

Alberto Oliverio

Dall'arte della memoria alla mente estesa e alle neuroprotesi

Abstract: Mnemotechnics or the “art of memory” is no longer part of our cultural heritage but, at one time, it was exercised and greatly appreciated starting from Marcus Tullius Cicero who used it to better remember his perorations. However, it was the mnemonists who between the fifteenth and sixteenth centuries developed a real method of remembering, based on creating associations between the material to be learned and images of known places or “loci”. Mnemotechnics was a first attempt to expand mental functions and laid the groundwork for a dispute between advocates of tight localization of brain functions and supporters of holism.

As neuroscientific knowledge about memory progressed, the existence of an “extended mind” based on the use of technologies that amplify cognitive capabilities was discussed. In line with the concept of the extended mind, the development of neurotechnologies poses the problem of an enlarged mind that implies a fusion of natural and artificial minds. It is therefore right to ask the question in terms of the repercussions on the concepts of person, identity, free will, etc. The advent of brain-brain communication devices also amplifies the problems associated with the agent, responsibility and responsibility of actions, problems that have their distant roots in the mnemotechnics of mnemonists and in the idea of a mind with higher abilities.

1. L'arte della memoria

Il potenziamento delle funzioni mentali, in particolare della memoria, ha una lunga storia le cui tracce risalgono, per quanto ci è dato sapere, alle capacità straordinarie di un lirico dell'antica Grecia, Simonide di Ceo. Nel *De oratore* Cicerone racconta la leggenda di Simonide, l'inventore dell'arte della memoria: Simonide, sfuggito miracolosamente al crollo di una sala in cui si trovava a banchettare con altri invitati, seppe identificare i corpi dei vari commensali, resi irriconoscibili dalle ferite, ricordandosi del posto che essi occupavano a tavola. Fu questo evento che avrebbe portato Simonide a sostenere l'importanza dell'ordine e delle immagini per la memoria.

«Egli [Simonide], pertanto, a quanti esercitano questa facoltà dello spirito, consiglia di fissare nel cervello dei luoghi e di disporvi quindi le immagini delle cose che vogliono ricordare. Con questo sistema l'ordine dei luoghi conserverà l'ordine delle idee, le immagini delle cose richiameranno le cose stesse, i luoghi fungeranno da tavolette per scriverci sopra e le immagini serviranno da lettere con cui scrivere» (Cicerone 1974).

L'“arte della memoria” non rientra più nel nostro patrimonio culturale ma, un tempo, veniva esercitata e sommamente apprezzata a partire da Marco Tullio Cicerone stesso che se ne serviva per meglio ricordare le sue orazioni. Furono però gli artisti della memoria che nel Quindicesimo secolo elaborarono un vero e proprio metodo per ricordare, fondato sul creare associazioni tra il materiale da apprendere – un sonetto, un codice giuridico – e immagini di luoghi noti o “loci”, quali potevano essere le case che si affacciavano sulla piazza principale, le stanze della propria casa ecc. Così Paolo Rossi ci ricorda che Pietro da Ravenna, grande artefice dell'*Ars memorandi* del Quindicesimo secolo, decanta i successi legati al suo modo di applicare la dottrina dei luoghi: “*in diciannove lettere dell'alfabeto ho collocato ventimila passi del diritto canonico e civile, settemila libri sacri, mille carmi di Ovidio, duecento sentenze di Cicerone...*” (Rossi 1991).

Pietro da Ravenna – o Pietro Tomai – così espone il suo modo di applicare la dottrina dei luoghi e delle immagini. Una chiesa poco frequentata può essere una buona base di lavoro per l'artista della memoria: si fa per tre-quattro volte il giro della chiesa e al ritorno a casa si ripetono più volte i loci. In ogni luogo si collocano parole, frasi, pagine di un libro che si intende memorizzare, così da concatenare il materiale da memorizzare alla sequenza logica dei luoghi. L'ingrato compito dell'artista della memoria poteva però essere facilitato da opportuni artifici: “*solitamente – riferisce Pietro Tomai – colloco nei luoghi delle fanciulle formosissime che eccitano molto la mia memoria: più facilmente posso così ripetere le nozioni che avevo affidato ai luoghi*” ...

