virtuale induce processi neuroplastici che sostengono e aiutano il recupero del paziente. Ed è lo stesso per l'apprendimento. Le tecnologie immersive offrono esperienze di apprendimento pratiche e simulate, che permettono di esercitarsi in situazioni che sarebbero altrimenti difficili o costose da replicare nel mondo reale. In campo medico si possono simulare interventi chirurgici o procedure particolarmente complesse. Se il senso di presenza è mantenuto, è possibile acquisire in un ambiente sicuro e controllato competenze pratiche che possono poi essere trasferite e generalizzate al mondo reale. A oggi le applicazioni delle tecnologie immersive spaziano dalla ricerca sperimentale alla riabilitazione motoria o stimolazione cognitiva fino a protocolli di esposizione progressiva per il trattamento di fobie o disturbi trauma relati. E ne sto citando solo una parte. Entro il 2027 si prevede che il numero di utenti di visori VR e AR supererà i 100 milioni a livello globale.

L'efficacia di queste tecnologie ai fini di una migliore comprensione del funzionamento del cervello e di come esso costruisce il suo senso di presenza nel mondo fisico ha rappresentato un motore per la ricerca neuroscientifica nell'ambito dei processi di integrazione multisensoriale e del sé minimale, portando le neuroscienze a interrogarsi anche rispetto alle conseguenze a lungo termine dell'inclusione sempre più massiva di questi dispositivi nel mondo fisico.

A oggi possiamo proporre principalmente delle ipotesi e delle teorie basate su astrazioni longitudinali di effetti verificati solo nel breve termine. Il maggiore consenso si raccoglie attorno a una progressiva sfumatura e maggiore flessibilità dei confini del sé minimale e delle sue relazioni con l'ambiente. Come è accaduto con altre tecnologie, il frequente muoversi tra mondi e corpi fisici e virtuali potrebbe portare a una loro assimilazione in termini neurali, cognitivi e psicologici. Se d'altronde la frontiera a cui si punta è uno spazio virtuale e collettivo chiamato metaverso è rilevante che i

suoi utenti sentano quei corpi e quello spazio integrato nella loro rappresentazione del sé. Di nuovo, allontanandoci da una prospettiva valutativa e sollecitando invece una visione adattiva, se la realtà della nostra specie si arricchirà di un ulteriore livello costruito per seguire le leggi principali di quello fisico, chi è il cervello per opporsi a tale integrazione?

Artificial brain

Intelligenza artificiale: macchine che imparano e si adattano

L'intelligenza artificiale (Artificial Intelligence, AI) è il campo dell'informatica che sviluppa sistemi in grado di eseguire compiti complessi simulando capacità tipiche dell'intelligenza umana, come il riconoscimento delle immagini, la comprensione del linguaggio e l'apprendimento adattivo. A differenza dei programmi tradizionali, in cui le istruzioni sono esplicitamente codificate, l'AI può analizzare grandi quantità di dati e migliorare nel tempo grazie all'apprendimento automatico (*machine learning*) e alle reti neurali, modelli computazionali ispirati alla struttura del cervello umano.

La storia dell'AI, sebbene piuttosto recente, ha conosciuto diverse stagioni. La teoria alla base della odierna AI viene sviluppata da Alan Turing negli anni Cinquanta del Novecento. È dalla metà del secolo scorso, infatti, che si ipotizza che una macchina possa «pensare» attraverso calcoli logici. La conferenza di Dartmouth del 1956, organizzata da John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester e Claude Shannon, segna ufficialmente la nascita dell'AI come disciplina accademica. McCarthy conia l'espressione «intelligenza artificiale» e gli scienziati iniziano a sviluppare sistemi capaci di risolvere problemi matematici e di logica, in cui i computer seguono regole programmate per risolvere problemi specifici.

Fino agli anni Settanta l'AI conosce una stagione di grande entusiasmo. In quell'epoca l'AI non apprende dai dati ma è istruita con tutte le regole possibili per risolvere un problema. Grazie a questa prima forma di intelligenza, il programma IBM Deep Thought è stato in grado di competere e vincere a scacchi contro giocatori umani, segnando uno dei primi grandi successi dell'AI. Il progetto successivo di IBM, Deep Blue, diviene ancora più famoso quando, nel 1997, sconfigge il campione del mondo di scacchi Garry Kasparov. Tuttavia, la limitata capacità di calcolo dei computer di allora e le difficoltà nel far fronte a problemi complessi rallentano i progressi, portando a un periodo noto come «inverno dell'AI», durante il quale il finanziamento e l'interesse attorno all'intelligenza artificiale diminuiscono. Le aspettative non

realistiche hanno generato una cocente delusione e una disillusione nel futuro di questa tecnologia.

Negli anni Ottanta l'AI viene rivitalizzata grazie allo sviluppo delle reti neurali e di metodi come l'apprendimento automatico supervisionato e non supervisionato che permettono un notevole sviluppo applicativo. Grazie a queste tecniche non è più necessario immettere tutte le regole nel sistema: l'AI può apprendere direttamente dai dati a patto che venga addestrata con una quantità e varietà sufficiente di informazioni. Uno degli esempi più noti è lo sviluppo dei filtri antispam per le email; questi sono degli algoritmi di *machine learning* che attraverso un filtro bayesiano¹⁰ nel tempo apprendono quali parole o quali frasi sono tipiche dello spam, migliorando continuamente nel riconoscimento delle email indesiderate. Fanno parte di questa stagione gli algoritmi di *machine learning* finalizzati a suggerire prodotti in base ai comportamenti passati e alle preferenze degli utenti, oggi utilizzati in modo massivo in qualsiasi nostra esperienza digitale dall'acquisto all'intrattenimento. A partire dagli anni Duemila si innesca un circolo virtuoso grazie ai progressi nella potenza di calcolo, nella disponibilità di big data e nello sviluppo di tecniche di apprendimento profondo (*deep learning*) che analizzano dati complessi senza la necessità di un ingente pre-processamento umano. Emerge anche l'*intelligenza artificiale generativa*, capace di rielaborare i dati realizzando contenuti verbali o figurativi nuovi.

Attualmente si discute sull'intelligenza artificiale generale (General Artificial Intelligence, GAI), una AI con capacità cognitive simili a quelle umane. Tuttavia, sfide etiche, come la privacy, i bias algoritmici e le implicazioni per il lavoro umano, rimangono centrali e sono oggetto di dibattito accademico, politico e sociale.

La maggior parte di noi non considera la gallina un animale intelligente – sarà per la sua ridotta mimica facciale, sarà per un repertorio comportamentale risicato o perché è un uccello che non vola (in realtà può volare ma solo per un massimo di 13 secondi). Tutto vero, però le galline fanno le uova. Ogni 24/26 ore una gallina rilascia un ovocita che potrà essere o meno fecondato e attorno al quale si formano l'albume, membrane strutturali e il guscio in calcio. Una volta depresso, il ciclo ricomincia.

È evidente che nel concetto di intelligenza entrano alcune competenze e non altre. Fare un uovo non è intelligente, parlare lo è. La rilevanza del concetto di intelligenza per definire e delimitare che cosa sia «umano» è indubbia. D'altronde ci siamo autodefiniti *Homo Sapiens* e non *Homo*

Socialis o Homo Garrulus. Nonostante il suo ruolo antropopoietico, non esiste a oggi una definizione unica e univoca di intelligenza.

Di definire e misurare l'intelligenza si inizia a discutere in Francia nei primi anni del Novecento quando, nel tentativo di combattere l'analfabetismo e promuovere l'integrazione sociale, le riforme educative della Terza Repubblica rendono l'istruzione obbligatoria e gratuita per tutti i bambini. Tuttavia, questa rapida espansione del sistema scolastico mette presto in luce un nuovo problema: non tutti i bambini riescono a seguire il curriculum tradizionale con la stessa facilità. Emerge quindi l'esigenza di identificare quei bambini con necessità educative speciali. Alfred Binet viene allora incaricato dal governo di ideare un esame che possa distinguere i bambini in grado di seguire il programma scolastico previsto e coloro che invece necessitano di un supporto. Così nasce il primo test di intelligenza: la scala Binet-Simon. Questa scala si divide in diverse prove a crescente complessità che testano la capacità di ricordare tanti numeri, frasi o oggetti; di prestare attenzione a lungo senza distrarsi; di comprendere il linguaggio orale; di risolvere quesiti logici e di imitare dei gesti. Appare evidente che nelle prime esperienze la definizione di intelligenza è puramente operativa: intelligente è chi ha i prerequisiti necessari all'apprendimento scolastico.

Negli anni immediatamente successivi William Stern introduce il concetto di età mentale ed età cronologica, concependo quindi l'intelligenza come una competenza che si sviluppa nel corso dell'infanzia, seguendo determinate traiettorie e raggiungendo specifiche tappe. Il *quoziente intellettivo* [QI = (età mentale / età cronologica) × 100] nasce proprio dal rapporto tra queste due età acquisendo un valore di 100 se pari alle attese e aumentando o diminuendo quanto più ci si allontana dalle attese a favore o a sfavore dell'età mentale su quella cronologica.

