

STEFANO F. CAPPÀ
(IUSS Pavia e Istituto Scientifico San Raffaele Milano)

LE BASI NEURALI DELLE FUNZIONI COGNITIVE DI ALTO LIVELLO: UN PROGRAMMA POSSIBILE?

Lo studio dei rapporti tra funzioni mentali e cervello ha subito una importante accelerazione a partire dalle ultime decadi del secolo scorso. In particolare, lo sviluppo e l'applicazione delle metodiche di neuroimmagine, che rendono possibile studiare struttura e funzionamento del cervello in soggetti volontari sani, hanno aperto nuove prospettive di studio sull'organizzazione cerebrale di funzioni mentali complesse, quali il ragionamento e la decisione. La promessa è quella di poter affrontare con metodiche sperimentali questioni ritenute tradizionalmente territorio esclusivo della riflessione filosofica, quali l'esperienza estetica o le scelte morali.

Un approccio neuroscientifico a questi ambiti di indagine è possibile solo in un contesto di interdisciplinarietà. Come non è attualmente pensabile affrontare lo studio dei meccanismi neurologici del linguaggio senza fare riferimento al corpo di conoscenze teoriche della linguistica, non vi è dubbio che l'indagine sulle basi neurali, ad esempio, delle decisioni economiche non può che basarsi sui modelli e sulle conoscenze sviluppate dalla economia sperimentale e dalla psicologia della decisione.

Come spesso accade nel caso di campi di studio nuovi e di grande interesse anche per i non addetti ai lavori, si può qualche volta osservare un eccesso di entusiasmo da parte dei ricercatori, che porta a sua volta a semplificazioni inaccettabili e alla distorsione dei dati ad opera di divulgatori non necessariamente attenti alla complessità delle questioni in gioco. Se è giusto reagire alla invasione di 'neurodiscipline' con fragili fondamenti¹, occorre tuttavia tenere in considerazione anche il rischio opposto, che è quello di stimolare la 'neurofobia', che ha una lunga storia in ambito prima filosofico e poi psicologico².

¹ P. Legrenzi - C. Umiltà, *Neuro-mania*, Bologna, Il Mulino, 2008.

² S. Aglioti - G. Berlucchi, *Neurofobia*, Milano, Cortina, 2013.

Un antenato ingombrante delle 'neuroscienze delle funzioni superiori'

L'umanità si interroga da secoli sul rapporto tra la mente e il corpo. Se i filosofi, a partire dall'antichità classica, hanno proposto correlazioni con organi diversi, come il fegato o il cuore, i medici dell'antichità avevano pochi dubbi rispetto al nesso tra cervello e funzioni mentali. L'osservazione empirica delle conseguenze dei traumi e delle ferite cerebrali rendeva evidente questo rapporto sin dal tempo degli antichi Egizi³. Bisogna però aspettare il diciottesimo secolo per arrivare a un'analisi sistematica del rapporto tra funzioni complesse della mente (le 'facoltà') e il tessuto cerebrale. La frenologia è una pseudoscienza che senza alcun ritegno affronta il problema del rapporto mente-cervello non solo dal punto di vista delle 'facoltà' intellettuali, ma anche delle 'propensioni', quali il senso morale e la circospezione. Secondo il fondatore della frenologia, Franz-Joseph Gall, sia le facoltà intellettuali sia le propensioni sono innate nell'uomo e negli animali; hanno la loro sede nel cervello; sono tra loro indipendenti, e quindi devono avere sedi cerebrali diverse⁴. Alcuni aspetti della frenologia hanno indubbiamente il carattere di importanti intuizioni: ad esempio, il ruolo centrale della corteccia e la sua plasticità conseguente a fattori ambientali. Sfortunatamente, i frenologi difettavano parecchio sul piano metodologico, in quanto per validare il modello generale alla base delle loro ipotesi di funzionamento della mente e del cervello utilizzavano la palpazione del cranio. Scopo della palpazione (sostituita in seguito da metodiche più raffinate e tecnologiche di cranioscopia) era individuare le modificazioni della teca cranica indotte dal particolare sviluppo della regione cerebrale dedicata a una facoltà o propensione. Il metodo avrebbe dovuto consentire di formulare un oggettivo profilo psicoattitudinale di ciascun individuo. Il fallimento del progetto ebbe la conseguenza di ingenerare un discredito generale verso la teoria delle localizzazioni cerebrali. Vale tuttavia la pena di riflettere sul fatto che, se gli studi di Gall e collaboratori datano alla seconda metà del '700, la chiusura della British Phrenological Society è avvenuta nel 1967, a dimostrare,

³ S. Finger, *Origins of neuroscience*, New York, Oxford University Press, 1994.

