

Michael S.
Gazzaniga

L'interprete

Come
il cervello
decodifica il mondo



I LIBRI DI QUESTA COLLANA SONO IL RISULTATO DI APPROFONDITE DISCUSSIONI CON L'AUTORE CHE, STIMOLATO DALLE NOSTRE DOMANDE, SIMILI A QUELLE CHE VOI AVRESTE VOLUTO PORRE, SVILUPPA CHIARAMENTE LA MATERIA OGGETTO DELLA SUA RICERCA.

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Pier Augusto Breccia', written in a cursive, slightly slanted style.

Proprietà letteraria riservata

Nessuna parte di questo libro può essere riprodotta o trasmessa in qualsiasi forma o con qualsiasi mezzo senza l'autorizzazione scritta dei proprietari dei diritti e dell'editore.

In copertina: Pier Augusto Breccia, *Profondità*, olio su tela, 2000.

©2007 Di Renzo Editore
Viale Manzoni 59
00185 Roma
Tel. 06/77 20 90 20
Fax 06/704 740 67
E-mail: direnzo@direnzo.it
Internet: <http://www.direnzo.it>

Michael S. Gazzaniga

L'interprete

Come il cervello decodifica il mondo

Di Renzo Editore



Una precoce curiosità per la “mente”

Attualmente dirigo il Sage Center per lo studio della mente all'Università della California di Santa Barbara e sono presidente del Council of Bioethics americano. Fino al 2006 ero anche presidente dell'American Psychological Society. Parto dall'oggi perché è l'unico punto fermo che posseggo, il resto, il passato, è come un flusso, come la corrente di un fiume, che inconsapevolmente mi ha portato a essere ciò che sono. Difficile capire i disegni che il destino ci riserva, mentre si è intenti a vivere: mio nonno ha affrontato l'America come una sfida e mio padre si è ritrovato a fare il chirurgo grazie a un insegnante che ha saputo e voluto valorizzarlo. Ed io? Io sono diventato un “esperto” della mente, perché da piccolo mi ponevo domande che altri miei coetanei non si facevano...

Sono nato a Glendale, in California, nel 1939, per poi crescere nel distretto suburbano orientale di Los Angeles. Tuttavia, ho trascorso gran parte della mia infanzia in varie basi navali americane, dove mio padre prestò servizio, durante la seconda guerra mondiale, come chirurgo.

Mio nonno paterno è arrivato negli Stati Uniti dall'Italia. Sapevo che la mia famiglia aveva origini lombarde, ma solo di recente ho scoperto l'esatta collocazione del piccolo paese, a sud di Milano, dal quale è partito il mio antenato. Non l'ho mai conosciuto di persona, ma – grazie a lui – i suoi tre figli più giovani sono nati e cresciuti in America. Il figlio maggiore, invece, è rimasto in Italia, dove – per quanto ne so – il mio cognome è

piuttosto frequente. Credo che tutti i Gazzaniga degli Stati Uniti siano, in un modo o nell'altro, imparentati fra loro.

Il mio progenitore si stabilì nel New England. Mio padre nacque a Marlborough, nel Massachusetts, e poi frequentò il St. Anselm's College: un istituto cattolico del New Hampshire. Stando a quanto si raccontava in casa, mio padre non aveva la più pallida idea di cosa fare dopo il diploma, e fu uno dei preti del St. Anselm a offrirgli l'opportunità di frequentare un corso di laurea in medicina. Quel prelato aveva infatti un buon amico, anch'egli religioso, alla facoltà di medicina della Loyola University di Chicago. Secondo lui, mio padre era uno studente molto brillante e capace, al quale andava data la possibilità di mettere a frutto al meglio le proprie doti. Il collega della Loyola pose come condizione che lo studente fosse adeguatamente preparato in chimica e fisica, così il suo nume tutelare al St. Anselm andò da mio padre e gli disse: "Hai i prossimi tre mesi per imparare tutto sulla fisica e la chimica!" Di sicuro fu un'impresa titanica, ma mio padre ce la fece.

Dopo la laurea, andò a specializzarsi in chirurgia presso il Los Angeles County Hospital, per poi trasferirsi a Glendale, sposare un'infermiera dell'ospedale locale e cominciare una carriera di successo. Fu anche uno dei fondatori del primo gruppo di assistenza sanitaria nazionale in America: il predecessore di quello che oggi conosciamo come sistema "Kaiser Permanente".

Ma parlare di mia madre, limitandosi a dire che era un'infermiera, non le rende giustizia: aveva anche lavorato come segretaria di Aimee Semple McPherson, la famosa (alcuni direbbero "famigerata") evangelista degli anni Venti e dei primi anni Trenta. Dunque, mia madre era una *losangelina* dura e pura: "una donna potente". In effetti, ha gestito la famiglia e noi figli – cinque in tutto – con piglio non dico autoritario, ma fermo. Per intenderci meglio, forse, dovrei raccontare di quel-

la volta che tornai a casa eccitatissimo, perché avevo vinto le elezioni studentesche ed ero diventato membro della “corte suprema” della scuola. Quando arrivai a casa, quel pomeriggio, corsi a dare la buona notizia a mia madre, la quale si limitò a chiedermi cosa pensavo di fare, il semestre successivo, per diventare presidente!

I miei sentimenti nei suoi confronti sono stati tutto men che tiepidi. Mostrava sempre quel tipo di forza difficile da scalfire, la stessa che, più tardi, quando mio padre si ammalò, la portò a prendersi costantemente ed esclusivamente cura di lui. Mio padre aveva infatti subito un colpo apoplettico, alla fine degli anni Cinquanta, ma venne ricoverato solo dopo più di un anno. Prima, durante e dopo il ricovero, fu mia madre a farsi carico dell'intera famiglia. Credo sia stato anche grazie alla sua forza di volontà che mio padre riuscì a guarire completamente e a tornare al lavoro, continuando a operare per molti anni ancora.

Tutto questo accadeva mentre facevo il mio ingresso all'università, determinato a diventare un neurobiologo. Ricordo che, durante la malattia di mio padre, avevo studiato attentamente la sua cartella clinica, per determinare l'area cerebrale colpita e l'eventuale presenza di altri danni non apparenti, oltre alla sua leggera afasia.

Mio padre è poi morto nel 1985. Mia madre gli è sopravvissuta di cinque anni.

Sono sempre stati molto uniti e tale era la devozione di mio padre, nei confronti di sua moglie, che per assecondarla scontentò mio nonno. Rientrava, infatti, nei progetti di famiglia che mio padre facesse ritorno nel Massachusetts, una volta portata a termine la specializzazione in chirurgia. Lì, infatti, lo attendeva già uno studio. Così accadde, dunque, ma dopo appena nove mesi, senza ancora aver maturato una sufficiente esperienza professionale e con l'ausilio di un ben modesto

guadagno, stante l'insofferenza di mia madre per il clima freddo del New England, i novelli sposini presero la via della California del Sud. E con la sola interruzione dovuta al servizio militare, quella rimase la loro "terra" per tutto il tempo a venire.

La chiamata alle armi giunse, alla fine del 1941, nonostante i quattro figli a carico: i medici sono sempre "merce" rara e preziosa, in tempo di guerra. Mio padre venne arruolato come medico della Marina e come tale prestò servizio nelle Nuove Ebridi, fino al suo ritorno negli Stati Uniti. Il carattere l'ha sempre aiutato, nel senso che sapeva farsi ben volere e non si arrendeva facilmente alle difficoltà. Per un periodo, ci trasferimmo a vivere nella base di San Diego, in California, e poi a Coeur d'Alene, nell'Idaho. Rammento che in famiglia si parlava spesso di quella volta che aveva "rianimato" l'intera base navale delle Nuove Ebridi, concedendo promozioni a tutti. Per un puro caso, dato che l'ufficiale comandante del personale navale aveva dovuto lasciare la base per un certo periodo di tempo, mio padre – quale ufficiale più anziano, anche se ufficiale medico e non militare – si era ritrovato a farne le veci e pensò appunto di risollevarne il morale dei marinai, duramente provato dalla guerra, promuovendoli tutti! Non credo che la misura sia stata apprezzata dai suoi superiori, ma certamente servì allo scopo: il morale della base ebbe un'impennata.

Dopo la guerra tornammo a Glendale, dove noi figli riprendemmo ad andare a scuola. Io ero il secondo, frequentavo un liceo pubblico e, soprattutto, ero un ragazzo spensierato. Per quel che ricordo, la mia adolescenza è stata "tremendamente normale": studiavo, mi divertivo, giocavo un po' a football, nella squadra della scuola, ma non sono mai stato un bravo giocatore. Mi piaceva piuttosto occuparmi di tutto ciò che riguardava "il contorno" della squadra. Però ero un ragazzo molto curioso, che si faceva un gran numero di domande: mi chiedevo, per esempio, perché le persone fossero così di-

verse, nei loro modi di pensare, di approcciare l'esistenza, la filosofia, nelle loro credenze e nei comportamenti. E non mi limitavo a chiederlo a me stesso: tormentavo familiari, amici e vicini di casa. È stato proprio uno dei nostri vicini a profetizzare che sarei diventato un filosofo, visto l'inesauribile mole di domande che avevo da fargli ogni volta che l'incontravo! Credo, in questo, di aver ripreso da mio padre; anche lui era una persona curiosa: provava sempre ad aggiustare da solo i suoi strumenti chirurgici e passava molto tempo a perfezionare le procedure di assistenza sanitaria. In lui ho trovato sempre un forte incoraggiamento, ma forse dovrei chiamarlo "amore per la scienza". Ciascuno di noi figli ha avuto in dono il suo "Piccolo Chimico" e, quando ero alle superiori, con il suo aiuto misi in piedi un piccolo laboratorio, in garage. Provai anche alcuni esperimenti, come quello per studiare gli enzimi nei muscoli dei conigli.

Di sicuro, non ero l'unico a voler seguire la strada intrapresa da mio padre, ovvero quella della ricerca: il quarto dei miei fratelli, Irvine, che recentemente è andato in pensione, è diventato preside della Facoltà di Chirurgia dell'Università della California. Anche mia sorella si è laureata in medicina, ma poi ha abbandonato la professione per dedicarsi alla botanica. L'unico fratello che non si è mai interessato di scienza è diventato scrittore e fotografo.

A Dartmouth, ai tempi dell'università, ci si aspettava che anch'io mi specializassi in chirurgia. Forse ho deluso le aspettative familiari, ma ho scelto comunque una strada non troppo distante. Durante il primo anno universitario avevo letto un articolo sulla crescita dei nervi: una ricerca condotta al California Institute of Technology (Caltech), sotto la direzione del noto neurobiologo, e futuro Premio Nobel, Roger W. Sperry. Pasadena, dove si trovava il Caltech, non era poi così lontana da Glendale e, per giunta, era vicinissima al luogo dove viveva la mia fidanzata. Posso dire di essere stato "catturato" da quel-

l'articolo, al punto che, impulsivamente, scrissi a Sperry in persona, chiedendogli di farmi lavorare con lui durante le vacanze estive. Per fortuna, la National Science Foundation americana sponsorizzava delle vacanze studio, e io ne vinsi una.

Il Caltech è stato dunque il mio primo impatto con un vero laboratorio di ricerca. L'ambiente era molto animato e la maggior parte degli esperimenti condotti in quelle stanze riguardava proprio la crescita dei nervi. Avevo letto che sempre lì era stata approntata una ricerca sullo *split brain*, il cervello diviso, che poi era stata messa da parte in favore del progetto sulla crescita dei nervi. Ebbene, decisi che lo *split brain* sarebbe stato la mia prima sfida da neofita, e da allora non mi sono mai voltato indietro!

Dalla medicina alle neuroscienze cognitive: breve storia di un viandante

Intrapresi i miei esperimenti iniettando un anestetico nell'arteria carotidea di un coniglio. Sebbene il circolo di Willis consentisse un rimescolamento del flusso sanguigno dei due emisferi cerebrali, il contatto tra il sangue privo di anestetico e quello con l'anestetico era di fatto minimo. In tal modo, solo un emisfero cerebrale del coniglio rimaneva anestetizzato, cosa che mi consentiva di eseguire dei rilievi elettroencefalografici di entrambi gli emisferi e di compararli.

Rammento la naturalezza con la quale un giorno, mentre stavo lavorando, venni interrotto da Linus Pauling, il Premio Nobel per la chimica, che era curioso di sapere cosa stessi facendo. Quando gli spiegai che stavo prendendo gli elettroencefalogrammi comparativi dei due emisferi del coniglio, si limitò a dire: "Perché non prendi una coppa di gelatina, la spargi tutt'intorno, mentre attacchi gli elettrodi, e vedi se ottieni qualche movimento?" Disse soltanto questo, e se ne andò. Difficile spiegare la mia sorpresa dinanzi a tanta naturalezza: il Caltech era davvero una grande scuola! In qualsiasi momento, poteva capitarti di venire fermato da un professore o da un Nobel, che per pura e semplice curiosità s'interessava al tuo operato e ti dava dei consigli o qualche spunto di riflessione.

In breve, l'esperienza di quell'estate mi fece cambiare idea sulla possibilità di diventare medico: ormai desideravo soltanto tornare al Caltech e portare a compimento lì i miei studi. Mio padre mandò giù la decisione da "vero uomo": era orgo-

gioso del suo essere medico e amava il suo mestiere, ma non al punto da dimostrarsi irrispettoso delle mie preferenze. Peraltro, ne avevamo parlato spesso, assieme, di cosa volessi fare veramente nella vita.

Nel 1961 ho conseguito il diploma al Dartmouth College e immediatamente dopo ho fatto ritorno al Caltech, dove mi sono laureato, nel 1964, in neurobiologia. E sempre lì ho effettuato i miei due anni di dottorato. Nel 1966, grazie a una borsa di studio del National Institute of Health, mi recai all'Università di Pisa, per un master di sei mesi. Da quella esperienza ho imparato – e ne sono a tutt'oggi convinto – che gli scienziati italiani sono i più infaticabili lavoratori.

Di ritorno negli Stati Uniti, accettai un posto di assistente in psicologia, all'Università della California di Santa Barbara (UCSB). Anni dopo ero diventato il preside del Dipartimento di Psicologia. Dall'UCSB mi sono poi trasferito alla scuola specialistica dell'Università di New York, dove per qualche tempo ho lavorato come docente, prima di passare all'Università Statale di New York, a Stony Brook. Nel 1977, accettai l'incarico di direttore della Divisione di Neuroscienze Cognitive del Dipartimento di neurologia e psicologia, al Cornell University Medical College. Anche in questo caso, pochi anni dopo, divenni preside dell'Istituto per le Neuroscienze Cognitive del Cornell.