Alle spalle degli artisti della memoria e alle origini delle loro teorie vi era un'antica tradizione: da un lato Aristotele e una concezione “psicofisiologica” della memoria, dall'altro Platone e una concezione gnostico-ermetica. Mentre Aristotele riteneva che la memoria implicasse la persistenza nel tempo di una realtà intatta e continua e che la reminiscenza consentisse di recuperare qualcosa che si possedeva e che era stato dimenticato, la tradizione platonica e quindi gnostico-ermetica guarda alla memoria in modo decisamente diverso: “*all'origine sta un possesso che un tempo era presente e in seguito è stato perduto. Quella perdita si configura come una colpa. L'oblio è costitutivo dell'origine. Il mondo, per la tradizione gnostico-ermetica, sarà terra oblivionis e il sapere un tentativo di recuperare una divina, originaria sapienza segreta e perduta*” (Rossi 1991).

L'arte della memoria diventa quindi un mezzo per far corrispondere mente e Universo, micro e macrocosmo. Per Giulio Camillo e Giordano Bruno, due tra i più celebri cultori di quest'arte, l'artista della memoria diviene il possessore della chiave universale che è invece nascosta ai comuni mortali. Le immagini mentali cui sono associati i saperi da ricordare sono quindi altamente evocative in quanto aprono degli spiragli su trame metafisiche della realtà.

2. Le immagini e la memoria

La storia dell'arte della memoria ci rimanda ad un'antica contesa tra i sostenitori di una logica “fantastica” e i sostenitori di una logica metodica, prevalente-

mente intesa a classificare e sistematizzare lo scibile. Infatti, Pietro da Ravenna, e con lui Giordano Bruno ed altri artisti della memoria, guardavano alla memoria nell'ambito di un primato delle immagini e delle emozioni, dove i luoghi – e le “fanciulle formosissime” – contribuivano a dar forma ai percorsi della mente. Ma in seguito, con Pietro Ramo, Raimondo Lullo e Giulio Camillo, si affermò una vera e propria iconoclastia: la condanna delle immagini emozionanti e delle fantasie era infatti funzionale ad un'arte della memoria di tipo logico, rivolta ad un vero e proprio progetto enciclopedico. I luoghi, le stanze di una casa o i rami di un albero, diventavano perciò i contenitori di un sapere sistematico da ordinare in apposite “cassettiere”, strutture logiche adatte a fare ordine: così un albero cessa di essere un'immagine viva cui associare un ricordo, come nel caso di Pietro da Ravenna, per tramutarsi in un percorso formale su cui ordinare l'informazione che va incasellata procedendo dalle radici al tronco, ai grossi rami, alle branche, ai rametti, alle foglie...

Cosa ci dice l'antica arte della memoria sulle attuali posizioni riguardo la memoria e le neuroscienze? È possibile rintracciare nelle lontane contese tra i sostenitori del primato delle immagini, cioè di una “logica fantastica”, e i sostenitori di una logica sistematica, nel cui ambito la memoria diviene prevalentemente un metodo per classificare la realtà, le lontane radici della contesa tra i fautori dell'olismo ed i sostenitori di una rigida organizzazione della memoria? Questi interrogativi hanno spesso ricevuto delle risposte ispirate a rigide dicotomie: ad esempio, molti hanno affermato che ad un certo punto, in seguito alla sconfitta dei sostenitori di una memoria per immagini e dell'olismo, sia prevalsa la concezione di un cervello inteso come un deposito di ricordi fissi, un grande magazzino di memorie rigorosamente classificate in alcuni siti o localizzazioni cerebrali. Un cervello-cassettiera, insomma, in cui le percezioni della realtà esterna, elaborate dal sistema nervoso, verrebbero confrontate con le immagini apprese e memorizzate in precedenza, simili alle informazioni codificate dalla memoria di un computer. La memoria per immagini, basata su complesse e ricche associazioni, è stata così contrapposta ad una memoria che costituisce uno “stampo” della realtà e delle esperienze.

Forte sostenitore dell'impatto delle immagini sulla mente fu Ignazio di Loyola, dopo essere stato ferito nella difesa di Pamplona nel 1521, abbandonò la vita militare per dare vita alla Compagnia di Gesù. S. Ignazio è ancora noto, oltre che per aver fondato la congregazione dei Gesuiti, per il suo Libro degli esercizi spirituali, un libro pervaso da ardore ascetico e rivolto alla salvezza delle anime. Per non incorrere nel peccato ed evitare la dannazione perpetua, i fedeli dovevano raffigurarsi in modo estremamente verosimile la condizione infernale: si trattava di visualizzare immagini di sofferenza e dolore, accompagnate da lamentazioni e dallo stesso odore dello zolfo che si riteneva dovesse appettare l'inferno con i suoi fumi soffocanti. L'intenzione di S. Ignazio, come quella di gran parte dell'iconografia religiosa di quei secoli, era quella di creare forti immagini visive nella mente dei fedeli, tali da costituire vere e proprie memorie dell'inferno: poco importava che le memorie non corrispondessero alla realtà, era importante che esse rammentassero agli uomini le conseguenze dei loro peccati.

