

Brain Computer Interface: implicazioni del brain reading in ambito giuridico

Le sfide giuridiche dell'utilizzo del Brain Reading

Alessia Del Pizzo*

Abstract: L'articolo ha l'obiettivo di indagare le implicazioni e applicazioni che le interfacce neurali (*Brain Computer Interface*, BCI) e, in particolare, le operazioni di *brain reading* possono avere in ambito giuridico. Queste neurotecnologie abbinate all'intelligenza artificiale sono oggetto di numerosi studi sperimentali che ne prevedono l'utilizzo fuori dal *setting* clinico, teoricamente protetto da regole deontologiche, con finalità di esplorazione delle connessioni esistenti tra attività cerebrale, coscienza e identità. L'accesso al cervello apre la strada alla mente, ponendo interessanti quesiti in ambito giuridico in ragione del possibile coinvolgimento di costrutti fondamentali quali libero arbitrio, integrità psichica e riservatezza.

Parole chiave: neuroetica, brain reading, data protection, riservatezza, neurotecnologia, BCI.

1 La relazione mente-cervello: dalla filosofia antica alla neuroscienza moderna

La ricerca sulla relazione mente-cervello è uno dei temi più affascinanti e complessi dell'attuale panorama scientifico; sebbene questo rapporto sia stato oggetto di studio fin dai tempi antichi, è solo con l'avvento della scienza moderna che è stato possibile compiere importanti progressi nella comprensione di questo legame.

Già alle origini della filosofia antica, in un dibattito che continua ancora oggi, si discuteva sulla natura della mente e della coscienza, cercando di spiegare il rapporto tra la mente e il corpo.

Secondo la filosofia platonica, la mente è una realtà indipendente dal corpo, capace di percepire e conoscere il mondo ideale delle forme, che si pone al di là della realtà fisica. Platone sostiene che la mente è eterna e immortale, mentre il corpo è solo una dimora temporanea¹.

D'altra parte, nella tradizione aristotelica, la mente è vista come parte integrante del corpo, un organo in grado di elaborare le informazioni sensoriali. Aristotele afferma che la mente non esiste senza il corpo, e che l'intelletto umano può svilupparsi grazie all'esperienza².

Queste prime teorie sulla relazione mente-corpo hanno fornito importanti spunti per la successiva indagine scientifica, ma anche influenzato la cultura e la filosofia per secoli.

In *Rules and Representations*, Noam Chomsky esamina la natura delle capacità cognitive umane, in particolare come si esprimono nel linguaggio, giungendo alla sua ben nota posizione per cui esiste una grammatica universale, geneticamente determinata,

*Phd Candidate, Università degli Studi Niccolò Cusano; ✉ alessiadelpizzo@outlook.it

1. A. Brancacci, *Studi su Platone e il platonismo*, Edizione di Storia e Letteratura, Roma 2017.
2. M. C. Nussbaum, *The fragility of goodness: Luck and ethics in Greek tragedy and philosophy*, Cambridge University Press, Cambridge 1992.

strutturata nella mente umana e comune a tutte le lingue umane. Oltre al suo esame dei vari principi della grammatica universale - le sue “regole e rappresentazioni” - Chomsky considera la base biologica delle capacità linguistiche e la possibilità di studiare strutture e capacità mentali alla maniera delle scienze naturali³.

Noam Chomsky, nell'affrontare il tema della filosofia della mente e le sue più attuali ramificazioni, analizza le due componenti essenziali dell'essere umano, la mente e il corpo, rifacendosi ad una tradizione filosofica che iniziò con Cartesio. Il filosofo francese opera una separazione drastica tra il meccanicismo fisico ed il pensiero: è questo il senso del *cogito ergo sum* e dell'esistenza stessa dell'essere umano, che altrimenti in nulla si distinguerebbe dagli altri esseri viventi. Secondo Cartesio, il corpo e l'anima immateriale, principio del pensiero e della volontà, sono sostanze separate che interagiscono attraverso la ghiandola pineale o epifisi (dal greco *epi-fysin*, che significa “al di sopra della natura”), «la sede dell'anima e il luogo dove si fanno tutti i nostri pensieri»⁴.

Con l'avvento della scienza moderna, la ricerca sulla mente e il cervello ha trovato un nuovo impulso. Grazie ai progressi tecnologici, gli scienziati hanno potuto studiare il cervello in modo sempre più approfondito, scoprendo nuove informazioni sulla sua struttura e sulle sue funzioni. La neuroscienza moderna ha dimostrato che la mente e il cervello sono strettamente interconnessi, e che molte funzioni mentali sono il risultato dell'attività elettrica e chimica del cervello.

Uno studio del 2020 pubblicato sulla rivista *Nature Neuroscience* ha evidenziato l'esistenza di una rete neurale specifica che coordina la comunicazione tra diverse regioni cerebrali e che sarebbe alla base della nostra capacità di percepire e comprendere il mondo esterno⁵. Si tratta di risultati che hanno importanti implicazioni per la comprensione della relazione mente-cervello; infatti, mostrano che la percezione e la comprensione del mondo esterno non sono il risultato dell'attività di una singola regione cerebrale, ma piuttosto dell'interazione tra diverse regioni cerebrali coordinata da una rete neurale specifica. In altre parole, la mente emerge dall'attività coordinata di molte parti del cervello, piuttosto che da una singola regione cerebrale.

Inoltre, la biologia molecolare ha fornito importanti informazioni sulle molecole del cervello e sul loro ruolo nella regolazione del comportamento umano e della salute mentale. Ad esempio, uno studio pubblicato sulla rivista *Cell* nel 2018 ha identificato una proteina chiamata ARC (*Activity-Regulated Cytoskeleton-associated protein*), che sembra essere coinvolta nel processo di apprendimento e memoria⁶.

Questo concetto è in linea con l'idea che la mente sia un fenomeno emergente, che sorge dalle interazioni complesse tra diverse parti del cervello, come sostengono molti filosofi e neuroscienziati; tuttavia i dettagli di come ciò avvenga continuano ad essere oggetto di dibattito.

Secondo il filosofo John Searle, la mente è un fenomeno biologico, che si verifica nello stesso modo in cui la digestione o la circolazione si verificano nel corpo⁷. Questo significa che la mente non è separata dal corpo, ma piuttosto è il risultato della sua attività.

3. Secondo Chomsky, la mente comprende un vasto gruppo di “moduli” innati, uno dei quali è il linguaggio. Ogni modulo opera automaticamente, indipendentemente dal controllo individuale, sulla base di un insieme distinto di regole specifiche per il dominio che prendono input determinati da alcuni moduli e producono output determinati per altri.

N. Chomsky, *Rules and Representations*, Columbia University Press, Oxford, 1980.

4. R. Descartes, *Le passioni dell'anima*, artt. XXVII-XXIX; XXXIXXXXII; XXIV-XXXVI; XL-XLI, in *Opere filosofiche*, a cura di E. LOJACONO, TORINO, Utet, 1994, vol. II, pp. 611-616; 618

5. La ricerca ha utilizzato la risonanza magnetica funzionale (fMRI) per mappare l'attività cerebrale in soggetti umani mentre guardavano video di persone che compivano azioni quotidiane, come bere una tazza di caffè o tagliare un pomodoro. I ricercatori hanno scoperto che c'è una rete neurale specifica, denominata “rete del flusso dorsale-ventrale” (*dorsal-ventral stream network*), che sembra essere altamente attiva durante la percezione e la comprensione di queste azioni. In particolare, la rete del flusso dorsale-ventrale sembra coordinare l'attività di diverse regioni cerebrali coinvolte nella percezione visiva, nella comprensione del movimento e nella rappresentazione del significato degli oggetti. Ciò suggerisce che questa rete neurale sia essenziale per la capacità di comprendere e interpretare il mondo esterno, non solo come un insieme di oggetti statici, ma anche come un insieme di azioni in continuo divenire. M. Demirtaş M., F. Grouiller, F. X. Vollenweider, *Characterization and modulation of intrinsic electrophysiological brain connectivity*, in *Nature Neuroscience*, 2020.

6. La proteina Arc è stata scoperta negli anni '90 ed è stata associata alla formazione di nuove sinapsi e alla plasticità sinaptica. In questo studio, gli autori hanno cercato di capire meglio come funziona Arc e come contribuisce alla plasticità sinaptica.

In particolare, gli autori hanno scoperto che Arc è coinvolta nella formazione di un ponte tra il nucleo della cellula e la zona della sinapsi, permettendo il trasferimento di informazioni genetiche dalla cellula al punto di contatto tra le cellule nervose. Inoltre, hanno dimostrato che Arc gioca un ruolo fondamentale nel consolidamento della memoria a lungo termine. Ed Pastuzyn, Ce Day, Rb Kearns, M. Kyrke-Smith, Av Taibi, J. McCormick, N. Yoder, Dm Belnap, S. Erlendsson, Dr Morado, Jag Briggs, C. Feschotte, Jd Shepherd, *The Neuronal Gene Arc Encodes a Repurposed Retrotransposon Gag Protein that Mediates Intercellular RNA Transfer*, in *Cell*. 2018.

7. J. Searle, *La mente nuova dell'imperatore*, Rizzoli, Milano 1992, p. 23.

Lo stesso concetto è stato espresso dal neuroscienziato Antonio Damasio, che ha affermato che «la mente emerge dalle attività del cervello e del corpo che sono continuamente integrate e coordinate»⁸.