Tra il 1988 e il 1992, decisi di tornare a Dartmouth, nella scuola medica che all'epoca era in mano ad Andrew W. Thomson Jr., professore di psichiatria e direttore del Programma di Neuroscienze Cognitive di Dartmouth. Nel 1992 ero nuovamente all'Università della California, ma stavolta a Davis, in veste di direttore della scuola medica presso il Centro di Neuroscienze. Un anno dopo fondai la Società per le Neuroscienze Cognitive e dopo altri due anni tornai a Dartmouth, con l'incarico di professore emerito e direttore del Centro di Neu-

rosienze Cognitive. Con l'età, infine, sono arrivati anche i "titoli" onorifici: decano della facoltà di Dartmouth e, nel 2005, presidente dell'American Psychological Society. Sempre nel 2005, ho intrapreso una collaborazione con l'Università della California di Santa Barbara, dove sono diventato direttore del nuovissimo Sage Center per lo studio della mente.

Non lo dico per vantarmi, ma a riprova del fatto che ci sono mestieri nei quali il cambiamento è nutrimento per la mente: sono stato membro di undici associazioni professionali e socio di altrettante, dall'American Academy of Neurology, all'Associazione Americana per lo Sviluppo della Scienza, dell'American Psychological Society all'American Psychological Association. Nel mio curriculum ci sono 29 pagine di istituzioni, luoghi, riconoscimenti e premi, pubblicazioni e incarichi: 29 pagine di instancabile professione. Eppure, lette l'una dopo l'altra non bastano a rendere l'idea di quanto e quale amore per il mio mestiere vi fosse dietro ogni incarico che ho accettato.

Oggi vivo in una grande casa, in stile moderno, vicino Santa Barbara, su una scogliera che sovrasta l'Oceano Pacifico. Mi circondano alberi da frutta, prati e perfino una piccola vigna. È mia da più di quarant'anni e le sono così affezionato che non posso nascondere il peso determinante che ha avuto nello spingermi a tornare in California, al Sage Center. In un certo senso, come scriveva Novalis, torniamo sempre a casa.

Ci tengo a dire che la mia vita non è stata dedicata solo e unicamente alla scienza. Ho trovato anche il tempo di essere padre e marito e credo di aver fatto al meglio entrambe le cose, sebbene mi sia sposato due volte. La prima volta era il 1964. Da questa unione sono nate quattro figlie. Tutte cresciute con saggezza, visto che hanno trovato senza grandi problemi la loro strada nella vita. La più grande fa la scrittrice, vive a New York e ha sposato un musicista. La seconda lavora nell'ufficio

per la pianificazione e l'espansione dell'Università Statale dell'Arizona, dopo aver intrapreso una altrettanto fortunata carriera all'Università di New York. Non è sposata. La terza fa l'insegnante, è sposata ed è madre dei miei due nipotini, che presto diventeranno tre... La quarta è poetessa, scrittrice e insegnante, e sa fare bene tutte e tre le cose.

Il mio primo matrimonio, tuttavia, è finito con un divorzio. Oggi, vivo con la mia seconda moglie, Charlotte, che ho sposato nel 1982. Da questo matrimonio sono nati altri due figli: una femmina, che si è appena laureata a Dartmouth e ha in mente di diventare genetista, e un maschio, che frequenta la Brown University e non ha ancora scelto la sua carriera.

Posso senz'altro definirmi un uomo felice, gioviale, arguto e molto ospitale. E aggiungerei "solido": sia quanto a statura fisica, che nella reputazione scientifica.

“Il fine ultimo del Centro è tanto ambizioso, quanto semplice e confortante: quando si comprende la mente, si comprende la condizione umana”. Così sta scritto sulla homepage del sito Internet del Sage Center. E sono stato io a volere questa frase, perché riassume le umili verità di una vita trascorsa a studiare la mente: non si tratta di un buco nero, ma di una scatola nera. La si può e la si deve interpretare e comprendere.

Il Sage Center è stato fondato, presso l'Università della California di Santa Barbara, nel novembre 2005, in seguito a una donazione di tre milioni e mezzo di dollari, da parte delle Pubblicazioni Sage. La casa editrice ha effettuato questa donazione in occasione del suo quarantennale: quarant'anni da editore leader nel campo internazionale delle pubblicazioni scolastiche, educative e professionali. L'acronimo Sage è nato da una coppia di filantropi di Santa Barbara: Sara e George McCune. Il nome, peraltro, ha molteplici significati in inglese: non ultimo quello di “saggio”, ovvero di persona saggia. E l'idea, difatti, era proprio quella di rendere la casa editrice e il Sage Center come una sorta di istituzione “saggia”, alla quale chi fosse in cerca della conoscenza poteva rivolgersi. Sara Miller McCune è a tutt'oggi la direttrice delle Sage Publications e amministratore delegato della Fondazione UCSB.

Personalmente, sono entrato a far parte del progetto ancor prima che venisse finanziato dalla donazione. Anzi, volen-

do esemplificare all'estremo, il Sage Center è stato fondato proprio per consentirmi – in virtù della fiducia accordatami – di sviluppare un'istituzione multidisciplinare. Rispondeva infatti a un mio antico e mai sopito desiderio l'idea di raggruppare ricercatori provenienti da un ampio spettro di discipline, solitamente non correlate fra loro, allo scopo di sviluppare progetti da eseguire congiuntamente.

È mia opinione che per indagare un'entità complessa quale la mente non si possa progredire per compartimenti stagni, bensì si debba operare seguendo un punto di vista prospettico quanto più ampio possibile. L'obiettivo finale è una maggiore comprensione dei meccanismi attraverso i quali la mente lavora, così come il modo in cui il cervello modera e media i processi dell'attività mentale, facendo rientrare fra tali processi la coscienza nella sua interezza, la moralità e l'etica.

Il Sage Center è stato pensato per agire da catalizzatore negli studi interdisciplinari sulle relazioni tra mente e cervello: alcune delle aree più interessanti delle neuroscienze cognitive sono situate al confine tra neuroscienza e psicologia, ma si avvalgono anche di strumenti e metodi mutuati dall'analisi matematica, dalla fisica, dalla chimica, dalla biologia molecolare e genetica e dall'ingegneria.

Le attività scolastiche e di ricerca prevedono anche l'integrazione fra scienze umanistiche, sociali e scientifiche: ci saranno pertanto la metafisica e la filosofia della mente, accanto alle metodologie delle scienze sociali e comportamentali, e agli strumenti di recente sviluppo scientifico, quali la *neuroimaging* funzionale, le tecniche genetiche, i modelli computazionali e le tecnologie della realtà virtuale.

La chiave del successo del Sage Center sta proprio in questa sua cultura interdisciplinare e per tale ragione abbiamo cercato di creare un clima accademico e d'insegnamento scevro di qualsiasi ostacolo alla collaborazione: sia la facoltà che l'am-

ministrazione incoraggiano fortemente e aiutano il lavoro di interscambio tra le diverse discipline accademiche.

Obiettivo della ricerca al Sage Center è anche quello di sviluppare metodi innovativi in grado di risolvere o chiarire le questioni ancora aperte, che nell'ambito dei rapporti mente-cervello sono davvero numerose. A tale scopo, è stato istituito il *Sage Distinguished Visiting Fellow*: per richiamare e attrarre alla UCSB le migliori menti accademiche, provenienti dai campi di studio più disparati. Ci aspettiamo che un simile impegno porti a spiegazioni di più ampio raggio circa alcuni fenomeni precipuamente umani, come le interrelazioni umane, lo stress, la risoluzione dei conflitti, i processi decisionali, l'economia del consumo, la criminalità e molto altro ancora.

Fisicamente il Centro è stato costruito attigualmente alla Facoltà di Psicologia della UCSB, ma nello stesso edificio è prevista la collocazione di altri due centri di ricerca: un polo – assolutamente nuovo – di *brain imaging* e un polo di ricerca virtuale per l'ambiente e il comportamento, fondato nel 1997.

La genesi di tutto ciò – che considero con orgoglio frutto della mia mente – era già presente nella prefazione che avevo scritto, nel 1992, per uno dei testi fondamentali delle neuroscienze cognitive: *Nature's Mind (La natura della mente)*, pubblicato dalla Basic Books di New York. All'epoca, avevo già ricevuto la copia di un vecchio articolo scritto dall'immunologo Niels Jerne, il quale sfidava i neuroscienziati a ripensare il cervello alla luce della teoria della selezione naturale, così come è stata sviluppata dalla biologia e dall'immunologia evolutivista.

Tale fu l'entusiasmo che mi suscitò quell'articolo, che decisi di organizzare, con un mio amico storico, un *meeting* al quale presero parte dieci eminenti biologi, neuroscienziati e scienziati cognitivi. Era il 1990 e la cornice era quella di una splendida Venezia. In quell'occasione affrontammo questioni d'immunologia e sviluppo cerebrale, esaminando le scoperte cor-

renti in ambito cellulare, molecolare ed evolutivistico. Discutemmo di linguaggio e teoria della selezione, ma anche di psicologia comparata e degli aspetti filosofici attinenti alla mente. Tale era l'entusiasmo dei partecipanti, nel ritrovarsi a collaborare su questioni ancora insolite, che facemmo largo uso di caffeina, per non cedere alla stanchezza. Quel *meeting* fu la cosa migliore alla quale ciascuno di noi avesse mai partecipato. Raccogliemmo appunti e avanzammo proposte, poi ce ne tornammo tutti a casa a far sobbollire le idee...

Per quel che mi riguarda quelle idee fermentarono ben bene e ne esposi il risultato nella prefazione a *Nature's Mind*. Avanzavo lì, per la prima volta, il "temerario" tentativo di mettere insieme nozioni provenienti da campi talvolta molto distanti e differenti. Se dico "temerario" è perché, in quanto scienziato di laboratorio, sono fin troppo consapevole dei voli pindarici insiti nel passare da un livello di analisi a un altro. Ciononostante non mi sono lasciato prendere dalla paura; al contrario, ho assecondato la mia passione – che si direbbe destinata a intensificarsi nel tempo – per lo stabilire connessioni in grado di spiegare come il cervello renda possibile la conoscenza umana.

Il trucco, nel nostro campo, ovvero delle neuroscienze cognitive, è continuare ad andare avanti. Non risolviamo mai niente. La sola cosa che facciamo è muoverci verso una nuova tecnica, nel tentativo di rispondere a nuove domande. Questo significa che non troveremo mai una risposta univoca. Non è come cercare e scoprire una nuova proteina. Piuttosto, abbiamo una "specie di idea generale" di come funzionano le cose, che però non è mai definitiva. Circa la metà dei neuroscienziati nel mondo studia il sistema ottico-visivo; eppure, se chiedi a ognuno di loro come un animale veda un triangolo, nessuno saprà rispondere!

Il concetto di triangolo infatti è un'astrazione, un'idea intellettuale che l'uomo ha sviluppato per definire una forma particolare, dandole un nome. Ebbene, le neuroscienze cognitive sono il

metodo mediante il quale speriamo di poter costruire un qualche tipo di ponte, in grado di collegare gli aspetti neurofisiologici delle funzioni cerebrali con lo sviluppo dei concetti astratti.

Lo split brain e l'interprete

È mia opinione, come ho già avuto modo di esprimere in *The Mind's Past (Il passato della mente)*, testo del 1998, che “la psicologia, in sé, è morta”. Ammetto che si tratta di un giudizio alquanto severo e, forse, dovrei smorzarlo aggiungendo che la psicologia – in qualità di disciplina a sé stante – si trova a vivere una buffa situazione: continua a porsi domande alle quali i suoi propri mezzi non consentono risposta, o almeno, non una risposta che punti alla costituzione di un *corpus* di conoscenze. La psicologia non è come la biologia molecolare, disciplina in cui ogni giorno vengono fatte nuove scoperte sulla base di vecchi assunti. Tuttavia, ciò non significa che i processi o gli stati psicologici siano irrilevanti o addirittura noiosi. Al contrario: fanno parte dell'oscuro mistero della mente, che in molti cercano disperatamente di capire. La vera domanda del XXI secolo è come il cervello permetta alla mente di essere e funzionare. Non ho dubbi al riguardo.

Ho cominciato a interessarmi al rapporto mente-cervello nel corso della mia prima esperienza al Caltech. All'epoca, giocò in mio favore il fatto che la maggior parte degli assistenti di Roger Sperry stesse lavorando alla rigenerazione dei nervi, mentre un altro interessante progetto, la ricerca sullo *split brain*, era rimasto – di fatto – terra di nessuno. Parlai con Sperry del mio desiderio di scoprire cosa avvenisse negli animali quando il corpo calloso veniva separato. Preciso che il corpo calloso è un fascio di fibre nervose molto compatto, che collega i due emisferi del cervello e permette a ciascuno di comunicare con l'altro.

Sapevamo già allora che il corpo calloso è dotato di una rigida specificità: ogni sua parte contiene informazioni isolate. Non si può semplicemente prendere una vecchia informazione e spingerla attraverso questa fitta rete formata da più di ~~venti miliardi di neuroni~~. Il tipo d'informazione che viene trasferito da una parte all'altra corrisponde a zone specifiche del corpo calloso. Ne consegue che aree specifiche svolgono funzioni specifiche. Tuttavia, ci sono delle variazioni: una data area può assolvere a una particolare funzione nel signor Smith e a un'altra nel signor Jones. In un certo senso, il cervello dei singoli individui è organizzato in modo differente. La qual cosa non impedisce, una volta iniziato a studiare un cervello, di comprendere dove una parte di esso invia le sue informazioni specifiche o in quale parte del corpo calloso è situato questo percorso. Gli studi sugli animali sono stati il primo passo per dimostrare il ruolo fondamentale del corpo calloso nella determinazione della condizione mentale precipuamente umana.

Nel 1961, durante quella mia prima estate al Caltech, compresi che una parte del cervello faceva qualcosa di cui l'altra non sapeva nulla. Non so descrivervi la mia sorpresa nell'assistere a una tale "disconnessione" tra una parte e l'altra. Dalle mie osservazioni ho desunto che ciascun emisfero cerebrale aveva le sue proprie specialità e assolveva a funzioni separate. L'emisfero sinistro, per esempio, è il centro del pensiero e della risoluzione dei problemi, nonché il centro dominante del discorso e del linguaggio. L'emisfero destro, invece, è specializzato in alcuni compiti di ricognizione spaziale, quali la determinazione e il riconoscimento tattile di taluni oggetti che erano stati disegnati in modo da non essere riconducibili ad alcuna forma familiare, laddove la parte sinistra del cervello non era in grado di distinguere gli oggetti l'uno dall'altro. In breve, quando ai soggetti bendati veniva chiesto di trovare un oggetto rispondente a una certa forma, riconoscendolo mediante

l'emisfero sinistro – ovvero esaminandolo con la mano destra – essi non riuscivano a individuarlo tra le molte forme disponibili; cosa che invece era loro possibile con la mano sinistra.

