

## **CERVELLO, IMMAGINI E IMMAGINAZIONE. LE BASI CEREBRALI DELLA RAPPRESENTAZIONE CONCETTUALE**

Pietro Pietrini

Scuola IMT Altì Studi Lucca

pietro.pietrini@imtlucca.it

### *Keywords*

immaginare l'anatomia del cervello; sopramodalità; *imagery* visiva; rappresentazione concettuale; aggressività

L'interesse per la morfologia del cervello è antico e parimenti è l'interesse per come, da queste strutture, possa sorgere quella che è la nostra vita cosciente, la nostra attività mentale, le funzioni cognitive. Nel 1543 il fondatore dell'anatomia moderna, Andrea Vesalio, nel famoso testo *De Humani corporis Fabrica*, scriveva: "Non nego che i ventricoli elaborino lo spirito animale, ma sostengo che questo non spiega nulla sulla sede cerebrale delle facoltà più elevate dello spirito. (...) Non sono in grado di comprendere come il cervello possa esercitare le sue funzioni".

Fino all'avvento delle moderne metodologie di esplorazione morfologica e funzionale del sistema nervoso centrale nella metà degli anni Ottanta del secolo scorso, gli studi sul cervello si concentravano sull'osservazione di individui che avevano subito lesioni. Le prime descrizioni di gravi turbe della personalità e del comportamento a seguito di un trauma del cervello risalgono a tempi lontani, basti pensare al famoso caso di Phineas Gage descritto dal medico John Martin Harlow nel 1848 (Harlow, 1848). Gage, che ricopriva il ruolo di capo cantiere nella costruzione della linea ferroviaria nella Contea di Windsor nello Stato del Vermont, una mattina rimase vittima di un incidente sul lavoro nel quale, a seguito dell'inesco accidentale di una carica di esplosivo, venne colpito da una spranga di ferro che penetrò nella guancia sinistra, trapassò il cranio fuoriuscendo dalla sommità frontale e cadde infine ad alcune decine di metri di distanza. Il caso è rimasto nella storia delle neuroscienze, della neurologia e della psichiatria non tanto perché Gage riuscì miracolosamente a salvarsi, ma perché il suo carattere, la sua personalità cambiarono radicalmente, tanto che i conoscenti conclusero che "*Phineas was no longer himself*".

Ci si rese ben presto conto che alcune funzioni fondamentali venivano meno in pazienti che avevano subito lesioni dei lobi frontali, come quella di Gage, che producono un'insolita gamma di cambiamenti emotivi, cognitivi, comportamentali. Con l'avvento delle moderne metodologie di esplorazione morfologica e funzionale in vivo del cervello, quali la tomografia ad emissione di positroni (PET), la risonanza magnetica strutturale (MRI) e la risonanza magnetica funzionale (fMRI), è diventato possibile studiare la fine architettura anatomica e funzionale che sottende le più svariate attività cognitive, incluse funzioni mentali complesse ed elusive come l'esperienza emotiva, il controllo del comportamento, il pensiero astratto, il giudizio morale, la capacità di pianificazione, di programmazione, la distinzione tra il bene e il male, il rispetto delle norme e delle convenzioni sociali (Koechlin et al., 2000; Nichelli et al., 1994; Pietrini, 2003; Raichle, 1994). Nel loro insieme, i risultati della ricerca neuroscientifica dimostrano come queste sofisticate funzioni mentali siano riconducibili all'attività di precise strutture cerebrali localizzate soprattutto nel lobo frontale, non a caso la porzione del cervello che nell'uomo si è sviluppata più delle altre regioni della corteccia rispetto a ciò che è accaduto negli altri animali. Confrontando lo sviluppo e l'organizzazione della corteccia cerebrale nel cervello umano e nel cervello di animali a noi filogeneticamente vicini (come le scimmie) notiamo appunto come la corteccia prefrontale si sia sviluppata molto di più nel cervello umano. Dunque, se vogliamo studiare le basi cerebrali di certe funzioni, come il pensiero astratto, il giudizio morale, la rappresentazione concettuale del mondo esterno e così via, si comprende come il migliore, se non unico, modello animale da prendere in esame sia l'essere umano.