Queste prime esperienze attorno al concetto di intelligenza rispondono più a un bisogno di misurazione e quantificazione del fenomeno che alla sua descrizione e definizione. È nel XX secolo che tale trend si inverte e iniziano dibattiti molto accesi sulla natura dell'intelligenza. Le prime posizioni a scontrarsi sono quelle che postulano l'esistenza di una singola intelligenza che influenzerebbe il funzionamento di varie abilità cognitive – il famoso *fattore g* proposto da Charles Spearman – o, al contrario, la

presenza di intelligenze multiple non dotate di un minimo comune denominatore e tra loro indipendenti. A oggi il dibattito non si è risolto. Al momento esiste un generale accordo sulla natura multi-componenziale dell'intelligenza, ma si passa molto tempo a litigare su quante e quali siano queste componenti. Inoltre, molti approcci considerano la coesistenza di un fattore comune a intelligenze multiple. Insomma, idee chiarissime su che cosa sia l'intelligenza non ce le abbiamo ancora.

Ad ogni modo, appare chiaro che in ogni momento storico la definizione di intelligenza comprende quelle competenze che appaiono più squisitamente legate all'adattamento dell'uomo al mondo esterno.

Per amore di sintesi, la definizione corrente di intelligenza umana potrebbe suonare più o meno così: capacità multidimensionale che comprende diverse competenze cognitive e sociali. Essa include il *ragionamento logico*, ovvero l'abilità di analizzare problemi complessi e trovare soluzioni; l'*adattamento*, che permette di rispondere in modo flessibile e creativo a nuovi contesti utilizzando sia l'apprendimento che l'esperienza pregressa; e le *competenze relazionali*, ossia il linguaggio, l'empatia e l'autoregolazione dei propri stati interni.

Rispetto alle definizioni passate, oggi l'accento è posto sulla natura multifacettata e non meramente cognitiva ma anche sociale, relazionale ed emotiva dell'intelligenza. Inoltre, c'è particolare attenzione alle competenze di pensiero laterale, innovativo e creativo. Non sorprende che queste siano anche le caratteristiche che la psicologia ingenua (cioè il modo comune, contemporaneo e non esperto di pensare l'uomo e il suo mondo psicologico) associa al concetto di essere umano: intenzionalità, coscienza, adattamento, empatia e creatività. Questi sono anche i tratti che accompagnano il concetto ingenuo di comando e leadership. In uno studio che ha comparato i tratti e le caratteristiche associate al leader negli anni Cinquanta con quelli odierni, si è dimostrato come essi non siano sostanzialmente mutati se non per l'ingresso della creatività. Per il resto nulla di nuovo sotto il sole: il leader è rimasto associato a caratteristiche quali forza, intelligenza, sesso maschile (sic!), consapevolezza, estroversione, direzionalità. In sintesi, le caratteristiche che ruotano attorno

alla definizione di intelligenza sono quelle che più tipicamente usiamo per definire ciò che è «umano» e ciò che meglio ci rappresenta.

In un certo senso e in una certa misura, però, usiamo queste stesse caratteristiche per rivolgerci a ciò che umano non è. Sembra un paradosso, ma è proprio così.

Il nostro modo di interagire con esseri viventi a noi non simili (animali), entità non viventi a noi somiglianti (robot umanoidi, chatbot), entità non viventi e a noi non simili (oggetti) e persino a Dio, risente di un fenomeno chiamato *antropomorfismo*. Questo processo consiste nella propensione ad attribuire tratti e caratteristiche umane – come forme fisiche, emozioni, pensieri e intenzioni – a entità che umane non sono (vi ricordate Fred?). Questo fenomeno altro non è che una strategia evolutiva che facilita la comprensione del mondo e promuove la sopravvivenza. L'antropomorfismo facilita la predizione delle conseguenze degli eventi che accadono attorno a noi, perché permette di sfruttare schemi cognitivi già noti. Ci permette di attribuire intenzioni e stati mentali umani anche a oggetti inanimati e animali riducendo lo sforzo cognitivo e permettendo di interpretare in modo rapido e familiare situazioni nuove o sconosciute. Questo meccanismo di *economia cognitiva* consente al cervello di applicare categorie consolidate, come stati emotivi e intenzioni, semplificando l'interazione con l'ambiente e rendendo il mondo più prevedibile.

La tendenza all'antropomorfismo nello sviluppo tecnologico è sempre stata presente, appunto perché al nostro cervello è sempre risultato più semplice interagire con ciò che ci è simile (nonché progettare qualcosa che ci è simile). Gli *automata*, come quelli creati dall'orologiaio svizzero Pierre Jaquet-Droz, sono tra i primi esempi di antropomorfismo tecnologico. Questi complessi meccanismi sono progettati per imitare il comportamento umano, come scrivere o suonare strumenti musicali; non hanno funzioni pratiche, ma sono ammirati per la loro somiglianza con le azioni umane e la loro capacità di suscitare meraviglia. Oltre ai classici automata, il fonografo di Thomas Edison, della fine del XIX secolo, rappresenta uno dei primi dispositivi tecnologici in grado di simulare la voce umana. Dai documenti dell'epoca, si evince che molti utenti erano portati ad attribuire al fonografo qualità umane, ascoltando con meraviglia la riproduzione di discorsi e

musica. Anche se non permette un'interazione diretta, il fonografo innesca una forma di antropomorfismo nel momento in cui riproduce suoni umani, conquistando uno status diverso da quello di altri oggetti tecnologici.

L'inclinazione all'antropomorfismo tecnologico è particolarmente evidente nelle interazioni con gli strumenti più avanzati, come i robot sociali e i chatbot, e rappresenta uno dei fattori più rilevanti nel rendere le interazioni uomo-macchina efficaci e fluide. Alcuni studi hanno indagato le risposte del cervello all'osservazione di persone o robot intenti in azioni quotidiane, come preparare un tè. Se il robot presenta movimenti sufficientemente fluidi, il cervello si attiva in modo molto simile a quando osserva un agente umano, reclutando le regioni premotorie che ci assistono nella comprensione dello scopo dell'azione altrui. Di fatto, se un robot sta compiendo un'azione davanti ai nostri occhi, per noi e per il nostro cervello sarà più rilevante comprendere la natura dell'azione eseguita rispetto alla natura di chi la sta eseguendo. È questa prima informazione che, in modo più saliente, ci permette di interagire con ciò che avviene nell'ambiente esterno. Lo stesso può avvenire nelle interazioni con i chatbot. In un recente studio è stata registrata l'attività cerebrale di persone impegnate in una chiacchierata con un chatbot: nel cervello questa conversazione attiva tre circuiti principali legati rispettivamente al processamento sociale (perché sono efficacemente simulati dei comportamenti sociali come il saluto o le risposte empatiche), alla ricompensa (perché stiamo ottenendo informazioni o stimoli a cui eravamo interessati) e al sé (perché la conversazione è rilevante per il sé: nessun chatbot ci racconta la sua giornata, a meno che non siamo noi a chiederglielo). Quanto più questi circuiti sono attivi, tanto maggiore è la percezione di vicinanza sociale e di gratificazione personale e tanto più efficace è lo scambio linguistico.

Lo stesso fenomeno aumenta anche la fiducia nelle risposte dell'algoritmo, e questa non è una conseguenza di secondaria importanza. Chiunque di noi abbia utilizzato un chatbot si sarà meravigliato della sua capacità di allucinare (stavolta letteralmente), ovvero di cadere in situazioni in cui il chatbot fornisce informazioni che non sono accurate o che sono totalmente inventate, per quanto possano sembrare plausibili. Questi sistemi, infatti, sono dei modelli linguistici generativi programmati per

offrire una risposta plausibile e mantenere fluida la conversazione. Conoscendo la loro natura artificiale, le allucinazioni sono molto coerenti. Il problema è che la tendenza all'antropomorfizzazione, facilitata dall'uso del linguaggio naturale, fa sì che istintivamente ci rivolgiamo al chatbot come faremmo in una conversazione qualsiasi, aspettandoci cioè che il nostro interlocutore ci dica la verità, o diffidandone, ma comunque attribuendo al «parlante» capacità di discernimento e intenzionalità dell'atto. Non è ovviamente così.

Man mano che il progresso tecnologico avanza aumenta anche la nostra capacità di creare agenti artificiali dall'aspetto realistico, come robot e grafiche computerizzate; ma questa può essere un'arma a doppio taglio. L'affiliazione verso un agente artificiale aumenta man mano che diventa più simile a un essere umano, ma solo fino a un certo punto. Quando questi non-umani si fanno «troppo umani» la reazione diviene completamente opposta. Il fenomeno è stato descritto per la prima volta nel 1978 dal professore di robotica Masahiro Mori, che coniò un'espressione in giapponese, tradotta poi come «valle perturbante» (*uncanny valley*). L'antropomorfismo influenza la percezione degli agenti artificiali e un'eccessiva somiglianza all'umano può portare a una diminuzione dell'accettazione e dell'affinità. Questo fenomeno è ormai ben verificato in risposta a praticamente tutte le tecnologie che oggi abbiamo a disposizione. Per esempio, in una conversazione con un chatbot livelli moderati di somiglianza all'umano migliorano l'interazione, mentre livelli elevati provocano reazioni negative.

