

GENI, NEURONI E MENTE NELL'UOMO

Filippo Tempia*

Dai geni ai neuroni

Il genoma umano comprende circa 24.000 geni. Questo numero sembra a prima vista abbastanza grande, anche se è molto simile a quello del topo ed è poco più di quello del moscerino e del nematode *Caenorhabditis elegans*, che è il primo animale a cui è stato completamente sequenziato il genoma. In ogni caso, per capire quante informazioni i geni possono contenere, bisogna come minimo paragonare il loro numero con l'organismo che essi devono codificare. Il solo encefalo umano (la parte di sistema nervoso centrale contenuta nel cranio) è costituito da circa 86 miliardi di cellule nervose, i neuroni, più un ugual numero di cellule di supporto strutturale e funzionale, le cellule gliali¹. Con 24.000 geni è impossibile codificare le proprietà di 86 miliardi di neuroni. Con una semplice divisione possiamo calcolare che per ogni gene abbiamo circa 3,5 milioni di neuroni. In realtà, l'unità funzionale del sistema nervoso dovrebbe essere ricercata nel singolo contatto sinaptico, che permette la trasmissione di segnali tra cellule nervose. Alcuni tipi di neuroni, come le cellule piramidali della corteccia cerebrale e le cellule di Purkinje della corteccia del cervelletto, posseggono decine o centinaia di migliaia di piccolissime protuberanze chiamate spine dendritiche, ognuna delle quali riceve un contatto sinaptico da un'altra cellula. Infatti, tutti i neuroni, ma in particolar modo quelli dotati di spine dendritiche, ricevono molti tipi di segnali sinaptici, veicolanti informazioni con significato differente. Ogni

* Neuroscience Institute Cavalieri Ottolenghi (NICO), Università di Torino, e Istituto Nazionale di Neuroscienze-Italia.

¹ Azevedo et al. 2009.

contatto sinaptico si può modificare in modo da variare il peso di ogni specifica informazione ricevuta dal neurone. Variazioni dell'efficacia della trasmissione sinaptica sono considerati la base biologica della memoria. Dato che ogni contatto sinaptico può essere modificato indipendentemente dalle altre sinapsi della stessa cellula, esso può essere considerato come un'unità funzionale. In questo modo il numero di unità funzionali dell'encefalo umano aumenta di un fattore di circa 10.000, arrivando a un numero stimato nell'ordine di grandezza di 10^{15} .

Data la sproporzione tra numero di geni e numero di unità funzionali dell'encefalo umano, è chiaro che i geni possono solamente specificare le linee generali che guidano lo sviluppo delle strutture nervose e delle loro connessioni. Infatti, è noto che lo stesso identico DNA non porta alla costruzione due encefali perfettamente identici. Questo perché, nello sviluppo del sistema nervoso, oltre alle istruzioni genetiche, entrano in gioco molti altri fattori, come l'interazione di ogni cellula con il microambiente in cui si trova e soprattutto come i segnali elettrici e chimici ricevuti da altre cellule. Questo è vero per tutti gli organi e tessuti, ma nel caso del sistema nervoso hanno un'enorme influenza anche i segnali nervosi, provenienti in gran parte dall'ambiente esterno. Da questo punto di vista si potrebbe considerare che la storia personale, unica e irripetibile, di un soggetto umano inizi molto prima di quando egli acquisti la coscienza di esistere. In altri termini, si potrebbe affermare che il nostro corpo è plasmato dall'insieme delle esperienze sensoriali che agiscono sul sistema nervoso da prima della nascita.