⁴ F.-J. Gall, *Schreiben über seinen bereits geendigten Prodromus über die Verrichtungen des Gehirns der Menschen und der Thiere an Herrn Jos. Fr. von Retzer* (1798), tr. ingl. in D.G. Goyder, *My battle for life: the autobiography of a phrenologist*, London, Simpkin, Marshall & Co., 1857, pp. 143-157.

se ce ne fosse bisogno, che l'assenza di evidenze non costituisce necessariamente causa di caducità per teorie pseudoscientifiche.

La reazione contro la frenologia, accanto alla nascita della medicina sperimentale, e con essa della neurofisiologia moderna, basata sullo studio degli effetti della lesione e della stimolazione cerebrale, ha forse avuto un ruolo nell'identificare alcune funzioni 'rispettabili', in quanto passibili di studio anche nei modelli animali, quali il movimento e la sensibilità, e di circondare di un'aura di sospetto lo studio delle cosiddette 'funzioni superiori', quali linguaggio e memoria. Non va peraltro scordato che il nome di Gall, e in particolare la sua teoria del rapporto fra lobo frontale e linguaggio, fa da riferimento teorico nei primi dibattiti sulla localizzazione delle afasie. In effetti, il preside della facoltà medica di Parigi, Boillaud, era un sostenitore così convinto dell'idea di Gall che il linguaggio risiedesse nei lobi frontali, da avere offerto 500 franchi a chi dimostrasse la loro integrità in un paziente che avesse perso questa facoltà. Il volenteroso genero Auburtin raccolse alcune osservazioni cliniche a sostegno della convinzione del suocero⁵. Il clima era quindi favorevole per l'osservazione di Broca sui rapporti tra linguaggio articolato e terza circonvoluzione frontale di sinistra, osservazione cui si fa risalire la nascita della moderna neuropsicologia⁶.

La diffidenza verso lo studio delle 'funzioni superiori' permane anche nei decenni successivi. In effetti, anche durante il fiorire degli studi sui meccanismi neurologici del linguaggio nella seconda metà dell'Ottocento in Germania, l'attenzione dei ricercatori si indirizza principalmente sugli aspetti sensori-motori del linguaggio, piuttosto che su quelli cognitivi⁷. Un atteggiamento di sostanziale rifiuto dei principi della localizzazione cerebrale delle funzioni psicologiche diviene prevalente durante il predominio teorico prima della psicologia della Gestalt, e poi del comportamentismo. Gli psicologi della forma infatti rifiutano qualsiasi forma di localizzazione cerebrale dei processi psicologici, privilegiando concetti generali quali quello della perdita di attitudine a-

⁵ F. Schiller, *Leborgne - in memoriam*, «Medical History» 7 (1963), pp. 79-81.

⁶ P. Broca, *Remarques sur la siège de la faculté du langage articulé, suivies d'une observation d'aphémie*, «Bulletin de la Société d'Anthropologie», 6 (1861), 2^{ème} série, pp. 330-357.

⁷ S.F. Cappa, *Linguaggio*, in V. Gallese (a cura di), *Dizionario storico delle Neuroscienze*, Torino, Einaudi, 2007.

stratta come conseguenza della lesione⁸. I comportamentisti arrivano ad escludere dall'ambito della psicologia scientifica qualsiasi concetto mentalista, privilegiando in modo esclusivo lo studio delle relazioni tra stimolo e risposta.