In greco antico il verbo sapere οἶδα (pron. oida) era il perfetto di un verbo indicante il vedere (cf. ὀράω, pron. orao) e stava a significare "ho visto e quindi so". Come a dire che la conoscenza non poteva prescindere dall'esperienza visiva. Tutt'oggi la rilevanza della vista è indicata dall'uso frequente che facciamo di termini che si basano su verbi visivi: "*Can you see my point?*", "*I see what you mean*", "*Vedere la vita in rosa*", "*Stravedere per qualcuno*", "*Arrivederci*", e così via.

Da un punto di vista neurofisiologico la rilevanza della vista è in accordo con il riscontro che la

corteccia cerebrale dedicata alle funzioni visive rappresenta quasi un terzo dell'intera superficie della corteccia cerebrale.

Queste prime considerazioni fanno sorgere spontanea una serie di domande, non solo da un punto di vista neuroscientifico. In che modo le persone con cecità congenita possono rappresentarsi un mondo che non hanno mai visto? In che modo queste persone usano strutture cerebrali deputate alla visione in assenza della vista? E ancora, in che misura è davvero necessaria la vista affinché il cervello possa sviluppare la sua meravigliosa architettura morfologica e funzionale? Infine, cosa possiamo imparare, studiando il cervello di individui ciechi, circa il modo in cui il cervello si sviluppa e funziona in condizioni fisiologiche?

Grazie alle moderne metodologie di esplorazione in vivo del funzionamento del cervello possiamo cercare la risposta a queste domande. In particolare, attraverso la risonanza magnetica funzionale (fMRI), una tecnica di *imagining* biomedico non invasivo, possiamo osservare il cervello in attività e ottenere una mappa delle aree cerebrali funzionalmente eloquenti.

Con esperimenti di risonanza magnetica funzionale si è arrivati a delinearne la topografia funzionale delle vie visive nell'essere umano. Una volta che lo stimolo arriva alla corteccia visiva primaria, viene scisso in due parti: una parte va verso la via ventrale, o via del *che cosa* (*what pathway*), dove riconosciamo il mondo esterno, l'altra va verso la via dorsale o via del *dove* (*where pathway*) che è quella invece che ci permette di collocare gli oggetti nello spazio (Haxby et al., 1994). Di conseguenza, se ci vogliamo muovere nel mondo che ci circonda, queste due aree del cervello devono necessariamente dialogare intensamente tra loro in modo da essere in grado di riconoscere gli oggetti che ci circondano e collocarli nello spazio. In alcune malattie, come ad esempio il morbo di Alzheimer, ancor prima che si abbiano alterazioni focali, cioè di parti della corteccia, ciò che si perde è proprio la capacità di dialogo tra le diverse aree della corteccia cerebrale. Vi è quella che tecnicamente si definisce un'alterazione di connettività funzionale (Grady et al., 2001; Pietrini et al., 1993; Pietrini et al., 2009a).

Il fatto che una piccola parte della corteccia cerebrale, la cosiddetta corteccia ventro-temporale, cioè la parte ventrale del lobo temporale, ci permetta di riconoscere tutto ciò che ci circonda, di

distinguere un oggetto da un volto e diverse categorie di oggetti tra di loro, è un argomento che affascina da sempre il mondo delle neuroscienze, della psicologia e delle scienze cognitive.

Per comprendere i correlati neurali che rendono possibile il riconoscimento di diverse categorie di oggetti, in uno studio pubblicato nel 2001 (Haxby et al., 2001) abbiamo utilizzato la risonanza magnetica a tre Tesla per esaminare l'attività cerebrale in risposta al riconoscimento visivo di oggetti di categorie diverse (facce, animali, utensili costruiti dall'uomo, sedie, luoghi e oggetti di uso comune). I risultati dimostrano che la risposta cerebrale alle diverse categorie di oggetti è distribuita nell'intera corteccia ventro-temporale in maniera in gran parte sovrapposta per tutte le categorie esaminate. Il pattern di risposta cerebrale, tuttavia, appare essere altamente specifico per ciascuna delle categorie esaminate, tanto da poter consentire di predire con grande accuratezza cosa il soggetto stia guardando. Esiste, in altre parole, una fortissima correlazione nella risposta all'interno della stessa categoria: la risposta che il cervello fornisce quando guardiamo un volto è significativamente correlata all'interno della categoria facce, ma non è correlata con la risposta ottenuta con l'attività cerebrale in riferimento ad altre categorie. Possiamo dunque parlare dell'esistenza di una specificità categoriale.