Una dimostrazione scientifica, grossolana ma molto interessante, che dimostra come il sistema nervoso non sia completamente specificato dai geni è data dallo studio dei cervelli di gemelli monozigoti, i gemelli identici. Alcuni ricercatori hanno visto che è più facile riconoscere i gemelli dallo schema dei loro solchi e circonvoluzioni cerebrali che dal profilo del loro volto o del loro cervello². Quindi, anche al livello macroscopico delle corrugazioni della materia grigia cerebrale entrano in gioco dei fattori che vanno oltre le istruzioni genetiche codificate dal DNA. Si può quindi affermare che, persino a un livello materiale e grossolano, ogni cervello umano è unico e irripetibile. Dobbiamo inoltre considerare che la nostra storia personale prosegue per tutto l'arco della vita, e che ogni esperienza agisce sul nostro sistema nervoso modulandone o modificandone le funzioni e perfino la struttura. L'esempio più interessante è la formazione di una traccia mnemonica, che consiste in un fine cambiamento dell'efficacia di un insieme di sinapsi. Ogni volta che impariamo qualcosa, si modifica qualcosa nel nostro sistema nervoso. Questa modificazione, che consiste principalmente in un cam-

² Mohr et al. 2004.

biamiento di efficacia sinaptica, è ciò che permette di richiamare alla memoria il ricordo.

Quindi, è necessario affermare che noi non siamo semplicemente il prodotto del nostro DNA e che siamo forse influenzati, ma certamente non determinati, dal nostro DNA. È assurdo affermare, come è di moda oggi, che una persona si comporta in un certo modo perché quel comportamento «è nel suo DNA». Il codice genetico può influenzare il temperamento, ma la personalità è in ampia misura dovuta a fattori acquisiti nel corso della propria vita.

Dai neuroni alla mente

Come dal funzionamento dei neuroni cerebrali tragga origine l'attività mentale è probabilmente il più grande mistero della natura. Dai dati delle neuroscienze risulta chiaramente che il funzionamento dell'encefalo e l'attività mentale sono strettamente collegati. Infatti, è sufficiente una minima alterazione cerebrale, strutturale o funzionale, per modificare l'attività mentale. Un'abolizione completa dello stato di coscienza richiede invece una lesione cerebrale molto estesa o un'azione farmacologica molto potente, come quella che si ottiene somministrando un anestetico o quella che si osserva in determinate forme di crisi epilettica. Pur riconoscendo una strettissima dipendenza della mente dal funzionamento cerebrale, la natura della relazione che intercorre tra di essi non è nota e finora non esistono esperimenti in grado di chiarirla, nonostante i numerosi sforzi che sono stati compiuti al fine di scoprire i cosiddetti «correlati neuronali della coscienza». Queste ricerche hanno stabilito l'esistenza di un ruolo cardine della corteccia cerebrale, con connessioni reciproche con i nuclei talamici, ma non si conosce quali siano le aree corticali cruciali né il tipo di attività neuronale responsabile per la coscienza. Sembra che per eliminare lo stato di coscienza sia necessaria un'inattivazione o un'eliminazione di una porzione molto ampia del sistema cortico-talamico posteriore, comprendente aree mesiali posteriori e aree associative temporo-parieto-occipitali³. Questo insieme di aree cerebrali posteriori sembra essere alla base della coscienza percettiva, mentre le decisioni e le risposte comportamentali e l'introspezione sembrano dipendere dalle aree prefrontali⁴.

³ Alkire et al. 2008.

⁴ Tononi e Koch 2008.

È innegabile che anche gli animali abbiamo delle esperienze coscienti. Su questa base, alcuni studiosi affermano che la coscienza umana è assimilabile a quella animale, da cui differirebbe solo quantitativamente. In contrasto con questa concezione, ci sono molte ragioni per affermare che le esperienze coscienti degli animali siano di natura diversa rispetto alla coscienza umana. Naturalmente una differenza facilmente riconoscibile (ma da alcuni ugualmente negata) è legata al possesso di un linguaggio in grado di codificare le idee in segnali da comunicare agli altri. I maggiori studiosi delle neuroscienze del linguaggio riconoscono che, nelle forme di comunicazione animale, si possono riconoscere alcune analogie con il linguaggio umano (in realtà molto scarse), ma negli animali manca completamente un *omologo* del linguaggio umano⁵.