La «rivoluzione cognitiva» e le neuroimmagini

La situazione cambia radicalmente nella seconda metà del secolo scorso, con quella che è stata definita come «rivoluzione cognitiva»⁹. Il concetto di base della psicologia cognitiva, secondo la quale è possibile, studiando il comportamento, inferire costrutti teorici non osservabili, quali memoria, attenzione, coscienza eccetera, ha un enorme impatto anche sulle neuroscienze. L'idea della mente come elaboratore di informazioni implica la metafora del cervello come computer, e stimola l'indagine sulle caratteristiche dell'hardware responsabile: si tratta del campo di indagine attualmente definito come neuroscienze cognitive. L'attenzione dei ricercatori si incentra in particolare sulle classiche aree di studio della neuropsicologia, come linguaggio, percezione e memoria. E-norme influenza in questo ambito ha avuto il libro di Fodor, *Modularity of mind*¹⁰, che non a caso nell'edizione originale ha in copertina una mappa frenologica. Fodor sostiene che la modularità si applica solo a processi cognitivi di basso livello, mentre processi complessi, come il pensiero, non sono modulari. Un corollario di questa ipotesi è che, se si assume una localizzazione cerebrale solo per i processi modulari, le funzioni complesse non possono essere studiate a livello neurologico.

In realtà questo tipo di teorizzazione deriva da una concezione dei rapporti tra funzioni mentali e cervello che è sostanzialmente neofrenologica, e legata al concetto di localizzazione in singole aree cerebrali. In realtà, è molto probabile che il cervello non funzioni così. Qualsiasi 'funzione' si basa non solo su una segregazione di aree, ma anche sull'integrazione in circuiti complessi. In altre parole, le neuroscienze cognitive hanno dimostrato che la specificità funzionale non risiede a livello di aree, ma dipende da reti integrate sia nello spazio sia nel tempo. Da questo punto di vista, non sembra esserci una differenza di principio tra un compi-

⁸ K. Goldstein, *The modifications of behavior consequent to cerebral lesions*, «Psychiatric Quarterly» 10 (1936), pp. 586-610.

⁹ H. Gardner, *The mind's new science: a history of the cognitive revolution*, New York, Basic Books, 1985.

¹⁰ J.A. Fodor, *Modularity of mind*, Cambridge, MIT Press, 1983.

to 'di basso livello' come può essere leggere una parola, ed un compito 'complesso', quale risolvere un sillogismo¹¹: entrambi sono basati sull'attività concertata tra più aree cerebrali, anche se è verisimile che nel secondo caso le aree siano più numerose, e le correlazioni più complesse.

Questo tipo di modello, già proposto sulla base di osservazioni cliniche in pazienti affetti da lesioni cerebrali da parte di grandi neuropsicologi come Luria¹², ha trovato conferma negli studi basati sui metodi che consentono di studiare il funzionamento cerebrale in soggetti normali, impegnati nella esecuzione di compiti differenti. In particolare, la Tomografia ad Emissione di Positroni (PET) e la RM funzionale (RMf) sono state applicate in modo sistematico allo studio delle basi neurali delle funzioni cognitive. Il principio alla base di queste metodiche è che l'attività del cervello si associa a variazioni di differenti parametri fisiologici, che possono essere misurati in ciascuna area. Di solito si misurano le variazioni del consumo di energia (metabolismo) o dell'afflusso di sangue, che è collegato alle variazioni di fabbisogno energetico dipendenti dall'attività neurale¹³. Le principali limitazioni delle tecniche di RMf non sono dovute a limiti tecnologici, ma alla nostra limitata comprensione dei rapporti tra il segnale emodinamico rilevato, dipendente dalla concentrazione di desossiemoglobina (BOLD), e l'attività cerebrale¹⁴.

Gli studi di neuroimmagine non si sono limitati a confermare quanto già sapevamo dallo studio delle lesioni, ma ci consentono di mettere alla prova dei fatti delle ipotesi più sofisticate. Prendiamo ad esempio il caso dell'area di Broca, alla quale abbiamo già accennato sopra come 'sede del linguaggio articolato'. Spesso i pazienti con lesioni che coinvolgono questa regione cerebrale hanno particolare difficoltà negli aspetti morfologici e sintattici del linguaggio: ovvero commettono errori nell'uso delle particelle grammaticali o nel comprendere frasi con una struttura complessa. Le metodiche di neuroimmagine hanno confermato che l'area di Broca è una regione essenziale per elaborare questi aspetti fondamentali del linguaggio, ma hanno anche indicato che essa opera

¹¹ D. Osherson - D. Perani - S.F. Cappa - T. Schnur - F. Grassi, F. Fazio, *Distinct brain loci in deductive versus probabilistic reasoning*, «Neuropsychologia» 36 (1998), 4, pp. 369-376.