Dal punto di vista neuroscientifico la valle perturbante è un fenomeno molto interessante. Essa implica un meccanismo cerebrale che giudica quanto un determinato input sensoriale, come il volto di un robot, una voce artificiale o la risposta di un chatbot, si avvicina al confine dell'umano. Questa informazione viene poi caricata di una valenza positiva o negativa che si trasferisce nell'interazione con l'agente in oggetto. Per fare questa valutazione il cervello recluta la corteccia prefrontale dorsomediale, una delle più recenti e nobili regioni cerebrali, che invia un segnale di somiglianza umana, una sorta di «avviso di rilevamento umano», discriminando con la sua attivazione tra ciò che è assimilabile all'umano e

ciò che non lo è¹¹. Tale giudizio viene poi processato dalla corteccia prefrontale ventromediale che lo integra con una valutazione basata sulla natura – umana o meno – dell’agente. Quest’ultima regione cerebrale risponde agli agenti artificiali esattamente come previsto dall’ipotesi della valle perturbante, ovvero con risposte più forti per gli agenti più simili agli esseri umani e con un calo di attività vicino al confine tra umano e non umano.

Tutti questi esempi dimostrano come i processi legati all’antropomorfismo non richiedano che le caratteristiche umane siano effettive, basta che siano simulate o simili. L’assistente vocale si comporta in modo socievole simulando molto bene quanto fa un uomo in carne e ossa ma non è empatico; il robot si muove come se volesse bere una tazza di tè ma non ha la volontà di farlo. In un recente viaggio in auto ho chiesto all’assistente vocale di recitarmi una filastrocca in rima; il mio intento era quello di divertire mio figlio seduto nel seggiolino posteriore e annoiato dalle ore di traffico in autostrada. Questa la composizione:

L’assistente è pronto, come un amico fedele.
Con un sussurro ti sveglia pian piano,
Tra luci soffuse e il calore di un fiore umano.
«Buongiorno», dice, con tono sereno,
E nel suo suono c’è già un mondo pieno.
Ti guida tra impegni, con calma e attenzione,
Ogni compito è un gesto di pura dedizione.
Quando il giorno si fa più lungo e stanco,
L’assistente è lì, sempre al tuo fianco.
Risponde, ascolta, con una voce sincera,
Come un compagno che mai si dispera.
E quando la sera chiude il suo manto,
L’assistente ti saluta, leggero e tanto.
«Buonanotte», sussurra con dolcezza infinita,
Fedele a te, anche quando la giornata è finita.

Il risultato è stato un quattrenne divertito e convinto che la voce dell’auto fosse quella del padre di un suo compagno di classe, e un’adulta scioccata. Non avevo mai sentito mettere in rima una antropomorfizzazione così vivida.

L'intelligenza artificiale riflette molto più il nostro sforzo antropomorfo di quanto non faccia la nostra umana intelligenza (qualsiasi cosa essa sia). Da una prospettiva neuroscientifica i principali elementi che oggi associamo all'intelligenza umana sono tradotti anche in un linguaggio artificiale (Figura 8): l'intelligenza artificiale apprende, prende decisioni, offre risposte originali e creative e può parlare. Ma il modo in cui lo fa è sostanzialmente diverso. E questo fa un'enorme differenza.

Figura 8 Intelligenza umana vs intelligenza artificiale

	 Organica. Soggetta a invecchiamento e con capacità di elaborazione limitate.	 Artificiale. Limitata principalmente da fattori energetici, di archiviazione e di connessione.
Natura		
Apprendimento e sviluppo	A base esperienziale. Generalizzabile a partire da una quantità limitata di esperienze; sviluppo non lineare ma con periodi critici e sensibili.	A base computazionale. Necessaria una vasta quantità di informazioni; a base statistica e algoritmica; accuratezza dipendente dalla quantità e dalla qualità dei dati in ingresso.
Esperienza	Corporea. Data dalla mediazione del movimento e dei sensi; caricata di valenze emotive.	Non corporea. Input testuali; corpus digitale di dati; istruzioni algoritmiche.
Adattamento	Contestuale. L'eccezione è un elemento informativo.	Programmato. L'eccezione deve essere prevista.
Risoluzione di problemi ordinari o etici	Integrata. Si considera un numero limitato di dati integrando informazioni esperienziali, emotive, motivazionali, morali ed etiche.	Addestrata. Attiva su un numero elevato di dati; efficace se conosce le regole (anche moltissime) o se può apprenderele.
Creatività	Associativa ed esperienziale. Associa elementi tra loro distanti per creare un'unità nuova; dipendente dalla ricchezza esperienziale.	Associativa e statistica. Associa elementi che hanno meno probabilità di essere associati (temperatura).
Capacità interpersonali	Incaruate. Simulazione degli stati visceromotori di altri, costruzione di una teoria della mente; capacità prosodiche; prossemica ed espressività corporea emotiva e sociale.	Simulate. Simula le regole di un'interazione sociale; capacità linguistiche e prosodiche; assenza di empatia.

[Clicca per la descrizione estesa](#)

Mentre la nostra specie ha maturato la sua intelligenza nell'interazione tra corpo e ambiente fisico, l'intelligenza artificiale si interfaccia con un ambiente costituito di input testuali e corpus di dati digitali. La mancanza di un corpo e di esperienze sensoriali limita l'intelligenza artificiale nell'accesso a dimensioni fondamentali della cognizione umana, come la percezione fisica, l'interazione diretta con l'ambiente e l'influenza del contesto sul pensiero. Sebbene l'AI possa simulare alcune funzioni cognitive attraverso modelli statistici e schemi appresi, il processo attraverso cui raggiunge questi risultati è puramente computazionale e non

coinvolge l'esperienza vissuta, o incarnata. Questo implica che, pur essendo in grado di rispondere in modo coerente e di esibire prestazioni simili in alcune aree (come il linguaggio o la memoria a lungo termine), le mancano le basi *sensomotorie* che caratterizzano la cognizione umana. Inoltre, molti concetti umani, specialmente quelli astratti o emozionali, sono profondamente legati a esperienze corporee e sociali (lo abbiamo visto nel [Capitolo 1](#)): aspetti come la motivazione, che per l'essere umano deriva da bisogni fisici, emotivi e sociali, risultano estranei all'AI, che risponde solo a richieste esterne senza *intenzionalità* propria. Allo stesso modo, la capacità di riconoscere e trattare le *eccezioni* nasce spesso da una comprensione intuitiva e contestuale che l'AI non può «vivere» né sviluppare allo stesso modo, poiché opera sulla base di regole predefinite e di generalizzazioni derivate dai dati.

Facciamo un esempio. Immaginiamo di scendere come ogni mattina nel bar sotto casa per prendere il nostro solito cappuccino e cornetto. Scendiamo sempre allo stesso orario, ci sediamo sempre allo stesso tavolino, consumiamo e paghiamo: stessi tempi, stessa cifra. Se una mattina ci dimentichiamo il portafoglio, Sandro (il mitico barista di fiducia) ci farà credito piuttosto che chiederci di rientrare in casa a recuperare il denaro: Sandro riconosce la novità nell'esperienza ordinaria e ripetitiva, e la interpreta integrando aspetti cognitivi, motivazionali, emotivi ed esperienziali. BarAI (il nostro barista di fiducia basato sull'intelligenza artificiale) ha di certo appreso, basandosi sui dati degli incassi, ad aspettarsi il nostro acquisto ed è programmato per richiedere un pagamento. Per farci dare credito sulla fiducia, dovremmo inserire la «regola della fiducia»: dovremo per esempio istruirlo a non richiedere un pagamento se la cifra a credito è inferiore a un certo massimo di spesa, se il debitore ha un certo numero di pagamenti assolti ininterrottamente e se lo si può considerare abituale, per esempio se la serie storica dei pagamenti va avanti da almeno un certo numero di mesi. Rispettando questi criteri potremmo effettivamente ricevere anche noi il credito. Poniamo poi che Sandro (sempre il mitico barista) voglia offrire il caffè a un nuovo cliente per ringraziarlo per un gesto di cortesia ricevuto o, più banalmente, perché immagina che si sia da poco trasferito e vuole fidelizzarlo o perché è il

padre di un compagno di classe di suo figlio o un amico che non vede da anni: tutte queste eccezioni alla regola della fiducia non possono essere comprese da un sistema di intelligenza artificiale. L'AI, pur elaborando la novità attraverso algoritmi, non può integrare una vera comprensione emotiva o motivazionale. Né avrebbe un amico di vecchia data che non vede da anni.