La maggioranza degli studiosi attuali si sforza di trovare, nelle funzioni cognitive animali, similitudini o addirittura uguaglianze con l'uomo. In contrasto con questa prospettiva, che è quasi una moda del nostro tempo, Marc Hauser, un ricercatore che ha studiato molto a fondo le capacità cognitive animali, propone che sia più interessante notare le differenze tra animali e uomo piuttosto che rimarcare le analogie⁶. Questo studioso ha recentemente proposto un nuovo termine per mettere in risalto le differenze tra l'uomo e gli animali, *humaniqueness*: «Propongo che gli uomini abbiano evoluto capacità nervose uniche dopo la divergenza dall'ultimo antenato comune 6 o 7 milioni di anni fa, e che queste capacità abbiano creato un divario fondamentale e senza precedenti nell'evoluzione delle menti animali». Nello specifico, secondo Hauser, solo gli uomini hanno evoluto quattro distinte capacità di elaborazione mentale, assenti nei nostri antenati animali: elaborazione generativa, simbolismo mentale, promiscuità delle interfacce, pensiero astratto.

1. *Elaborazione generativa*. Si tratta delle operazioni ricorsive e di quelle combinatorie, che costituiscono l'unico sistema noto in grado di generare una quantità praticamente illimitata di espressioni, siano esse matematiche, linguistiche, musicali o morali. La ricorsività è un'operazione iterativa in cui una regola viene ripetuta per creare nuove espressioni. Per esempio, proposizioni all'interno di un periodo o pezzi musicali con temi ripetuti o utensili all'interno di utensili (come un coltellino svizzero). Al contrario, le operazioni combinatorie permettono la fusione e l'ordinamento di elementi distinti, creando in tal modo nuove idee, che possono essere espresse

⁵ Dronkers et al. 2000; Hauser 2006.

⁶ Hauser 2009.

- come neologismi. Le operazioni iterative degli animali sono limitate a un solo tipo di funzione motoria e non sono generalizzate ad altre funzioni.
2. *Simbolismo mentale*. Gli uomini trasformano esperienze sensoriali e pensieri astratti in simboli esternalizzati, parole o immagini, e lo fanno prontamente e senza bisogno di istruzioni. Si tratta di una capacità trasversale rispetto ai domini di conoscenza e di esperienza sensoriale, che permette agli uomini di esprimere il proprio pensiero in frasi, di descrivere particolari melodie musicali con notazioni esplicite, di produrre dei *logo*.
 3. *Promiscuità delle interfacce*. Gli uomini hanno capacità creative e abilità di risoluzione dei problemi uniche: esse derivano dalla capacità di combinare diverse rappresentazioni in modo promiscuo traendole da differenti domini del sapere. Per esempio, si possono combinare i concetti di numero, credenza, causalità e danno, al fine di decidere se in alcuni casi è moralmente ammissibile, lecito od obbligatorio nuocere a una persona per salvare la vita a molte altre.
 4. *Pensiero astratto*. Alcuni pensieri derivano da esperienze sensoriali dirette, come il pensare ad oggetti rossi quali ciliegie o sangue in contrasto ad oggetti non rossi come il sedano o l'osso. Tuttavia molti pensieri umani sono astratti, senza connessioni sensoriali esplicite o necessarie. Questi comprendono concetti come *infinito*, categorie grammaticali come *nomi* e *verbi*, giudizi etici come *permesso* e *proibito*.

È interessante notare che anche il ragionamento astratto dell'uomo ha dei limiti di cui non siamo pienamente coscienti. Un esempio molto significativo è il compito di selezione di Wason, in cui si deve capire, in base a una regola molto semplice, quale simbolo si trova nella faccia nascosta di una carta⁷. Questo compito astratto è per noi molto difficile, e praticamente tutti i soggetti falliscono in quanto compiono un errore di logica. Ancora una volta è Marc Hauser a notare che lo stesso problema viene risolto con facilità se, anziché simboli astratti come lettere e numeri, si utilizza un equivalente sociale⁸.