La strategia di S. Ignazio ci rimanda al potere delle immagini visive e ai loro effetti sulla memoria. Benché a quei tempi si sapesse poco o nulla di psicologia e di funzioni mentali, il fondatore della Compagnia di Gesù aveva notato come le immagini visive, anche se costruite ad arte, avessero un notevole potere sulla mente in quanto potevano essere scambiate per memorie reali: precedendo di qualche secolo le strategie dei comunicatori di massa e dei pubblicitari, i gesuiti si proposero pertanto di inserire “false memorie” dell’Inferno nella mente dei fedeli, anche se a fin di bene, ovviamente. Oggi sono stati studiati i legami che esistono tra percezioni visive, immagini mentali e memoria partendo da un fenomeno a tutti ben noto, quello della persona “nota ma sconosciuta”, una situazione in cui la mente si trova in una situazione conflittuale perché ha identificato nel suo archivio un volto noto, ha cioè rintracciato una memoria, ma non sa a chi esso corrisponda, non sa attribuirle un nome o una collocazione. Questa dissociazione tra il riconoscere e il ricordare dipende dalla maggior sensibilità del nostro cervello ai messaggi visivi che possono lasciarvi stabili tracce, anche senza dar luogo alla pienezza del ricordo, senza implicare la capacità di riconoscere quanto è noto. Eppure, malgrado questa incapacità di riconoscere quel volto, prestiamo fede alla nostra vista e riteniamo che il ricordo visivo sia veritiero, che esso rimandi a una memoria reale. La memoria dei sensi ha la meglio sulla capacità della mente di arrivare a riconoscere e contestualizzare il ricordo. Infatti, gli stimoli visivi che vengono colti dai nostri occhi e inviati alla corteccia visiva (la parte del cervello che corrisponde all’occipite che li decodifica e traduce in immagini della realtà) hanno una presa notevole sulla nostra mente. Essi ci dicono che ciò che vediamo è un evento “vero”, un’esperienza del mondo reale cui dobbiamo prestare fede perché ne siamo stati testimoni in diretta. L’esperienza ci dice che ciò che vediamo è degno di fede, ma la stessa corteccia occipitale che percepisce la realtà visiva produce le immagini mentali, dà vita alle caratteristiche di un oggetto che conosciamo o di una realtà che immaginiamo con la fantasia traducendola, appunto, in immagine. Il fatto che anche le immagini mentali siano prodotte e localizzabili con le tecniche di imaging nella stessa parte del cervello che decodifica gli stimoli visivi dà loro notevole potere, tant’è che gran parte della dimensione soggettiva delle nostre memorie corrisponde ad immagini visive.

Dunque, alcune memorie, come quelle spaziali legate al ruolo delle cellule di posizione dell’ippocampo e delle cellule griglia nella corteccia entorinale (Hafting et al. 2005), avrebbero una sede propria rimandando al ruolo di specifiche aree corticali come la corteccia parietale. Eppure, a questa concezione se ne contrappone spesso una di tipo olistico, secondo cui il cervello nel suo insieme elabora e codifica l’informazione. In realtà, queste due diverse posizioni partono da una base spesso debole, dalla semplificazione di attribuire a una funzione, ad esempio alla memoria, un significato vasto e generico che non tiene conto delle diverse componenti di questa funzione mentale. In quest’ottica, ogni componente della “macchina cerebrale” si riferirebbe a una funzione unitaria, senza tener conto delle sue diverse componenti e ruoli.