A oggi non esistono ancora ricerche longitudinali che ci possono informare rispetto agli adattamenti a lungo termine del nostro sistema nervoso a una nicchia ecologica popolata da intelligenze artificiali sempre più potenti. Quello su cui massimamente si concorda è su un'*integrazione di intelligenze*. L'intelligenza artificiale esercita – ed eserciterà – la sua azione protesica alla cognizione umana come lo strumento tecnologico che è. Lasceremo a lei la computazione rapida di moli enormi di dati, l'automazione di compiti complessi e anche l'estrazione di regole dal caos informativo (magari anche accettando di non capire esattamente come ha fatto). L'uomo e la sua intelligenza non sono capaci di fare tutto questo. Il nostro cervello non è fatto per maneggiare un eccesso di dati; piuttosto il nostro sistema cervello-corpo nasce per integrare informazioni complesse di natura cognitiva, emotiva e motivazionale. È possibile che in un prossimo futuro considereremo l'intelligenza artificiale come una protesi del nostro funzionamento cognitivo, esattamente come oggi consideriamo la scrittura una protesi del pensiero. D'altronde la scrittura non cambia mai e mai si cancella, mentre il nostro pensiero cambia e si dimentica.

Breve glossario di intelligenza artificiale

- **Algoritmi di classificazione:** algoritmi di apprendimento automatico che classificano dati in categorie, come distinguere tra spam e email legittime.
- **Algoritmo:** serie di istruzioni o regole che un computer segue per eseguire un compito specifico, come classificare immagini o trovare la strada più breve.
- **Apprendimento automatico (*machine learning*):** sottocampo dell'AI che permette ai computer di apprendere dai dati e migliorare nel tempo senza essere esplicitamente programmati per ogni attività.
- **Apprendimento non supervisionato:** tecnica di apprendimento automatico in cui un modello cerca di trovare schemi o gruppi all'interno di

dati non etichettati.

- **Apprendimento profondo (*deep learning*):** tipo avanzato di apprendimento automatico che utilizza reti neurali profonde per analizzare grandi quantità di dati complessi, come immagini, linguaggio orale e testo.
- **Apprendimento rinforzato:** tecnica di apprendimento automatico in cui un agente apprende tramite ricompense e penalità, migliorando il proprio comportamento per massimizzare le ricompense.
- **Apprendimento supervisionato:** tecnica di apprendimento automatico in cui un modello viene addestrato con dati etichettati (cioè già classificati) per fare previsioni o classificazioni su nuovi dati simili.
- **Bias dell'algoritmo:** pregiudizi o errori nei modelli di AI dovuti a dati o progettazioni che riflettono pregiudizi esistenti, con possibili conseguenze etiche.
- **Big data:** enormi volumi di dati che vengono raccolti e analizzati per trarre informazioni, spesso utilizzati per addestrare modelli di AI.
- **Chatbot:** programma di AI che simula una conversazione umana, rispondendo a domande e interagendo con gli utenti in tempo reale.
- **Edge computing:** approccio che sposta l'elaborazione dei dati vicino alla fonte (come dispositivi smart o sensori) invece che in un data center centrale, migliorando velocità e reattività.
- **Elaborazione del linguaggio naturale (*natural language processing*):** settore dell'AI che permette ai computer di comprendere, interpretare e rispondere al linguaggio umano scritto o parlato.
- **Intelligenza artificiale (*artificial intelligence, AI*):** campo dell'informatica che sviluppa sistemi in grado di simulare capacità umane come l'apprendimento, il ragionamento e la risoluzione di problemi.
- **Intelligenza artificiale generativa:** tecnologia che utilizza reti neurali per creare nuovi contenuti come testi, immagini e musica, partendo da dati esistenti.
- **Overfitting:** problema nell'apprendimento automatico in cui un modello è sviluppato in modo così specifico in base ai dati di addestramento che non riesce a generalizzare bene su nuovi dati.
- **Reti generative avversarie:** modelli di apprendimento profondo composti da due reti neurali (generatore e discriminatore) che lavorano insieme per creare nuovi contenuti realistici.
- **Reti neurali artificiali:** modelli computazionali ispirati al cervello umano, composti da nodi (neuroni artificiali) che si organizzano in strati e analizzano dati per identificare schemi.
- **Visione artificiale:** settore dell'AI che consente ai computer di comprendere e interpretare il mondo visivo, utilizzando tecniche di apprendimento profondo per analizzare immagini e video.

Un'appendice evolutiva

Oggi stiamo indubbiamente vivendo una nuova nicchia evolutiva. Internet, le tecnologie immersive e l'intelligenza artificiale popolano l'attuale nicchia ecologica e hanno innescato adattamenti e cambiamenti in quelle cognitive e neurali. Li abbiamo visti. La maturazione di queste trasformazioni deve ancora realizzarsi, ma è innegabile che il processo sia in atto; d'altronde è stato così anche in passato.

Nel tentativo di scorgere l'orizzonte evolutivo che ci si para davanti, si ipotizza che il fenomeno della costruzione triadica di nicchie, che ha già accelerato l'evoluzione umana, si intensificherà al punto da fondere ulteriormente i confini tra di esse¹²: l'essenza di ciò che è tecnologico, neurale e cognitivo diverrà cioè costitutivamente ibrida che queste stesse categorie andranno ridiscusse. La tecnologia si fonderà nei processi naturali e organici, avvicinandosi alla biologia e avvicinando la biologia a sé stessa.

Gli scenari tecnologici futuri vedono un'interazione sinergica delle tre tecnologie che abbiamo appena esaminato separatamente: Internet consentirà una comunicazione ultraveloce e a bassa latenza tra un numero sempre maggiore di dispositivi smart; le tecnologie immersive costruiranno ambienti con statuto di realtà, capaci di intersecarsi ed estendere gli ambienti fisici; l'intelligenza artificiale costituirà la spina dorsale di questo sistema, personalizzando e accelerando l'elaborazione di informazioni provenienti dal mondo esterno e interno. La miniaturizzazione della tecnologia permetterà l'integrazione fisica dei dispositivi, il concetto di hardware e software sarà superato e avremo sensori e apparati da indossare con la semplicità e la naturalezza con cui ci mettiamo addosso i vestiti, il tutto in modo altamente ingrato. Se oggi siamo animali funzionalmente tecnologici perché obbligati all'uso della tecnologia, in un prossimo futuro potremmo doverci considerare *animali ontologicamente tecnologici* perché i confini di umano e tecnologico non saranno più così netti.

Al di là del dibattito tra bioconservatori e transumanisti (che trovo assurdamente posto), le nuove tassonomie proposte per descrivere il futuro

dell'evoluzione della nostra specie offrono un quadro molto limpido su questo. *Homo Zappiens*¹³, *Digital Native*¹⁴, *Homo Technologicus* o *Simbionte*¹⁵, *Net-Gen*¹⁶, *Cyborg Without Surgery*¹⁷, sono solo alcune delle proposte. Se, guardando al nostro passato evolutivo, abbiamo concesso la massima potenza antropopoietica alla nostra intelligenza – esaltando la potenza del nostro intelletto su quello degli altri animali – un domani questo ruolo potrebbe essere ricoperto dalla nostra futura natura biotecnologica.

La nuova architettura evolutiva non disporrà più di strumenti cerebrali ma di *strumenti ontologici*, dove la tecnologia non estenderà le nostre capacità cognitive; ma piuttosto ci interrogherà sulla natura dell'umano.

Note

¹ E.A. Maguire, D.G. Gadian, I.S. Johnsrude, C.D. Good, J. Ashburner, R.S. Frackowiak, C.D. Frith, «Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(8), 2000, pp. 4398-4403.

² Fonte: <https://ourworldindata.org/>

³ A.-D. Gindrat *et al.* «Use-Dependent Cortical Processing from Fingertips in Touchscreen Phone Users», *Current Biology*, Volume 25, Issue 1, 5 gennaio 2015, pp. 109-116.

⁴ J. Firth, J. Torous, B. Stubbs, J.A. Firth, G.Z. Steiner, L. Smith, J. Sarris, «The “online brain”: how the Internet may be changing our cognition», *World Psychiatry*, 18(2), 2019, pp. 119-129.

⁵ J. Holt-Lunstad, T.B. Smith, J.B. Layton, «Social relationships and mortality risk: a meta-analytic review», *PLoS medicine*, 7(7), 2010, e1000316.

⁶ R. Kanai, B. Bahrami, R. Roylance, G. Rees, «Online social network size is reflected in human brain structure», *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1732), 2012, pp. 1327-1334.

⁷ Gli acronimi utilizzati per identificare le tecnologie immersive (realtà virtuale, realtà aumentata e realtà mista) come anche quelli presenti nel prossimo capitolo (intelligenza artificiale, intelligenza artificiale globale) corrispondono alle loro denominazioni in inglese. Si è fatta questa scelta perché anche nella lingua italiana vi è un uso predominante degli acronimi a derivazione inglese.

⁸ V. Kljajevic, *Consensual Illusion: The Mind in Virtual Reality*, Berlin, Springer, 2021.