In sintesi, la riflessione sulla relazione mente-corpo affonda le sue radici nella filosofia antica, ma è oggi un campo di ricerca estremamente attivo e interdisciplinare. Grazie ai progressi della neuroscienza e della psicologia, è possibile comprendere meglio come funziona il cervello umano e come la mente elabora le informazioni provenienti dal mondo esterno, tuttavia sono ancora molti gli interrogativi aperti.

2 L'informatica al servizio delle neuroscienze

Sin dai primi progressi dell'informatica, gli studiosi hanno ipotizzato la possibilità di costruire sistemi artificiali intelligenti capaci di competere con la mente umana.

Con l'espressione "*intelligenza artificiale*" (IA) si è soliti indicare l'insieme di metodi scientifici, teorie e tecniche finalizzate a riprodurre mediante sistemi di elaborazione le capacità cognitive proprie della mente umana, come la percezione visiva, il riconoscimento del linguaggio, l'assunzione di decisioni e l'abilità di tradurre da un idioma ad un altro⁹.

Negli ultimi anni, la velocità di sviluppo della tecnica ha reso queste possibilità sempre più concrete, tanto che molti cominciano a credere che in un futuro non lontano i sistemi artificiali raggiungeranno e supereranno l'intelligenza umana, fino a sviluppare una mente cosciente¹⁰.

La mente può essere definita come il complesso sistema di processi cognitivi che permette all'individuo di elaborare le informazioni provenienti dal mondo esterno e di interagire con l'ambiente circostante. L'intelligenza, d'altra parte, è una capacità multifattoriale che coinvolge diverse abilità cognitive, tra cui la memoria, l'attenzione, il ragionamento, la creatività e la capacità di risolvere problemi¹¹.

Una delle definizioni più accettate e utilizzate di intelligenza è stata proposta da Howard Gardner, che ha sviluppato la teoria delle intelligenze multiple. Secondo Gardner, l'intelligenza non è una singola entità, ma piuttosto un insieme di abilità cognitive separate e indipendenti¹². Gardner ha identificato otto forme di intelligenza: linguistica, logico-matematica, spaziale, musicale, cinestetica, interpersonale, intrapersonale e naturalistica.

Inoltre, alcuni ricercatori sostengono che l'intelligenza è strettamente legata alla plasticità cerebrale, ovvero la capacità del cervello di modificarsi e adattarsi alle nuove esperienze e alle sfide cognitive¹³.

Stuart Russell e Peter Norvig¹⁴ hanno individuato diversi approcci nell'analizzare l'intelligenza. Da un lato, vi è la contrapposizione tra il metodo di studio secondo cui l'intelligenza coinvolge il solo pensiero e, al contrario, quello che sostiene riguardi anche l'azione. Dall'altro, bisogna distinguere tra la riproduzione delle capacità umane e la realizzazione di sistemi di razionalità. È indubbio che vi sia sempre una profonda correlazione tra pensiero ed azione, tale da rendere l'uno inseparabile dall'altro. L'uomo agisce dopo aver riflettuto, tuttavia è anche vero che il pensiero stesso dipende da obiettivi pratici.

Dunque, se fino all'Ottocento il dualismo mente-corpo, al centro della filosofia di Descartes, era stato incline a situare la mente umana fuori dell'ambito della biologia, la situazione cambia quando gli evolucionisti pongono l'accento sullo studio dell'uomo sotto il profilo biologico, riducendo la psicologia alla biologia poiché le azioni umane hanno componenti ormonali, neurologiche e fisiologiche¹⁵.

8. A. Damasio, *L'errore di Cartesio*, Adelphi, Milano 1995, p. 106.

9. Commissione Europea Per L'efficienza Della Giustizia (CEPEJ), *Carta etica per l'uso dell'intelligenza artificiale nei sistemi giudiziari e nel loro ambiente*, App. III, Glossario, p. 47.

10. Si veda N. Bostrom, *Superintelligenza. Tendenze, pericoli, strategie*, trad. S. Frediani (a cura di), Bollati Boringhieri, Torino 2018.

11. L. S. Gottfredson, *Mainstream science on intelligence: an editorial with 52 signatories, history, and bibliography*, in *Intelligence*, 1997.

12. H. Gardner, *Frames of mind: The theory of multiple intelligences*, Basic books, 1983.

13. R. Colom, S. Ballesteros, *The Role of Cognitive Plasticity in Cognitive Training Outcomes*, *Frontiers in Aging Neuroscience*, 2017.

14. S. Russell, P. Norvig, *Artificial Intelligence. A Modern Approach*, Pearson Education (US), United States (2020).

15. *Ibidem*.

Nel Settecento compare uno dei primi esempi di romanzo dove si evoca una forma di mente non umana: si tratta dei *Viaggi di Gulliver* di Jonathan Swift (1726), in cui si menziona un dispositivo, *engine*, in grado di migliorare la conoscenza e le operazioni meccaniche umane.

Nel 1872 il romanzo *Erewhon* di Samuel Butler è il primo dove si immagina un futuro in cui le macchine acquisiranno coscienza. I romanzi di Swift e Butler contengono delle idee che ancora oggi animano il dibattito scientifico ed etico sull'Intelligenza Artificiale (IA).

L'IA non è solo un fronte tra i più avanzati, quanto a ricerca scientifica, ma soprattutto la prima sfida imitativa rivolta non a prodotti dell'uomo bensì all'uomo stesso, inteso come mente e cervello¹⁶.

La storia dell'intelligenza artificiale (IA) è caratterizzata dalla presenza di diverse scuole di pensiero e di ricerca. Due di queste scuole sono la cognitivista e la connessionista.

La scuola cognitivista si concentra sulla mente come oggetto di ricerca, indipendentemente dal suo supporto fisico. In altre parole, gli studiosi cognitivisti si occupano della comprensione dei processi di pensiero, del linguaggio, della percezione e dell'attenzione, senza preoccuparsi del funzionamento materiale del cervello umano. Questa scuola di pensiero si basa su modelli computazionali simbolici, che si ispirano alla logica e alla semantica del pensiero umano.

D'altra parte, la scuola connessionista si concentra sulle reti neurali e sulla struttura del cervello umano come modello per la costruzione di un'intelligenza artificiale. Gli studiosi connessionisti cercano di simulare il funzionamento del cervello attraverso la costruzione di reti neurali artificiali, che riproducono la struttura e la funzione delle cellule nervose biologiche¹⁷.

Entrambe queste scuole di pensiero hanno contribuito in modo significativo alla ricerca sull'IA. La scuola cognitivista ha permesso lo sviluppo di modelli di intelligenza artificiale che utilizzano il ragionamento simbolico e la rappresentazione della conoscenza, come i sistemi esperti. D'altra parte, la scuola connessionista ha portato allo sviluppo di reti neurali artificiali, che sono utilizzate in molte applicazioni di intelligenza artificiale, come il riconoscimento del linguaggio naturale e l'elaborazione delle immagini.

Negli ultimi anni, le due scuole di pensiero si sono avvicinate grazie allo sviluppo di approcci ibridi che combinano le reti neurali con il ragionamento simbolico. Questi approcci prendono il nome di *deep learning* simbolico e cercano di coniugare i vantaggi delle due scuole di pensiero¹⁸. Pertanto, sono integrate tra loro le prospettive di tre vasti campi: la psicologia, la biologia e la fisica.

In primo luogo la mente umana, compresa la coscienza e il pensiero, può essere spiegata mediante le attività del sistema nervoso centrale, attività che a loro volta possono essere ridotte alla struttura biologica e al funzionamento di questo sistema fisiologico. In secondo luogo, i fenomeni biologici a tutti i livelli possono essere totalmente compresi in termini di fisica atomica, cioè mediante l'azione e l'interazione degli atomi di carbonio, azoto, ossigeno e così via che li compongono. In terzo e ultimo luogo, la fisica atomica, che ora viene compresa nel modo più completo grazie alla meccanica quantistica, deve essere formulata considerando la mente come una delle componenti primarie del sistema.

L'informatica sta svolgendo un ruolo sempre più importante nelle neuroscienze, consentendo ai ricercatori di raccogliere, analizzare e comprendere meglio i dati provenienti dal cervello umano; nello specifico, il progresso tecnologico ha spinto gli studiosi a ritenere che attraverso una scansione sufficientemente dettagliata dello stesso fosse possibile produrre un software con la stessa struttura computazionale.

La neuroanatomia consentirebbe, sezionando un cervello reale in strati sottili e scansionando le singole parti, di creare un'accurata ricostruzione 3d da implementare su un computer sufficientemente potente. Il risultato, se pienamente riuscito, sarebbe una copia digitale dell'intelletto originario, con una fotografia di dettaglio di tutti i neuroni e delle loro connessioni, capace di riprodurre l'intelligenza, la personalità e la memoria dell'individuo da cui questo è tratto. In questo modo, la mente umana emulata esisterebbe sotto forma di software in un computer.

La mente, dunque, può risiedere in una realtà virtuale e interfacciarsi con il mondo esterno per mezzo di appendici robotiche. È il caso di studio delle interfacce cervello-computer, dall'inglese *Brain-Computer Interface* (BCI), dove i ricercatori stanno lavorando per sviluppare dispositivi che permettono di controllare un computer o altri dispositivi tecnologici utilizzando solo l'attività cerebrale.