¹² A.R. Luria, *The working brain*, New York, Basic Books, 1973.

¹³ N.K. Logothetis - B.A. Wandell, *Interpreting the BOLD signal*, «Annual Review of Physiology» 66 (2004), pp. 735-769.

¹⁴ N.K. Logothetis, *What we can do and what we cannot do with fMRI*, «Nature» 453 (2008), pp. 869-878.

all'interno di circuiti molteplici, comprendenti altre regioni corticali connesse, che sono dedicati non solo all'elaborazione sintattica, ma anche in altri aspetti dell'organizzazione linguistica, quali la fonologia e la semantica lessicale, e che sono coinvolti anche in funzioni extralinguistiche, quali la rappresentazione delle azioni¹⁵. Non è ancora completamente chiarito se la partecipazione a diversi circuiti complessi sia organizzata topograficamente in differenti subregioni all'interno dell'area di Broca, oppure dipenda da differenti modalità di reclutamento spaziotemporale di aree sovrapposte. A questo proposito sono essenziali gli studi basati sulla integrazione tra metodiche ad elevata risoluzione spaziale, come la RMf, e strumenti che consentono di seguire l'attività neurale sulla scala dei tempi dei millisecondi, quali i potenziali evocati e la magnetoencefalografia¹⁶. Un particolare interesse da questo punto di vista hanno gli sviluppi nelle tecniche di analisi dei dati (area privilegiata della interazione tra neuroscienziati e bioingegneri). Il tradizionale metodo 'sottrattivo', basato sul confronto tra il pattern di attivazione cerebrale osservato mentre i soggetti sono impegnati in un compito di interesse, con quello presente in una condizione di controllo (la cosiddetta *baseline*) mira alla identificazione delle aree specificamente coinvolte nel compito, ovvero alla 'segregazione funzionale'. Il rischio neofrenologico inerente a questo approccio (vedi ad esempio il problema della 'inserzione pura')¹⁷, è attualmente compensato dalle tecniche di tipo correlativo, che mirano a identificare l'integrazione funzionale tra differenti regioni cerebrali indotte dalla manipolazione sperimentale (di regola, il compito cognitivo). L'approccio originale, basato sulla *effective connectivity*¹⁸, si è in seguito sviluppato nel modello del *dynamic causal modelling*¹⁹. Lo studio delle correlazioni ha consentito anche di indagare il pattern di funzionamento basale cerebrale in soggetti non impegnati in un particolare compito (fre-

¹⁵ Y. Grodzinsky - K. Amunts, *The Broca's region*, New York, Oxford University Press, 2006.

¹⁶ A.D. Friederici, *The brain basis of language processing: from structure to function*, «Physiol Rev» 91 (2011), pp. 1357-1392.

¹⁷ K.J. Friston - C.J. Price - P. Fletcher - R. Moore - R.S.J. Frackowiak - R. Dolan - J. Ray, *The trouble with cognitive subtraction*, «Neuroimage» 4 (1996), pp. 97-104.

¹⁸ C. Buchel - J.T. Coull - K.J. Friston, *The predictive value of changes in effective connectivity for human learning*, «Science» 283 (1999), pp. 1538-1541.

¹⁹ W.D. Penny - K.E. Stephan - A. Mechelli - K.J. Friston, *Modelling functional integration: a comparison of structural equation and dynamic causal models*, «Neuroimage» 23 (2004), 1, 264-274.

quente condizione di *baseline*), individuando la cosiddetta *default network*²⁰.