Questo studio del 2001 ha portato all'elaborazione di un nuovo modello, chiamato *Object Form Topography*: la corteccia cerebrale ventro-temporale risponde non in maniera tutto-nulla a determinate categorie di oggetti, ma è in grado di produrre un'infinita serie di pattern specifici di risposta neuronale. Tanto specifici da essere predittivi di ciò che l'individuo sta guardando, come si è detto sopra. Questo è stato il primo studio di *Brain Reading*, inteso come la possibilità di decodificare un segnale nervoso in maniera così specifica da ricondurlo ad una specifica attività mentale. A questo punto sorge spontanea una domanda in termini di rappresentazione concettuale: questa organizzazione funzionale della corteccia è solo visiva o rappresenta una più astratta rappresentazione del mondo esterno? Per verificare questa ipotesi, abbiamo condotto una serie di studi di risonanza magnetica funzionale, nel corso dei quali a soggetti bendati veniva chiesto di riconoscere oggetti di categorie diverse, questa volta però per via tattile e non visiva. L'individuo doveva perce-

pire gli oggetti con le proprie mani, toccando ad esempio dei calchi di facce umane o altri tipi di oggetti, quali scarpe e bottiglie. Ciò che è emerso da questo tipo di esperimenti di esplorazione tattile è che si ha una forte attivazione non solo della corteccia somato-sensoriale, ma anche della corteccia visiva ventro-temporale, così come accade nel caso di riconoscimento visivo. Se sovrapponiamo e confrontiamo le parti che si attivano durante il riconoscimento visivo e quelle che rispondono durante il riconoscimento tattile, ci rendiamo conto che vi sono aree della corteccia visiva ventro-temporale che sono attivate in entrambi i casi. Diversi studi dimostrano come non ci sia grande differenza per il cervello tra il vedere una cosa realmente o immaginare di vederla (Pearson et al., 2015). Ne consegue che, se tocchiamo un oggetto e lo esploriamo tattilmente, immediatamente evochiamo l'immagine visiva dell'oggetto che stiamo toccando, un processo che si chiama *imagery visiva* (Cattaneo et al., 2008). Come possiamo dunque escludere che questa attivazione nella corteccia ventro-temporale durante esplorazione tattile non sia frutto semplicemente di *imagery visiva*? Per rispondere a questa domanda abbiamo chiesto a persone con cecità congenita, che non hanno mai visto il mondo che le circonda e che quindi non hanno una rappresentazione concettuale che deriva da un'esperienza visiva, di riconoscere gli oggetti attraverso l'esplorazione tattile. Come si può vedere nella Figura 2, la corteccia visiva di questi soggetti viene attivata nello stesso modo – e con la stessa specificità categoriale – che si ha nel vedente quando vede o tocca lo stesso oggetto. Poiché il cieco congenito non ha alcuna esperienza visiva e pertanto non ha alcuna *imagery* di origine visiva, possiamo ragionevolmente ritenere che l'attivazione corticale ventro-temporale durante il riconoscimento tattile di diverse categorie di oggetti non possa essere attribuita meramente a fenomeni di *imagery visiva* (Pietrini et al., 2004). Dunque l'organizzazione morfo-funzionale della corteccia ventro-temporale prescinde dall'esperienza visiva, proprietà che abbiamo definito sopramodalità. Sopramodalità è la capacità di processare informazioni percettive indipendentemente da una specifica modalità sensoriale (Pietrini et al., 2009b; Ricciardi et al., 2014). Passiamo quindi dalla percezione a quella che possiamo chiamare una rappresentazione concettuale. Come vengono codificati nel cervello concetti

relativi a ciò che ci circonda? Per trovare una risposta a questo quesito abbiamo condotto uno studio in collaborazione con i neurolinguisti dell'Università di Pisa in cui veniva chiesto a individui vedenti e ad individui ciechi dalla nascita di descrivere le caratteristiche di oggetti diversi. Sono stati utilizzati oggetti che appartenevano a diverse categorie: mammiferi, uccelli, frutta e vegetali, strumenti, veicoli, luoghi naturali e luoghi artificiali. Attraverso una descrizione verbale si possono ricostruire delle mappe, che vengono chiamate *behavioural representational similarity maps*, cioè delle mappe di rappresentazione concettuale che raggruppano gli oggetti tra di loro utilizzando un property-generation task.