⁹ Per semplicità, nel testo faccio riferimento al «cervello» e al «corpo» come fossero due entità separate sebbene interdipendenti. Sarebbe tuttavia più corretto fare riferimento al

5 Un cervello che accetta i cookies

L'assioma dell'anacronismo disperso

Tutti noi abbiamo studiato come l'invenzione della stampa a caratteri mobili sia avvenuta in Europa grazie a un tipografo tedesco che nel 1455 stampa la famosa «Bibbia di Gutenberg». L'anno di stampa della Bibbia, insieme a quello della caduta dell'Impero Romano, alla data della scoperta dell'America e a quella della presa della Bastiglia sono i capisaldi delle reminiscenze storiche dei più (sottoscritta compresa). La Bibbia di Gutenberg è certamente il primo volume di grandi dimensioni a essere impresso e dà origine all'«era della stampa». Dal 1455 il sapere, le leggi, gli editti, le ricette, fino alle istruzioni d'uso dei primi marchingegni vengono stampati con questa tecnica, producendo moltissime copie in poco tempo e dando progressivamente corpo a biblioteche, archivi e tonnellate di sapere su carta. L'invenzione della stampa a caratteri mobili è in realtà molto più antica. Nel 1908 a Festo, sull'isola di Creta, viene rinvenuto un disco in argilla coperto di simboli¹ risalente al 1700 a.C. Sebbene la decifrazione del contenuto sia discussa, è chiaro che il disco è stato scritto imprimendo dei sigilli geroglifici riusabili, uno per ogni simbolo, nell'argilla ancora morbida, in una sequenza spiraliforme a partire dal centro verso l'esterno. In poche parole, è stata utilizzata una forma di stampa a caratteri mobili *ante litteram*. Il Disco di Festo non ha dato però il via a quella che oggi potremmo conoscere come l'«era della stampa minoica»; il disco fu insomma un avanzamento tecnologico avvenuto in un periodo storico inadeguato. Esiste una certa *imprevedibilità* dell'invenzione²: alcune scoperte non trovano immediata applicazione o diffusione a causa delle

specifiche condizioni storiche e culturali in cui si originano. A Creta nel 1700 a.C. erano in pochi a saper scrivere e ancora in meno a saper leggere. Le esigenze di scrittura erano legate principalmente a revisioni contabili di beni e prodotti agricoli o di allevamento: di fatto si scrivevano singoli documenti per la consultazione di singole persone, senza la necessità impellente di trasferirli o diffonderli. In un contesto simile, la scrittura a mano è molto più efficiente della scrittura a caratteri mobili. Così, il Disco di Festo è rimasto un'opera di incredibile ingegno ma non ha prodotto una nuova nicchia ecologica.

Nel corso della nostra storia evolutiva, del resto, non tutte le ciambelle tecnologiche ci sono venute con il buco: il motore Stirling (inventato nel 1816 da Robert Stirling e dotato di una combustione esterna che riduce di molto le emissioni è stato preso in considerazione solo recentemente, grazie all'aumento dell'inquinamento atmosferico); il velcro (inventato negli anni Quaranta da Georges de Mestral è stato snobbato fino a che la NASA non lo adottò nelle sue missioni spaziali intorno agli anni Settanta); le pile a combustibile (inventate nel 1839 da Sir William Grove ma mai diffuse fino a che di nuovo la NASA iniziò a utilizzarle); il codice QR (ideato in Giappone nel 1994 per tracciare i componenti automobilistici, si è diffuso solo nel 2010 quando gli smartphone iniziarono a includere fotocamere e software in grado di scansarlo) sono soltanto alcuni esempi. In un certo senso anche le tecnologie che oggi consideriamo come integrate nella nostra nicchia ecologica non sono di certo recentissime: di intelligenza artificiale si parla dagli anni Cinquanta; i visori virtuali avevano suscitato già grandi entusiasmi negli anni Ottanta; mentre la fibra ottica risale addirittura agli anni Venti.

L'evoluzione tecnologica non segue insomma un percorso lineare e progressivo, ma si sviluppa anche attraverso salti improvvisi e rivoluzionari, influenzati dall'interazione fra tecnologia, cultura, società e biologia. Ogni nuova tecnologia si basa su quelle preesistenti ma l'innovazione emerge spesso da combinazioni impreviste, creando traiettorie non prevedibili. Tecnologie inizialmente considerate di nicchia o meno avanzate possono improvvisamente sconvolgere interi settori, divenendo centrali e trasformando in modo radicale il panorama

tecnologico e culturale. Se questo fenomeno fosse una legge di Murphy suonerebbe più o meno così: «Ogni grande invenzione arriva almeno una generazione prima che il mondo sappia che cosa farsene».

Di questo andamento per niente lineare e, in una certa misura, minimamente prevedibile, dobbiamo tenere conto quando riflettiamo sull'evoluzione futura della tecnologia e della nostra specie. Sebbene alcune possibili traiettorie siano intuibili, sapere esattamente che cosa accadrà e come si trasformerà il nostro ambiente è sostanzialmente impossibile. Ci sono troppi fattori in ballo. Diversi studi hanno dimostrato come il nostro cervello sia in grado di prevedere eventi a breve termine, quali il movimento di un oggetto o l'andamento di una conversazione, basandosi sostanzialmente sull'esperienza pregressa immagazzinata in memoria e su un'anticipazione interna della temporalità degli eventi futuri ciclici ottenuta dalla percezione implicita del ritmo. Tuttavia, quando si tratta di anticipare eventi a lungo termine, le capacità predittive del cervello diminuiscono significativamente, e la complessità e l'incertezza associate a eventi futuri distanti nel tempo, ci rendono difficile formulare previsioni accurate. Questo è dovuto alla limitata disponibilità di informazioni e all'aumento delle variabili che influenzano tali eventi.

L'incertezza non è affatto ben tollerata dal nostro sistema nervoso centrale. In uno studio di qualche anno fa, a dei volontari sono state somministrate leggere stimolazioni dolorose sul dorso della mano: a un gruppo è stato detto che ogni volta che una luce rossa si accendeva, avrebbero ricevuto la stimolazione; l'altro gruppo è stato invece informato che solo nella metà delle volte in cui la luce rossa veniva accesa, si sarebbe ricevuta la stimolazione dolorosa. Questo secondo gruppo si trovava dunque in una condizione complessivamente più fausta, subendo la scossa solo nella metà dei casi, ma carica di incertezza. Alla fine dell'esperimento i più stressati erano i membri del secondo gruppo. Non che per i primi sia stata una passeggiata, intendiamoci, ma «sapevano di che morte dovevano morire». I secondi, invece, hanno dovuto fronteggiare anche lo stress associato al non sapere se il dolore anticipato si sarebbe poi verificato. Una situazione per niente semplice da gestire e che non aiuta la pianificazione di strategie di controllo prospettico.

Per capire come il nostro cervello concili pianificazione e incertezza, ci si è rivolti agli scacchisti. Questi sportivi sono in grado di tollerare meglio l'incertezza e il rischio rispetto alle persone comuni grazie a specifiche strategie di pianificazione. I migliori scacchisti e i giocatori di alto livello, come i Grandi Maestri, sono in grado di anticipare da cinque fino a quindici mosse dell'avversario, e studi condotti sui loro cervelli hanno permesso di dimostrare che la loro incredibile capacità di previsione futura non consista nell'anticipazione di ogni singola mossa, quanto piuttosto nell'identificazione di schemi, cioè di configurazioni famigliari, sulla base dei quali il loro cervello filtra le mosse irrilevanti e si concentra su quelle che sono significative in base al contesto³.

Se applichiamo questo approccio allo sviluppo della tecnologia possiamo indentificare degli schemi che regolano il loro sviluppo e riducono l'incertezza rispetto al loro evolversi (Figura 9).

Figura 9 Schemi dello sviluppo tecnologico

Schemi dello sviluppo tecnologico	Descrizione
Ciclo di adozione e resistenza	Ogni nuova tecnologia attraversa fasi di curiosità, resistenza e adozione graduale, trasformando le norme sociali e culturali in modo coerente.
Superamento di limiti fisici e computazionali	Le tecnologie si scontrano con limiti fisici (come la miniaturizzazione o l'efficienza energetica) che devono essere superati per permetterne la diffusione.
Convergenza tecnologica	Tecnologie diverse si combinano, dando origine a nuove applicazioni e trasformando interi settori.
Democratizzazione tecnologica	Quando una tecnologia diventa accessibile al grande pubblico, si generano nuovi mercati e applicazioni, ampliando l'impatto sociale e massimizzando il processo di adozione.
Effetti collaterali e conseguenze non intenzionali	Le nuove tecnologie introducono spesso conseguenze impreviste, richiedendo adattamenti sociali e regolamentazioni. Le esperienze pregresse aiutano ad anticipare non le conseguenze ma le pratiche di loro gestione.
Nuove infrastrutture e ambienti di supporto	Lo sviluppo tecnologico richiede il supporto di infrastrutture specifiche (per esempio reti 5G per IoT).

Nota: gli schemi sono da intendersi come mutuamente influenti e simultanei.