Il successo degli esperimenti di I.P. Pavlov sui riflessi condizionati e quello di B. F. Skinner sul condizionamento operante aveva portato a una semplificazione del

modello di memoria: molti ritenevano che il cervello fosse una rete di associazioni ognuna delle quali avrebbe comportato una risposta a uno specifico stimolo-chiave, così evocando una specifica memoria. Negli ultimi anni gli psicobiologi hanno cercato di delineare meglio i diversi aspetti della memoria, proprio in quanto lo studio della memoria di tipo associativo ha i suoi limiti (Oliverio 2021). Essi si sono perciò concentrati su due diverse grosse categorie della memoria: quella di tipo associativo, implicata nella formazione di abitudini, nel condizionamento o nelle memorie di tipo procedurale-motorio (come andare in bicicletta, allacciarsi le scarpe ecc.), e la memoria di tipo prettamente cognitivo che viene anche definita come memoria dichiarativa in quanto esprime un significato ed è generalmente collegata ad un codice astratto che, negli esseri umani, è di tipo linguistico. Mentre la prima forma di memoria è implicita e si basa su di un legame non-cognitivo tra uno stimolo ed una risposta e, generalmente, può non implicare la coscienza, le memorie di tipo dichiarativo sono esplicite e fanno invece capo a processi cognitivi coscienti. Un'altra differenza tra le due memorie, quella procedurale e quella dichiarativa, è che esse dipendono da diverse strutture cerebrali, come indicano gli studi compiuti da Squire e Zola-Morgan, su pazienti colpiti da differenti tipi di lesioni cerebrali: ad esempio, le lesioni del circuito ippocampo-corteccia temporale media si traducono in danni della memoria dichiarativa mentre la formazione di abitudini non è compromessa. (Squire & Zola-Morgan, 1985; Squire & Oliverio 1991). Infine, un'ulteriore differenza tra i due tipi di memorie è che quella di tipo associativo-procedurale è già evidente ai livelli inferiori della filogenesi e si presenta precocemente sin dalle prime fasi dello sviluppo umano: al contrario, la memoria di tipo dichiarativo compare tardivamente nel corso della filogenesi (con i mammiferi superiori) e si sviluppa più tardi di quella associativo-procedurale nel corso dello sviluppo postnatale.

3. Reti neurali e memoria

La strutturazione della memoria dipende quindi da diverse reti neurali e processi mentali che spesso vengono sacrificati o sottovalutati nelle concezioni essenzialmente neurobiologiche, concezioni che sottolineano essenzialmente le basi molecolari o elettrofisiologiche dei processi mnestici. Sin dall'inizio degli anni Cinquanta del Novecento le conoscenze sulla fisiologia del sistema nervoso erano approfondite ed era noto che i neuroni erano cellule eccitabili, che la loro eccitazione produceva una lieve e rapida variazione della loro carica elettrica e che questa, sotto forma di un'onda elettrica, viaggiava dal corpo del neurone verso la periferia delle sue diramazioni, eccitando così il neurone successivo. I neuroni si trasmettono quindi dei messaggi che però non implicano uno scambio diretto di corrente elettrica: giunta alla periferia del prolungamento del neurone (assone) o delle diramazioni cui quest'ultimo va incontro, l'onda elettrica produce la liberazione di molecole chimiche, i trasmettitori nervosi, che agiscono a livello della sinapsi sul neurone successivo, eccitandolo elettricamente. Forte di queste cono-

scenze, il fisiologo canadese Donald Hebb formulò un'ipotesi tuttora valida: egli immaginò che la memoria di lavoro corrispondesse ad alterazioni elettriche di un gruppo o una rete di neuroni connessi momentaneamente tra di loro da un flusso di corrente elettrica che percorre un circuito o loop neuronale che definì circuito riverberante per indicare che esso veniva percorso più volte, in forma ripetitiva dall'informazione (Hebb 1949). Hebb ipotizzò che in questa fase una forte scarica elettrica (come l'elettroshock), un'alterazione della funzione nervosa (come avviene in seguito a traumi cranici) o la presenza di un loop competitivo (come avviene in molti fenomeni di interferenza) potessero bloccare la trasformazione della memoria di lavoro dalla forma di instabile circuito riverberante in vero e proprio circuito nervoso, formato da una rete di neuroni connessi tra di loro da nuove e stabili sinapsi nervose. Il passaggio dalla memoria di lavoro a quella a lungo termine, cioè il consolidamento della traccia mnemonica, richiede che vengano formate nuove sinapsi nervose o che vengano rese stabili sinapsi che altrimenti sarebbero state eliminate. Il consolidamento, secondo Hebb, può venire paragonato al lavoro di un giardiniere che con la sua potatura di alcuni rami inutili o l'aggiunta di puntelli dà una forma organizzata e duratura alla chioma informe di un albero.