L'esperimento prevedeva che i soggetti vedenti leggessero il nome dell'oggetto di riferimento (*Verbal Visual Form*) o vedessero proiettata l'immagine (*Pictorial Visual Form*), oppure ancora ascoltassero il nome dell'oggetto di riferimento (*Verbal Auditory Form*). In un lasso di tempo di sette secondi, i soggetti vedenti dovevano descrivere a voce ciò che vedevano o ascoltavano (es. ananas: è un frutto, è dolce, ... gatto: è un mammifero, miagola, ha la coda... bar: è un luogo dove si sta insieme, servono caffè, e così via). Nei soggetti ciechi dalla nascita veniva utilizzata ovviamente solo la modalità acustica con l'ascolto del nome dell'oggetto di riferimento.

Attraverso questi esperimenti è emerso il legame tra la rappresentazione spaziale delle diverse categorie di oggetti, ottenuta con la verbalizzazione delle categorie, e quella che è la possibilità di ricostruire le mappe concettuali di questi oggetti basate sui pattern di attivazione cerebrale.

Se noi passiamo dall'analisi della sola corteccia visiva primaria a quella di tutto il cervello, possiamo vedere come aumenta la correlazione e migliora moltissimo la segregazione tra i diversi oggetti fino ad arrivare ad avere una classificazione molto precisa di tutte le categorie di oggetti separate tra di loro, nel momento in cui vengono utilizzate nell'analisi tutte le aree che collaborano e cooperano a questa classificazione. Questo dimostra che la rappresentazione concettuale di un oggetto di una determinata categoria nel cervello umano è sostenuta da una rappresentazione corticale distribuita che è modalità indipendente e che non differisce significativamente tra coloro che hanno avuto un'esperienza visiva e coloro che non l'hanno avuta, quindi prescinde

dall'esperienza visiva e dalla modalità sensoriale utilizzata per acquisire l'informazione (Handjaras et al., 2016, 2017).

La sussistenza di una natura più astratta dell'organizzazione corticale funzionale dimostra come il cervello sia programmato per potersi sviluppare in maniera indipendente dell'esperienza visiva. Quello che non sappiamo ancora è quanto esso sia geneticamente programmato e quanto dipenda invece da stimoli provenienti dall'ambiente, per quanto sia altamente probabile che il cervello abbia comunque bisogno di una qualche esperienza sensoriale.

Questa organizzazione può consentire ad individui che sono ciechi dalla nascita di acquisire conoscenza, di crearsi rappresentazioni mentali, di apprendere dagli altri e di interagire effettivamente con un mondo esterno che pure non hanno mai visto (Ricciardi e Pietrini, 2011). Il cervello è quindi capace di sviluppare la sua architettura anatomica e funzionale indipendentemente dall'esperienza visiva, il che può rappresentare un indubbio vantaggio anche da un punto di vista evolutivo. Dopo aver affrontato il tema della percezione, passando per la rappresentazione concettuale, possiamo ora parlare di Immaginazione.

Utilizzando le recenti metodologie di esplorazione morfologica e funzionale del sistema nervoso centrale, possiamo chiedere che cosa succede nel nostro cervello quando prendiamo una decisione, quando interagiamo con gli altri, quando rispondiamo al mondo esterno. O quando diventiamo aggressivi, ad esempio. Da un punto di vista neurobiologico e evolutivo, l'aggressività è la messa in atto di una risposta comportamentale volta ad avvantaggiare l'individuo.

Alcuni anni fa abbiamo esaminato che cosa succede nel cervello di giovani sani, che non hanno disturbi del comportamento o storia di violenza, quando viene chiesto loro di immaginare di trovarsi in una situazione dove devono esprimere aggressività. Individui sani, sottoposti ad esame di Tomografia ad emissione di Positroni (PET) con acqua marcata per misurare variazioni di flusso ematico cerebrale<sup>1</sup>, dovevano immaginare di trovarsi un ambiente confinato (un ascensore) con la propria madre, insieme a due estranei. Ad un certo punto, uno dei due estranei assaliva la madre del soggetto, in scenari diversi. I soggetti dovevano reagire, pensando di attaccare questa persona, picchiarla fino addirittura ad ucciderla (Pietrini et