I metodi di neurommagine hanno anche consentito di studiare le modificazioni dell'organizzazione cerebrale indotte da particolari situazioni ambientali. Un esempio molto interessante e studiato è quello degli effetti del bilinguismo sull'organizzazione cerebrale del linguaggio. La questione che è stata affrontata in numerosi studi è se le aree che sono responsabili della prima lingua, ad esempio l'italiano, sono le stesse che utilizziamo quando parliamo in inglese. La risposta è, non sorprendentemente, abbastanza complessa. Numerosi fattori, quali l'età d'acquisizione e la quantità di esposizione, hanno effetti sull'organizzazione cerebrale della seconda lingua. Il fattore più rilevante sembra tuttavia essere il livello di padronanza della lingua straniera. Se sappiamo l'inglese molto bene, le aree che si attivano mentre ascoltiamo una storia in quella lingua sono le stesse che si osservano per l'italiano. Se la nostra padronanza è minore, l'attivazione cerebrale è più limitata: in particolare alcune aree, come la parte anteriore del lobo temporale, si attivano solo per la lingua materna. Per quanto riguarda specificamente la sintassi, tuttavia, sembra esserci una ulteriore specificità, legata all'età di acquisizione. A parità di competenza, il cervello sembra mostrare una specie di marcatura dell'effetto età: solo i bilingui precoci hanno una attivazione del tutto comparabile tra le due lingue in compiti che mettono in gioco competenze grammaticali. I bilingui tardivi, pur non avendo alcuna difficoltà nell'eseguire il compito, mostrano un'attivazione cerebrale più estesa per la seconda lingua²¹.

I metodi di neuroimmagine ci consentono anche di indagare come il cervello si riorganizza dopo una lesione, espressione della capacità del cervello ad adattarsi, ovvero della plasticità cerebrale. Particolare interesse da questo punto di vista ha avuto lo sviluppo dei paradigmi di acquisizione evento-correlati, che consentono di analizzare la risposta emodinamica cerebrale separatamente, ad

²⁰ D.A. Fair - A.L. Cohen - N.U.F. Dosenbach - J.A. Church - F.M. Miezin - D.M. Barch et al., *The maturing architecture of the brain's default network*, «Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States» 105 (2008), pp. 4028-4032.

²¹ Per una revisione cfr. J. Abutalebi - S.F. Cappa - D. Perani, *The bilingual brain as revealed by functional neuroimaging*, «Bilingualism: Language and Cognition» 4 (2001), pp. 179-190.

esempio tra risposte corrette ed errori prodotti dal paziente durante l'acquisizione RMf²².

Neurologia delle 'funzioni di alto livello'

Gli studi di neuroimmagine sulle basi neurali di funzioni mentali complesse hanno implicazioni per campi disciplinari diversi, quali la filosofia, l'economia e l'arte. Consideriamo ad esempio il classico problema filosofico e psicologico della volontà. Esiste ormai una nutrita serie di studi che si sono proposti di verificare il correlato neurale della libera scelta. La situazione sperimentale di base è quella di contrastare l'attivazione del cervello in una situazione nella quale un'azione è la pura conseguenza di un evento ambientale, con quella che si verifica quando il soggetto può autonomamente scegliere tra due o più azioni, in modo indipendente da stimoli esterni²³. Il contrasto tra le due condizioni rivela l'attivazione di aree poste nella parte mediale del lobo frontale, la cui funzione tuttavia potrebbe essere collegata, piuttosto che alla libera scelta, alla situazione di conflitto tra più risposte possibili, presente solo quando la risposta non è dettata da stimoli ambientali. Esperimenti più recenti hanno cercato di distinguere tra questi due meccanismi attraverso una manipolazione del paradigma sperimentale. Ad esempio ai soggetti veniva richiesto di eseguire un movimento oculare in due condizioni possibili: rispondendo a un ordine, o scegliendo liberamente. Dopo un intervallo variabile, un segnale indicava ai soggetti se proseguire o se cambiare la direzione del movimento oculare nella direzione opposta. Se il segnale era molto ravvicinato, il conflitto era minimo, in quanto i soggetti avevano il tempo di cambiare la direzione della saccade; se era molto ritardato, non c'era conflitto, in quanto i soggetti avevano già eseguito il movimento. La distanza veniva quindi regolata su ogni soggetto, in modo che fossero in grado di correggersi in circa la metà dei casi, realizzando una situazione di massimo conflitto. I risultati dello studio hanno dimostrato l'esistenza di due aree separate, all'interno della regione antistante all'area supplementare motoria, una delle quali è collegata alla volizione, l'altra alla risoluzione del con-

²² P. Vitali - M. Tettamanti - J. Abutalebi - M. Danna - A.I. Ansaldo - D. Perani et al., *Recovery from anomia. Effects of specific rehabilitation on brain reorganisation: an er-fMRI study in 2 anomic patients*, «Brain and Language» 87 (2003), pp. 126-127.