Tornato a Dartmouth, per completare il mio ultimo anno in medicina, appresi del famoso esperimento condotto all'Università di Rochester, dove il cervello di alcuni pazienti affetti da un'epilessia incurabile era stato separato chirurgicamente. Gli attacchi erano in qualche modo scomparsi, dopo gli interventi condotti da Frank Smith. Lo contattai immediatamente e riuscii a ricavarne del tempo, durante i fine settimana, per studiare le cartelle cliniche di quei pazienti. Quando ormai ero pronto per incontrare i pazienti di persona ed effettuare dei test su di loro, il dottor Smith decise all'improvviso d'interrompere la nostra collaborazione. Ciononostante, la possibilità di cominciare a studiare soggetti umani si concretizzò ugualmente, quando intrapresi la mia specializzazione al Caltech.

Sebbene gli studi originari di Sperry sugli animali suggerissero che gli emisferi separati chirurgicamente non potessero comunicare o trasferire informazioni l'uno con l'altro, alcuni scienziati avevano messo in dubbio l'applicabilità di una tale scoperta in ambito umano. Fu il dottor Joseph Bogen, neurochirurgo del Caltech, a prendersi la responsabilità di tentare una procedura di transezione, su un paziente affetto da epilessia non medicalmente trattabile. Il paziente si chiamava W.J. ed io chiesi immediatamente di poterlo incontrare. Lavorare con lui è stata un'esperienza straordinaria, uno dei momenti indimenticabili della mia vita professionale. Ecco, dunque, cosa mi trovai ad osservare: il soggetto indicava e descriveva con facilità colori, lettere e altre informazioni proiettate per brevi intervalli di tempo sulla parte destra del suo campo visivo. Tali informazioni venivano poi processate dall'emisfero sinistro: quindi, in parole povere, l'emisfero sinistro di W.J. non aveva bisogno di aiuto per eseguire quelle funzioni di base

che richiedevano risposte verbali. Invece, quando abbiamo proiettato gli stessi oggetti nel suo campo visivo sinistro, la risposta dell'emisfero destro non è arrivata. Ricordo che l'intero staff tecnico-scientifico lo guardava ansiosamente, ma lui sembrava esser diventato improvvisamente cieco. Insisteva nel dire che non riusciva a vedere i lampi di luce, le lettere in grassetto o qualsiasi altro stimolo visivo che gli veniva presentato. Nel frattempo, però, la sua mano sinistra (anch'essa sottoposta al controllo dell'emisfero destro) pigiava una chiave telegrafica – come lo avevamo istruito a fare – ogni volta che gli somministravamo uno stimolo visivo. Difficile descrivere il nostro entusiasmo, dinanzi a un risultato così strabiliante. Era infatti evidente che il cervello umano si basava su un duplice sistema operativo. La conclusione a cui giungemmo fu che la parte destra del cervello mancava della propensione a definire mediante parole il mondo esterno e i suoi stimoli; propensione che è invece propria dell'emisfero sinistro. Avevo appena 21 anni, all'epoca, e soltanto un po' di pratica sperimentale, effettuata con attrezzature molto primitive, tuttavia Sperry decise di assegnarmi ai test neuropsicologici su W.J. e, di fatto, per i successivi cinque anni lavorammo insieme allo *split brain*. Appena si palesavano nuovi pazienti, chiedevamo di testarli: eravamo i primi a farlo e in tre anni e mezzo lanciammo la moderna ricerca sullo *split brain*.

Me lo ricordo come un periodo grandioso ed esaltante, perché ogni volta scoprivamo qualcosa di nuovo: non poteva di certo passare inosservato il fatto che ciascuna metà del cervello aveva le sue competenze specifiche o che c'era una qualche forma di trasferimento di informazioni anche tra le due metà rescisse. In verità, la maggior parte delle informazioni trasferite derivava da una divisione chirurgica incompleta. Il caso di W.J., invece, ci introdusse allo studio sistematico di pazienti i cui emisferi cerebrali non comunicavano più tra loro, in alcun modo. Da questi primi test hanno preso avvio una se-

rie di ricerche sul modo in cui il cervello produce memoria, ragionamento, emozioni e tutti gli altri elementi della vita mentale. Lo studio dei pazienti *split brain* ci ha indotti a lavorare in un campo ibrido: quello che oggi conosciamo come neuroscienze cognitive.

Dalle mie ricerche ho appreso che le informazioni viaggiano, attraverso il corpo calloso, in entrambe le direzioni, ovvero effettuano quella che chiamiamo una *connessione omotopica*. Un punto "A", che rappresenta una porzione di corteccia cerebrale di un dato emisfero, ha sempre un suo omologo "B", situato all'incirca nella stessa zona, ma nell'altro emisfero della corteccia. "A" manda una fibra nervosa a "B" e "B" fa altrettanto, stabilendo una struttura simmetrica. L'80-90% del corpo calloso è formato da tali fibre. Ulteriori scoperte, tuttavia, suggeriscono che alcune fibre del corpo calloso sono in grado di stabilire connessioni eterotopiche. Ci rimane ancora da chiarire cosa corrisponda a cosa: se, per esempio, il corpo calloso viene reciso nel punto X, potrebbe interrompersi la trasmissione dell'udito; nel punto Y, comprometteremmo il tatto; nel punto Z, la vista. Ma, se invece ci si muove anteriormente nel corpo calloso, diventa più difficile determinare le conseguenze di una recisione. Un problema è rappresentato anche dalla natura dei test: sia che lo stimolo dell'esperimento sia tattile, uditivo o visivo, se la parte appropriata del corpo calloso rimane connessa, l'informazione viene subito rappresentata bilateralmente. Ne consegue che, qualunque effetto l'esaminatore possa notare, esso è annullato dal fatto che entrambi gli emisferi riconoscono il problema. Mi meraviglio sempre della relativa scarsità di percorsi alternativi utilizzati. Sovente, e lo dico con una punta di ironica amarezza, dobbiamo affidarci agli errori dei chirurghi: se, infatti, un chirurgo tralascia una parte del corpo calloso nella procedura di emisezione, i nostri test saranno in grado di scoprire natura e funzione delle fibre rimanenti.

In *Nature's Mind*, ho voluto addentrarmi anche nell'ambito di quale ruolo abbiano la natura (leggi, la selezione) e la cultura (leggi, l'istruzione) nell'apprendimento e nel comportamento umani. È mia convinzione che l'apprendimento sia soprattutto selezione.

L'immunologo Niels Jerne è stato il primo a sollevare questo problema, in un articolo ormai classico, del 1968, pubblicato dal programma di studi neuroscientifici della Rockefeller University Press. La questione posta sul tavolo di lavoro era la seguente: è l'organismo che risponde a uno stimolo dell'ambiente oppure è l'ambiente che seleziona qualcosa che è già presente nell'organismo? Dobbiamo a un immunologo, dunque, uno dei problemi chiave delle neuroscienze cognitive. Prima di Jerne, era convinzione comunemente accettata che un antigene invadesse il corpo umano, scatenando la risposta di un anticorpo, specifico per quell'antigene, già presente nell'organismo. L'assunto dal quale si partiva era che l'antigene istruisse il corpo su come creare un anticorpo specifico. Tuttavia, divenne presto chiaro che non era questo il vero processo. Come ho avuto modo di spiegare già in *Nature's Mind*: "Il corpo umano ha tutti gli anticorpi possibili fin dall'inizio".

Gli immunologi si sono mantenuti fedeli, per anni, al convincimento che il nostro organismo sia capace di produrre anticorpi per qualunque sostanza estranea introdotta nel sistema. Un'idea, questa, che potrebbe sembrare sensata stante la grande varietà di sostanze a cui il corpo reagisce mediante la produzione di anticorpi. D'altronde, è noto che l'organismo produce anticorpi anche contro sostanze artificiali, sintetizzate in epoche più recenti e mai esistite prima in natura... Ciononostante è oggi noto che quando un aggressore estraneo attacca il nostro corpo, una cellula preesistente riconosce l'intruso e, a scopo difensivo, comincia a moltiplicarsi e a produrre proteine. Durante la moltiplicazione di tali cellule possono verificarsi delle mutazioni, che a loro volta rendono le proteine sem-

pre più devastanti per il corpo estraneo. Le nuove scoperte hanno messo in luce, dunque, come funziona il sistema immunitario: quello che una volta sembrava essere un processo di istruzione (ovvero il corpo *che sviluppa* una nuova molecola in risposta all'ambiente) si è rivelato essere, invece, un processo di selezione (ossia l'ambiente *che seleziona* una cellula preesistente all'interno dell'organismo umano, cellula che è già in grado di creare l'apposito anticorpo). A voler riassumere, possiamo dire che: quando uno stimolo, come un antigene, penetra nel sistema, seleziona gli anticorpi più adatti già presenti o, se si preferisce, gli anticorpi già presenti, con la migliore adattabilità, e questi prendono a bersaglio quel determinato antigene. Non c'è istruzione né creazione di alcuna nuova molecola. La nuova grande idea, quindi, è stata quella secondo cui non c'era proprio nulla di nuovo!

I biologi dell'evoluzione ne hanno discusso a lungo, usando come cavallo di battaglia l'esempio di un miliardo di falene bianche contro una parete bianca. Fin quando qualcuno non si prende la briga di riverniciare la parete di grigio, le falene non vengono avvistate dagli uccelli, perché si mimetizzano. Ma se la suddetta parete viene ridipinta al grigio, allora le falene bianche hanno ben poche probabilità di sopravvivenza e, un anno dopo, tutte le falene sono grigie. Da principio, la biologia dell'evoluzione era saltata alla conclusione che le falene avevano "imparato" che era meglio essere grigie, per poter sopravvivere. Tuttavia non è quello che accade in realtà. Anche se probabilmente il 90% delle falene sono state mangiate, il resto di loro era grigio fin dall'inizio e, proprio grazie a questa particolarità, hanno potuto moltiplicarsi indisturbate, fino a diventare il colore dominante.

La maggior parte delle mie ricerche sul cervello ha preso avvio proprio dalla cosiddetta teoria della selezione.

Dobbiamo a Niels Jerne, e alla sua intuizione del 1968, l'ipotesi che un analogo procedimento potesse applicarsi anche al cervello. In altre parole: l'apprendimento è un'esperienza vera o meramente illusoria? Le nostre decisioni e azioni sono il risultato di un apprendimento o di qualcosa che è già presente nel nostro cervello? È possibile – suggerisce Jerne – che Socrate avesse ragione mentre il povero John Locke fosse nel torto... Il filosofo inglese, infatti, considerava il cervello come una *tabula rasa*, ovvero un pezzo di carta perfettamente bianco sul quale andava a incidere l'esperienza. Secondo Locke la mente non è specifica, anzi: è priva di qualsiasi struttura aprioristica. Socrate e i sofisti, al contrario, consideravano quasi nulla l'influenza dell'ambiente. Come puntualizza Jerne: "Socrate sosteneva che l'apprendimento consisteva unicamente nel ricordare ciò che era preesistente nel cervello". In un certo senso, quindi, si potrebbe ben dire che Socrate è tra i fondatori delle neuroscienze cognitive.

Sulla scia di Jerne anch'io mi sono chiesto se il modello della *selezione* potesse esser valido per il sistema nervoso. In effetti, sono poche le istruzioni che abbiamo modo di sperimentare nella nostra vita. Tutto quello che facciamo, quando pensiamo di apprendere è, a ben vedere, classificare miliardi di circuiti e schemi già formati nel nostro cervello, fino a trovare (ovvero *selezionare*) quello che risponde meglio alla sfida posta dall'ambiente esterno. In tal modo, diventa possibile percepire anche determinate figure geometriche "impossibili", vale a dire cose che non abbiamo mai visto nel nostro mondo tridimensionale, cose che il nostro cervello non potrebbe determinare, se davvero si basasse solo sull'apprendimento. Analogo è il caso delle parole prive di senso. Poi, ci sono cose che semplicemente non siamo in grado di fare.

Se accettiamo tutto questo, allora possiamo anche riconoscere che esiste un'estrema variabilità di competenze tra individui di una stessa specie. Per esempio: la maggior parte degli

esseri umani non comprende talune nozioni della matematica e della fisica. Possono studiare fino a diventare blu, senza mai riuscire a venirne a capo, laddove ad altri basterà dare un'occhiata per dire: "Certo, è tutto perfettamente chiaro!" Ammetto che il problema si fa più complesso, quando si giunge alla consapevolezza che esistono differenze non solo tra gli individui, ma anche tra le parti del cervello di uno stesso individuo. Abbiamo già detto di come l'emisfero sinistro gestisca i livelli "alti" del pensiero, come la risoluzione dei problemi, e interpreti le nostre azioni e i nostri sentimenti; mentre l'emisfero destro non è quasi in grado – se non del tutto incapace – di svolgere simili funzioni. Sussiste, tra le due metà, una comunicazione sui temi emotivi, con ogni probabilità parzialmente mediata dagli ormoni, in ragione della quale ciascun emisfero trae informazioni da una sorta di "bacino" comune. Ma, in caso di emisferi separati, sembra impossibile qualsiasi altra forma di dialogo o comunicazione in merito a informazioni di carattere percettivo o cognitivo. Ne deriva che "qualcosa" nella parte destra del cervello riconosce i volti in verticale, ma non al rovescio. Così come l'emisfero sinistro impiega molto più tempo nel riconoscimento di un volto. La qual cosa suggerisce che la lateralizzazione emisferica del cervello ha origini molto antiche.

È mia opinione che taluni compiti specie-specifici (ossia appartenenti a una determinata specie e solo a quella), come il linguaggio, siano la diretta conseguenza di eventi evolutivi risalenti almeno al Pleistocene. E il cervello umano è pieno di processi specie-specifici...

Anatomicamente, l'emisfero destro è quasi del tutto privo di linguaggio. Eppure, a volte, a seguito di un incidente che compromette la funzionalità della parte sinistra del cervello, la natura sviluppa competenze linguistiche anche nell'emisfero destro. A questo punto è legittimo chiedersi: "Com'è possibile che la necessità consenta al cervello di an-

dare oltre lo scopo per il quale è fatto?” Nel caso appena esemplificato la risposta è semplice: l'emisfero destro non migliora di molto le proprie prestazioni linguistiche, anche se chiamato a farlo per necessità. Ciò suggerisce che l'emisfero sinistro è l'unico vero responsabile della conoscenza superiore. È lui che svolge il compito maggiore, laddove il destro si limita a catalogare i risultati inviatigli, dalla sua controparte, attraverso nuovi attributi linguistici. E, dato che l'emisfero destro non può comprendere relazioni e associazioni, se si effettua un test di associazione delle parole, utilizzando unicamente la parte destra del cervello, non si otterrà risposta alcuna. In altre parole: il cervello destro del soggetto non è in grado di pensare o comunicare; esso può unicamente risolvere problemi semplici, attraverso le sue reti associative, ma non sarà in grado di usare le informazioni di cui dispone. Di solito, per semplificare ulteriormente, uso l'analogia dell'asino e del secchione con i due emisferi cerebrali: in una classe scolastica, ci sono un asino e un secchione; l'asino si affida alle risposte del secchione, ma non impara mai. Separando gli emisferi l'uno dall'altro si vede chiaramente chi sia l'asino tra i due (ovvero quale sia l'emisfero più lento).