Fatte tali osservazioni, si può considerare quali siano le reti neurali da cui dipendono questi diversi aspetti della memoria. È ormai assodato che le memorie procedurali hanno al loro centro un circuito che parte dalla corteccia motoria, va ai gangli della base e da essi, attraverso il talamo, ritorna alla corteccia motoria. Questo circuito è alla base delle memorie che riguardano abitudini e abilità elementari e ricorrenti, come avviene per le azioni ripetitive. Un secondo circuito, che riceve informazioni dalla corteccia motoria primaria e dalle aree della corteccia associativa sensoriale, raggiunge invece il cervelletto, da qui viene convogliata al talamo e da questo nucleo torna alle aree motorie della corteccia frontale e parietale: tale circuito fa sì che le risposte motorie ad alcuni stimoli diventino quasi riflessi automatici, come può avvenire quando ci si blocca per un ostacolo improvviso. Le differenze tra i due tipi di memoria procedurale emergono chiaramente nel caso dell'esecuzione musicale: dal circuito dei gangli della base dipende la memoria dell'esecuzione delle note, dal circuito del cervelletto dipende la memoria dell'esecuzione di una musica.

Per quanto riguarda la memoria di tipo dichiarativo, gli studi compiuti da Squire e Zola-Morgan su pazienti colpiti da differenti tipi di lesioni cerebrali hanno dimostrato che essa è danneggiata dalle lesioni della corteccia temporale media, mentre la formazione di abitudini non è compromessa (Squire e Zola-Morgan, 1985; Squire e Oliverio, 1991). Le conoscenze sui circuiti implicati nelle memorie di tipo dichiarativo partono dallo studio di un caso clinico molto noto (Scoville e Milner, 1957), conosciuto con le iniziali, «H. M.», della persona colpita da una forma di amnesia retrograda (le memorie del passato) e anterograda (l'impossibilità di formare nuove memorie). L'analisi dettagliata di questo caso, iniziata prima ancora che fossero disponibili tecniche di neuroimaging, ha indicato che le lesioni dell'ippocampo e della corteccia temporale inferiore a esso connessa erano responsabili del mancato accesso ai ricordi del passato e della mancata codificazione di quelli nuovi.

In modo schematico, la regione temporale è connessa con l'amigdala e l'ippocampo e quest'ultimo con il diencefalo tramite il fornice in una sorta di circuito della memoria di cui, ovviamente, fa parte tutta la corteccia cerebrale, che è connessa con quella temporale e, in modo diretto, con lo stesso ippocampo e diencefalo. Tutte queste strutture nervose sono implicate nella cosiddetta "memoria esplicita" che implica un riconoscimento cosciente delle esperienze che abbiamo avuto e che possono affiorare spontaneamente o essere richiamate alla mente. Le sensazioni o esperienze, per essere trasformate in memorie esplicite, devono passare per le strutture del lobo temporale mediale – come la corteccia entorinale – le quali sono una sorta di imbuto che filtra tutte le sensazioni e percezioni, e per l'area temporale mediale, attraverso ippocampo e amigdala, che ne connotano specifiche caratteristiche (memorie spaziali, emotive ecc.); le esperienze vengono successivamente "assemblate" nel diencefalo e registrate sotto forma di memorie stabili nei circuiti del cervello. Il circuito della memoria corteccia temporale-ippocampo-diencefalo consente di connettere tra di loro le diverse componenti degli episodi della vita quotidiana (sensazioni, immagini mentali, emozioni, valutazioni della realtà) per trasformarle in memoria episodica, in eventi della nostra storia individuale.

Esistono dunque vari tipi o aspetti della memoria: alcuni sono legati a funzioni operative o "di servizio" e hanno un carattere più distaccato e freddo, altri dischiudono invece il mondo interno di chi ricorda e, come tali, hanno connotazioni "calde", emotive. Gli studiosi del comportamento, sino a pochi decenni fa, ritenevano che una descrizione obbiettiva della memoria non potesse includere la dimensione soggettiva, cioè parlare il linguaggio delle emozioni. La mente, secondo questa concezione, poteva essere descritta in termini di operazioni e di rapporti tra le esperienze sensoriali e le modifiche da queste indotte. Oggi, invece, la dimensione soggettiva ed emotiva è al centro degli interessi degli studiosi che non guardano alla memoria come ad una fotografia obbiettiva ma come a un'interpretazione soggettiva della realtà e delle esperienze. Aristotele, il grande filosofo greco, si era già chiesto se la memoria fosse soltanto una sensazione oppure un'interpretazione. "L'uomo" scrisse il filosofo greco "ricorda l'impressione subita o l'oggetto da cui l'impressione è derivata? Se rammenta l'impressione, noi non potremmo ricordare nessuna cosa assente: se l'oggetto, com'è che, percependo l'impressione, ricordiamo qualcosa di cui non abbiamo la sensazione, qualcosa che è assente? [...] La rappresentazione che è in noi deve essere considerata in quanto è qualcosa in se stessa e in quanto rappresentazione di un altro" (Aristotele 1979). E Aristotele continua indicando come la mente abbia la doppia capacità di registrare le sensazioni, di rappresentare la realtà sotto forma di immagini visive anche quando essa non è più presente e di conferirle una dimensione individuale, cioè di andare oltre i sensi.