²³ C.D. Frith - K.J. Friston - P.F. Liddle - R.S.J. Frackowiak, *Willed action and the prefrontal cortex in man: a study with PET*, «Proceedings of the Royal Society of London B» 244 (1991), pp. 241-246.

flitto²⁴. Nel campo dell'azione, alla libera scelta è collegato anche un aspetto della autoconsapevolezza, ovvero il senso di essere l'autore di un'azione. Questo aspetto centrale per la cosiddetta cognizione sociale è stato indagato in una serie di esperimenti di neuroimmagine, che hanno evidenziato il coinvolgimento di aree specifiche, tra cui la parte anteriore della corteccia dell'insula, considerata come il centro di integrazione dei segnali sensoriali multimodali associati all'azione volontaria²⁵.

Per quanto riguarda l'economia, uno degli aspetti fondanti della teoria 'standard' è l'assunto che le persone prendano sempre le decisioni che danno la massima ricompensa, in termini di valore soggettivo e utilità personale. Questo principio presuppone, tra l'altro, che i processi di ragionamento dei soggetti avvengano secondo le leggi della logica, in assenza di influenze legate a fattori sociali o emotivi. Sappiamo che questo assunto di base è molto lontano dalla verità: siamo tutti passibili di 'illusioni cognitive'²⁶ che ci inducono in errore. Numerosi sono i fattori che influenzano le nostre modalità di ragionamento. Un esempio di effetto ben noto dalla psicologia cognitiva riguarda proprio l'effetto del contenuto delle informazioni sul ragionamento deduttivo²⁷. È ben noto che le persone trovano più facile ragionare su contesti e situazioni con un contenuto sociale, piuttosto che in astratto. Abbiamo quindi studiato con la RMf quello che succede nel cervello mentre degli studenti risolvevano due versioni diverse di un classico compito di ragionamento, il test di selezione di Wason. Nelle versione 'astratta', ai soggetti veniva presentata una regola (se su un lato di una carta c'è il 2, sull'altro c'è una B), e veniva loro chiesto di girare due carte tra quattro presentate per verificare se la regola era vera. Le carte recavano scritto, rispettivamente, 2, 5, B e D. La risposta corretta, secondo i principi della logica, è girare 2, per vedere se dall'altra parte c'è una B, e girare D, per verificare che dall'altra parte c'è un 2. Quello che succede nella realtà è che la maggior parte dei soggetti sceglie 2 e B, commettendo un evidente errore

²⁴ P. Nachev - G. Rees - A. Parton - C. Kennard - M. Husain, *Volition and conflict in human medial frontal cortex*, «Current Biology» 15 (2005), pp. 122-128.

²⁵ C. Farrer, C.D. Frith, *Experiencing oneself vs another person as being the cause of an action: the neural correlates of the experience of agency*, «Neuroimage» 15 (2002), pp. 596-603.

²⁶ M. Piattelli-Palmarini, *L'illusione di sapere*, Milano, Mondadori, 1995.

²⁷ N. Canessa - A. Gorini - S.F. Cappa - M. Piattelli-Palmarini - M. Danna - F. Fazio - D. Perani, *The effect of social content on deductive reasoning: an fMRI study*, «Human Brain Mapping» 26 (2005), pp. 30-43.