Un aspetto fondamentale della coscienza umana è la consapevolezza del proprio io come soggetto delle proprie percezioni, pensieri e azioni. Tale consapevolezza è associata alla capacità di riconoscere, spontaneamente e senza fatica, questi stati mentali anche in altre persone, interagendo con loro o semplicemente osservandole. Questa capacità di attribuire una coscienza simile alla nostra

⁷ Wason 1966.

⁸ Hauser 2006.

ad altri soggetti è stata chiamata *theory of mind*, teoria della mente. Gli esseri umani hanno insita la tendenza ad attribuire una coscienza come la propria ad altri esseri che sembrano comportarsi in modo dettato dalla loro volontà. A causa dell'importanza che riveste la *theory of mind* per l'uomo, molti studiosi si sono chiesti se esistano animali con questa capacità⁹. Dato che la maggioranza degli animali sembra priva di una *theory of mind* paragonabile a quella umana, gli studi più importanti e approfonditi sono stati compiuti sugli scimpanzé, che sono gli animali più strettamente imparentati con l'uomo dal punto di vista genetico ed evolutivo. Come spesso accade nelle ricerche scientifiche, la risposta non è univoca¹⁰. Da un lato, è chiaro che gli scimpanzé comprendono i fini e le intenzioni degli altri, e anche le percezioni e le conoscenze altrui: quindi sì, possiedono in qualche misura una *theory of mind*. D'altro canto, gli scimpanzé non comprendono ciò che gli altri credono o desiderano. Inoltre, non comprendono che gli altri possono avere delle false credenze. Relativamente a questi ultimi aspetti la risposta è quindi un no. È interessante notare che una recente ricerca¹¹ ha dimostrato che i bambini, già dall'età di 7 mesi quando compare la capacità di attribuire fini e intenzioni, sono in grado di codificare ciò che un'altra persona crede. Per di più, i bambini di 7 mesi riescono a tener conto simultaneamente delle altrui credenze e delle proprie e il loro comportamento tiene conto di entrambe.

Gli studi sul cervello dell'uomo rispetto agli altri primati hanno messo in evidenza differenze significative in diverse aree, tra cui spiccano quelle deputate al linguaggio e le regioni prefrontali preposte alle funzioni decisionali. Queste ultime hanno recentemente suscitato un grande interesse, anche perché proprio queste aree prefrontali sono enormemente più sviluppate nell'uomo rispetto agli altri primati¹². Koechlin e Hyafil, in una recente rassegna sulla neurofisiologia dei processi decisionali nell'uomo, affermano: «La capacità decisionale dipende da una gerarchia di regioni della corteccia frontale laterale, che controllano la selezione delle azioni in rapporto alle spinte interne e alle preferenze soggettive, con un apice che corrisponde alla convessità laterale dell'area cito-architettonica definita come area 10 di Brodmann, denominata corteccia del polo frontale»¹³. È proprio questa la regione cerebrale che presenta un enorme sviluppo nell'uomo

⁹ Premack, Woodruff 1978.

¹⁰ Call, Tomasello 2008.

¹¹ Kovács et al. 2010.

¹² Semendeferi et al., 2001.

¹³ Koechlin, Hyafil, 2007.