4. Dalla mente estesa alle neurotecnologie

La mente umana si basa su un particolare tipo di hardware, il cervello formato dalle sue reti nervose e dai suoi moduli da cui deriva la sua potenza rispetto a quello

di specie animali con una corteccia meno espansa (e qualitativamente diversa): ma esiste un software mentale? Esistono programmi, istruzioni che specifichino come elaborare l'informazione, ragionare, risolvere problemi? Secondo alcuni studiosi della mente come Jerry Fodor (1987) questa ha un suo linguaggio, un suo software, non diversamente da quanto avviene in un computer: ma questo linguaggio non è stato finora individuato e, al di là delle profonde differenze che esistono tra le menti artificiali e quelle biologiche, molti si chiedono se tutte le caratteristiche della nostra mente debbano essere rintracciate al suo interno o se la mente non esista invece in una versione estesa, ragion per cui invece di parlare di software bisognerebbe cambiare punto di vista e parlare di *wideware*, di una struttura allargata che dipende da varie tecnologie cognitive, come il linguaggio, in grado di espandere e dare nuove forme alla ragione umana. Questo termine, *wideware*, è stato usato per la prima volta dai filosofi cognitivi Clark e Chalmers (1998) per indicare una mente che origina dall'incontro di cervello, corpo e realtà esterna. È un concetto, quello di *wideware*, in cui le funzioni mentali vengono anche definite da quelle estensioni come le etichette linguistiche, i block notes, i computer e tutte quelle strutture che fanno parte di un'attività cognitiva estesa. Clark e Chalmers hanno ripreso un concetto sviluppato dallo psicologo Jerome Bruner (1990) secondo cui, sin dalle prime fasi dello sviluppo, gli esseri umani utilizzano amplificatori delle proprie capacità sensoriali e motorie, raggiungendo in tal modo prestazioni ben superiori: ad esempio, le lenti sono un amplificatore della visione, la leva un amplificatore della forza muscolare. Clark e Chalmers (1998) sostengono che questi amplificatori sono essenziali nel processo di costruzione della mente che è fortemente dipendente dalle attività simboliche e dalle strutture cognitive presenti in un determinato stadio dello sviluppo. Più di tutte le altre specie animali, noi utilizziamo infatti una struttura allargata non biologica grazie a cui elaboriamo l'informazione e creiamo sistemi cognitivi estesi le cui capacità sono ben diverse e superiori rispetto a quelle del puro e semplice cervello.

Un aspetto sempre più attuale – e problematico – della “estensione” della mente riguarda non soltanto le tecnologie digitali da cui siamo ormai dipendenti ma la possibilità di un reale interfacciamento tra circuiti nervosi e circuiti integrati, ovvero sia l'impianto di chip. Negli ultimi anni si è giunti a interfacciare il sistema nervoso in maniera sempre più selettiva, grazie all'impianto di elettrodi connessi a stimolatori e circuiti elettronici. Ad esempio, alcune protesi acustiche si basano sul principio di utilizzare un circuito elettronico (impiantato sottocute) per trasformare i suoni provenienti da un microfono in impulsi elettrici e di inviarli direttamente al nervo cocleare attraverso una serie di minuscoli elettrodi impiantati in diversi punti delle fibre nervose. Il cervello ha quindi sensazioni (uditive) tramite un'interfaccia elettronica ed è in grado di reinterpretare, dal punto di vista cognitivo, il nuovo tipo di input provenienti dalla protesi: in altre parole, è possibile influenzare in modo diretto la fisiologia nervosa. Simili esperimenti sono allo studio per ovviare a quei tipi di cecità che derivano da lesioni della retina o dell'occhio. Strategie affini vengono sperimentate per ciò che riguarda il midollo spinale al fine di riparare quelle lesioni che, in caso di traumi che comportino la sezione delle