16. A Ardigò, *Un nuovo processo mimetico: le ricerche di " intelligenze artificiali" Interrogativi ed ipotesi di rilevanza*, in M. NEGROTTI, a cura di, *Intelligenze artificiali e scienze sociali*, Angeli, Milano, 1984, pp. 30-47.

17. F. Romeo, *Lezioni di logica ed informatica giuridica*, Giappichelli, Torino 2012.

18. M. Kunda, M. McGann, *Hybrid AI: From rule-based expert systems to deep neural networks*, in *Frontiers in Systems Neuroscience*, 2019.

3 La decodifica del cervello umano: *le Brain Computer Interface*.

A partire dagli anni '90, definiti da George H. W. Bush "*Decade of the Brain*", l'intelligenza umana, grazie a una lunga e graduale evoluzione biologica e culturale, è riuscita a sviluppare degli strumenti cognitivi e tecnologici atti a permettere di "guardare" all'interno del cervello, di divulgare la sua rappresentazione attraverso neuro-immagini, nonché di registrare, monitorare, interpretare e modulare i correlati neurali dei processi mentali con un crescente grado di precisione e risoluzione¹⁹.

All'elettroencefalografia (EEG), alla risonanza magnetica funzionale (in inglese functional magnetic resonance imaging o fMRI) e alla risonanza magnetica nucleare (RM) si sono aggiunte nel tempo numerose altre tecniche tra cui la tomografia a emissione di positroni (PET), la magnetoencefalografia (MEG), la spettroscopia funzionale nel vicino infrarosso (fNIRS) e l'elettrocortigrafia (ECoG).

Nel processo di decodifica del cervello ha influito non solo il potenziamento a livello hardware di questi strumenti, ma anche e soprattutto il miglioramento dei software di analisi delle informazioni, basati su sistemi di intelligenza artificiale.

Il sottoinsieme dell'IA che assume rilievo nell'attività di lettura dei dati neurali è il *Machine Learning*²⁰, ossia quel metodo di analisi che permette a un elaboratore intelligente di migliorare le proprie capacità e prestazioni nel tempo, senza che questo sia stato esplicitamente programmato a tale scopo, imparando dai dati e con intervento umano ridotto al minimo²¹.

Invero, le registrazioni cerebrali ottenibili tramite EEG, fMRI o fNIRS, se analizzate attraverso metodi di apprendimento automatico, possono essere utilizzate per rivelare, mappare e comprendere processi cognitivi e/o stati emotivi. Si tratta di informazioni ricavabili dalla costruzione di uno o più modelli matematici, una volta identificate le correlazioni esistenti tra grandi masse di dati.

I *neurodevice* possono essere destinati a raccogliere segnali provenienti dal cervello, secondo lo schema proprio del sistema di connessione cervello e computer (Brain-Computer Interface, BCI), oppure volti a inviarli, come nel caso degli strumenti di stimolazione cerebrale profonda (Deep Brain Stimulation, DBS). In realtà, lo sviluppo delle ricerche ha consentito, da un lato, la realizzazione di *chip* sempre più piccoli e precisi nonché, dall'altro, la produzione di tecnologie ibride, in grado sia di monitorare l'attività cerebrale, per decodificare e raccogliere i segnali, sia di intervenire su di essa²².

Nello specifico, le BCI sono tecnologie che, sfruttando l'attività neurale, permettono di creare un canale di comunicazione diretta tra il cervello e un dispositivo esterno, senza il coinvolgimento dei processi neuromuscolari²³.

Le interfacce neurali sono state sviluppate principalmente nel contesto dell'ingegneria biomedica e della neuroingegneria, per fornire supporto funzionale e ausilio alle persone con disabilità. L'EEG²⁴, la fMRI e la fNIRS, sono alcune delle tecnologie utilizzate per rilevare l'attività cerebrale e creare l'interfaccia tra il cervello e il dispositivo esterno.

Queste tecnologie sono particolarmente utili per persone che hanno subito lesioni cerebrali o che soffrono di malattie neurodegenerative come la Sla (sclerosi laterale amiotrofica). Ad esempio, grazie alle BCI, è possibile controllare protesi elettroniche come bracci meccanici, senza la necessità di movimenti fisici. In questo modo, le BCI possono migliorare la qualità della vita delle persone con disabilità e aiutarle a svolgere le attività quotidiane.

Inoltre, le BCI possono anche essere utilizzate per la ricerca sulle funzioni cerebrali. L'elettroencefalografia, ad esempio, permette di rilevare l'attività elettrica del cervello e studiare le funzioni cognitive come l'attenzione, la memoria e l'apprendimento²⁵. La

19. D.S. Weisberg, *The Seductive Allure of Neuroscience Explanations*, in *Journal of Cognitive Neurosciences*, 3, 2008.

20. M. I. Jordan, T. M. Mitchell, *Machine Learning: Trends, perspectives and prospects*, in *Science* vol. luglio 2015.

21. Nei sistemi di *Machine Learning*, diversamente dai software di *Good Old Fashioned Artificial Intelligence* (GOF AI), basati sulla capacità del programmatore di scomporre il problema in tante parti e programmare la macchina per farla comportare in un certo modo, è necessario procedere per tentativi, sperimentando i vari metodi di insegnamento e valutando in che misura la macchina impara. Si veda: A. M. Turing, *Computing machinery and intelligence*, in *Mind* 49: 433-460, 1950, p. 456.

22. S. Fuselli, *Neurotecnologie e tutela dell'integrità psichica. Profili filosofico-giuridici di un mutamento in atto*, *Journal of Ethics and Legal Technologies* 2020; Volume 2.

23. C. Guger, B. Z. Allison, *Brain-computer interface research: a state-of-the-art summary*, in *Journal of neural engineering*, 2019.

24. Una grande parte della ricerca neuroscientifica si basa sull'elettroencefalogramma (EEG). Il motivo per cui molti ricercatori scelgono l'EEG è dovuto alla sua elevata risoluzione temporale, facilità d'uso e costo relativamente basso. Oltre a queste caratteristiche di base, il principale vantaggio dell'EEG è che è stato ampiamente studiato, a partire dalla sua prima applicazione da parte di Berger nel 1929. H. BERGER, *Ueber das Elektroencephalogramm des Menschen (About the electroencephalogram of the human)* Eur. Arch. Psychiatry Clin. Neurosci. 87 527-70, 1929.

25. C. A. Kothe, S. Makeig, *Bcilib: a platform for brain-computer interface development*, in *Journal of neural engineering*, 10(5), 2013.

fMRI²⁶, invece, consente di rilevare l'attività metabolica del cervello e di studiare le regioni cerebrali coinvolte in processi come le emozioni, il linguaggio e la percezione visiva²⁷.

Le moderne BCI possono essere distinte in due tipi: invasive e non invasive. Le BCI invasive registrano la segnalazione cerebrale attraverso l'impianto chirurgico di serie di elettrodi all'interno del cervello o direttamente collegati al sistema nervoso centrale. Le BCI non invasive interfacciano la segnalazione cerebrale tramite tecnologie di neuroimaging come l'EEG che registrano l'attività cerebrale attraverso elettrodi posti all'esterno del cranio. Sia le BCI invasive che quelle non invasive stabiliscono un'interazione diretta tra il cervello dell'utente e un dispositivo informatico.

L'ambito della ricerca sulle interfacce cervello-computer ha avuto inizio cinquant'anni fa presso l'Università della California grazie a importanti finanziamenti del Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti²⁸. Nel 1973, Jacques Vidal, ex tenente dell'Air Force belga, pubblicò un articolo pionieristico sulla comunicazione diretta tra cervello e computer, coniato per la prima volta il termine "interfaccia cervello-computer" o BCI²⁹. Nel suo articolo, Vidal presentava un prototipo di interfaccia cervello-computer in grado di tradurre l'attività elettrica del cervello in comandi per un computer.

Il loro ruolo è quello di decodificare l'intenzione umana, o meglio di acquisire segnali cerebrali, analizzarli e tradurli in comandi che vengono trasmessi a dispositivi di output che eseguono le azioni desiderate; proprio per questa ragione sono spesso definite tecnologie di "brain reading", cioè di "lettura del cervello", facendo leva sull'analogia tra la possibilità di decodificare informazioni e stati mentali dai dati neurali e l'interpretazione funzionale di un testo scritto tramite la lettura³⁰.

In un recente studio, i ricercatori hanno utilizzato un BCI basato sull'elettroencefalografia per decodificare i pensieri di un gruppo di partecipanti mentre guardavano un video (Cortese et al., 2021)³¹. Utilizzando tecniche di *machine learning*, hanno mostrato che il BCI era in grado di distinguere tra pensieri associati alle diverse scene del video. Questi risultati dimostrano che è possibile utilizzare il BCI per decodificare i pensieri dei partecipanti con una buona precisione.

In un altro studio, i ricercatori hanno utilizzato un BCI basato sulla risonanza magnetica funzionale (fMRI) per decodificare i pensieri di un gruppo di partecipanti durante un compito di memoria³². Utilizzando un modello di apprendimento automatico, hanno dimostrato che il BCI era in grado di decodificare i ricordi dei partecipanti con una precisione superiore al 90%.