rispetto agli animali¹⁴. Koechlin e Hyafil affermano inoltre che «I pazienti con lesioni della corteccia del polo frontale non presentano deficit nei test neuropsicologici di percezione, linguaggio, intelligenza, ma sono gravemente deficitari nelle decisioni in situazioni incerte e poco strutturate, come spesso si presentano nella vita di tutti i giorni. La corteccia del polo frontale permette l'interposizione di due progetti comportamentali o compiti mentali simultanei, secondo le rispettive aspettative di ricompensa, superando il vincolo sul controllo dell'esecuzione dei compiti nella corteccia prefrontale. La corteccia del polo frontale è attiva quando i soggetti passano da un compito comportamentale complesso a un altro, particolarmente quando è necessario tenere in memoria l'informazione di un compito mentre si passa all'alternativa»¹⁵. La corteccia del polo frontale codifica il vantaggio di passare a un'alternativa, quando le scelte sono fatte volontariamente. La corteccia del polo frontale ha un ruolo fondamentale nel promuovere la flessibilità comportamentale, anche nelle decisioni volontarie¹⁶. Al contrario, l'area prefrontale ventro-mediale (VMPFC) codifica il valore relativo della decisione corrente¹⁷. Quest'area fa parte del sistema che valuta la rilevanza delle opzioni e il perseguimento del comportamento più adeguato al raggiungimento dei fini. Una recente ricerca di Charron e Koechlin ha dimostrato che, mentre le aree corticali mediali, a cui VMPFC appartiene, dell'emisfero sinistro codificano la rilevanza di un'opzione, quelle dell'emisfero destro valutano un'opzione alternativa. Le due valutazioni vengono combinate nella corteccia del polo frontale. Queste aree lavorano assieme nel controllare le decisioni, in accordo con l'unitarietà dei processi volizionali umani¹⁸. Tuttavia, questi risultati implicano che nell'uomo la capacità di valutazione delle alternative sia fortemente limitata a due soli elementi per volta, spiegando in tal modo i limiti dei processi decisionali e di ragionamento¹⁹. La mancanza, nei primati non umani, della valutazione simultanea di due opzioni potrebbe essere alla base dell'enorme differenza non solo di flessibilità comportamentale, ma anche di risoluzione di problemi complessi e di ragionamento.

I giudizi morali sono considerati esclusivi dell'uomo. Recentemente, le basi cerebrali delle valutazioni morali sono state oggetto di intensi studi nel campo

¹⁴ Semendeferi et al. 2001.

¹⁵ Koechlin, Hyafil 2007.

¹⁶ Boorman et al. 2009.

¹⁷ *Ibidem*.

¹⁸ Charron, Koechlin 2010.

¹⁹ *Ibidem*.

delle neuroscienze, che hanno spaziato dallo studio neuropsicologico di pazienti con lesioni di una specifica area cerebrale, agli studi di psicologia della morale, agli esperimenti di risonanza magnetica funzionale (fMRI: functional Magnetic Resonance Imaging) e agli esperimenti di stimolazione magnetica transcranica.

I risultati indicano che le emozioni giocano un ruolo importante nelle scelte morali, ma con interpretazioni diverse dei vari gruppi di ricerca. Gli studi di pazienti con lesioni all'area cerebrale prefrontale ventro-mediale (VMPFC), importante per la sensibilità emotiva, mostrano un'alterazione in senso utilitaristico dei giudizi morali²⁰. Questa alterazione è stata interpretata come una mancanza delle componenti emotive nella formulazione dei giudizi morali²¹. In accordo con un ruolo fondamentale delle emozioni, diversi esperimenti di psicologia morale indicano che i giudizi morali non sono il frutto di un ragionamento esplicito, ma sono sovente il risultato di intuizioni in cui le emozioni giocano un ruolo predominante²². Tuttavia, il risultato di tali intuizioni può essere modificato da meccanismi coscienti, come il ragionamento verbale, il ripensamento della questione da un altro punto di vista e la discussione con altre persone che pongono in campo nuove considerazioni. Secondo la teoria di Haidt (2007) l'unico di questi meccanismi utilizzato di frequente è l'ultimo. Durante la formulazione di un giudizio morale, gli esperimenti di fMRI hanno dimostrato che si osserva un'attivazione di diverse aree cerebrali, alcune delle quali sono maggiormente legate all'analisi degli elementi emotivi, mentre altre sono più in relazione con il pensiero razionale²³. Il gruppo di ricerca di Joshua Greene ha interpretato questo dato come una competizione tra aree cerebrali in cui il predominio di un'area emotiva porterebbe a giudizi dominati dall'emozione, mentre il prevalere di un'area razionale risulterebbe in giudizi utilitaristici²⁴. Tuttavia, questa teoria è contraddetta da altri dati sperimentali²⁵. Il gruppo di ricerca di Jorge Moll ha proposto un'ipotesi che permette di conciliare i dati contrastanti dei diversi esperimenti²⁶. Secondo Moll e collaboratori, le scelte morali sarebbero il risultato della valutazione di alternative con contenuti misti, sia emotivi sia razionali. Secondo questa concezione, questi due aspetti, che entrano in gioco nei giudizi morali, non sono