[Clicca per la descrizione estesa](#)

Alla luce di questi schemi, lo scenario di sviluppo tecnologico che vede l'integrazione tra Internet, tecnologie immersive e intelligenza artificiale, con cui ci siamo lasciati nel precedente capitolo, pare il più accreditato. Siamo di fronte a una *convergenza tecnologica* che ha a suo favore l'adozione sostanzialmente ritualizzata di Internet, l'esistenza di infrastrutture presenti e potenziabili e un certo grado di democratizzazione. Non è di certo tutto rose e fiori, restano da affrontare compiutamente molte tematiche etiche, come anche gli effetti collaterali imprevisti, o più concretamente trovare soluzioni alternative all'enorme quantità di acqua che si stima sia necessaria per lo sviluppo futuro (per raffreddare i server impiegati nell'addestramento e in ogni singola interrogazione delle AI avanzate sono infatti necessari miliardi di litri d'acqua). A prescindere dalla reale concretizzazione o meno di questo scenario, già il fatto che oggi se ne discuta disegna parte della sua traiettoria evolutiva, garantendo a questo preciso momento presente una rilevanza critica e pragmatica su ciò che accadrà⁴. Nei futuri possibili c'è molto della riflessione critica del presente e delle aspettative ed esperienze passate; diviene quindi cruciale moltiplicare le voci e osservare la nostra intera evoluzione da una prospettiva analitica che nutra narrazioni capaci di rilevanza ontologica.

Fu-Sio-Ne! (cit. Dragon Ball)

Nelle pagine lette finora ci siamo abituati a considerare l'evoluzione della nostra specie come la complessa e mutua interazione tra aspetti biologici, mentali e ambientali. Il risultato è certamente articolato ma mantiene una (fittizia) distinzione tra questi elementi. Quando il nostro cervello ha a che fare con processi *complessi*, nel tentativo di non renderli *complicati*, cerca e trova un modo per semplificarli e identificare in essi categorie di senso. Una volta consolidati questi elementi di base, il processo conoscitivo può articolarsi ulteriormente per abbracciare le zone di grigio che le categorie hanno necessariamente lasciato fuori dai margini. Questa è esattamente la condizione nella quale ci troviamo oggi. Il dibattito scientifico attorno alla natura, ai fattori e ai processi evolutivi si è arricchito di categorie che hanno permesso di allargare lo sguardo conoscitivo e ora abbiamo le basi per

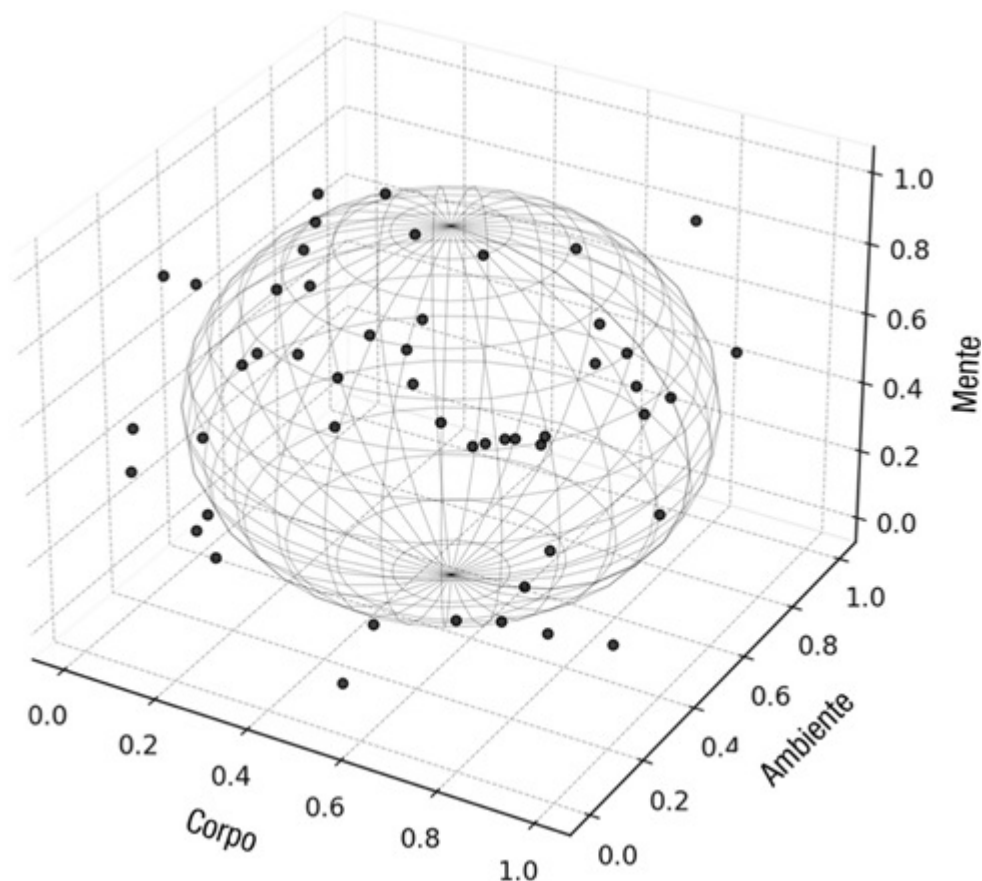
capire come vi sia più grigio che bianco e nero. È interessante notare che questo processo avviene nel tempo presente ma è nutrito da visioni del domani storico e rilegge anche il nostro ieri evolutivo. Lo scenario tecnologico che abbiamo delineato nel [Capitolo 4](#) ha infatti funzionato da volano per la concretizzazione di questo dibattito in diverse discipline. La tecnologia – anche quella ad ora solo pensata – è un’impalcatura del processo cognitivo.

Ed è proprio questo il punto. Le nicchie neurali, cognitive ed ecologiche di cui abbiamo parlato sono categorie conoscitive utilizzate per afferrare il complesso ma non sono «reali». O meglio, definire che cosa sia squisitamente biologico o mentale o ambientale è impossibile. Corpo, mente e ambiente co-evolvono perché appartengono allo stesso *sistema*⁵. Non possiamo quindi comprendere un elemento senza tenere in considerazione tutti gli altri.

Il corpo non è solo limitato ai confini della nostra pelle, si estende agli strumenti tecnologici che adottiamo e partecipa ai processi cognitivi; se avessimo un altro corpo, altri occhi o avessimo costruito tecnologie diverse, penseremmo in modo diverso. La mente è distribuita: la cognizione non risiede esclusivamente nel cervello, ma si estende agli oggetti, ai corpi e agli ambienti con cui interagiamo. L’ambiente oggi è un prodotto della mente dell’uomo, cambia l’esperienza che quest’ultimo ha di sé e del mondo, producendo nuovi mondi cognitivi.

Le tre nicchie evolutive non sono soltanto interagenti. Sono, piuttosto, letteralmente l’una e l’altra. L’accelerazione tecnologica ce lo ha fatto vedere, ma è sempre stato così. È questo il momento storico in cui passato (presupposti), presente (coscienza) e futuro (aspettative) ci rendono capaci di superare le categorie e stare nella complessità della nostra natura. Potremmo, in questo senso, rappresentare il «sistema corpo-mente-ambiente» come un grafico tridimensionale dove ogni punto, per essere definito, ha bisogno di tutte e tre le coordinate ([Figura 10](#)). Per amore di semplicità, delineiamo i rapporti vicendevoli che ogni coppia di assi intrattiene.

Figura 10 Il sistema corpo-mente-ambiente



Il rapporto tra corpo e mente

Arrivati a questo punto, non dovrei convincervi che il povero Cartesio si era sbagliato e di molto. Mi prendo la responsabilità di non insistere oltre. Che il corpo partecipi ai processi cognitivi e che il pensiero dell'uomo non sia disincarnato e astratto ma fatto anche di carne ed esperienze sensoriali lo abbiamo visto fin dai primi capitoli. Quello su cui vorrei puntare ora l'attenzione è la fusione dei concetti di corpo e mente. Prendiamo il dilemma del cervello in vasca (*the brain in a vat*), un esperimento mentale proposto dal filosofo Hilary Putnam⁶, che immagina un cervello mantenuto in vita artificialmente in una vasca di liquido nutritivo e collegato a un computer che, inviando stimoli elettrici ai neuroni, simulerebbe perfettamente le esperienze sensoriali. Tale scenario solleva domande –

molte delle quali irrisolte – sulla natura della realtà e sulla possibilità di distinguere tra esperienze reali e simulate. Se la mente può esistere indipendentemente dal corpo, come suggeriva Descartes, allora in teoria potrebbe essere «isolata» dal corpo e comunque esperire un mondo, proprio come il cervello in una vasca. Putnam usa il suo esperimento per dimostrare invece che l'esperienza della realtà è radicata nelle interazioni con il mondo: non possiamo avere significati e concetti senza un rapporto diretto con la realtà esterna; in altre parole, senza un corpo attraverso il quale interagire con il mondo, il cervello non potrebbe sviluppare significati o riferimenti concreti dai quali emerge il mondo mentale. Questo sottolinea l'indissolubile legame tra corpo e mente, suggerendo che la cognizione umana è intrinsecamente incarnata e che la separazione tra i due è artificiale.