C'è da dire che allo stato attuale, i software di analisi dei dati neurali non forniscono informazioni dirette sul contenuto semantico (quindi sul significato) del pensiero, cioè non sono in grado di leggere realmente il pensiero, ma solo di evidenziare differenze di attivazione cerebrale durante differenti compiti cognitivi e da qui ricavare inferenze sui possibili pensieri.

È innegabile che strumenti tecnologici di questo tipo hanno l'evidente pregio di contribuire alla prevenzione e cura di malattie neurodegenerative: si pensi, ad esempio, ad esoscheletri e bracci meccanici azionati con neurotecnologie e, quindi, con mero pensiero.

È altresì vero, però, che le BCI se abbinate all'intelligenza artificiale, possono condurre all'esplorazione delle connessioni esistenti tra attività neurologica, coscienza e identità.

Se già da alcune decadi si è in grado di acquisire il dato neurale, è solo da poco tempo che si è in grado di elaborare queste informazioni con scopi inferenziali e predittivi. Questo perché il "machine learning" e altri approcci all'intelligenza artificiale, in particolare il "deep learning", hanno aperto delle frontiere completamente inesplorate per quanto riguarda l'analisi dei dati

26. La fMRI misura l'attività cerebrale rilevando i cambiamenti nel flusso sanguigno (risposta emodinamica) nel cervello. Ha una risoluzione spaziale molto migliore dell'EEG, ma la risoluzione temporale è bassa. Sfortunatamente, la fMRI necessita di attrezzature grandi e costose per l'acquisizione del segnale. N. K. Logothetis, J. Pauls, M. Augath, T. Trinath, A. Oeltermann, *Indagine neurofisiologica sulla base del segnale fMRI*, *Natura* 412, 2001. doi: 10.1038/35084005

27. J. R. Wolpaw, N. Birbaumer, D. J. Mcfarland, G. Pfurtscheller, T. M. Vaughan, *Brain-computer interfaces for communication and control*, in *Clinical neurophysiology*, 2002.

28. M. A. Lebedev, M. A. L. Nicolelis, *Brain-machine interfaces: from basic science to neuroprostheses and neurorehabilitation.*, in *Physiological reviews*, 97(2), 2017.

29. J. J. Vidal, *Toward direct brain-computer communication*, in *Annual review of biomedical engineering*, 4(1), 1973.

30. J.-D. Haynes, *Brain Reading: decoding mental states from brain activity in humans*, in J. Illes e B.J. Sahakian (a cura di), *The Oxford Handbook of Neuroethics*, Oxford, Oxford University Press (2011).

31. A. Cortese, L. Citi, G. Saggio, G. Vecchiato, F. Babiloni, *Decoding of video contents from EEG signals: a review of state-of-the-art and new perspectives*, in *Brain-Computer Interfaces*, 8(2), 2021.

32. T. Naselaris, D. E. Stansbury, J. L. Gallant, *Cortical representation of animate and inanimate objects in complex natural scenes*, in *Journal of physiology-Paris*, 109(1-3), 2015.

neurale, trovando correlazioni nascoste tra di essi che possono rendere comprensibile e gestibile quello che è il comportamento umano.

Proprio l'impiego di questi algoritmi lascia intravedere la possibilità, in un prossimo futuro, di decodificare contenuti mentali quali informazioni nascoste, esperienze visive, addirittura modelli predittivi del flusso di coscienza e scelte riguardanti non solo la programmazione neuro motoria, ma anche le intenzioni ed i punti di vista delle persone³³.

4 La comprensione della biologia cerebrale come fattore chiave nella progettazione di BCI funzionali

Per la creazione di un modello tecnologico attendibile è necessario comprendere alcune dinamiche biologiche.

Il cervello è un organo che interpreta il mondo esterno, trae informazioni da esso e lo influenza a sua volta; dunque, simulare esteriormente un cervello potrebbe non dire nulla su come questo funziona. Per tale motivo, alcuni progetti scientifici, come *lo Human Brain Project* (Hbp)³⁴ finanziato dall'Unione Europea o la *Brain Initiative*³⁵ statunitense, stanno portando avanti non solo un lavoro di mappatura del cervello umano ma anche un attento studio delle dinamiche che ne sottendono il funzionamento. Vi è una crescente attenzione per le tematiche biologiche e per il pensiero evuzionista; infatti, tanto la cognizione umana quanto quella animale, possono essere considerate componenti di un unico e generale processo evolutivo che pervade l'intero universo biologico e, proprio per la sua natura algoritmica, risulta simulabile in un calcolatore³⁶.

Un organismo vivente è un agente di razionalità limitata che non persegue un unico fine, ma segue regole empiriche che orientano il suo agire. La mente umana non si limita a quanto comunemente inteso con l'espressione «intelligenza», ma include anche la capacità di immaginazione, di pensare *out of the box*, in modo laterale e creativo, ricomprendendo persino l'empatia³⁷.

Un esempio è il processo di produzione linguistica, in cui l'informazione trasmessa non viene sempre esplicitata completamente, poiché la mente umana è in grado di riempire i vuoti di informazione tramite processi di deduzione e inferenza basati sull'esperienza e sui modelli di organizzazione delle conoscenze presenti nella mente stessa. Inoltre, la mente è in grado di giustificare la coerenza di sequenze di frasi che, dal punto di vista logico, potrebbero sembrare prive di connessione³⁸.

Se durante una conversazione telefonica viene detto «Paolo ha cambiato casa, sai», seguito da «Aspetta che vado a prendere l'agenda», la connessione logica tra i due eventi può essere giustificata solo tramite l'esperienza quotidiana che associa l'annuncio di un cambiamento di indirizzo alla necessità di annotarlo in agenda³⁹.

Per queste ragioni, negli ultimi anni, tra gli scienziati computazionali impegnati nell'intelligenza artificiale, l'interesse per i meccanismi sottostanti il funzionamento del cervello umano è cresciuto rapidamente. La meta è la creazione di computer di nuova generazione, assai potenti come architettura, per creare sosia della mente umana ed esporli a determinate sfide e rischi, in processi di controllo e decisione in cui, si dice, sentimenti e limiti di memoria potrebbero paralizzare il decisore umano anche più preparato⁴⁰.

Per comprendere come funziona il cervello umano, gli scienziati si sono avvalsi della neurobiologia e delle scienze cognitive, che hanno portato lo studio della mente molto più vicino a quello che chiamiamo scienza, rispetto a quello che chiamiamo filosofia. La

33. M. Ienca, *Intelligenza2. Per un'unione di intelligenza naturale e artificiale*, Rosenberg & Sellier Torino, 2019.

34. Il *Progetto Human Brain* (HBP) è un'iniziativa di ricerca multidisciplinare finanziata dall'Unione Europea, il cui obiettivo è comprendere il funzionamento del cervello umano attraverso l'integrazione di dati neuroscientifici, l'elaborazione di modelli computazionali e lo sviluppo di nuove tecnologie. K. Amunts, C. Ebell, J. Muller, M. Telefont, A. Knoll, T. Lippert, *The Human Brain Project: creating a European research infrastructure to decode the human brain*, in *Neuron*, 92(3), 574-581, 2016.

35. La *Brain Initiative* statunitense, invece, è un programma di ricerca analogo finanziato dal governo degli Stati Uniti, che mira a sostenere la ricerca e lo sviluppo di nuove tecnologie per comprendere il funzionamento del cervello umano e prevenire e curare malattie del sistema nervoso. T. R. Insel, S. C. Landis, F. S. Collins, *The NIH brain initiative*, in *Science*, 2013.

36. D. C. Dennet, *L'idea pericolosa di Darwin. L'evoluzione e i significati della vita*, Bollati Boringhieri, Torino 1997, p. 11.

37. H. Beck, *Scatterbrain: How the Mind's Mistakes Make Humans Creative, Innovative, and Successful*, Greystone Books, Vancouver (British Columbia), 2018.

38. A. Ardigò, G. Mazzoli, *Intelligenza artificiale. Conoscenza società*, Franco Angeli, Milano 1986, p. 67 e ss.

39. *Ibidem*.

40. A. Ardigò, G. Mazzoli, *op. cit.* p. 19.

mente è infatti una funzione del cervello umano, che è un sistema molto complesso nel quale i neuroni e le loro interconnessioni attraverso le sinapsi formano una struttura complicatissima che dal punto di vista fenomenologico esprime intelligenza, memoria e coscienza⁴¹.

La biologia applicata allo studio in-vitro del neurone è stata la prima grande spinta che ha generato l'indotto mediatico nei confronti del cervello. Tuttavia, a differenza di altri organi come il fegato, i reni e il cuore, formati da cellule organizzate in unità operative simili tra di loro, il cervello è composto da tante tipologie differenti di cellule neuronali, ognuna delle quali è dotata di funzioni diverse.

Negli anni '50 e '60, diverse discipline si stavano occupando dell'organo "cervello" seguendo direzioni diverse con l'obiettivo di rispondere al quesito: come si passa dal neurone alla formazione dei pensieri, delle emozioni, all'intero comportamento umano? In quel periodo, l'esplosione della psicologia sperimentale e della neuropsicologia, insieme all'elettrofisiologia e alla neurologia, spostarono l'attenzione dal cervello studiato attraverso i vetrini allo studio del neurone in azione. Questo ha permesso di passare dalla forma alla funzione e di entrare in una nuova era, in cui lo studio del neurone poteva finalmente essere effettuato dal vivo.