fibre nervose che collegano i muscoli e i territori periferici ai centri motori del cervello, implicano forme di paralisi irreversibili. Per ovviare a questi danni sono state sperimentate una serie di tecniche che promuovono la rigenerazione e la plasticità nervosa e quindi la riconnessione delle fibre sezionate o che fanno ricorso a “ponti” consistenti in impianti di microprocessori che rielaborano gli stimoli a monte e li trasmettono a valle. Vengono anche sperimentati con crescente successo neuroprotesi interfacciate col sistema nervoso centrale o coi nervi periferici in grado di azionare un esoscheletro che supplisca alla carente capacità motoria. Al giorno d'oggi, esistono già alcune neuroprotesi che possono interpretare i segnali cerebrali e permettere ai disabili di compiere azioni diverse. Queste protesi si basano sul posizionamento di alcuni elettrodi sul cuoio capelluto di persone affette da una paralisi motoria globale: gli elettrodi rivelano l'attività elettrica della corteccia motoria quando una persona immagina di compiere un movimento con le braccia, le gambe oppure la testa e, tramite un'interfaccia, attivano un mouse, la tastiera virtuale di un computer o l'attività di un esoscheletro, un apparecchio cibernetico in grado di potenziare le capacità fisiche (movimenti) dell'utilizzatore che ne è rivestito e che costituisce una sorta di muscolatura artificiale.

La discussione sulle neurotecnologie si è fatta più vivace non tanto per quanto riguarda il campo riparativo-terapeutico ma per quanto riguarda la possibilità di interfacciare cervello e computer, andando oltre le neuroprotesi e entrando nell'ambito del potenziamento cognitivo. Le ricerche in questo settore si basano sull'utilizzo di un'interfaccia cerebrale ultrasottile e flessibile con migliaia di minuscoli elettrodi che può essere innestata sulla superficie della corteccia e qui restare per numerosi anni. Attraverso questa strategia può essere possibile tracciare il contenuto di informazioni del cervello, ad esempio, basandosi su quei segnali che predicano un'intenzione di muoversi o di compiere una determinata scelta. In molti casi, l'interfacciamento consentirebbe di predire un comportamento, prima che il soggetto ne sia consapevole. I massicci investimenti in questo settore, come quelli che hanno dato vita al laboratorio Neuralink di Elon Musk, lasciano prevedere che il campo delle neuroprotesi e del cosiddetto *Neural Engineering* avanzerà molto rapidamente.

Un esempio promettente a questo riguardo sono gli studi sulla protesi della memoria a livello dell'ippocampo. Come parte del sistema limbico, l'ippocampo svolge il suo ruolo nel consolidamento di nuove memorie, nella navigazione e orientamento spaziale. L'ippocampo è anche responsabile della formazione di memorie di riconoscimento a lungo termine. Le lesioni di questo nucleo, insieme alla corteccia temporale mediale associata, portano, come abbiamo notato nel caso di H.M., ad amnesia retrograda (e anterograda). Berger et al. (2005) hanno iniziato il loro lavoro con sottili sezioni di ippocampo di ratto. Poiché sapevano che i segnali neuronali viaggiano da un lato all'altro dell'ippocampo, i ricercatori hanno inviato impulsi elettrici nell'ippocampo, hanno registrato in luoghi specifici le risposte agli stimoli elettrici per vedere come cambiassero e poi hanno derivato equazioni che rappresentano i cambiamenti intercorsi a seguito della stimolazione. Quindi

hanno programmato queste equazioni in minuscoli chip. Al fine di determinare se un chip potrebbe essere usato come protesi, o impianto, per una regione danneggiata nell'ippocampo, hanno messo elettrodi nella regione, che trasportavano impulsi elettrici su un chip esterno. Poterono quindi notare che i chip eseguivano le trasformazioni che normalmente vengono effettuate nell'ippocampo e, attraverso altri elettrodi inviarono i segnali alla sottile sezione di ippocampo.

La scoperta dei codici della memoria nell'ippocampo ha portato Deadwyler (2018) a testare dei modelli di funzione della memoria col fine di passare a studi umani. Sebbene il dispositivo non sia ancora costituito da un "chip" completamente impiantabile, questi test ne dimostrano la possibile efficacia come protesi neurale e lasciano intravedere un passaggio alla sperimentazione umana.