È altresì interessante far notare come, nei bambini sottoposti a resezione chirurgica in età primaria, si possa avere – talvolta – uno sviluppo mentale abbastanza normale, giacché la corteccia cerebrale rimanente assume su di sé le funzioni appartenenti alla corteccia rimossa. Se la scissione viene effettuata in un periodo più tardo della vita del soggetto, tale compensazione non si verifica. Esattamente come nel caso degli anticorpi descritti da Jerne, i neuroni sono lì e, nei soggetti più giovani, sono sufficientemente duttili da riuscire ad adattarsi a nuove condizioni di sviluppo.

Una delle sfide ancora aperte dello *split brain* è scoprire in che modo la selezione naturale determini quali connessioni siano necessarie al funzionamento del cervello adulto. Il siste-

ma visivo offre un buon esempio: il cervello deve mantenersi plastico, malleabile, per garantire la visione stereoscopica, poiché il cablaggio visivo non può essere completato fino a che la misura del cranio non raggiunge il suo massimo sviluppo. A quel punto, miliardi di neuroni fanno – *in qualche modo* – come effettuare la loro sintonizzazione finale. La domanda allora è: come riescono a trovarsi l'un l'altro? Il cervello sembrerebbe in grado di trarre senso da se stesso, nel condurre il proprio sviluppo. È possibile che appena la rete neurale cresce e comincia a elaborare le informazioni, con la sua attività inneschi l'espressione di un dato gene. Impulsi dotati di schemi specifici influenzano il modo in cui viene espresso il DNA, durante la crescita neuronale; DNA che – in ultima analisi – controlla lo sviluppo del tessuto nervoso.

Se i percorsi neurali sono biologicamente predeterminati, allora ci stiamo confrontando con un concetto e una definizione totalmente nuovi dell'apprendimento. Quanto ci sembra essere appreso è, in effetti, la diretta conseguenza di strategie preesistenti: sistemi di conoscenza che possono essere applicati alle nuove conoscenze incorporate. Ma come può, ad esempio, una persona imparare la parola inglese che sta per “mela”, se non ammettiamo che essa rappresenta davvero una nuova informazione per il cervello? Gli italiani, i francesi o i giapponesi apprendono qualcos'altro e attribuiscono un'altra parola a uno stesso oggetto collocato nello spazio. Il punto da sottolineare è che i sistemi neurali dedicati all'apprendimento rendono possibile l'integrazione di una nuova conoscenza, proprio come la presenza di anticorpi già creati rende possibile la difesa contro nuovi antigeni. Potrebbe darsi, per esempio, che nell'apprendimento del linguaggio, ciascun organismo – a seconda del suo ambiente di provenienza – ordini i fonemi del discorso in conformità ad associazioni di suono e significato. E tutto ciò viene eseguito automaticamente, senza alcuna istruzione da parte dell'ambiente circostante. Per farla sempli-

ce: tutti gli elementi necessari ad apprendere la parola “mela” sono già al loro posto nel cervello e sono registrati in modo da rispondere a determinate sollecitazioni dell’ambiente esterno.

Uno studente può starsene seduto per ore a combattere con un qualsiasi problema di logica matematica, di filosofia o di linguistica. Dall’esterno, ci sembrerà che stia prendendo istruzioni dall’ambiente e che quindi risolva il suo problema tramite queste. Dall’interno, però, ci accorgeremmo che sta soltanto scorrendo, in modo sistematico e automatico, i repertori dei vari circuiti intracerebrali, che decidono come gestire i dati e come presentarli alla coscienza. Il rinvio all’ambiente esterno potrebbe dunque essere semplicemente una strategia, atta a verificare se siano stati attivati i circuiti corretti.

Immagino che possa sembrare incredibile come un cervello – che ha completato la sua evoluzione nelle caverne appena 40.000 anni fa – riesca oggi ad adattarsi alla realtà e alle informazioni dell’era elettronica e post-nucleare del XXI secolo. In verità, consumare un pasto scadente a trentamila piedi su un aeroplano non è molto diverso dal farlo in una caverna! Resta il fatto che ci sono cose per le quali i nostri cervelli non sono adatti.

Veniamo ora alle credenze popolari. Taluni pensano che l’emisfero destro possa essere rafforzato anche nelle sue funzioni cognitive di pensiero e percezione. Ebbene: in un cervello normale, i due emisferi sono collegati da un sistema ed è il sistema che risolve il problema. È quindi inutile sviluppare esercizi per l’emisfero destro, che ha già le sue precipue funzioni, delle quali dovremmo essergli grati.

Un altro pregiudizio è che nell’emisfero destro alberghino capacità artistiche. Eppure, se chiediamo all’emisfero sinistro di un paziente *split brain* di disegnare con la mano destra, lo farà a memoria, perfettamente. Al contrario, non sarà in grado di farlo con il solo emisfero destro.

Altra convinzione popolare, errata: il cervello maschile sarebbe dotato di logica nell'emisfero sinistro e di creatività in quello destro. Diversamente, nelle donne, le due funzioni sarebbero equamente suddivise tra gli emisferi cerebrali. Siamo nel regno del leggendario.

Ma la convinzione più ostinata con la quale mi trovo quotidianamente a combattere è la tesi dell'*istruzione*: piccoli insegnamenti preziosi che agiscono sui meccanismi del cervello coinvolti nella memoria e nell'apprendimento. L'ho già detto: sono convinto che è la teoria della selezione, e non quella dell'istruzione, a spiegare l'interazione esistente tra geni e ambiente nel determinare la conoscenza. In *Nature's Mind* mi sono posto proprio l'obiettivo di dimostrare che il processo di selezione governa, non solamente i circuiti di basso livello, quali le relazioni sinaptiche (o le modalità con cui i neuroni parlano l'un l'altro), ma anche i circuiti complessi, responsabili delle funzioni maggiori, quali il linguaggio e la risoluzione dei problemi. E tanto i primi quanto i secondi sono il risultato di milioni di anni di evoluzione.

Partendo dai summenzionati studi, sono giunto a determinare la funzione di interprete del cervello sinistro: è un concetto che ho sviluppato ed elaborato nel tentativo di descrivere in che modo l'emisfero sinistro reagisce al comportamento prodotto o proveniente dall'emisfero destro. Ad esempio, se nell'ambito sperimentale dello *split brain* viene mostrata alla metà destra del cervello l'immagine di qualcuno che sta facendo una passeggiata, e si chiede al paziente di mimare l'attività indicata dall'immagine, questi si alzerà in piedi e comincerà a camminare. Ma se allo stesso paziente venisse chiesto cosa sta facendo e perché si è alzato, sarebbe il suo emisfero sinistro a fornirci la risposta, attraverso una qualche razionalizzazione o spiegazione improvvisata, del tipo: "volevo solo bere qualcosa". Nella routine, la metà sinistra del cervello osserva quanto il suo "padrone" sta facendo e ne fornisce una qualche spiega-

zione sensata. Tali spiegazioni, insisto nel dirlo, non sono generate ex-novo, bensì sono prodotte da una serie di reti neurali preesistenti e pronte all'uso.

Si è riusciti a chiarire cosa sia realmente l'interpretazione proprio grazie ai test sui pazienti *split brain*: venivano loro mostrate contemporaneamente due immagini di un pollo, una per ciascun emisfero. Dopodiché i soggetti osservavano una serie di figure aggiuntive (diverse per ogni emisfero) e sceglievano quelle che sembravano loro attinenti all'originale. Dalla selezione delle immagini, si poteva notare – ad esempio – che il soggetto sceglieva con la mano sinistra – controllata dall'emisfero destro – una pala; mentre con la mano destra – controllata dall'emisfero sinistro – indicava una zampa di pollo. Ebbene, se è ovvia l'associazione pollo-zampa di pollo, meno scontata era quella con la pala. Si mostrava dunque l'oggetto all'emisfero sinistro, che riconosceva come la scelta operata dal destro, in base alla sua conoscenza non verbale e inaccessibile, fosse in contraddizione e la “correggeva”, elaborandone una spiegazione: la pala serviva per pulire la gabbia dei polli. Ecco, dunque, come l'emisfero sinistro faccia da “interprete” del reale.

Ulteriori studi hanno indicato come tale funzione della metà sinistra del cervello possa anche influenzare la memoria; a volte in modo non del tutto corretto. In particolare, c'è stato un esperimento – sempre condotto su pazienti *split brain* – nel quale i ricercatori presentavano all'emisfero sinistro una successione di immagini che indicavano un percorso narrativo. Quando tali figure manifestavano elementi condivisi con quelle già presentate, spesso i pazienti sbagliavano nell'identificazione delle nuove figure, confondendole con quelle già viste. Dunque, l'interprete non sempre è perfetto, ma possiede comunque una notevole capacità risolutiva dei problemi. Anche a seguito di una resezione del corpo calloso, l'emisfero sinistro conserva tutte le sue precedenti capacità nel discerne-

re le relazioni casuali e le connessioni esistenti tra diverse situazioni. Per esempio, la metà sinistra del cervello ha consapevolezza del fatto che “sanguinare” possa essere una conseguenza appropriata del “pungere” un “dito”. Simili funzioni sono invece d’ostacolo all’emisfero destro.

Il meccanismo dell’interpretazione sembra quindi profondamente legato alla capacità di creare inferenze e di comprendere, al di là del momento contingente, cosa stia succedendo o perché sia successo. L’emisfero destro, che non lavora da *interprete*, semplicemente non può influenzare il comportamento del suo possessore o quello di eventuali terzi, perché non sa dare una chiave di lettura alle azioni.

In caso di stati emotivi di disturbo, che si tratti di ansia o depressione, euforia o panico, è l’*interprete* – quindi l’emisfero sinistro – che prova a comprendere le ragioni per cui l’umore o lo stato emotivo del suo possessore è cambiato, anche se i suddetti cambiamenti dipendono dall’emisfero destro. Personalmente non condivido l’idea che sia qualcosa di esterno a stimolare lo scarto emotivo. Credo, piuttosto, che lo stimolo sia di natura endogena, ovvero che provenga dall’interno dell’emisfero destro. Il paziente percepisce una variazione d’umore e, subito, l’*interprete* comincia a costruire una teoria sui motivi che hanno scatenato quel determinato disturbo e per farlo – naturalmente – deve concentrarsi sia sugli eventi dell’ambiente esterno che sui risultati dell’elaborazione intellettuale.

È facile capire perché il mio approccio rifiuti modalità terapeutiche come la psicoanalisi o la psichiatria dinamica, giacché esse si confrontano con razionalizzazioni *postume* della causa del disturbo; razionalizzazioni che vengono artificialmente create dall’emisfero cerebrale sinistro. Credo, al contrario, che abbia maggior valore e migliori risultati l’uso di quei medicinali capaci di individuare e curare i sintomi, modificando l’emotività o l’umore disturbato intervenendo direttamen-

te sull'emisfero destro, prima ancora che l'*interprete* cominci a lavorarci su, ripescando nell'infanzia o nelle relazioni adulte e finendo con lo sprofondare in una sorta di buco di nero.

Se fin qui abbiamo parlato delle funzioni dell'*interprete*, bisogna ora chiarire dove esattamente questa "entità" sia situata all'interno dell'emisfero cerebrale sinistro. Siamo in presenza di un'area ancora non del tutto delineata, ma che di certo coinvolge i gangli basali, l'amigdala e altre sedi ancora in via d'identificazione sperimentale. Trovare il *situ* esatto dell'*interprete* significa giocare una partita a scacchi su una scacchiera pressoché illimitata, anche se taluni dati clinici possono essere d'aiuto. Per esempio: le malattie neurologiche più devastanti, che portano a disturbi nella produzione del pensiero e a inabilità nella risoluzione dei problemi, nascono da lesioni dell'arteria cerebrale media. Quindi, è logico pensare che l'*interprete* debba trovarsi da qualche parte lungo il percorso di questa arteria. Tuttavia, i bambini autistici – che non arrivano mai a costruirsi un'idea mentale di se stessi e degli altri – non hanno confermato tale danno. Così, qualcuno ha suggerito che l'*interprete* del loro emisfero sinistro sia semplicemente "malato". Esperimenti condotti su bambini autistici, mediante tomografia a emissione di positroni (PET), hanno comunque confermato l'esistenza di un ipometabolismo in quella stessa regione. La ricerca medica, sviluppatasi in questa direzione, non esclude perciò l'eventualità che talune patologie cliniche siano, almeno in parte, malattie della funzione di interprete dell'emisfero cerebrale sinistro.

Quando stavo ormai ultimando la stesura di *Nature's Mind*, mi venne in mente – come una lampadina che si accende all'improvviso – che la coscienza è il sentimento che si ha di un processo cognitivo specializzato. I filosofi questo lo sanno da anni: la coscienza è un sentimento; un sentimento che accompagna il ragionare sulle equazioni di Maxwell, ma anche il vedere, il correre, l'ascoltare o l'uso di uno qualunque dei nostri sensi. L'animale umano è un compendio di capacità specializzate, di adattamenti e di sentimenti associati a tali capacità.

Dunque, non stiamo parlando di qualcosa che semplicemente salta fuori dalla nostra corteccia cerebrale computazionale, quanto piuttosto del sentimento che accompagna di pari passo tutte le suddette abilità e molte altre ancora. In altre parole, le persone riescono a riconoscere il fatto di provare un sentimento (paura, felicità, ecc.), verso qualcosa che percepiscono attraverso i loro sensi, proprio grazie alla coscienza.

Sono in seguito tornato su questa tesi, precedentemente appena abbozzata, nel libro *The Mind's Past*, del 1998: in questo caso mi sono concentrato sul divario esistente tra la nostra comprensione del cervello e le sensazioni che viviamo a livello conscio. È mia convinzione che possiamo non solo sondare tramite le neuroscienze la coscienza, ma possiamo addirittura sondare la coscienza *umana*. Man mano che il cervello umano si espande, qualcosa di terribilmente nuovo e complesso si sviluppa e, qualunque cosa sia, influisce sulla nostra capacità di auto-riflessione, attraverso attimi duraturi.