Inoltre, la comprensione della dinamica cerebrale è importante anche per la progettazione di interfacce intuitive e facili da usare per gli utenti finali. Ad esempio, la creazione di interfacce basate sulla comprensione della dinamica cerebrale nell'elaborazione del linguaggio può rendere i sistemi BCI più facili da usare e più precisi nell'esecuzione dei comandi dell'utente.

5 Dall'accessibilità al potenziamento umano: nuovi ambiti di ricerca

Negli ultimi anni, c'è stato un notevole interesse da parte della comunità scientifica e dell'industria per l'applicazione delle BCI non solo in campo clinico. Questo interesse è stato motivato da massicci finanziamenti pubblici e privati e dal crescente interesse per l'intelligenza artificiale e l'automazione. L'obiettivo è quello di sviluppare tecnologie avanzate in grado di interagire con il mondo fisico in modo affidabile e sicuro.

Secondo uno studio del 2019 pubblicato su *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, ci sono tre aree principali di applicazione delle BCI, ossia: il controllo di dispositivi, l'interazione uomo-computer e l'intelligenza artificiale⁴².

Le tecnologie BCI possono essere utilizzate per controllare dispositivi come le sedie a rotelle, le protesi robotiche e gli apparecchi domestici. Al riguardo, uno studio del 2021 pubblicato su PLOS ONE ha dimostrato come la BCI possa essere utilizzata per controllare un drone, consentendo agli utenti di muoversi in modo più efficiente e sicuro⁴³.

Un'altra area di applicazione delle BCI al di fuori dell'ambito clinico è l'interazione uomo-computer. Ad esempio, uno studio del 2019 pubblicato su *Frontiers in Neuroscience* ha dimostrato come le BCI possano essere utilizzate per controllare un avatar in un ambiente virtuale, offrendo agli utenti un'esperienza più immersiva e coinvolgente⁴⁴.

Infine, le BCI possono essere utilizzate per migliorare l'intelligenza artificiale, ossia per addestrare algoritmi di apprendimento automatico, consentendo loro di apprendere dai segnali neurali e migliorare la loro capacità di comprendere e interpretare i dati.

Dunque, negli ultimi decenni c'è stato un grande interesse nel ricavare informazioni sull'attività cerebrale in corso e sul suo significato effettivo, con applicazione delle interfacce cervello-computer dirette principalmente a fornire nuovi canali di comunicazione e controllo per persone gravemente disabili. Tuttavia, con i significativi miglioramenti nell'ambito di vista delle persone affidabilità e nell'usabilità dei sistemi BCI basati sull'elettroencefalografia, si è sviluppato un crescente interesse nel campo delle applicazioni della tecnologia BCI per gli utenti sani, introducendo nuovi tipi di applicazioni - a fini di potenziamento cognitivo (scopi di "enhancement") - e sfide significative da affrontare, come la necessità di sviluppare interfacce più affidabili e sicure e la necessità di garantire la privacy e la sicurezza dei dati neurali.

41. E. Di Mauro, *La mente umana e la mente artificiale*, Asterios Editore, Trieste 2019, p. 13 e ss.

42. V. A. Usachev, L. I. Voronova, V. I. Voronov, I. A. Zharov, V. G. Strel'nikov, "Neural Network Using to Analyze the Results of Environmental Monitoring of Water," *2019 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on-Board Communications*, Moscow, Russia, 2019, pp. 1-6.

43. C. Dumitrescu, I. M. Costea, A. Semenescu, *Using Brain-Computer Interface to Control a Virtual Drone Using Non-Invasive Motor Imagery and Machine Learning*, in *Appl. Sci.* 2021.

44. G. Ruffini, S. Dunne, E. Farres, I. Cester, P. C. Watts, A. Lecomte, ... & A. Soria-Frisch, *Wireless EEG/EOG/EMG for assessment of neurophysiological functions required in sports and neurorehabilitation*, *Frontiers in human neuroscience*, 2019.

Con *potenziamento cognitivo* si intende il miglioramento dei processi di acquisizione/generazione di conoscenza e comprensione della realtà circostante. Tali processi comprendono l'attenzione, la formazione della conoscenza, la memoria, il giudizio e la valutazione, il ragionamento e il calcolo, la risoluzione dei problemi e il processo decisionale, nonché la comprensione e la produzione del linguaggio⁴⁵.

Tra i progetti più significativi vi è quello avviato della startup *Neuralink* di Elon Musk, che punta a sviluppare una BCI impiantabile al fine di collegare l'intelligenza artificiale all'intelligenza naturale per realizzare un "*nuovo dominio cognitivo aumentato*", con applicazioni che non solo consentiranno di contenere gli effetti di patologie neurodegenerative e di potenziare le capacità cognitive ma, soprattutto, di archiviare i ricordi su un corpo esterno, amplificandoli o cancellandoli selettivamente⁴⁶.

Secondo il sito web ufficiale di Neuralink, l'azienda sta sviluppando un sottile filamento elettrico chiamato "N1", che può essere impiantato nel cervello umano attraverso una procedura chirurgica minimamente invasiva. Questo filamento è dotato di elettrodi che possono registrare l'attività neurale e stimolare i neuroni, aprendo la possibilità di inviare segnali elettrici al cervello e riceverne in risposta⁴⁷.

Un articolo pubblicato su Nature nel 2019 descrive come Neuralink abbia realizzato con successo impianti di sonda in cervelli di ratti e maiali, dimostrando la fattibilità dell'approccio proposto. Inoltre, è stato sviluppato un robot chirurgico in grado di posizionare con precisione i sottili filamenti nel cervello, riducendo al minimo il rischio di danni⁴⁸.

Musk ha presentato la visione di Neuralink come un modo per superare i limiti biologici dell'intelletto umano, consentendo una connessione diretta tra il cervello umano e l'intelligenza artificiale, sottolineando il potenziale di queste tecnologie nel migliorare la qualità della vita delle persone affette da disabilità neurologiche. Invero, le potenziali applicazioni terapeutiche di Neuralink sono molto promettenti, tuttavia l'ambito di grande interesse e dibattito riguardo questa BCI attiene al potenziamento delle capacità cognitive umane.

Musk ha dimostrato un forte interesse per il potenziamento umano e ha sostenuto l'importanza di sviluppare tecnologie che possano migliorare le prestazioni cognitive. La visione di Musk, si basa sulla convinzione che, attraverso la ricerca, sarà possibile integrare l'intelligenza artificiale e le capacità tecnologiche direttamente nel cervello umano per migliorare la memoria, l'apprendimento e la velocità di elaborazione mentale.

Nel settembre 2018, il Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti si è impegnato a investire 2 miliardi di dollari nei successivi cinque anni attraverso la *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA) per sviluppare una "interfaccia neurale" che consenta ai soldati di collegarsi con le macchine attraverso il pensiero⁴⁹. Questo programma di ricerca militare è chiamato N3 (*Next-Generation Non-Surgical Neurotechnology*) ed è stato avviato con l'obiettivo di creare due nuove tecnologie BCI per il monitoraggio del cervello in tempo reale e per il controllo remoto di dispositivi esterni.

Con il progetto N3, la DARPA mira a superare le limitazioni delle BCI tradizionali che richiedono l'impianto di elettrodi nel cervello attraverso interventi chirurgici invasivi. Al riguardo, la ricerca è incentrata, da un lato, sullo sviluppo di una "interfaccia neurale di lettura" che possa monitorare l'attività cerebrale in tempo reale, consentendo ai soldati di controllare dispositivi come droni, veicoli autonomi o attrezzature militari complesse semplicemente pensando a ciò che desiderano fare.

Dall'altro, la DARPA sta studiando una "interfaccia neurale di scrittura" che consenta ai soldati di inviare informazioni direttamente al cervello attraverso dispositivi esterni. Questa tecnologia potrebbe consentire ai soldati di ricevere informazioni critiche direttamente nel loro cervello, migliorando la velocità e l'efficienza delle comunicazioni sul campo di battaglia.

Il progetto N3 rappresenta un importante sforzo di ricerca e sviluppo nel campo delle interfacce neurali ma è importante sottolineare che il progetto è ancora in fase di sviluppo e che ci sono molte sfide tecniche e etiche da affrontare prima che queste tecnologie possano essere utilizzate operativamente.

45. M. A. Lebedev, I. Opris, M. F. Casanova, *Editorial: augmentation of brain function: facts, fiction and controversy*, Front. Syst. Neurosci. 2018. doi: 10.3389/fnsys.2018.00045

46. Neuralink, fondata da Elon Musk nel 2016, è un'azienda che si propone di sviluppare un'interfaccia cervello-computer avanzata.

47. Su Neuralink <https://neuralink.com/about/>.

48. Elon Musk's Neuralink: The tech inside Elon Musk's plan to wire brains to the internet. (2019, July 17). Nature. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/d41586-019-02174-y>.

49. DARPA website – "Next-Generation Non-Surgical Neurotechnology (N3)": <https://www.darpa.mil/program/next-generation-nonsurgical-neurotechnology>.