logico. L'aspetto interessante è che presentando un compito del tutto identico sul piano formale, ma dove la regola ha un contenuto sociale (come uno scambio di beni), i soggetti diventano 'più abili'. Ad esempio, se la regola è 'se mi presti l'automobile ti invito a cena', la maggior parte delle persone sceglie, correttamente, le carte con indicate le situazioni: 'mi presti l'automobile' e 'non ti invito a cena'. I risultati dello studio hanno indicato che entrambi i compiti di ragionamento (quello 'neutro' e quello 'sociale') attivano una rete di aree cerebrali che comprendono regioni frontali e parietali nell'emisfero sinistro, che rappresentano il substrato comune del ragionamento. Tuttavia, solo nel caso della situazione 'sociale' (che è del tutto identica sul piano logico) nel cervello si attivavano aree analoghe, ma nell'emisfero di destra, che sembrano corrispondere al riferimento del compito a una situazione di vita reale, che riguarda l'interazione tra soggetti umani. Questo aspetto di relazione interpersonale, sostanzialmente ignorato dalla teoria economica standard, sembra avere un ruolo essenziale nei nostri processi di ragionamento e di decisione. Un aspetto collegato è quello dell'empatia, che abbiamo recentemente studiato in relazione all'emozione complessa del rimpianto. Ai soggetti veniva chiesto in una condizione di scegliere tra lotterie con esiti differenti, e di osservare i risultati, che potevano essere positivi o negativi. In una seconda condizione, i soggetti osservavano le medesime lotterie, ma veniva loro detto che la scelta era effettuata da un altro soggetto, cui erano stati presentati prima dell'esperimento. Nella terza condizione, erano informati che la scelta era eseguita da un computer. I dati di RMf hanno dimostrato l'attivazione del medesimo insieme di aree, associate all'esperienza soggettiva del rimpianto (corteccia prefrontale orbito mediale, cingolo anteriore, ippocampo), sia nella condizione di prima persona sia nell'osservazione di esiti negativi della scelta altrui. Tale attivazione non era presente nel caso di scelte negative fatte dal computer, dimostrando il ruolo necessario della presenza di un cospecifico nell'elicitare una partecipazione al rimpianto altrui²⁸.

La ricerca in neuroeconomia è attualmente un campo vastissimo, in continua espansione teorica e metodologica²⁹. Molti studi in questo ambito aprono il campo a uno degli interrogativi che

²⁸ N. Canessa - M. Motterlini - C. Di Dio - D. Perani - P. Scifo - S.F. Cappa - G. Rizzolatti, *Understanding others' regret: a fMRI study*, «PLoS One» 4 (2009), e7402.

²⁹ S.F. Cappa - N. Canessa, *Neuroeconomics*, in J. Wright (ed.), *International encyclopedia of social and behavioral science*, London, Elsevier, in corso di stampa.

hanno avuto molto rilievo anche nei media negli ultimi mesi: è possibile leggere nella mente degli altri mediante la misurazione dell'attività cerebrale? Sino a non molto tempo fa, la risposta era sostanzialmente negativa. Gli studi di RMf si basano sulla misurazione dell'attività cerebrale in gruppi di soggetti, per potere massimizzare il segnale rispetto al rumore di fondo, che rende difficile interpretare i risultati nel singolo soggetto. Gli sviluppi tecnologici nell'analisi dei dati, oltre che l'impiego di campi magnetici elevati, stanno modificando questa situazione, e la possibilità di fare del *mind reading* nel singolo soggetto non sembra più remota. È ad esempio possibile, sulla base dell'analisi del pattern di attivazione nelle aree visive, decidere se un soggetto sta vedendo una sedia o una scarpa; l'aspetto che però ha destato più scalpore è la possibilità, attraverso un'analisi delle attivazioni in aree frontali e parietali, di decidere se un soggetto sta mentendo o dicendo la verità³⁰. Non si tratta ovviamente di una semplice analisi ispettiva, ma del risultato dello sviluppo di sofisticati sistemi di apprendimento meccanico³¹. La nascita di varie società commerciali dedicate allo sviluppo applicativo di queste tecnologie induce a pensare che queste metodiche non siano lontane da possibilità applicative in contesti di vita reale, con tutte le evidenti implicazioni etiche prevedibili.

Un altro campo di applicazione dei metodi neuroscientifici a questioni di interesse filosofico è quello dell'estetica. I risultati più interessanti in questo ambito sono relativi alle arti figurative. Kawabata e Zeki, ad esempio, hanno usato la RMf per evidenziare le aree cerebrali correlate all'esperienza estetica³². Prima dello studio, i soggetti vedevano una serie di dipinti, appartenenti a differenti categorie (ritratti, paesaggi, nature morte, dipinti astratti) e dovevano classificarli in bello, neutro o brutto. In seguito vedevano gli stessi dipinti mentre l'attività cerebrale veniva misurata con la RMf. Lo studio ha dimostrato differenze nelle attivazioni di aree visive, riferibili alle diverse categorie di quadri. Il dato più interessante era tuttavia che, del tutto indipendentemente da queste differenze legate alle forme dell'espressione artistica, alcune regioni cerebrali (in particolare la corteccia orbito-frontale, collegata alla

³⁰ Per una revisione recente cfr. J.-D. Haynes - G. Rees, *Decoding mental states from brain activity in humans*, «Nature Reviews Neuroscience» 7 (2006), pp. 523-534.