²⁰ Damasio 1994; Koenigs et al. 2007.

²¹ Koenigs et al. 2007.

²² Haidt 2001; Hauser 2006.

²³ Greene et al. 2004; Moll et al. 2005.

²⁴ Greene et al. 2004.

²⁵ Per una breve rassegna cfr. Tempia, in press.

²⁶ Moll et al. 2005.

in competizione, perché la loro elaborazione richiede che entrambi vengano integrati e analizzati nelle varie aree cerebrali implicate nei giudizi morali. In conclusione, nonostante la natura ampiamente intuitiva dei giudizi morali con un ruolo fondamentale delle emozioni, il soggetto ha la possibilità di rivalutare la situazione tramite il pensiero razionale. Questa considerazione pone in rilievo la responsabilità del soggetto morale, a cui si riconosce la possibilità di riconsiderare i propri giudizi alla luce delle argomentazioni di altre persone o di porsi in una diversa prospettiva.

BIBLIOGRAFIA

- Alkire M.T., Hudetz A.G., Tononi G., *Consciousness and Anesthesia*, «Science», 322, 2008, pp. 876-880.
- Azevedo F.A.C., Carvalho L.R.B., Grinberg L.T., Farfel J.M., Ferretti R.E.L., Leite R.E.P., Filho W.J., Lent R., Herculano-Houzel S., *Equal numbers of neuronal and nonneuronal cells make the human brain an isometrically scaled-up primate brain*, «The Journal of Comparative Neurology», 513, 2009, pp. 532-541.
- Boorman E.D., Behrens T.E., Woolrich M.W., Rushworth M.F., *How green is the grass on the other side? Frontopolar cortex and the evidence in favor of alternative courses of action*, «Neuron», 62, 2009, pp. 733-743.
- Call J., Tomasello M., *Does the chimpanzee have a theory of mind? 30 years later*, «Trends in Cognitive Sciences», 12, 2008, pp. 187-192.
- Charron S., Koechlin E., *Divided representation of concurrent goals in the human frontal lobes*, «Science», 328, 2010, pp. 360-363.
- Damasio A.R., *Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain*, Penguin, New York 1994, trad. it. *L'errore di Cartesio. Emozione, ragione e cervello umano*, Adelphi, Milano 1995.
- Dronkers N.F., Pinker S., Damasio A.R., *Language and the aphasias*, in Kandel E.R., Schwartz J.H., Jessell T.M. (a cura di), *Principles of Neural Science*, McGraw-Hill, 2000, trad. it. *Il linguaggio e le afasie*, in Kandel E.R., Schwartz J.H., Jessell T.M. (a cura di), *Principi di neuroscienze*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano 2003.
- Greene J.D., Nystrom L.E., Engell A.D., Darley J.M., Cohen J.D., *The neural basis of cognitive conflict and control in moral judgment*, «Neuron», 44, 2004, pp. 389-400.
- Haidt J., *The emotional dog and its rational tail: a social intuitionist approach to moral judgment*, «Psychological Review», 108, 2001, pp. 814-834.
- Haidt J., *The new synthesis in moral psychology*, «Science», 316, 2007, pp. 998-1002.
- Hauser M.D., *The possibility of impossible cultures*, «Nature», 460, 2009, pp. 190-196.
- Hauser M.D., *Moral Minds: How Nature Designed Our Sense of Right and Wrong*, Ecco/