Il potenziamento delle BCI e delle neurotecnologie è anche un'area di interesse del *China Brain Project*, un'iniziativa avviata nel 2016 dal Governo della Repubblica Popolare Cinese per promuovere la ricerca e lo sviluppo delle neuroscienze⁵⁰. Il progetto mira a comprendere meglio il funzionamento del cervello umano e a sviluppare nuove tecnologie per migliorare la sua comprensione e manipolazione. Per raggiungere i suoi obiettivi il *China Brain Project* sta portando avanti una serie di iniziative, tra cui la mappatura dettagliata del cervello umano, la creazione di tecnologie avanzate per la registrazione e l'analisi delle attività cerebrali, lo sviluppo di nuovi modelli computazionali per simulare il cervello e la promozione della collaborazione tra scienziati e istituti di ricerca in Cina e in tutto il mondo.

Il progetto ha suscitato grande interesse e ha attirato l'attenzione internazionale. È stato paragonato al *Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies (BRAIN) Initiative* negli Stati Uniti e all'*Human Brain Project* europeo, entrambi conducono ricerche dirette a svelare i misteri del cervello umano.

Il 17 maggio 2019, durante il 3° *World Intelligence Congress* a Tianjin, è stato annunciato il primo *Brain-Computer Codec Chip* al mondo, chiamato *BC3* o *Brain Talker*. Questo chip è stato sviluppato in collaborazione tra l'Università di Tianjin e la *China Electronics Corporation*, ed è dotato di proprietà intellettuale completamente indipendente.

Il chip *BC3* è stato progettato specificamente per migliorare la tecnologia delle interfacce cervello-computer, per decodificare l'intento mentale di un utente attraverso segnali elettrici neurali, senza la necessità dei normali percorsi neuromuscolari del corpo umano. Grazie agli avanzamenti nelle tecnologie dei circuiti integrati e delle neuroscienze computazionali, il *BC3* è stato sviluppato con dimensioni compatte, una maggiore precisione nella decodifica, un'efficienza di calcolo migliorata e una comunicazione più rapida rispetto ai dispositivi di decodifica tradizionali. Cheng Longlong, *data scientist* di *China Electronics Corporation*, ha aggiunto che mentre continuano a lavorare per migliorare le prestazioni del *Brain Talker*, un giorno il *BC3* potrà contribuire in ambito medico, nell'istruzione, nell'autodisciplina, nella sicurezza, oltre che nei settori dei giochi e dell'intrattenimento.

Inoltre, diverse aziende stanno esplorando l'utilizzo delle interfacce neurali come accessori per i loro prodotti principali. Un esempio di ciò è la casa automobilistica Nissan, che ha sviluppato il sistema *Brain-to-Vehicle (B2V)*, una neurotecnologia EEG indossabile che collega il cervello del guidatore al veicolo. Attraverso algoritmi di elaborazione avanzati, il sistema è in grado di interpretare le intenzioni e le reazioni del guidatore in tempo reale. Ciò consente al veicolo di anticipare le azioni del guidatore e adattare di conseguenza il comportamento del veicolo stesso.

L'obiettivo di Nissan con il sistema *B2V* è migliorare l'esperienza di guida, rendendola più confortevole e sicura. Ad esempio, se il sistema rileva che il guidatore sta per eseguire un'azione come premere il pedale del freno, il veicolo può rispondere in modo più rapido ed efficiente, riducendo i tempi di reazione e migliorando la sicurezza complessiva.

Nissan ha presentato il sistema *B2V* al *Consumer Electronics Show (CES)* nel 2018, sottolineando il suo impegno nel combinare le neuroscienze con la tecnologia automobilistica per creare un futuro di guida più intuitivo e coinvolgente.

CTRL-Labs, azienda fondata nel 2015 e specializzata nello sviluppo di interfacce neurali, ha attirato l'attenzione di Facebook, ora Meta Platforms, che l'ha acquisita nel 2019, dichiarando che questa tecnologia potrebbe essere utilizzata per una varietà di applicazioni, tra cui la realtà virtuale e aumentata, i dispositivi indossabili e molto altro.

L'approccio di CTRL-Labs si basa sulla registrazione dei segnali neurali a livello periferico, catturando l'attività elettrica muscolare nei polsi degli utenti. Questi segnali vengono quindi interpretati da algoritmi avanzati per riconoscere l'intenzione dell'utente e tradurla in comandi per le macchine. Questa metodologia non invasiva e indossabile offre un'alternativa promettente rispetto alle tradizionali interfacce cerebrali, che richiedono l'impianto di elettrodi all'interno del cervello.

I progetti menzionati rappresentano solo una piccola parte dei numerosi studi e sviluppi nel campo delle BCI e delle neurotecnologie. Ciò che accomuna questi progetti è l'intento di intervenire esternamente sul substrato cerebrale; dunque, il cervello non è più l'organo imperscrutabile che è stato per secoli, osservabile solo tramite sezionamenti *post-mortem*, quando le sue funzioni sono ormai interrotte, ma al contrario diventa osservabile in tempo reale, con buona risoluzione e tramite un'ampia gamma di dati neurali.

50. J. Qiu, *Ricerca e sviluppo dell'intelligenza artificiale in Cina*, in *National Science Review*, Volume 3, Numero 4, dicembre 2016. <https://doi.org/10.1093/nsr/nww076>

6 Impatti sociali, legali ed etici

Il cervello svolge un ruolo fondamentale nel coordinamento delle funzioni vitali del corpo e nel supporto delle facoltà cognitive e mentali che definiscono l'identità di una persona. Queste facoltà includono la coscienza, la memoria, la percezione e il linguaggio. Dunque, con l'avanzamento delle tecnologie di *brain reading*, che mirano a decodificare l'attività cerebrale e i contenuti neurali, solleva preoccupazioni sulla potenziale interferenza nelle sfere più intime dell'individuo⁵¹. Se la decodifica dei contenuti cerebrali diventasse una realtà, si aprirebbero scenari in cui la segretezza delle esperienze e dei pensieri più intimi delle persone potrebbe essere compromessa. Ciò potrebbe portare all'identificazione delle persone attraverso le tracce neurali, all'uso delle neurotecnologie negli interrogatori, nelle decisioni giuridiche e nelle attività di prevenzione di atti criminali⁵².

Per questi motivi, l'etica deve essere considerata una vera e propria *soft engineer skill*. I ricercatori e gli sviluppatori di BCI hanno la responsabilità di condurre studi approfonditi per comprendere gli effetti delle BCI sul cervello umano e sulla salute mentale. È essenziale garantire che le BCI siano sicure, affidabili e non causino danni o rischi inaccettabili agli utenti. Questo richiede un approccio etico rigoroso nella progettazione, nello sviluppo e nella valutazione delle interfacce neurali⁵³.

Al riguardo, a livello internazionale, viene in rilievo la Dichiarazione Universale dei Diritti dell'Uomo; questa, adottata dall'Assemblea Generale delle Nazioni Unite nel 1948, rappresenta uno dei principali riferimenti normativi a livello internazionale per la protezione dei diritti fondamentali. Sebbene non si concentri specificamente sulle nuove tecnologie, i principi enunciati nella Dichiarazione hanno un'applicazione ampia e trasversale, inclusa l'etica delle nuove tecnologie come le BCI.

La Dichiarazione riconosce diversi diritti che sono rilevanti per lo sviluppo etico delle nuove tecnologie. Ad esempio:

1. Dignità umana (Art. 1): la dignità umana è un principio fondamentale che deve essere rispettato nello sviluppo e nell'utilizzo delle BCI. Ciò implica garantire che le tecnologie rispettino la dignità delle persone e non le degradino o le strumentalizzino.
2. Non discriminazione (Art. 2): le BCI non dovrebbero essere utilizzate per scopi discriminatori o per amplificare disuguaglianze esistenti. È importante evitare divari digitali e garantire che le BCI siano accessibili a tutti, indipendentemente dalle loro condizioni socio-economiche o disabilità. Tutti gli individui devono essere trattati con equità e senza discriminazione nell'accesso e nell'utilizzo delle tecnologie⁵⁴.
3. Privacy (Art. 12)⁵⁵: la privacy è un diritto umano fondamentale che dovrebbe essere preservato quando si utilizzano BCI. I dati neurali e le informazioni personali raccolte attraverso le BCI devono essere gestiti in modo da garantire la protezione della privacy degli individui.

Inoltre, la Commissione Europea ha creato nel 1991 un organismo consultivo indipendente, il Gruppo europeo sull'etica nella scienza e nelle nuove tecnologie (EGE)⁵⁶, che fornisce consulenza etica alle istituzioni europee su questioni legate alle nuove tecnologie. L'EGE svolge un ruolo importante nell'identificare e affrontare le sfide etiche associate allo sviluppo delle nuove tecnologie e nell'elaborare raccomandazioni per promuovere un utilizzo etico e responsabile delle stesse.

Inoltre, l'Unione Europea ha promosso iniziative per la definizione di principi etici specifici per le nuove tecnologie. Nel 2018 è stata pubblicata l'"*Ethics Guidelines for Trustworthy AI*" (Linee guida sull'etica per un'intelligenza artificiale affidabile), sviluppata dal Gruppo di esperti sull'intelligenza artificiale (*High-Level Expert Group on AI - AI HLEG*) della Commissione

51. M. Ienca, R. Andorno, *Verso nuovi diritti umani nell'era delle neuroscienze e delle neurotecnologie*, in *Scienze della vita, società e politica*, 2017.