³¹ E. Alpaydin, *Introduction to machine learning*, Cambridge MA, MIT Press, 2010.

³² H. Kawabata - S. Zeki, *Neural correlates of beauty*, «Journal of Neurophysiology» 91 (2004), pp. 1699-1705.

elaborazione delle esperienze emotive) rispondevano in modo specifico alla percezione di quadri caratterizzati come belli o brutti. Questi risultati sembrano in accordo con una concezione 'edonistica' dell'esperienza estetica. Uno studio recente³³ affronta il problema di una possibile base obiettiva biologica dell'esperienza estetica, comparando le risposte cerebrali di soggetti privi di particolari competenze artistiche, esposti a capolavori della scultura classica e rinascimentale, in condizioni canoniche o modificate sperimentalmente nelle loro proporzioni (rapporto tronco-arti). Le condizioni dell'esperimento erano tre: osservazione, giudizio estetico e giudizio di proporzioni. Le attivazioni associate all'osservazione delle immagini non distorte coinvolgevano un insieme di aree occipitali e prefrontali, oltre all'insula di destra. La regione attivata in modo selettivo dalle immagini giudicate belle era invece l'amigdala di destra. Questi risultati sembrerebbero dissociare le basi neurali di un processo di valutazione estetica obiettivo dalla valutazione soggettiva collegata all'esperienza emozionale.

Al di là dell'indubbio interesse teorico, gli esperimenti sulle funzioni mentali superiori, dei quali abbiamo presentato qualche esempio in questo articolo, sollevano un problema di carattere generale. La possibilità di leggere nel cervello dei nostri conspecifici quello che succede nella loro mente, magari indipendentemente dalla loro disponibilità o possibilità di comunicarlo attraverso il linguaggio, sembra essere uscita dai romanzi di fantascienza per divenire una possibile realtà a venire. È quindi del tutto appropriato che la riflessione di tipo bioetico si applichi in modo approfondito a questi sviluppi tecnologici, ed in generale a quello che viene attualmente definito come il campo della neuroetica³⁴. Va tuttavia sottolineato come la ricerca in questo ambito sia caratterizzata da numerose limitazioni, la cui superabilità potrà essere stabilita solo dalla ricerca futura. I dati forniti dagli strumenti di neuroimmagine 'classici' hanno carattere fondamentalmente correlativo, e la loro interpretazione è di regola condizionata da conoscenze a priori derivanti da campi molto diversi, come la sperimentazione sull'animale. Una problematica spesso presente in questo ambito di studi è l'inferenza di un processo psicologico sulla base della presenza di attivazione di una struttura associata in

³³ C. Di Dio - E. Macaluso - G. Rizzolatti, *The golden beauty: brain response to classical and renaissance sculptures*, «PLoS One» 2 (2007), e1201.

³⁴ A. Chatterjee - M. Farah, *Neuroethics in practice*, Oxford, Oxford University Press, 2013.

altri studi a quel processo. Come sottolineato da Poldrack, questo tipo di inferenza può incorrere nell'errore logico dell'affermazione dell'antecedente, in assenza di conoscenze esaurienti sulle relazioni tra processi mentali e strutture nervose³⁵. La ricerca degli ultimi anni rende sempre più evidente come i risultati più affascinanti derivino dalla applicazione di tecnologie sempre più avanzate a quesiti teorici ben definiti. Tale obiettivo non può essere realizzato che attraverso la collaborazione interdisciplinare tra neuroscienziati e studiosi delle scienze umane.

³⁵ R.A. Poldrack, *Can cognitive processes be inferred from neuroimaging data?*, «Trends in Cognitive Sciences» 10 (2006), pp. 59-63.