Ho delineato un processo scandito da tre fasi, per scoprire come il cervello attivi l'esperienza della coscienza. Innanzitutto, dobbiamo stabilire cosa intendiamo quando parliamo di esperienza conscia: ci riferiamo solo alla consapevolezza delle nostre capacità come specie, non alle capacità in sé; quindi solo alla consapevolezza o alla sensazione che abbiamo di esse. Il cervello non è uno strumento di computo con scopi generici. È un insieme di circuiti dedicati a capacità specifiche. Sebbene ciò sia vero per tutte le specie, la cosa meravigliosa del cervello umano è che molte di queste capacità non sono esplicitate. Ne vantiamo molte più dello scimpanzé, che a sua volta ne ha più della scimmia, che ne ha più del gatto, che corre appresso al topo. Dunque, occorre distinguere le capacità precipue della nostra specie, partendo dalle sensazioni legate a tali capacità.

Il secondo passo deriva dall'ammissione che ciascuna specie è consapevole delle proprie capacità. Può forse esserci qualche dubbio sul fatto che un topo, al momento della copula, provi una sensazione di soddisfacimento al pari di un essere umano? Naturalmente no. Così come appare logico pensare che a un gatto piaccia un bel pezzo di merluzzo. Ma allora cos'ha di diverso la coscienza umana? Anch'essa è consapevole, ma noi possiamo essere consapevoli di molto di più, ovvero di molte più cose. Ciascuna capacità del nostro cervello è associata ad almeno un circuito e, più circuiti il cervello possiede, maggiore è la consapevolezza delle sue capacità.

Penso, a tal proposito, alle mutazioni subite dalla nostra specie: anni di ricerche sullo *split brain* ci informano che l'emisfero sinistro ha molte più capacità mentali del destro. In altre parole: il livello di consapevolezza dell'emisfero destro è limitato, giacché conosce soltanto poche caratteristiche preziose di molte cose. Ma anche tra noi esseri umani sussistono delle limitazioni: nessuno deve sentirsi offeso nel realizzare che può facilmente comprendere la legge di Ohm, ma non la meccani-

ca quantistica. Evidentemente, i circuiti che rendono possibile la comprensione della fisica avanzata non sono presenti in tutti i cervelli.

Il terzo passo del processo ci riporta alla nozione di *interprete*. Abbiamo già detto di come esso “interpreti” – appunto – il nostro comportamento e le nostre risposte, sia cognitive che emotive, agli stimoli ambientali. Dunque, stabilisce costantemente un percorso narrativo delle nostre azioni, emozioni, sogni e pensieri. È il collante che unifica la nostra storia e crea la nostra percezione di essere un agente razionale completo. Di più: aggiunge al nostro bagaglio di istinti individuali l’illusione di essere qualcos’altro, rispetto a ciò che siamo. Costruisce teorie sulla nostra vita e traccia narrazioni del nostro comportamento passato che pervadono la nostra consapevolezza.

Assodato tutto ciò, il problema della coscienza diventa trattabile. Non dobbiamo trovare il codice di una grande e complessa rete neurale. Al contrario, dobbiamo cercare quel circuito neurale – probabilmente assai più semplice di quel che crediamo – comune a tutti i vertebrati, che consente di essere consapevoli delle proprie caratteristiche specie-specifiche. Lo stesso circuito che permette a un topo di far ciò è, con ogni probabilità, presente anche nel cervello umano. Senza dubbio, da una simile prospettiva, il problema della coscienza è risolvibile.

Quel che invece diventa difficile afferrare è il “momento” della coscienza, giacché essa si ridefinisce continuamente, attraverso quella “costruzione fantastica” che l’interprete fa dell’insieme delle dinamiche emotive. “Come ti senti?” “Di che umore sei?” Quante volte ci siamo persi in simili domande, nell’illusione che esse potessero svelarci il nocciolo della coscienza. Ma così perdiamo di vista che la coscienza è un istinto! Se vogliamo, un istinto di sopravvivenza: è innata, non è una cosa che ti svegli la mattina e la apprendi. È lì dal primo

giorno, proprio come l'istinto di sopravvivenza. Il nostro cervello lavora in automatico perché il suo tessuto fisico si limita a eseguire una serie di funzioni. Come potrebbe essere altrimenti? Ciò significa che l'azione precede la consapevolezza del nostro sé concettuale, che rimane suo malgrado capace di riconoscere a posteriori il senso di un dato processo cerebrale.

Un simile approccio non deve scoraggiarci: non stiamo asserendo l'impossibilità decisionale. Al contrario: l'interpretazione che il cervello fa del suo operare di fatto ci libera dalla convinzione di essere condizionati dalle richieste dell'ambiente e crea la meravigliosa sensazione di essere artefici del proprio destino. Ciascun ragionamento quotidiano – e sono migliaia – ci convince della nostra centralità. E proprio per questo possiamo permetterci di guidare automaticamente il cervello verso il raggiungimento di mete sempre maggiori, miranti al più pieno godimento della vita.

È in ragione di ciò che dà una grande importanza ai fenomeni subliminali, al punto da considerarli reali, visto che possono improvvisamente risalire in superficie e condizionare il comportamento delle persone, inducendole a iper-interpretare la realtà. Nella maggior parte dei casi questo non accade: c'è un mondo più o meno unificato là fuori; le informazioni arrivano, noi proviamo a dar loro un senso, le cataloghiamo e, in genere, tutto va a buon fine. Eppure supponiamo che ci sia un improvviso problema neurochimico endogeno e che il funzionamento cerebrale non sia normale o sufficientemente stabile per alcune settimane. Il soggetto si troverà nella situazione di creare una teoria alterata della realtà che lo circonda: potrebbe per esempio convincersi che le cose non vanno bene e spinnersi sempre più addentro alla depressione. Quello che ho appena fatto non è che un esempio di quanto potente sia in realtà l'interprete, sebbene la maggior parte delle volte si trovi a lavorare su dati normali e produca teorie normali.

È dunque mia esplicita convinzione che episodi come la depressione, o analoghi stati emozionali di disturbo, non siano creati da eventi esterni, che l'interprete legge come pericolosi, quanto piuttosto vengano *inizialmente* creati da disturbi di origine neurochimica. Solo *in un secondo momento* l'interprete tenta di determinare cosa possa essere accaduto nel mondo esterno per provocare un tale stato psichico. Ma mi rendo conto che argomenti così complessi meritano proprio quel genere di trattazione interdisciplinare che il Sage Center si propone di affrontare.



Quando comincia la vita?

Il contributo delle neuroscienze cognitive e della neuroetica

Il coinvolgimento delle scienze cognitive sul piano della neuroetica ha molteplici risvolti: in primo luogo, le neuroscienze possono chiarire alcuni dei dilemmi attuali, quali – tanto per citarne uno – lo status morale dell’embrione umano. Secondariamente, ai neuroscienziati viene chiesto, con sempre maggiore insistenza, di contribuire ad aree del sapere che, il più delle volte, non sono di loro competenza. Ad esempio, le neuroscienze non hanno nulla da dire sul concetto di libertà o di responsabilità individuale e, con ogni probabilità, hanno ben poco da dire anche sui pensieri antisociali. Infine, ma non da ultimo, le scienze cognitive cercano di capire come la ricerca sul cervello possa *eventualmente* “formarci” a una morale universale, ovvero a una morale comune a tutti i membri della nostra specie. Direi che quest’ultima è l’implicazione di maggior rilievo, nella nostra cultura, e finirà con il trasformare le neuroscienze in una disciplina centrale e critica nell’elaborazione di una moderna visione dell’etica.

Dobbiamo il termine “neuroetica” a William Safire, scrittore americano che da tempo si occupa di politica e linguistica. Per la precisione, Safire ne parla come di “un ambito della filosofia, che discute del trattamento o del potenziamento del cervello umano”. A mio carico va la responsabilità di aver esteso ulteriormente la portata di questa definizione: rientra nella neuroetica anche la disamina di come gestire talune tematiche sociali – quali la malattia, la mortalità, la normalità, lo stile di

vita e la filosofia di vita – uniformando i nostri intendimenti ai meccanismi del cervello che li sottendono. Per come la vedo io, la neuroetica non è semplicemente una disciplina in cerca di risorse a beneficio di eventuali cure mediche, quanto piuttosto un *corpus* teorico che definisce e misura la responsabilità individuale all'interno di un contesto più ampio. In altre parole: è lo sforzo di elaborare una filosofia di vita, basata sul cervello (o almeno così dovrebbe essere).

Il mio assunto di base è che le neuroscienze cognitive forniscono preziose informazioni, che possono contribuire alla discussione di determinati temi che, per tradizione, sono sempre stati di competenza dei bioetici. In molti casi, le scienze cognitive garantirebbero un ampliamento della discussione, chiamando in causa – per esempio – l'eventuale ruolo dei geni dell'intelligenza, il potenziamento di talune capacità musicali, abilità atletiche o prestazioni sportive, in genere, oppure l'uso di "smart drug", atte a incrementare il rendimento intellettuale. Ma prendiamo anche la questione di come e quando conferire lo status morale di essere umano a un embrione: il cervello, o più in particolare il lobo frontale della corteccia cerebrale, è la parte del corpo che differenzia gli esseri umani dalle altre specie animali. Ed è quella parte che consente la vita del nostro organismo, della nostra mente, della nostra personalità e, come credono in molti, della nostra persona nella sua interezza. Quindi, determinare quando il cervello si sviluppa nell'embrione umano dovrebbe avere un impatto significativo sul problema del conferimento di uno status morale all'embrione stesso. Stiamo parlando di qualcosa di molto diverso dal dibattito su quando comincia la vita e si tratta di una distinzione terribilmente importante, che va fatta in modo chiaro e inequivocabile.

La vita biologica e la crescita dell'organismo umano cominciano innegabilmente al momento del concepimento. Ma quando inizia la *vita umana*? Dare una risposta a questa doman-

da significa tutta una serie di implicazioni in materia di aborto, fecondazione in vitro, clonazione biomedica delle cellule staminali per scopi di ricerca e così via. Molti neuroscienziati ritengono che la vita umana cominci quando il cervello inizia a funzionare, giacché non ci può essere alcuna forma di coscienza, prima che il cervello inizi a svolgere le sue funzioni. La coscienza, dunque, è la qualità: la funzione critica necessaria a determinare l'umanità, poiché è *quel fattore* che – nella pienezza di tutte le sue implicazioni in tema di auto-identità, narrativa personale e altre costruzioni mentali – è unicamente umano. Se vogliamo dar seguito a questo ragionamento, diventa ovvio che sono le neuroscienze cognitive a stabilire l'inizio della vita *precipualemente umana*, individuando il punto dello sviluppo in cui l'embrione umano acquisisce un sistema nervoso e un cervello capace di supportarne le funzioni di coscienza.

Mi rendo conto che si tratta di questioni spinose, come sempre quando si ha a che fare con l'etica: una volta tirato in ballo il cervello, le cose tendono a non essere più così nette e chiare. La nostra materia grigia crea molte aree grigie e altrettante nebulose. Nel caso dello status morale dell'embrione ci tengo a sottolineare che ci sono molteplici risposte a questo problema e che le neuroscienze non sono che una di quelle possibili.

Mi permetto, a questo punto, di citare un libro di Nolte – *The Human Brain. An Introduction to Its Functional Anatomy* – nel quale, nell'affrontare il tema dello sviluppo del sistema nervoso, viene dichiarato esplicitamente che i primi cenni di crescita del cervello cominciano a manifestarsi a circa quattro settimane dal concepimento. È questo infatti il momento durante il quale le parti dell'embrione definite “tube neuronali” iniziano a sviluppare tre rigonfiamenti, che in seguito diventeranno il prosencefalo, il mesencefalo e il cervelletto. Il primo segno di attività elettrica cerebrale si manifesta tra la fine della quinta settimana e l'inizio della sesta.

A essere sinceri, siamo ancora lontani da un'attività cerebrale di coscienza: si tratta soltanto di una primitiva attività neurale e vale la pena sottolineare che c'è attività neurale anche nel cervello dei pazienti deceduti, eppure, in tutto il mondo e nelle culture più diverse, non ci sono problemi nel dichiarare tali stati cerebrali come "non più umani".

Ma torniamo alla descrizione di Nolte dello sviluppo cerebrale dell'embrione: è solo intorno all'ottava-decima settimana che il *cerebrum* comincia a svilupparsi significativamente, con una proliferazione di neuroni e attraverso la crescita della sutura anteriore e di una prima, piccola connessione tra gli emisferi. Tra la dodicesima e la sedicesima settimana, cominciano a formarsi i lobi frontale e temporale e alla sedicesima settimana è la volta del corpo calloso, che è il responsabile della comunicazione fra i due emisferi. Nel corso della diciassettesima settimana si formano le prime sinapsi, che proliferano poi rapidamente intorno alla ventottesima settimana, e continuano a crescere fino a tre-quattro mesi dopo la nascita. Tuttavia, malgrado questa crescita rapida e straordinaria, è solo verso la 23^a settimana che il feto è in grado di sopravvivere – con adeguato supporto medico – al di fuori del ventre materno. Prima di allora, il feto sta semplicemente gettando le fondamenta di un cervello futuro, che è cosa ben diversa da un cervello umano perfettamente autonomo.

Ora, rileggiamo tutto questo alla luce di considerazioni bioetiche. Il fatto che un uovo fecondato non intraprenda i processi che portano alla generazione del sistema nervoso prima del quattordicesimo giorno è una delle ragioni per cui i ricercatori, impegnati nella clonazione biomedica di cellule staminali, usano gli embrioni fecondati solo fino a quella data. E se arriviamo, lungo la linea immaginaria dello sviluppo fetale, alla ventitreesima settimana, ovvero al momento in cui il feto è in grado di sopravvivere al di fuori dell'utero – ma solo con l'aiuto della tecnologia medica più avanzata – se ne potrebbe de-

durere che, dal punto di vista delle neuroscienze, l'embrione non è un essere umano, o non merita lo status morale di essere umano, fino alla ventitreesima settimana. In effetti, è proprio questo il limite di tempo che la Corte Suprema americana ha fissato, prima che un feto acquisisca i diritti di un essere umano.

Tra lo stato fetale pre-mentale e una mente adulta umana perfettamente formata – una mente in grado di rivendicare le proprie opinioni – c'è una differenza sostanziale, che esula dalla pura analisi scientifica razionale. Ad esempio, in qualità di padre, ho vissuto una forte emozione nell'osservare il sonogramma di un feto alla nona settimana e nel rivederlo poi al ventitreesimo stadio della scala di sviluppo fetale di Carnegie: alla seconda osservazione, infatti, il feto comincia a sembrare umano. Quello che avevo sotto gli occhi era una bolla in formazione, di sensazioni e processi motori.