52. A. Santosuosso, B. Bottalico, *Neuroscienze, connessioni e confini dell'individuo*, in *Sistemi intelligenti*, 2010.

53. R. Yuste et al., *Four ethical priorities for neurotechnologies and AI*, in *Nature*, 551(7679), 2017.

54. J.J. Hughes, *Human Enhancement and the Emergent Technopolitics of the 21st Century*, in M.C. Roco – W.S. Bainbridge (Ed. by), *Managing Nano-Bio-Info-Cogno Innovations*, Dordrecht, Springer, 2006.

55. L'articolo 12 afferma che: «Nessuno può essere oggetto di interferenze arbitrarie nella sua vita privata, nella sua famiglia, nel suo domicilio o nella sua corrispondenza, né di attacchi alla sua reputazione. Ogni individuo ha diritto alla protezione della legge contro tali interferenze o attacchi». Questo principio si applica anche alla sfera mentale e al diritto alla privacy mentale.

56. L'EGE è composto da un massimo di 15 esperti indipendenti nel campo dell'etica, delle scienze e delle nuove tecnologie. Questi esperti sono selezionati per le loro competenze e la loro esperienza nel campo dell'etica applicata e delle questioni etiche emergenti. L'EGE opera in modo indipendente e le sue attività sono regolate da un codice di condotta che assicura l'obiettività e l'imparzialità delle sue valutazioni.

Europea. Queste linee guida forniscono principi e raccomandazioni per lo sviluppo e l'utilizzo etico dell'intelligenza artificiale, inclusa l'interfaccia cervello-computer.

Le Ethics Guidelines for Trustworthy AI si basano su sette principi chiave che dovrebbero guidare lo sviluppo e l'utilizzo dell'IA:

1. Rispetto dei diritti fondamentali: l'IA dovrebbe essere sviluppata e utilizzata nel rispetto dei diritti umani, inclusa la dignità, la privacy, la non discriminazione e il benessere umano.
2. Bene comune: l'IA dovrebbe essere finalizzata a promuovere il benessere umano, la giustizia sociale e lo sviluppo sostenibile.
3. Autonomia: l'IA dovrebbe essere progettata per migliorare l'autonomia degli individui e non limitarla o manipolarla.
4. Giustizia: l'IA dovrebbe essere imparziale, garantire l'equità e prevenire discriminazioni ingiuste.
5. Trasparenza: gli algoritmi e i sistemi basati sull'IA dovrebbero essere trasparenti, comprensibili e spiegabili.
6. Diversità, non discriminazione e equità: l'IA dovrebbe promuovere la diversità, evitare la creazione o l'amplificazione di discriminazioni e garantire l'accesso equo alle opportunità offerte dall'IA.
7. Responsabilità: i creatori e gli utilizzatori dell'IA devono assumersi la responsabilità delle conseguenze delle loro decisioni e azioni⁵⁷.

Queste linee guida forniscono un quadro etico e normativo per lo sviluppo e l'utilizzo dell'intelligenza artificiale in Europa, promuovendone uno sviluppo affidabile, rispettoso dei diritti umani e in linea con i valori europei.

Ciò posto, emerge che la responsabilità dei ricercatori e degli sviluppatori di BCI si estende anche alla considerazione degli impatti sociali di queste tecnologie. È importante considerare le implicazioni sulla privacy mentale e la protezione dei dati neurali degli utenti. Le BCI potrebbero raccogliere informazioni altamente sensibili sulle attività cerebrali degli individui, il che solleva preoccupazioni riguardo alla sicurezza dei dati e al potenziale abuso o violazione della loro stessa riservatezza⁵⁸.

A tal proposito, vengono in rilievo ad esempio alcune normative e linee guida hanno affrontato queste questioni specifiche:

1. *General Data Protection Regulation* (GDPR): il Regolamento Ue 2016/679 fornisce un quadro normativo per la protezione dei dati personali, inclusi i dati neurali raccolti dalle BCI. Questo regolamento stabilisce principi e obblighi per garantire la sicurezza dei dati, il consenso informato degli individui e la trasparenza nella gestione dei dati personali.
2. *Health Insurance Portability and Accountability Act* (HIPAA): Negli Stati Uniti, l'HIPAA stabilisce regole per la protezione delle informazioni sulla salute degli individui. Questa normativa è rilevante per le BCI utilizzate nel contesto medico e richiede l'adeguata protezione dei dati neurali dei pazienti.
3. *Bioethics and Data Protection Frameworks*: alcuni paesi hanno sviluppato specifici quadri normativi per affrontare le sfide etiche e di protezione dei dati legate alle tecnologie neurali. Ad esempio, il Giappone ha adottato una serie di linee guida etiche per la ricerca e l'uso delle tecnologie neurali, comprese le BCI. Il *Ministero della salute, del lavoro e del welfare* ha stabilito principi etici per la ricerca sul cervello umano e la gestione dei dati neurali⁵⁹.
4. *European Group on Ethics in Science and New Technologies*: come menzionato in precedenza, l'EGE fornisce raccomandazioni etiche sulla scienza e le nuove tecnologie, comprese le BCI. Le raccomandazioni dell'EGE spesso si basano su principi etici fondamentali come il rispetto dei diritti umani e la dignità delle persone.

57. Le linee guida sono state sviluppate in un processo di consultazione pubblica e coinvolgimento degli stakeholder, al fine di riflettere una visione condivisa e inclusiva dell'IA etica.

58. M. Ienca et al. (2018), *Towards responsible research and innovation in the age of big data*, in *Science and Engineering Ethics*, 24(3), 2018.

59. Y. Takimoto, A. Shimanouchi, *Ethics Guideline Development for Neuroscience Research involving Patients with Mental Illness in Japan*, ABR (2023). <https://doi.org/10.1007/s41649-023-00240-x>

Soffermandosi sul contesto normativo europeo, il GDPR è una pietra miliare nella protezione dei dati personali e impone regole rigide sulla raccolta, l'elaborazione e la conservazione dei dati personali. Questo regolamento è applicabile a tutte le organizzazioni che operano nell'Unione Europea e fornisce una base giuridica solida per garantire la privacy e la sicurezza dei dati personali, inclusi i dati neurali raccolti dalle BCI. Il GDPR pone l'accento sul consenso informato, sulla trasparenza nell'uso dei dati personali e sulla necessità di adottare misure di sicurezza adeguate per garantire la protezione dei dati sensibili.

Dunque, si afferma con forza la necessità di un diritto alla privacy mentale, quale presupposto necessario per l'esercizio di ogni altro diritto che implica che gli individui abbiano il diritto di mantenere la riservatezza dei loro pensieri e delle loro emozioni, senza essere oggetto di intrusione o violazione. Ciò trova basi legali e costituzionali in diverse normative nazionali e internazionali.

In Italia, ad esempio, l'art. 24 della Costituzione tutela il diritto di difesa, che comprende il diritto al silenzio e l'inammissibilità di prove lesive dell'autodeterminazione. L'art. 220 del Codice di Procedura Penale vieta l'utilizzo di perizie criminologiche come strumento invasivo nell'ambito processuale. Inoltre, l'art. 48 della Costituzione garantisce la segretezza del voto, che rappresenta un esempio di tutela della privacy mentale nell'ambito politico.

Inoltre, i diritti all'invulnerabilità del domicilio (art. 14 Cost.) e alla segretezza della corrispondenza (art. 15 Cost.) costituiscono ulteriori garanzie di privacy mentale⁶⁰.

A ciò si aggiunga che l'art. 9 del GDPR, prevede un divieto generale di trattamento dei dati che rivelino, tra l'altro, le opinioni politiche, le convinzioni religiose o filosofiche, l'appartenenza sindacale, nonché dei dati relativi alla salute, alla vita sessuale o all'orientamento sessuale di una persona. Sono, altresì, previste specifiche garanzie con riguardo all'attività di profilazione intesa come qualsiasi trattamento automatizzato di dati personali consistente nel loro utilizzo per analizzare o prevedere aspetti riguardanti tra l'altro le preferenze personali, gli interessi, l'affidabilità e il comportamento degli individui.

La questione della riservatezza mentale e protezione dei dati personali diventa cruciale in questo contesto, poiché i dati neurali potrebbero rivelare informazioni personali altamente intime. È necessario stabilire un quadro normativo che garantisca la protezione di queste informazioni sensibilissime, il consenso informato degli individui e la limitazione dell'accesso non autorizzato a tali informazioni.

Inoltre, il possibile uso delle neurotecnologie nel contesto giuridico e investigativo pone ulteriori criticità. L'impiego di tali strumenti negli interrogatori potrebbe sollevare dubbi sulla coercizione e sulla violazione dei diritti individuali. Inoltre, l'utilizzo delle informazioni neurali come prova in decisioni giuridiche potrebbe sollevare questioni sulla validità scientifica e sull'interpretazione delle tracce neurali come indicatori di comportamento o intenzioni criminali.

Per quanto concerne la prevenzione di atti criminali, mentre la possibilità di identificare segnali neurali associati a determinati comportamenti o intenzioni può sembrare promettente dal punto di vista della sicurezza pubblica, è essenziale bilanciare la protezione della società con il rispetto dei diritti individuali, come la presunzione di innocenza e il diritto alla riservatezza.

Per tutto quanto sopra esposto, indubbiamente la protezione della mente umana e la salvaguardia della sua intimità sono questioni di fondamentale importanza nell'era delle nuove tecnologie neurali.