Il corpo fornisce un contesto essenziale per la percezione, l'azione e il pensiero, rendendo difficile concepire un cervello che possa pensare in modo completo senza il supporto del corpo o un mondo mentale che esista al di là del suo pensatore. Il corpo non è soltanto la fonte di esperienze che nutrono il mondo cognitivo, esso è anche la forma stessa del pensiero. Prendiamo per esempio ciò che sappiamo sul rapporto vicendevole tra sensi e linguaggio: possedere le parole per identificare certe tonalità di colore permette di percepire le differenze cromatiche in modo più netto rispetto a chi parla lingue senza tali distinzioni; allo stesso tempo, non nomineremmo i colori se non li vedessimo. Studi clinici su pazienti con lesioni cerebrali che hanno danneggiato le aree responsabili della percezione cromatica dimostrano che i sogni di questi pazienti e le loro immagini mentali diventano in bianco e nero. E allora dove finisce il corpo e dove inizia la mente?

Il rapporto tra corpo e ambiente (tecnologia)

Il corpo e i sensi umani hanno guidato lo sviluppo della tecnologia⁷. Su questo non c'è dubbio. Gli strumenti motori hanno letteralmente la forma del palmo della nostra mano, così come gli strumenti sensoriali parlano primariamente al nostro senso principale che è la vista. Per esempio, per

«vedere» all'interno del corpo umano ci siamo inventati delle tecnologie che traducevano i tessuti interni in contrasti di bianco e nero visibili ai nostri occhi (pensiamo alle radiografie o alle ecografie). Probabilmente, se fosse stato l'udito il nostro senso principale avremmo trovato delle soluzioni tecnologiche diverse, qualcosa che ci avrebbe fatto «sentire» che cosa c'è all'interno del corpo.

La tecnologia parla la stessa «lingua incarnata» dei sensi e del corpo dell'uomo che l'ha progettata, e grazie a questo ci spinge oltre i nostri limiti fisici. La domanda che dobbiamo porci, se vogliamo indagare la fusione tra corpo e tecnologia, è se il nostro cervello è sufficientemente plastico da integrare l'esperienza data da uno strumento tecnologico. In altre parole, se nella fusione tra corpo e tecnologia possiamo dotarci di *sensi artificiali*. Dal punto di vista strettamente neuroscientifico questo costituisce il nocciolo della questione.

Le ricerche neuroscientifiche in quest'ambito sono ancora piuttosto limitate, ma complessivamente sostengono che il cervello dell'uomo è sufficientemente plastico per potersi adattare a una tecnologia incorporata e poter quindi fare spazio a «nuovi sensi». In un recente progetto di ricerca, persone comuni hanno indossato per un certo periodo un dispositivo chiamato *vibrotactile compass belt* (bussola a nastro vibrotattile)⁸: una cintura che vibra ogni volta che chi la indossa si orienta verso nord. Dopo un certo periodo di utilizzo, le persone che hanno partecipato allo studio sviluppano una sorta di «senso del nord» costante e anche senza la cintura sono in grado di riferire la posizione del nord. Inoltre – e questo è ancora più interessante – hanno migliorato le loro capacità di orientamento. Questo significa che il cervello non è solo diventato sensibile a qualcosa che prima non era in grado di percepire, ma anche che questo «nuovo senso» viene utilizzato per compiti cognitivi che prima si basavano solo sull'esperienza data dai sensi naturali.

Il cervello può dunque incorporare sensi artificiali che non fanno parte dell'esperienza umana naturale. Attenzione: non si tratta dell'uso protesico della tecnologia. È piuttosto la possibilità di cambiare l'esperienza stessa che abbiamo del mondo incorporando la tecnologia.

E allora, che cos'è squisitamente corpo e che cos'è tecnologia? Possiamo forse sostenere che siano due entità dai confini così netti?

Il rapporto tra mente e ambiente (tecnologia)

Questo saggio soffre di un limite intrinseco (sarete contenti di leggerlo a poche pagine dalla sua conclusione...): sia le tesi qui formulate, sia gli studi su cui esse si basano sono intrise di un dilemma epistemologico. Siamo menti che indagano le menti. Abbiamo una prospettiva completamente schiacciata sul nostro ombelico; oggetto e soggetto dell'indagine corrispondono. La soggettività del pensatore e dello scienziato non è mai, in nessun campo, eliminabile. Ma quando si tratta di studiare la mente a questa soggettività si aggiunge un problema di circolarità del processo conoscitivo.

L'idea che nel tempo abbiamo avuto in testa a proposito di che cosa dovesse essere la nostra stessa mente ha necessariamente condizionato il suo studio. D'altronde le domande ce le facciamo a partire da quello che pensiamo. In questo senso, abbiamo utilizzato la tecnologia per rispondere a domande poste secondo specifici modelli di mente. Per esempio, nel 2011 si è scatenato l'inferno a causa dell'articolo «You Love Your iPhone. Literally» pubblicato sul *New York Times*⁹. L'autore, Martin Lindstrom, sosteneva che l'attaccamento emotivo degli utenti verso l'iPhone fosse paragonabile all'amore, basandosi su dati di neuroimaging che mostravano l'attivazione della corteccia insulare del cervello. Numerosi neuroscienziati hanno criticato queste conclusioni (lanciando sempre i loro mocassini e puntatori laser) evidenziando che l'attivazione della corteccia insulare è associata a una vasta gamma di processi e non può essere interpretata univocamente come indicativa di amore. Lindstrom, che non è un neuroscienziato ma un esperto di marketing e brand, scrivendo quelle parole metteva in luce come la sua idea di mente seguisse ancora il modello di stampo classico che enfatizza la modularità funzionale, suggerendo che funzioni cognitive diverse (come percezione, linguaggio e memoria) siano gestite da moduli cerebrali specifici e indipendenti. Tra le varie aree, il modello classico ne immagina una per il pensiero matematico, una per la creatività, una per i sogni e ovviamente una per l'amore; quest'ultima

coinciderebbe con la corteccia insulare e, se si attiva in risposta all'immagine del cellulare, significa che siamo innamorati del nostro cellulare.

Il problema è che, ovviamente, il cervello e la mente non sono così semplici. Le tecnologie avanzate come la risonanza magnetica funzionale e l'elettroencefalografia hanno permesso di osservare l'attività cerebrale in tempo reale, offrendo dati empirici per validare o rivedere i modelli teorici. Questi strumenti hanno evidenziato la complessità e l'interconnessione delle reti neurali, suggerendo che la mente *non è localizzata in aree specifiche, ma emergente da interazioni distribuite*. Insomma, Lindstrom non aveva aggiornato il suo modello e aveva interpretato i dati con una prospettiva ormai superata.

Questo è anche un esempio di come l'evoluzione tecnologica abbia modellato e continui a modellare la nostra comprensione neuroscientifica della mente, offrendo nuove prospettive e nuovi strumenti per esplorare la complessità del cervello umano. In realtà c'è anche di più. È capitato più di una volta di prendere come punto di partenza la tecnologia per costruirci un modello di mente. La tecnologia, infatti, ha profondamente influenzato i modelli neuroscientifici della mente, offrendo non solo nuovi strumenti ma anche nuove metafore per comprendere la nostra natura mentale.

Negli anni Cinquanta e Sessanta, per esempio, l'avvento dei computer ha portato alla nascita del modello della mente come *elaboratore* di informazioni, paragonando il cervello a un computer che processa input per generare output. Questo approccio ha favorito lo sviluppo delle scienze cognitive, enfatizzando processi come memoria, attenzione e linguaggio. Oggi è decisamente superato, ma è indubbio che la presenza del computer abbia fornito a sua volta nuove metafore mentali. Un fenomeno molto simile lo possiamo osservare anche ai giorni nostri: l'avanzamento dell'intelligenza artificiale ha portato allo sviluppo delle reti neurali artificiali, modelli computazionali ispirati alla struttura e al funzionamento del cervello umano; queste reti sono composte da nodi interconnessi, detti neuroni artificiali, organizzati in strati che elaborano informazioni in modo parallelo e distribuito. Questa tecnologia ha a sua volta influenzato la formulazione di un *modello connessionista* della mente, secondo il quale i

processi cognitivi emergono da interazioni complesse tra neuroni interconnessi, piuttosto che da operazioni sequenziali e lineari.

Anche per questa retta, la netta distinzione tra ciò che è squisitamente mentale e ciò che è esclusivamente tecnologico diventa estremamente difficile da indicare. In questo quadro, insomma, la tecnologia non è un'aggiunta al corpo o alla mente, ma un elemento del sistema stesso che ridefinisce che cosa significa essere umani. La fusione corpo-mente-tecnologia, quindi, non è solo un evento tecnologico, ma un processo ontologico che rimodella costantemente il nostro essere nel mondo.

Ombelico in silico

Siamo passati attraverso lo sviluppo di strumenti motori, sensoriali e cerebrali e ora abbiamo per le mani strumenti che sono ontologici. Questo non significa che anche le nicchie evolutive precedenti non abbiano ridefinito la nostra natura umana, tutt'altro. Piuttosto, si vuole porre l'accento sulla maturità della domanda nel momento presente. È oggi che l'architettura evolutiva raggiunta ci sollecita e ci mette sul piatto nuove e vecchie domande sulle caratteristiche fondamentali dell'umano e della realtà. Dall'alba dei tempi la tecnologia che l'uomo ha inventato non ha mimato l'umano. L'intento era proprio l'opposto: estendere le nostre capacità e competenze per meglio adattarci all'ambiente. E questo è ancora vero. Anche l'intelligenza artificiale simula alcune nostre funzioni mentali ma le esercita in un modo costitutivamente differente dal nostro. Pur mantenendo questa complementarità, la nicchia evolutiva corrente sfuma le distinzioni tra ciò che è sempre stato considerato tipicamente umano o meno, avvicina la tecnologia portandola sotto la nostra pelle, connette il nostro corpo con i nostri ambienti fisici non-ecologici, offre statuto di realtà ad ambienti non fisici, supporta processi mentali che prima assolvevamo in autonomia.