In principio, il passaggio da un cervello che si serve di tecnologie "esteriorizzate" – come l'uso di mezzi che amplifichino le capacità della mente – a un cervello che ricorre a tecnologie "interiorizzate" – l'interfacciamento del cervello con chip che amplifichino le sue capacità – pur segnando un enorme avanzamento di tipo tecnologico è in linea con un concetto, quello di "mente estesa", che guarda a confini mentali più ampi di quelli cerebrali. In linea col concetto di mente estesa, lo sviluppo delle neurotecnologie pone il problema di una mente "allargata" in cui il *wideware* implica una fusione tra menti naturali e menti artificiali: è quindi giusto porsi il problema in termini di ricadute sui concetti di persona, identità, libero arbitrio ecc. L'avvento dei dispositivi di comunicazione cervello-cervello amplifica inoltre i problemi associati all'agente, alla responsabilità e alla responsabilità delle azioni, problemi che affondano le loro lontane radici nelle mnemotecniche degli artisti della memoria e nell'idea di una mente dotata di capacità superiori.

Bibliografia

- Aristotele
1979 *Della memoria e della reminiscenza*, 1, 450a in *Opere*, Universale Laterza, Bari, vol IV, p. 241.
- Berger T.W., Brinton R.D., Marmarelis V.Z., Sheu B.J., Tanguay A.R.
2005 *Brain-implantable biomimetic electronics as a neural prosthesis for hippocampal memory function*, in *Toward replacement parts for the brain: implantable biomimetic electronics as neural prostheses*, Th. Berger, D. Glanzman (eds.), MIT Press, Cambridge Mass, pp 241-272
- Bruner J.
1990 *Acts of meaning*, Harvard University Press, Cambridge/London.
- Cicerone M.T.
1974 *Dell'oratore*, a cura di A. Pacitti, Zanichelli, Bologna, vol. II, libro II, LXXXVI, 354.

Clark A., Chalmers D.

1998 *The extended mind*, in "Analysis", 58, pp. 7-19.

Deadwyler S.A., Berger T.W., Sweatt A.J., Song D., Chan R.H., Opris I., Gerhardt G.A., Marmarelis V.Z., Hampson R.E.

2013 *Donor/recipient enhancement of memory in rat hippocampus*, in "Frontiers in Systems Neuroscience", 7, 120, DOI: 10.3389/fnsys.2013.00120

Fodor J.

1987 *Psychosemantics: The problem of meaning in the philosophy of mind*, MIT Press, Cambridge Mass.

Hafting, T., Fyhn, M., Molden, S., Moser, M. B., Moser, E. I.

2005 *Microstructure of a spatial map in the entorhinal cortex*, in "Nature", 436, pp. 801–806.

Hampson R.E., Song D., Robinson B.S., Fetterhoff D., Dakos A.S., Roeder B.M.

2018 *Developing a hippocampal neural prosthetic to facilitate human memory encoding and recall*, in "Journal of Neural Engineering", 15, DOI: 10.1088/1741-2552/aaed7

Hebb D.O.

1949 *The organisation of behavior*, Wiley, New York.

Oliverio A.

2021 *Rôle essentiel de la mémoire dans la formation de toute représentation*, in *Les signatures neurobiologiques de la conscience*. Belaubre G., Chenin E., Mastrangelo V., Nabet P., Oliverio A., Printz J., Schmets J., Treuil J.P. (eds.), Edp Sciences, pp. 31-41, <https://www.edp-open.org/books/edp-open-books/421-les-signatures-neurobiologiques-de-la-conscience>.

Rossi P.

1991 *Il passato, La memoria, l'oblio*, Il Mulino, Bologna, pp. 39-41.

Squire L.R., Zola-Morgan S.

1985 *The neuropsychology of memory: New links between humans and experimental animals*, in *Memory disfunctions: An integration of animal and human research from preclinical and clinical perspectives*, S. Olton, E. Gamzu & S. Lorkin (eds.), Annals of the New York Academy of Sciences, New York, pp. 137-149.

Squire L.R., Oliverio A.

1991 *Biological memory*, in *The enchanted loom: Chapters in the history of neuroscience*, P. Corsi (ed.), Oxford University Press, New York, pp. 338-340.

William B. Scoville W.B., Milner B.

1957 *Loss of Recent Memory after Bilateral Hippocampal Lesions*, in "Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry", 20, pp. 11-21.