Ma se quelle che ho enunciato fin qui sono le ragioni dello sviluppo, ben diverse sono le ragioni della continuità e della potenzialità. Alla luce della continuità, la vita inizia col concepimento e l'uovo fecondato rappresenta il punto in cui la vita di un essere umano comincia a tutti gli effetti. Non sussiste alcuna considerazione degli stadi di sviluppo per coloro che adottano questa visione. E non vi è alcun fondamento razionale racchiuso in essa. Le ragioni della potenzialità si esprimono, invece, nella possibilità che il feto ha di svilupparsi in un essere umano, ed equiparano tale possibilità a uno stato di fatto. Ho già espresso altrove il mio punto di vista in proposito – si veda *The Ethical Brain* – e ribadisco che un simile ragionamento è un po' come dire che un negozio di bricolage è la stessa cosa di cento case, perché ne contiene i materiali e dunque la possibilità potenziale di costruirle. È evidente che ci troviamo dinanzi a un problema che le neuroscienze non possono permettersi di ignorare, ovvero che simili argomentazioni non hanno alcun senso razionale. Come può, infatti, un'entità biologica priva di sistema nervoso essere un agente morale?

Questa domanda ci porta ad affrontare un terzo nodo, che sempre più spesso viene tirato in ballo quando si parla di cellule staminali. Ci sono due tipi di embrione che vengono usati nella ricerca sulle cellule staminali: gli embrioni originariamente destinati alla fecondazione in vitro (IVF), e non utilizzati, e quelli creati con clonazione biomedica, mediante specifiche coltivazioni di cellule staminali.

Nel caso degli embrioni IVF siamo in presenza di uno o due embrioni sufficientemente vitali da essere impiantati. Tuttavia, in un rapporto sessuale naturale e tramite intervento della selezione, circa l'8% degli embrioni viene abortito spontaneamente. Perciò, l'IVF è semplicemente una versione hi-tech di quello che accade normalmente in natura. Non c'è mai l'intenzione di impiantare tutti gli embrioni creati e quelli che non sono ritenuti vitali possono essere pertanto usati per la ricerca. Nel caso della clonazione biomedica, invece, l'intenzione dichiarata è quella di creare un embrione al solo scopo di ricerca. Ecco allora che assume un valore quanto mai primario sapere quando comincia la vita o, meglio, quando comincia la vita *umana*. E nel darsi una risposta, tutto dipende dal contesto.

Le mie considerazioni seguono le ragioni della discontinuità – ragioni peraltro avallate anche da alcuni bioetici – ossia a un embrione non è dovuto uno status morale pari a quello di un essere umano, quanto piuttosto uno status intermedio che tenga conto dei vari stadi di sviluppo. E tali stadi sono il quattordicesimo giorno (perché dopo tale data non può più verificarsi sdoppiamento e quindi lo zigote è da considerarsi cementato) e la formazione del sistema nervoso. Tuttavia, ci possono essere molte opinioni differenti circa il momento in cui il sistema nervoso comincia a svilupparsi: opinioni che vanno dal quattordicesimo giorno alla ventitreesima settimana. E se poi guardiamo al momento in cui appare la *consapevolezza*, i parametri sono ancora più difficili da fissare: alcuni di-

cono la ventitreesima settimana, altri azzardano un “quando il ragazzo è pronto per andare al college!”

Il contesto, dunque, è tutto. E questa è la lezione, piuttosto ovvia, delle neuroscienze. È il nostro cervello che, attivando i dovuti processi decisionali, ci consente di ragionare, interpretare e contestualizzare. Se mi limito a guardare i fatti, il contesto mi spinge a rispondere in questo modo: una singola vita umana comincia al momento del concepimento; un embrione di 14 giorni, ovvero un gruppetto di cellule create a scopo di ricerca, non ha alcuno status morale. Un embrione non è una persona. È vero: un genitore può osservare il sonogramma di un feto di nove settimane e vederci il bambino che sarà. Ma questa “reazione di pancia” non ha nulla a che fare con il modo in cui la scienza ci presenta i fatti, ossia con l’evidenza che un feto non può sopravvivere al di fuori dell’utero prima della ventitreesima settimana. Dobbiamo allora considerare simili reazioni come la prova di un innato senso d’istinto morale? Anche questo è un problema al quale le neuroscienze sono chiamate a fornire una risposta.

Altro ambito di ricerca, altro dilemma. Le nuove tecniche di neuro-immagine stanno entusiasmando, più che gli scienziati, stuoli di avvocati e investigatori, convinti della possibilità di identificare le aree del cervello responsabili di ogni cosa, dal comportamento violento, alla menzogna. Se potessimo mettere qualcuno in uno scanner per vedere se sta mentendo o se potessimo individuare quali cervelli sono inclini più di altri alla rabbia, potremmo allora usare queste informazioni per accusare o difendere una persona in un’aula di giustizia? La risposta non può che essere un immediato e definitivo “no!” Anche se i progressi delle tecniche di neuro-immagine sono molto suggestivi, non possono tuttavia essere ridotti a questo. Riuscire a vedere un’area del cervello che si illumina, in risposta a determinate domande o – facciamo il caso – alla vista di un campo di addestramento per terroristi, può rivelarci cose mol-

to interessanti sul modo in cui operano certi stati cognitivi, ma è pericoloso e semplicemente sbagliato utilizzare questi dati come prova inconfutabile dell'esistenza di un dato stato cognitivo.

Quando è uscito il libro di Illes – *A Fish Story? Brain Maps, Lie Detection, Personhood and Cerebrum* – nel 2005, ci ho tenuto a sottolineare che quanto sappiamo sulle funzioni e sulle risposte del cervello non sempre è interpretabile in modo univoco e, pertanto, non può essere usato come prova infallibile, o almeno non nel modo in cui è considerata infallibile una prova del DNA.

Ci sono state delle ricerche, piuttosto recenti, sul meccanismo cerebrale che contribuirebbe alla formazione dei pregiudizi, che hanno utilizzato referti di risonanza magnetica funzionale (fMRI) per esaminare le risposte fornite da soggetti non laureati, bianchi e neri, posti dinanzi a immagini di facce conosciute e sconosciute, bianche e nere. I risultati – pubblicati nel 2000 da Phelps, su *Neuroscience Cognitive* – hanno evidenziato uno stato di attivazione dell'amigdala (l'area del cervello associata all'emozione) nei non laureati bianchi, quando sono state loro mostrate immagini di individui neri sconosciuti; laddove non è stata rilevata alcuna attività cerebrale nella stessa area, quando le facce mostrate erano di personaggi neri famosi, come Martin Luther King, Michael Jordan o Will Smith. L'equipe di ricerca concludeva il proprio esperimento affermando che "l'amigdala e le risposte comportamentali 'facce nere vs. facce bianche', nei soggetti bianchi, riflettono le valutazioni culturali dei gruppi sociali di appartenenza, modificate dall'esperienza personale".

Bisogna essere estremamente cauti nell'interpretare dati di questo tipo, perché si potrebbe dare l'impressione che tendiamo a categorizzare le persone in base alla razza. Il che non significa che il razzismo sia insito nel cervello. Il cervello ci con-

sente semplicemente di elaborare storie e teorie su una determinata serie di circostanze o dati e, in effetti, è deputato e progettato proprio per farlo. Ma ogni storia, anche quando si basa sui fatti, non può dirsi certa in modo assoluto. Non stiamo parlando di impronte digitali o di DNA! Sarebbe facile dire, per esempio, che l'attivazione dell'amigdala di un uomo bianco, quando vede una faccia nera sconosciuta, dimostra che quell'uomo ha paura di uno sconosciuto di colore. Perciò, se uno accoltella un uomo di colore che gli si avvicina, come nel noto caso di Bernard Goetz, sta solo reagendo a un impulso già insito nel suo cervello. E si potrebbe ugualmente presumere che i neri si arrabbino quando vedono facce di bianchi famosi. Da qui, la difesa della "rabbia nera": ovvero un nero che spara a un bianco famoso sta solo rispondendo a un meccanismo del suo cervello. Sono salti logici ai quali si assiste con estrema facilità in un'aula di giustizia, dove notoriamente gli avvocati amano "intessere" storie. Ma sono chiaramente deduzioni pericolose e per giunta inesatte.

L'esempio appena citato, di come una scoperta delle neuroscienze cognitive possa essere travisata e sfruttata per trarre conclusioni inattendibili, ci porta ad analizzare un altro caso in cui la legge e le neuroscienze dovrebbero essere tenute separate: la difesa giocata sul leitmotiv del "è stato il mio cervello a farmelo fare". Malgrado quello che la gente pensa o spera, le scienze cognitive non hanno molto da dire in materia di responsabilità individuale o di libero arbitrio.

Dato che le neuroscienze identificano i meccanismi cerebrali che generano determinati cambiamenti nella mente, taluni saltano alla conclusione che, se è il cervello a determinare la mente e le nostre azioni, indipendentemente da cosa sappiamo di un fatto, o meglio sulla base di conseguenze che traiamo solo a fatto avvenuto, non c'è più posto per il libero arbitrio. Sbagliato: il libero arbitrio è ancora vivo e vegeto. Come ho già fatto notare, anche se l'azione compiuta può essere spiegata

con un meccanismo funzionale o disfunzionale del cervello, ciò non significa che la persona che ha compiuto quell'azione sia giustificabile.

Senza entrare nei dettagli accademici, in *The Ethical Brain*, ho individuato due visioni filosofiche opposte e primarie sul libero arbitrio: quella di coloro che ne sostengono l'esistenza e quella di coloro che la negano. Quanti credono nel libero arbitrio (gli indeterministi) credono anche a una sorta di fattore x – una specie di “fantasma nella macchina”, sia esso l'anima, la mente o lo spirito – che ci consente di fare delle scelte, determinare le nostre azioni e perfino i nostri destini, agendo al di sopra del mondo fisico e cambiando il nostro percorso di vita. Coloro invece che non accettano il libero arbitrio (i deterministi) credono che viviamo in un mondo predeterminato – causato dal fato, da un qualche ordine precostituito o da una sorta di destino genetico – in cui ogni azione, umana o d'altro tipo, è inevitabile.

Affrontando la questione secondo i parametri razionali della scienza, la domanda che ne deriva è la seguente: se il determinismo è vero, chi determina cosa? Tradizionalmente, i geni vengono indicati come i profeti del nostro destino... E se i geni costruiscono il cervello, allora è il nostro cervello che, in ultima analisi, prendendo attivamente miliardi di decisioni al secondo, rende possibile la nostra consapevolezza e il nostro comportamento. Si direbbe pertanto che, a voler parlare di libero arbitrio, è il cervello il posto da cui partire. Ma il cervello è davvero un organo deterministico e geneticamente costruito per condurre le nostre azioni là dove non ne abbiamo più il controllo? O è invece la casa della mente, il fantasma nella macchina... insomma, quel qualcosa in grado di esprimere il libero arbitrio?

La responsabilità individuale è qualcosa che nasce dall'interazione con molti esseri umani. In altre parole, noi tutti sia-

mo guidati da regole sociali di comportamento e scegliamo come agire e reagire in aggiunta ad alcuni meccanismi cerebrali da scoprire o che possiamo aver già scoperto. Grazie al cosiddetto cervello automatico, Benjamin Libet, negli anni Ottanta, è stato il primo a portare alla luce il problema della responsabilità individuale. Nei suoi esperimenti, Libet chiedeva ad alcuni soggetti di eseguire volontariamente dei movimenti con le mani. Frattanto, misurava la loro attività cerebrale utilizzando “potenziali” correlati all’evento. Notò, così, che 500-1000 millisecondi (ms) prima che i soggetti muovessero le mani, c’era un “potenziale di prontezza”, ossia un’onda di attività cerebrale che sembrava indicare uno scarto temporale tra la ricezione e l’esecuzione del comando. Ideò allora un esperimento in cui il soggetto era invitato a guardare un puntino nero che si muoveva lentamente. Dopo aver mosso la mano, il soggetto riferiva in quale posizione fosse il puntino nel momento in cui aveva preso la decisione cosciente di muovere la mano. Quindi, Libet confrontava quel momento con il tempo in cui il “potenziale di prontezza” era stato registrato mediante le onde cerebrali del soggetto. In tal modo scoprì che il cervello si attivava molto prima che il soggetto fosse cosciente di aver preso la decisione di muovere la mano: intercorrevano circa 300 ms tra l’attività cerebrale e la coscienza della decisione presa.

Si direbbe pertanto che il cervello conosca le nostre decisioni prima che le prendiamo, o prima che diventiamo coscienti di averle prese. Simili dati sembrerebbero precludere la via del libero arbitrio, tuttavia lo stesso Libet notò che c’era ancora una finestra di 100 ms, in cui la mente cosciente poteva accettare o meno quella decisione. Calcolando che intercorrevano 500 ms dall’inizio del potenziale di prontezza all’effettivo movimento della mano, e che il segnale neurale impiegava circa 50-100 ms per viaggiare dal cervello alla mano e avviare il movimento, Libet ne dedusse che il libero arbitrio risiedeva non tanto nell’automatismo della decisione, quanto nel potere di veto.

Vilayanur Ramachandran, con un'argomentazione simile alla teoria del libero arbitrio di John Locke, suggerisce che "le nostre menti cosce possono non avere il libero arbitrio, ma certamente hanno la *libera negazione*!"

Eppure le ricerche di Libet sono state usate come "oro colato" dagli avvocati difensori, pronti a citare la base biologica a giustificazione di molti comportamenti criminali. Ma questa non è la lezione delle neuroscienze. Le scienze cognitive cercano sì di individuare il modo in cui funziona il sistema nervoso, ma il cervello è un sistema altamente complesso, che interagisce costantemente con l'ambiente. Lavora in automatico, ma si adatta e impara nel corso del tempo, rispondendo sia ai comportamenti appresi, che alle regole sociali, e alle regole autoimposte.

Anticipando pertanto la domanda di eventuali detrattori delle neuroscienze – "Stai forse dicendo che le persone sono come i robot? O che il cervello è come un orologio e non si possono dunque ritenere gli individui responsabili dei loro comportamenti criminali?" – ho già risposto, nel 2001, con un secco e deciso "no" in un articolo, scritto insieme a J.R. Waldbauer, intitolato *The Divergence of Neuroscience and Law*. Il paragone uomo-macchina è del tutto inappropriato, se si è in cerca di colpevoli: i neuroscienziati non possono parlare delle *colpe* del cervello, più di quanto un orologiaio non possa sgridare l'orologio che ha costruito, perché non funziona. Non si tratta di negare la responsabilità; essa è semplicemente assente dalla descrizione neuroscientifica del comportamento umano. E la sua assenza è il diretto risultato del considerare il cervello una macchina automatica. Non consideriamo gli orologi responsabili proprio perché per noi sono macchine automatiche. Ma solo perché la responsabilità non può essere assegnata agli orologi, questo non significa che non si possa ascrivere alle persone. Ed è per questa ragione che gli esseri umani sono speciali e differenti dagli orologi e dai robot.