Come scrivevano Luca de Biase e Telmo Pievani ormai già diversi anni fa¹⁰, la narrazione che facciamo della nicchia evolutiva in cui viviamo innesca una traiettoria futura. Le domande che apriamo nel presente fanno già parte del futuro. E la fusione di corpo-mente-ambiente esemplifica

proprio questo. Ciò che accade nell'ambiente non è disgiunto da ciò che immaginiamo nella nostra mente e ciò che immaginiamo non è separabile dalle esperienze che accumuliamo. Questo vale per il passato, per il presente e per il futuro.

Quello che questo saggio vuole aggiungere è che mai come adesso abbiamo bisogno di una *teoria ontologica del cambiamento tecnologico*. Mai come adesso le discipline che studiano il corpo, la mente e la tecnica dell'uomo devono accogliere il quesito ontologico del nostro tempo. Mai come adesso tra gli schemi che regolano lo sviluppo tecnologico si vede necessaria una capacità meta-riflessiva dell'uomo che possa abbracciare il processo che siamo. Ridefinire l'umano non significa abdicare alla nostra singolarità o unicità, quanto riconoscere che l'umano «diventa», non «è». Nella nicchia degli strumenti ontologici non si cerca né di essere più taglienti, né di vedere più lontano o di ricordare di più: si cerca di comprendere profondamente la nostra natura in continua evoluzione, non cercando di delineare i confini dell'umano ma di tracciare tutto quello in cui possiamo cambiare.

Note

¹ Se volete vederlo, una bella fotografia è pubblicata per esempio qui <https://www.nationalgeographic.it/la-scrittura-di-un-antico-disco-di-argilla-e-rimasta-un-mistero-per-oltre-un-secolo>

² J. Diamond, *Guns, Germs and Steel. The Fates of Human Societies*, New York, W.W. Norton, 1997 (ed. it. *Armi, acciaio e malattie*, Torino, Einaudi, 1997 e poi 2014).

³ A.D. de Groot, *Thought and choice in chess*, The Hague, Mouton, 1965.

⁴ L. De Biase, *Apologia del futuro. Cosa il domani può fare per noi*, Roma, LUISS University Press, 2024.

⁵ Malafouris, *How things shape the mind*, cit.

⁶ H. Putnam, «Brains in a vat», in *Reason, Truth, and History*, Cambridge, Cambridge University Press, 1981.

⁷ Per gli scopi del presente saggio, in questo paragrafo e nel successivo la trattazione analitica del ruolo dell'ambiente è ristretta alle sue dimensioni tecnologiche.

⁸ S.K. Nagel, C. Carl, T. Kringe, R. Martin, P. König, «Beyond sensory substitution—learning the sixth sense», *Journal of neural engineering*, 2(4), 2005, R13.

⁹ M. Lindstrom «You Love Your iPhone. Literally», www.nytimes.com, 30 settembre 2011.

¹⁰ L. De Biase, T. Pievani, *Come saremo. Storie di umanità tecnologicamente modificata*, Torino, Codice, 2016.

Dal catalogo

Carlo Rinaldi

Intelligenza sensibile. Costruire relazioni per generare energia

Enrico Prati

Mente artificiale

Derrick De Kerckhove

Psicotecnologie connettive

Adam Grant

Pensaci ancora. Il potere di sapere ciò che non sai

Filippo Losito

Humor e pensiero laterale. I processi mentali che stimolano la creatività

Brian W. Kernighan

Milioni, miliardi, fantastiliardi. Come difendersi in un mondo pieno di numeri

Guido Caldarelli

Senza uguali. Comprendere con le reti un mondo che non ha precedenti

Jonah Berger

Influenza invisibile. Le forze nascoste che plasmano il nostro comportamento

Elena Esposito

Comunicazione artificiale. Come gli algoritmi producono intelligenza sociale

Descrizioni estese delle figure

Figura 2. Le principali differenze tra linguaggio umano e comunicazione animale

	Linguaggio umano	Comunicazione animale
Ricorsività	Capacità di inserire frasi all'interno di altre frasi in modo illimitato, creando strutture complesse e significati nuovi.	Modelli sequenziali, privi di regole sintattiche complesse.
Sintassi	Uso di regole per combinare parole e frasi in modi specifici.	I segnali sono limitati a forme e strutture predefinite.
Arbitrarietà	Lo stesso significato può essere espresso con suoni, lettere o gesti diversi.	Comunicazione direttamente legata a segnali specifici con significati concreti.
Dislocazione spaziotemporale	Si possono identificare eventi in tempi, spazi e circostanze differenti.	Comunicazione legata all'immediato presente e alle circostanze contingenti.
Apprendimento culturale	L'uomo ha la capacità innata di acquisire il linguaggio ma il suo apprendimento viene	Gli animali hanno un'innata comprensione e produzione della maggior parte dei

	trasmesso culturalmente.	segnali comunicativi della loro specie. Le tipizzazioni per clan o gruppi sono apprese per imitazione.
Riflessività	L'uomo può parlare e riflettere sul linguaggio (come stiamo facendo ora).	Assente

Figura 3. Serie temporale di coincidenze evolutive che hanno portato la nostra specie a parlare

Nell'ordine:

- 1 Conquista della statura eretta
- 2 Adattamento anatomico della struttura cranio-facciale
- 3A Aumento dei suoni prodotti e imitati
- 3B Incremento della massa cerebrale per far spazio alle nuove competenze
- 3C Uso delle mani per la costruzione di strumenti
- 4 Le maggiori risorse neurali a disposizione permettono lo sviluppo di un sistema motorio volontario della fonazione in aggiunta a quello involontario

Figura 8. Intelligenza umana vs intelligenza artificiale

	Intelligenza umana	Intelligenza artificiale
Natura	Organica. Soggetta a invecchiamento e con capacità di elaborazione limitate.	Artificiale. Limitata principalmente da fattori energetici, di archiviazione e di connessione.
Apprendimento e sviluppo	Corporea. Data dalla mediazione del	Non corporea. Input testuali; corpus digitale

	movimento e dei sensi; caricata di valenze emotive.	di dati; istruzioni algoritmiche.
Esperienza	A base esperienziale. Generalizzabile a partire da una quantità limitata di esperienze; sviluppo non lineare ma con periodi critici e sensibili.	A base computazionale. Necessaria una vasta quantità di informazioni; a base statistica e algoritmica; accuratezza dipendente dalla quantità e dalla qualità dei dati in ingresso.
Adattamento	Contestuale. L'eccezione è un elemento informativo.	Programmato. L'eccezione deve essere prevista.
Risoluzione di problemi ordinari o etici	Integrata. Si considera un numero limitato di dati integrando informazioni esperienziali, emotive, motivazionali, morali ed etiche	Addestrata. Attiva su un numero elevato di dati; efficace se conosce le regole (anche moltissime) o se può apprenderle.
Creatività	Associativa ed esperienziale. Associa elementi tra loro distanti per creare un'unità nuova; dipendente dalla ricchezza esperienziale.	Associativa e statistica. Associa elementi che hanno meno probabilità di essere associati (temperatura).

Capacità interpersonali	Incarnate. Simulazione degli stati visceromotori di altri, costruzione di una teoria della mente; capacità prosodiche; prossemica ed espressività corporea emotiva e sociale	Simulate. Simula le regole di un'interazione sociale; capacità linguistiche e prosodiche; assenza di empatia.
-------------------------	--	---

Figura 9. Schemi dello sviluppo tecnologico

Schemi dello sviluppo tecnologico	Descrizione
Ciclo di adozione e resistenza	Ogni nuova tecnologia attraversa fasi di curiosità, resistenza e adozione graduale, trasformando le norme sociali e culturali in modo coerente.
Superamento di limiti fisici e computazionali	Le tecnologie si scontrano con limiti fisici (come la miniaturizzazione o l'efficienza energetica) che devono essere superati per permetterne la diffusione.
Convergenza tecnologica	Tecnologie diverse si combinano, dando origine a nuove applicazioni e trasformando interi settori.
Democratizzazione tecnologica	Quando una tecnologia diventa accessibile al grande pubblico, si generano nuovi mercati e applicazioni, ampliando l'impatto

	sociale e massimizzando il processo di adozione.
Effetti collaterali e conseguenze non intenzionali	Le nuove tecnologie introducono spesso conseguenze impreviste, richiedendo adattamenti sociali e regolamentazioni. Le esperienze pregresse aiutano ad anticipare non le conseguenze ma le pratiche di loro gestione.
Nuove infrastrutture e ambienti di supporto	Lo sviluppo tecnologico richiede il supporto di infrastrutture specifiche (per esempio reti 5G per IoT).