al., 2000). I risultati dello studio hanno mostrato come, nel momento in cui l'individuo immagina di diventare aggressivo, la sua corteccia prefrontale venga funzionalmente inibita, in una sorta di shutdown funzionale, venga cioè deactivated rispetto a condizioni emotivamente neutre. Questa deattivazione, inoltre, era molto più significativa nelle femmine che nei maschi, verosimilmente perché immaginare violenza fisica è un atto ancora più innaturale per una femmina di quanto lo sia per un maschio, in accordo con il riscontro che i punteggi della scala che misura l'attitudine alla violenza è significativamente maggiore nei maschi rispetto alle femmine. Questi dati funzionali in vivo, in accordo con le evidenze della letteratura clinica, dimostrano l'importanza della corteccia prefrontale nella modulazione del comportamento aggressivo e, più in generale, del comportamento sociale e del controllo degli impulsi. La definizione di una neuroanatomia funzionale che sottende il controllo del comportamento apre la prospettiva allo studio delle basi cerebrali del comportamento criminale. Quanto davvero il criminale è tale per libera scelta o è così perché non può essere diverso, la questione che è ben riassunta nel gioco di parole "*Bad or Mad*" della letteratura anglosassone? Oltre cento anni fa lo psichiatra inglese Henry Maudsley (1835-1918) parlando degli psicopatici criminali scriveva: "Così come ci sono persone che non possono distinguere certi colori avendo quella che è chiamata la cecità per i colori ed altre che, non avendo alcun orecchio per la musica, non possono distinguere un tono musicale dall'altro, così ve ne sono alcune che sono congenitamente prive di qualsivoglia senso morale".

Questa è un'affermazione fatta ben prima dell'avvento di qualsiasi metodologia di indagine scientifica del sistema nervoso centrale. Se oggi, con le moderne tecniche che abbiamo a disposizione, mettiamo a confronto soggetti sani, senza psicopatia con soggetti criminali psicopatici ci rendiamo conto di una cosa interessante, ovvero della presenza di una differenza anatomica cerebrale selettiva tra i due gruppi di soggetti. Vi è infatti una riduzione dei neuroni che non riguarda tutto il cervello, ma è concentrata nella corteccia prefrontale, deputata appunto al controllo del comportamento aggressivo e in alcune aree del sistema limbico, importante per la regolazione emotivo-affettiva (Ermer et al., 2012). Questa

differenza rimane statisticamente significativa anche quando siano stati presi in considerazione tutti i possibili fattori di confondimento, quali il livello di istruzione, la storia psichiatrica, i traumi cranici, l'abuso di alcool e droghe e così via.

I criminali psicopatici, dunque, hanno una corteccia prefrontale significativamente meno spessa, meno popolata da cellule nervose (oltre il 20% di neuroni in meno) rispetto ai soggetti di controllo e con un'alterata connessione funzionale (Ermer et al., 2012; Anderson & Kiehl, 2012; Ly et al., 2012). Questa osservazione non ci dice se questi individui sono così perché sono criminali o sono criminali perché sono così, ci troviamo in altre parole di fronte al famoso dilemma uovo-gallina. Per capire cosa è causa e cosa è effetto sono necessari studi longitudinali su ampi gruppi di soggetti seguiti fin dalle fasi della prima adolescenza, meglio ancora se in unione a studi dei fattori genetici che modulano la vulnerabilità all'ambiente in età infantile e il rischio di sviluppo di comportamento antisociale da adulti (Byrd & Manuck, 2014; Caspi et al., 2002; Iofrida et al., 2014; Pietrini & Rota, 2013; Rota et al., 2014).

Come abbiamo visto, il lungo cammino nella *Imagining Brain Anatomy* cominciato moltissimi anni fa con gli studi anatomici in cui l'Italia è stata all'avanguardia è poi proseguito con la possibilità di studiare la neuroanatomia in vivo ad alta risoluzione ed è arrivato fino a sovrapporre struttura e funzione. È oggi possibile esaminare il cervello in azione mentre percepiamo una figura, la rappresentiamo concettualmente, pianifichiamo una strategia, decidiamo tra il bene e il male. Un viaggio affascinante all'interno del cervello alla ricerca della mente, nella speranza che tutti nutriamo, di riuscire a prendere in mano il bandolo della matassa quale ancora rimane la complessità dei nostri fenomeni cerebrali (Pietrini, 2003).

---

## Note

**1** Il flusso ematico cerebrale è un indicatore di attività cerebrale: esso aumenta laddove aumenta l'attività cerebrale e diminuisce laddove diminuisce l'attività cerebrale.