Anche se le neuroscienze cognitive continuano a mostrarci l'immagine di un cervello simile a una macchina automatica, che svolge azioni predeterminate, che la nostra mente spesso elabora mediante spiegazioni razionali solo dopo i fatti, questo non significa che il comportamento umano sia ugualmente predeterminato e automatico. Abbiamo comunque un margine di responsabilità personale. Non tutti gli schizofrenici sono violenti e non tutte le persone allevate da cattivi genitori sono criminali. Dire "è il mio cervello che me l'ha fatto fare" non è una giustificazione plausibile.



Le neuroscienze cognitive

Un modo per costruire il futuro

Sempre per restare sul tema dei contributi che le neuroscienze cognitive potrebbero offrire alla neuroetica, è mia convinzione che la comprensione del modo in cui il cervello forma le nostre convinzioni sia uno di questi. È stato uno dei primi obiettivi che mi sono posto, quando ho intrapreso le mie ricerche sul cervello: capire cosa contribuisse alla creazione dei convincimenti personali e dei giudizi morali, ma soprattutto indagare la forza di quei giudizi etici e morali che spesso ci inducono a interpretare la realtà in modo vistosamente errato.

Torniamo allora per un istante a quella funzione che ho definito “interprete del cervello sinistro”. Le ricerche condotte su pazienti *split brain* sono un eccellente banco di prova, per analizzare in che modo il cervello si sforzi di spiegare le azioni che l'emisfero non verbale ha ordinato di compiere. In tali situazioni, infatti, l'emisfero sinistro lavora duramente per giustificare un determinato comportamento che inizialmente non sa riconoscere e tenta, pertanto, di fornirne una spiegazione *ex post*, spiegazione che sia il più possibile ragionevole, plausibile e – se del caso – morale. Rizzolatti e i suoi collaboratori hanno pubblicato un saggio – *Neurophysiological Mechanisms Underlying the Understanding and Limitation of Action* (2001) – nel quale si ipotizza l'esistenza *a priori* di un eventuale meccanismo di costruzione interpretativa nel cervello delle scimmie; tale meccanismo contribuirebbe a stimolare ciò che viene comunemente chiamato “connessione alla mente” o, in modo

meno specialistico, “empatia”. Quando una scimmia ne vede un’altra afferrare qualcosa, l’area cerebrale responsabile di quel movimento si attiva non solo nella scimmia che sta compiendo il movimento, ma anche in quella che sta soltanto guardando, senza muoversi. È ipotizzabile che qualcosa di analogo avvenga nell’uomo: se un individuo vede un’altra persona fare qualcosa, tanto nel cervello di colui che agisce, quanto in quello di colui che osserva, si attivano gli stessi neuroni, si generano le stesse sensazioni o le medesime risposte allo stimolo agito dall’uno e osservato dall’altro. Potrebbe dunque trattarsi di una forma di “empatia mentale”, che facilita la comprensione dello stato mentale altrui.

Le mie scoperte sull’interprete del cervello sinistro e quelle di Rizzolatti sull’attivazione neuronale parallela, fra scimmie che agiscono e che osservano, non sono che due esempi di come le neuroscienze cognitive stiano avanzando nella scoperta di quei meccanismi del cervello che guidano taluni aspetti della mente. Le implicazioni di tutto ciò sono ancora più interessanti, se si analizza il modo in cui gli esseri umani formano i propri convincimenti e se teniamo conto del fatto che le recenti ricerche puntano sempre più spesso a indagare sulla struttura mentale del giudizio morale. Greene e collaboratori si sono detti convinti (*fMRI Investigation of Emotional Engagement in Moral Judgment*, 2001) del fatto che il ragionamento morale possa, in effetti, originarsi nel cervello. Per arrivare a tale conclusione, hanno utilizzato la risonanza magnetica funzionale (fMRI) al fine di determinare quali parti del cervello siano coinvolte in attività di giudizio morale. L’osservazione empirica che più colpisce è che, quando i centri del cervello che controllano le emozioni sono attivati, finiamo con il compiere un’azione sulla base di un giudizio morale, piuttosto che attuarla direttamente. In tempi più recenti, Hauser e i suoi colleghi – tramite una ricerca ancora in corso – hanno intervistato un campione di persone, provenienti da diverse parti del mondo,

su ciò che considerano “morale”, e hanno individuato un comune schema di risposta. Di fondo, questa ricerca dimostra che tutti noi rispondiamo in maniera simile a domande simili. Le uniche differenze sostanziali risiedono nel tipo di spiegazione che ci diamo sul perché abbiamo risposto in quel dato modo. È opinione condivisa dei neuroscienziati che tali risposte simili siano dovute alla comune struttura neurale del cervello umano o, altrimenti, ai suoi sistemi di auto-gratificazione. La logica conclusione delle ricerche che ho fin qui menzionato è che il ragionamento morale potrebbe formarsi all'interno del nostro cervello. Ciò sposta l'attenzione delle neuroscienze sull'“assolutismo” del nostro sistema di valori.

Il sistema di valori cui facciamo riferimento, in quanto esseri umani, è uno di quegli ambiti in cui le scienze cognitive hanno qualcosa da insegnare ai filosofi dell'etica. Il nostro cervello forma le proprie convinzioni basandosi su informazioni contestuali e tali convinzioni sono estremamente difficili da cambiare. Se siamo tutti d'accordo sulla comune radice cerebrale dei convincimenti umani, allora diventa piuttosto difficile spiegare, su un piano scientifico, le ragioni della guerra e le innumerevoli vite che vanno perdute a causa di contrastanti sistemi dei valori. Eppure anche questo ha un senso: le persone sono strutturate in modo da adottare convinzioni e teorie per il tramite dell'*interprete*. Così accade, ad esempio, per le credenze religiose, che sono essenzialmente una forma di meta-narrazione, intesa ad attribuire un senso a un determinato comportamento sociale che è necessario osservare.

Ho già avuto modo di citare – in *The Ethical Brain* – il libro di David Sloan Wilson: *Darwin's Cathedral: Evolution, Religion and the Nature of Society*. L'autore è convinto assertore del fatto che non esisterebbe nulla di così elaborato e dispendioso – in termini di energie – come la religione, se non ne traessimo una qualche utilità secolare. “La religione esiste principalmente per permettere alle persone di raggiungere *insieme* obiettivi che

da sole non potrebbero raggiungere. Il meccanismo che consente ai gruppi religiosi di funzionare come unità adattative comprende quelle credenze profonde e quelle pratiche, che fanno apparire la religione così enigmatica a tutti coloro che ne sono estranei” (David Sloan Wilson).

Analogamente Toby Wilson – firma dell’*Atlantic Monthly Magazine* – ha speso molto tempo e sostanziali sforzi nel tentativo di comprendere il modo in cui la religione si propaghi, cosa attragga i credenti e cosa consenta ad alcuni sistemi religiosi di prosperare. Secondo Toby Wilson, “i movimenti religiosi seguono una sorta di *selezione soprannaturale* che opera secondo leggi darwiniane. Quelli che sono sopravvissuti negli anni tendono ad essere anche quelli che promuovono il benessere fisico, la selettività delle scelte sentimentali e la sicurezza. La comunità cristiana, ad esempio, pone l’accento sulla cura dei propri membri. Tale enfasi le consente di sopravvivere all’attacco delle malattie meglio di altre comunità”. Ma l’autore cita anche l’esempio dei mormoni, che considerano fondamentale l’accesso ai servizi sociali, cosa che dà a tutti i membri della loro comunità un senso di grande sicurezza.

Sempre in *The Ethical Brain*, ho analizzato la curiosa e decisamente insolita associazione esistente tra lobo temporale ed esperienza religiosa: le persone che soffrono di epilessia del lobo temporale sono spesso colpite da attacchi caratterizzati da un intenso sentimento religioso, se non addirittura da vere e proprie allucinazioni di carattere religioso. Michael Persinger, dell’Università Laurenziana del Canada, ha confermato questa connessione con un esperimento, nel quale innescava apposite esplosioni di attività nel lobo temporale – utilizzando uno speciale elmetto per creare un debole campo magnetico – che scatenavano nei soggetti sperimentali esplicite esperienze religiose.

Secondo le neuroscienze cognitive, le spiegazioni razionali che le persone forniscono alle loro azioni e ai loro comporta-

menti altro non sono che costrutti sociali, sebbene esperimenti quali quello di Persinger indichino l'esistenza di specifiche associazioni nel cervello tra convinzioni ed esperienze emotive.

Nel tempo le persone che vivono in gruppi sociali sviluppano una serie di credenze e pratiche – siano esse una forma di governo, una religione, una pratica culturale o altro ancora – e tali credenze diventano spiegazioni “istituzionali” di un certo modo di vivere fortemente strutturato nel nostro cervello. Se dovessimo arrivare ad accertare che le diverse teorie o interpretazioni delle azioni sono la vera fonte dei nostri sistemi di valori, allora saremmo anche a un passo dall'accettazione delle differenze intese come diversità di narrazione, e non come divergenze universali nel modo in cui gli esseri umani si pongono rispetto al mondo.

Riassumendo, possiamo dire che le scienze cognitive hanno tre importanti messaggi per la neuroetica. Il primo è che ci sono molteplici temi di bioetica ai quali le neuroscienze potrebbero contribuire, se non l'hanno già fatto. Ci riferiamo, ad esempio, al conferimento di uno status morale all'embrione, all'invecchiamento e al potenziamento e sviluppo delle facoltà cerebrali. Ogni ambito del vivere umano che implichi la partecipazione del cervello o del sistema nervoso dovrebbe tenere conto delle ultime scoperte delle neuroscienze cognitive. Bisogna tuttavia accettare il fatto che talune questioni etiche probabilmente non otterranno mai risposte certe e definitive. Così come è necessario rammentare che il contesto è tutto, quando si parla di neuroetica: la comprensione del meccanismo mediante il quale il cervello forma i propri convincimenti e prende le proprie decisioni può e deve informarci sul modo in cui poi contestualizza queste decisioni. Prendendo nuovamente ad esempio il problema dell'embrione, abbiamo visto che non è così semplice decidere univocamente se conferirgli o meno uno status morale: le risposte dipendono sempre dal

tipo di domande che vengono poste. Quando comincia la vita? La *vera vita*, intendo. Fino a quando un embrione può essere usato a scopo di ricerca? Sono problemi di diversa portata che meritano differenti risposte.

Il secondo messaggio che le neuroscienze possono dare alla neuroetica riguarda ciò che ci si attende dalle scienze cognitive: ci sono molti studiosi di etica che si aspettano dai neuroscienziati risposte definitive. Ebbene: ognuno di noi vorrebbe che gli scienziati fossero in grado, osservando un'immagine fMRI, di affermare senza ombra di dubbio che un certo pixel determina l'innocenza o la colpevolezza di una persona. Oppure vorrebbero farci dire, in maniera definitiva, che la chimica del cervello di un determinato individuo lo costringe ad agire in un certo modo. Malgrado la ricerca convalidi ogni giorno un po' di più che davvero il cervello determina la mente, questo non significa che non esista più la responsabilità individuale o che la mappatura per immagini del cervello sarà in grado di fornire la stessa incontrovertibile evidenza di un test del DNA. È importante essere consapevoli delle limitazioni delle neuroscienze o, quantomeno, delle limitazioni delle neuroscienze di oggi.

Infine, la più importante lezione che ci viene dalle scienze cognitive, e che ancora rimane aperta, è quella inerente al come gli esseri umani costruiscano un senso morale dell'etica. I meccanismi di "correlazione mentale" o "empatia" sono ormai accertati: sono meccanismi neurali che ci aiutano a comprendere le azioni e il significato di ciò che gli altri fanno e ci spingono a reagire di conseguenza. In altre parole, ci aiutano a sviluppare una teoria della mente altrui e, di conseguenza, della nostra.

L'avvenire della ricerca sul cervello

Nel cercare di delineare gli orizzonti futuri delle neuroscienze – da qui a cinque o dieci anni – non posso fare a meno di rifarmi al passato più recente. Nel corso delle mie ricerche ho potuto beneficiare, in prima persona, degli incredibili progressi tecnologici registrati nella mappatura visiva del cervello, tuttavia non disponiamo ancora di uno strumento in grado di spiegarci i principi di base del cervello e le sue funzioni cognitive. Ed è questa una delle ragioni per cui considero il Sage Center come un mio personale tributo a tutte quelle sfide che le neuroscienze devono superare: incrementare la collaborazione fra ricercatori provenienti da diversi ambiti – dalla biologia alla psicologia – significa aumentare le possibilità di risolvere problemi.

La comunicazione interdisciplinare, nella scienza, è un primo e indispensabile passo: senza comunicazione si rischierebbe di passare anni e anni a fare esperimenti inutili. Purtroppo, spesso, è ciò che accade quando si ha a che fare con il cervello: molto di ciò che passa sotto il nome di “neuroscienze cognitive” altro non è che un manipolo di ricercatori che, incappati in una qualche scoperta, immediatamente ne estrapolano una determinata funzione cognitiva, senza sapere che gli scienziati cognitivi a quella stessa funzione ci erano già arrivati. Taluni neuroscienziati si direbbero accecati da una sorta di arroganza, che li porta a pensare che la ricerca cognitiva sia facile, laddove è in verità molto difficile. Ad esempio, è stato provato che le differenze tra emisferi sono ben più complesse

di quanto gli scienziati o i divulgatori delle “teorie del cervello destro e sinistro” sospettassero in origine. Le scoperte attuali suggeriscono che, tagliando il corpo calloso, la struttura che collega i due emisferi alla corteccia cerebrale assegna alle due metà del cervello diversi sistemi di gestione delle sensazioni e delle percezioni. Eppure, sussiste comunque un meccanismo cerebrale condiviso da ambedue gli emisferi, che assegna l'ammontare di attenzione sostenibile da ciascun sistema di gestione. Ne deriva che l'emisfero destro gestisce le informazioni sensoriali secondo strutture di base, come il riconoscimento dei volti e l'identificazione di tutte le parti di una scena visiva, mentre la sua controparte sinistra si direbbe forzata ad analizzare e raggruppare le sensazioni secondo modi che consentano la formazione di decisioni di grana più sottile.