La mente è il luogo interno in cui si formano le idee, le opinioni e le credenze che costituiscono l'essenza stessa di un individuo. Pertanto, è cruciale garantire che le innovazioni tecnologiche rispettino la dignità umana e non invadano lo spazio mentale individuale. Questo obiettivo richiede l'adozione di standard tecnici e giuridici che pongano un perimetro inviolabile attorno alla mente umana.

È importante sottolineare che l'etica e la protezione dei dati neurali non sono solo una questione normativa, ma richiedono anche un dibattito e uno sviluppo continuo nel contesto scientifico. Gli studiosi e gli esperti delle neuroscienze e dell'etica stanno affrontando queste tematiche attraverso pubblicazioni accademiche, conferenze e discussioni sulle implicazioni etiche e sociali delle tecnologie neurali.

60. A. Di Martino, *Profili costituzionali della privacy in Europa e negli Stati Uniti*, Jovene, Napoli 2017.

Bibliografia

- Amunts K., Ebell C., Muller J., Telefont M., Knoll A, Lippert T., The Human Brain Project: creating a European research infrastructure to decode the human brain, in *Neuron*, 92(3), 574-581, 2016.
- Ardigò A., Mazzoli G., *Intelligenza artificiale. Conoscenza società*, Franco Angeli, Milano 1986.
- Ardigò A., Un nuovo processo mimetico: le ricerche di " intelligenze artificiali» Interrogativi ed ipotesi di rilevanza, in M. NEGROTTI, a cura di, *Intelligenze artificiali e scienze sociali*, Angeli, Milano, 1984.
- Beck H., *Scatterbrain: How the Mind's Mistakes Make Humans Creative, Innovative, and Successful*, Greystone Books, Vancouver (British Columbia), 2018.
- Berger H., Ueber das Elektrenkephalogramm des Menschen (About the electroencephalogram of the human) *Eur. Arch. Psychiatry Clin. Neurosci.* 87 527-70, 1929.
- Bostrom N., *Superintelligenza. Tendenze, pericoli, strategie*, trad. S. Frediani (a cura di), Bollati Boringhieri, Torino 2018.
- Brancacci, A. *Studi su Platone e il platonismo*, Edizione di Storia e letteratura, Roma 2017.
- Chomsky N., *Rules and Representations*, Columbia University Press, Oxford, 1980.
- Colom R., Ballesteros S., The Role of Cognitive Plasticity in Cognitive Training Outcomes, *Frontiers in Aging Neuroscience*, 2017.
- Cortese, C. Citi, L. Saggio G., Vecchiato G., Babiloni F., Decoding of video contents from EEG signals: a review of state-of-the-art and new perspectives, in *Brain-Computer Interfaces*, 8(2), 2021.
- Damasio A., *L'errore di Cartesio*, Adelphi, Milano 1995, p. 106.
- Demirtaş M. Grouiller F., Vollenweider F. X., Characterization and modulation of intrinsic electrophysiological brain connectivity, in *Nature Neuroscience*, 2020.
- Dennet D. C., *L'idea pericolosa di Darwin. L'evoluzione e i significati della vita*, Bollati Boringhieri, Torino 1997.
- Descartes R., *Le passioni dell'anima*, artt. XXVII-XXIX; XXXI-XXXII; XXIV-XXXVI; XL-XLI, in *Opere filosofiche*, a cura di E. LOJACONO, TORINO, Utet, 1994.
- Di Mauro E., *La mente umana e la mente artificiale*, Asterios Editore, Trieste 2019.
- Dumitrescu C., Costea I. M., Semenescu A., Using Brain-Computer Interface to Control a Virtual Drone Using Non-Invasive Motor Imagery and Machine Learning, in *Appl. Sci.* 2021.
- Ed Pastuzyn, Ce Day, Rb Kearns, M. Kyrke-Smith, Av Taibi, J. McCormick, N. Yoder, Dm Belnap, S. Erlendsson, Dr Morado, Jag Briggs, C. Feschotte, Jd Shepherd, The Neuronal Gene Arc Encodes a Repurposed Retrotransposon Gag Protein that Mediates Intercellular RNA Transfer, in *Cell.* 2018.
- Fuselli S., *Neurotecnologie e tutela dell'integrità psichica. Profili filosofico-giuridici di un mutamento in atto*, *Journal of Ethics and Legal Technologies* 2020; Volume 2.
- Gardner H., *Frames of mind: The theory of multiple intelligences*, Basic books, 1983.
- Gottfredson L. S., *Mainstream science on intelligence: an editorial with 52 signatories, history, and bibliography*, in *Intelligence*, 1997.
- Guger C., Allison B. Z., *Brain-computer interface research: a state-of-the-art summary*, in *Journal of neural engineering*, 2019.
- Haynes J.-D., *Brain Reading: decoding mental states from brain activity in humans*, in J. Illes e B.J. Sahakian (a cura di), *The Oxford Handbook of Neuroethics*, Oxford, Oxford University Press (2011).
- Hughes J.J., *Human Enhancement and the Emergent Technopolitics of the 21st Century*, in M.C. ROCO – W.S. Bainbridge (Ed. by), *Managing Nano-Bio-Info-Cogno Innovations*, Dordrecht, Springer, 2006.

- Lenca M. et al. (2018), Towards responsible research and innovation in the age of big data, in *Science and Engineering Ethics*, 24(3), 2018.
- Lenca M., Andorno R., Verso nuovi diritti umani nell'era delle neuroscienze e delle neurotecnologie, in *Scienze della vita, società e politica*, 2017.
- Lenca M., *Intelligenza. Per un'unione di intelligenza naturale e artificiale*, Rosenberg & Sellier Torino, 2019.
- Insel T. R., Landis S. C., Collins F. S., The NIH brain initiative, in *Science*, 2013.
- Jordan M. I., Mitchell T. M., Machine Learning: Trends, prospectives and prospects, in *Science* vol. luglio 2015.
- Kothe C. A., Makeig S., Bcilab: a platform for brain-computer interface development, in *Journal of neural engineering*, 10(5), 2013.
- Kunda M., Mcgann M., Hybrid AI: From rule-based expert systems to deep neural networks, in *Frontiers in Systems Neuroscience*, 2019.
- Lebedev M. A., Nicolelis M. A. L., Brain-machine interfaces: from basic science to neuroprostheses and neurorehabilitation., in *Physiological reviews*, 97(2), 2017.
- Lebedev M. A., Opris I., Casanova M. F., Editorial: augmentation of brain function: facts, fiction and controversy, *Front. Syst. Neurosci.* 2018. doi: 10.3389/fnsys.2018.00045.
- Logothetis N. K., Pauls J., Augath M., Trinath T., Oeltermann A., Indagine neurofisiologica sulla base del segnale fMRI, *Natura* 412, 2001. doi: 10.1038/35084005.
- Naselaris T., Stansbury D. E., Gallant J. L., Cortical representation of animate and inanimate objects in complex natural scenes, in *Journal of physiology-Paris*, 109(1-3), 2015.
- Nussbaum M. C., *The fragility of goodness: Luck and ethics in Greek tragedy and philosophy*, Cambridge University Press, Cambridge 1992.
- Qiu J., Ricerca e sviluppo dell'intelligenza artificiale in Cina, in *National Science Review*, Volume 3, Numero 4, dicembre 2016. <https://doi.org/10.1093/nsr/nww076>.
- Romeo F., *Lezioni di logica ed informatica giuridica*, Giappichelli, Torino 2012.
- Ruffini G., Dunne S., Farres E., Cester I., Watts P. C., Lecomte A., ... & A. Soria-Frisch, Wireless EEG/EOG/EMG for assessment of neurophysiological functions required in sports and neurorehabilitation, *Frontiers in human neuroscience*, 2019.
- Russell S., Norvig P., *Artificial Intelligence. A Modern Approach*, Pearson Education (US), United States (2020).
- Santuosso A., Botalico B., *Neuroscienze, connessioni e confini dell'individuo*, in *Sistemi intelligenti*, 2010
- Searle J., *La mente nuova dell'imperatore*, Rizzoli, Milano 1992.
- Takimoto Y., Shimanouchi A., Ethics Guideline Development for Neuroscience Research involving Patients with Mental Illness in Japan, *ABR* (2023). <https://doi.org/10.1007/s41649-023-00240-x>
- Turing A. M., Computing machinery and intelligence, in *Mind* 49: 433-460, 1950.
- Usachev V. A., Voronova L. I., Voronov V. I., Zharov I. A., Strelnikov V. G., "Neural Network Using to Analyze the Results of Environmental Monitoring of Water," 2019 *Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on-Board Communications*, Moscow, Russia, 2019.
- Vidal J. J., Toward direct brain-computer communication, in *Annual review of biomedical engineering*, 4(1), 1973.
- Weisberg D.S., The Seductive Allure of Neuroscience Explanations, in *Journal of Cognitive Neurosciences*, 3, 2008.
- Wolpaw J. R., Birbaumer N., Mcfarland D. J., Pfurtscheller G., Vaughan T. M., Brain-computer interfaces for communication and control, in *Clinical neurophysiology*, 2002.
- Yuste R. et al., Four ethical priorities for neurotechnologies and AI, in *Nature*, 551(7679), 2017.