Per spiegare meglio quello che è il sistema di gestione dei due emisferi cerebrali, desidero rifarmi a una ricerca che io e i miei colleghi abbiamo pubblicato sul numero del marzo 1995 di *Psychological Science*. L'esperimento consisteva nel mostrare a tre pazienti *split brain* e a dieci persone senza problemi neurologici alcuni elementi unici da identificare, presentandoli però ad un solo lato del loro campo visivo. Le cosiddette “prove standard di ricerca” contenevano un cerchio nero, racchiuso in circonferenze grigie e quadrati neri. Ogni gruppo conteneva lo stesso numero di elementi. Le “prove di ricerca guidata” presentavano invece un cerchio nero, con alcuni quadrati neri e un numero superiore di circonferenze grigie. Tale struttura permetteva ai volontari di puntare al cerchio nero, concentrandosi soltanto su un piccolo gruppo di elementi neri. Sia i pazienti *split brain* che quelli del gruppo di controllo erano capaci di usare entrambi gli emisferi per condurre ricerche standard. Nelle prove di ricerca guidata, invece, il gruppo di controllo rispondeva più velocemente dei pazienti *split brain*, rispetto alla ricerca standard; anche se a voler essere precisi non veniva considerata quale parte del cervello il ricercatore stesse

attivando. Tuttavia, i pazienti *split brain* mostravano tempi di reazione comparabili a quelli del gruppo di controllo, solo quando usavano l'emisfero sinistro.

Risultati come questi dimostrano che l'emisfero destro contiene dei meccanismi che lavorano con il materiale grezzo dell'esperienza sensoriale, laddove invece l'emisfero sinistro favorisce strategie sensoriali più complesse. A un'indagine più dettagliata, è anche possibile dichiarare la superiorità dell'emisfero sinistro per ciò che attiene gli stimoli verbali. La maggior parte dei pazienti *split brain* sono capaci di un riconoscimento delle parole soltanto mediante l'emisfero sinistro, sebbene alcuni riescano a usare entrambi gli emisferi per questa funzione. Ma, anche in questi casi, la parte destra del cervello gestisce le parole con minore abilità rispetto alla sinistra. Ciascun emisfero isolato può riconoscere specifiche lettere, in parole semplici, più facilmente che in parole prive di senso o in file di lettere casuali. L'emisfero destro, però, impiega più tempo del sinistro a svolgere questa funzione; e ce ne mette ancora di più, quando le parole di senso compiuto vengono a mancare. Inoltre, l'emisfero destro dei pazienti *split brain* è incerto sulle funzioni grammaticali, come il cambio dei tempi verbali, la costruzione del plurale e l'indicazione del possesso. Tali scoperte confermano la nozione secondo cui il cervello sinistro nasconde un meccanismo evoluto di comprensione di quei principi grammaticali comuni a tutti i linguaggi parlati.

E ancora: alcuni pazienti *split brain* sono in grado di identificare oralmente gli oggetti presentati all'emisfero destro. Tale capacità indica la straordinaria abilità dello *split brain* nel riorganizzarsi; cosa che talvolta accade spontaneamente, dieci o più anni dopo l'intervento di emisezione, proprio per sanare l'emergenza di un emisfero destro limitato nel linguaggio.

Le funzioni senz'altro più cruciali, per la specie umana, che il cervello sinistro assolve sono quelle legate all'interpreta-

zione del comportamento e degli stati emotivi, propri e altrui, e alla creazione di inferenze sul modo in cui funziona il mondo. Come abbiamo detto in precedenza, il nostro cervello si è evoluto nel corso dei millenni fino a saper prendere decisioni che favoriscano le nostre possibilità di riproduzione. Si direbbe che a tale obiettivo assolverebbe precipuamente la parte sinistra del cervello: una scoperta di cui rivendico con orgoglio la paternità. L'emisfero sinistro, infatti, effettua tentativi costanti di stabilire relazioni tra gli eventi frutto di esperienza e percezione e, in base ad essi, ridefinisce la propria "posizione" in relazione agli altri. Al momento ho il sospetto che il sistema che governa la parte sinistra del cervello, che vent'anni fa ho chiamato "interprete", consenta anche ai sentimenti consci di manifestarsi, in risposta a tutta una serie di pensieri ampiamente automatici, che attraversano di continuo la nostra vita mentale. Ma tutto ciò necessita ancora di adeguate verifiche sperimentali. Ne deriva dunque che ci sono moltissime vie "aperte" da percorrere, per i neuroscienziati cognitivi.

Via via che le scoperte si perfezionano, le scienze cognitive acquistano un'aura sempre più affascinante e tutti ormai si aspettano che venga definito il modo in cui *il cervello attiva la mente*. È tuttavia difficile prevedere quando tale sintesi emergerà, ma quando ciò avverrà ci troveremo davanti a qualcosa di analogo alla tanto sospirata "teoria del tutto" cui anela la fisica moderna. Sono comunque convinto che molti punti interrogativi potranno essere cancellati, seguendo la linea di ricerca proposta dal Sage Center, ovvero quella dell'interdisciplinarietà delle ricerche sul cervello.

Trentacinque anni e più di ricerche sullo *split brain* mi hanno reso particolarmente sensibile alla difficoltà di comprendere i nessi esistenti tra mente e cervello. Sovente è facile accorgersi di come le complesse descrizioni della struttura del cervello, o dei processi legati ai vari atti mentali, mascherino in verità la mancanza di principi guida, la totale inconsapevolez-

za del modo in cui funzionano tre libbre di tessuto neurale, racchiuse in una scatola cranica. Gli studi effettuati sui pazienti *split brain* rappresentano un esempio perfetto di tale mancanza di consapevolezza: per almeno un decennio, dopo il primo rapporto su un intervento di recisione del corpo calloso, i ricercatori hanno continuato a sottolineare il fatto che un cervello diviso comporta inevitabilmente due sistemi separati di pensieri coscienti. Ebbene, come William Estes dell'Università della California ebbe a commentare, durante un meeting del 1975: "Tutto questo ci offre soltanto due sistemi che non comprendiamo, invece di uno!" Oggi, è la volta delle più sofisticate tecniche di mappatura visiva del cervello, ma anche in questo caso vedere non significa necessariamente capire. Tuttavia, la ricerca *split brain* ha tratto evidenti benefici dalle nuove tecnologie: oggi riusciamo a proiettare immagini, per lunghi periodi, in un singolo emisfero cerebrale, osservandone contemporaneamente i livelli di risposta e reattività. Possiamo dunque lavorare sulle variazioni individuali allo stimolo visivo, mediante una nuova tecnica chiamata "analisi del tensore di diffusione" (*diffusion tensor analysis*), che misura il flusso medio di acqua verso i neuroni, individuandone i percorsi e, nello specifico, i percorsi funzionali a una particolare attività neurale. Si potrebbe pertanto dire che la ricerca attuale si sta sempre più focalizzando sulle variazioni individuali del comportamento.

Ma c'è anche un altro obiettivo che si prospetta all'orizzonte. In un passato non troppo lontano, sono giunte alla conclusione che gran parte di quello che gli esseri umani pensano riguarda il sociale. Pensiamo cioè alle nostre mogli (o ai nostri mariti), ai nostri bambini, ai colleghi, ai superiori e ai politici che ci governano. Insomma, quello che facciamo abitualmente è pensare agli altri! Di sicuro, non ce ne stiamo seduti a pensare a quadrati, triangoli o altre astrazioni simili, che i neuroscienziati utilizzano nei propri esperimenti da più di vent'anni.

Tutt'altro: in quanto esseri umani, pensiamo innanzitutto in termini di relazioni sociali. Tentiamo quindi di comprendere le intenzioni altrui e di trarne inferenze sociali. Sono sicuro che il futuro della ricerca sul cervello dovrà giocoforza orientarsi verso le neuroscienze sociali, perché comprendere il cervello umano significa comprendere il modo in cui esso lavora in un contesto sociale, non in astratto.

Poi c'è l'enigma della moralità. In quale parte del cervello si forma la morale? E come? Di recente, alcuni ricercatori hanno esaminato, in modo decisamente ingegnoso, la struttura morale dell'essere umano e sono giunti alla deduzione che buona parte della moralità della specie umana è "costruita nella fabbrica del cervello". Si direbbe che esistano, infatti, dei percorsi precostituiti verso determinate scelte o dei freni inibitori verso altre scelte. Ho idea che entro i prossimi dieci o venti anni ci saranno numerosi libri, se non veri e propri trattati, sulla chimica dei circuiti morali della specie umana. La curiosità dei più già si interroga sulle "ragioni", per esempio, degli atti omicidi. Se la mente umana non è naturalmente vocata all'omicidio – e lo dimostrerebbero le tecniche manipolatorie utilizzate per convincere i soldati a uccidere, in tempo di guerra, in modo "impersonale" – perché allora taluni soggetti sono ugualmente capaci di un simile atto criminoso? E quale parte ha il loro cervello in tutto ciò? Difficile arrivare a risposte univoche: sappiamo infatti che l'interprete del cervello sinistro fornisce spiegazioni, dei propri atti, che variano da persona a persona.

Credo, tuttavia, che presto o tardi, problemi filosofici come l'etica e la morale finiranno col convergere sulla neurobiologia e sulla ricerca interdisciplinare.

Uno degli esperimenti che ho condotto sulla percezione del dolore mi fornisce un buon esempio di interdisciplinarietà: il dolore può essere esaminato da un punto di vista medico, ma

può essere esaminato anche dal punto di vista delle scienze sociali, da una prospettiva economica o da molti altri lati. Se sette persone si chiudono in una stanza a parlare del “dolore” avranno sette modi diversi di parlarne: è il mistero della narrazione. E allora mi chiedo: è possibile cambiare il senso del reale di una data persona, raccontandogli una storia diversa? È possibile convincere le persone a credere in qualcos’altro? Se ho costruito il Sage Center è perché cerco un metodo “mediatorio” per rispondere a simili domande. Abbiamo costruito un laboratorio multidisciplinare perché la mia filosofia è che non esiste accordo, non esiste un metodo unico di separare il cervello dalla mente o di comprendere come il cervello renda possibile un qualsiasi tipo di esperienza conscia. Quello a cui miriamo è una ricerca multifocale, nella quale qualcuno potrebbe dedicarsi ai meccanismi che regolano l’attenzione, mentre qualcun altro studierebbe l’amnesia e qualcun altro ancora potrebbe dedicarsi all’osservazione di un paziente dissociato. Non esiste una procedura esclusiva. Non esistono obiettivi precostituiti. E ammetto che provo un grande piacere nell’andare a lavorare, ogni giorno, senza sapere esattamente quello che farò!

Prospettive di ricerca: i centri di eccellenza delle neuroscienze

Al momento, l'unico paese che sembri seriamente intenzionato a investire nelle neuroscienze è la Germania. Certo, anche gli Stati Uniti dispongono di cospicui investimenti, ma alla luce di una filosofia del finanziamento che predilige i risultati, le neuroscienze finiscono per restare il più delle volte bloccate in una *empasse* burocratica. Coloro che distribuiscono i soldi vogliono sapere perché le persone sono depresse e vogliono che gli si assicurino una soluzione alla depressione, prima di investire trenta miliardi di dollari in un programma di ricerca scientifica. Ebbene, la verità è che forse soltanto l'uno per cento dei fondi investiti nella scienza produce un valore duraturo, mentre il resto non approda a nulla. E questo non solo nel campo delle neuroscienze. Tuttavia, quando si parla di mente-cervello, non siamo abbastanza bravi nel far valere il peso di quell'uno per cento: i contabili della ricerca semplicemente non capiscono a cosa mirino i nostri progetti, perché la maggior parte di loro viene da un mondo in cui, ad esempio, si cerca di fabbricare scarpe o elettrodomestici migliori. E per far ciò non c'è bisogno di scoperte eclatanti: basta un po' di buona tecnologia. Anzi, direi persino che la scoperta eclatante è controproducente, perché fine a se stessa. Va ammesso, anche a costo di disilludere i più giovani fra noi, che gli sforzi compiuti nell'ambito della ricerca teorica non vengono mai riconosciuti o apprezzati.

È stato invece in Italia che ho incontrato il maggior entusiasmo per la ricerca sul cervello, sebbene i mezzi che il paese

dedica alla scienza siano piuttosto scarsi. Con l'aiuto di Emilio Bizzi sta nascendo, nei dintorni di Roma, un nuovo istituto, finanziato con fondi privati e incentrato sulla ricerca neurologica. Ma Bizzi è uno che ha imparato a far miracoli: dopo esser stato per quattro anni al MIT, è riuscito a trovare finanziamenti per il suo progetto persino in Italia.

Per non parlare poi dell'impegno – già in precedenza menzionato – di Giacomo Rizzolatti, lo scienziato che ha teorizzato il modo in cui gli animali rispondono, sul piano neurale, alle azioni degli altri animali o degli umani, semplicemente guardandoli. I suoi esperimenti promuovono l'idea che l'empatia sia un processo neurobiologico attivato da determinati meccanismi del cervello. È come riflettere il mondo esterno nel proprio cervello, perché un soggetto può comprendere le intenzioni, i sentimenti e le azioni altrui, soltanto attraverso i suoi propri sentimenti, ai quali risponde abitualmente tramite il suo cervello. C'è stato anche un gruppo di ricerca dell'Università di Washington che si è dedicato allo studio dell'empatia. Lo hanno fatto studiando il dolore: lo sperimentatore prendeva la mano di un soggetto e la metteva in una morsa. La prima stretta produceva una piccola quantità di dolore. Alla seconda, il dolore aumentava e così via, giro dopo giro, fino a un dolore molto forte. Nel corso dell'esperimento, il cervello veniva scansionato e dalle immagini si poteva evincere una risposta cerebrale via via più forte, proporzionata all'aumentata percezione dolorosa. Ma il vero esperimento si svolgeva su un altro gruppo di soggetti: quelli che assistevano, tramite un video, al primo esperimento. Ebbene, le persone che osservavano il video non ricevevano nessuna sollecitazione fisica dolorosa, ma i loro cervelli rispondevano come se la stessero ricevendo: tramite scansione, si evidenziava l'attivazione delle medesime regioni cerebrali dei soggetti le cui mani erano nella morsa.

L'Italia si è messa in mostra, in ripetute occasioni, per le sue ricerche sui sistemi emotivi e un tributo va riconosciuto, a

tal proposito, al collega italiano Alfonso Caramazza, oggi a Harvard, che ha fondato un'associazione per lo studio delle neuroscienze, a Trento. Ma non si tratta certamente di un caso isolato: la comunità scientifica italiana vanta tra le dieci e le cinquanta persone riconosciute in tutto il mondo per il loro lavoro scientifico in questo ambito. Elisabetta Ladavas, di Bologna, lavora da anni nel campo della neurobiologia delle emozioni; Carlo Marzi, di Verona, ha contribuito moltissimo agli studi sul corpo calloso; Giovanni Berlucchi, uno dei miei più grandi mentori al Caltech, è adesso ordinario all'Università di Verona. E ho citato solo quelli che ho conosciuto personalmente, ma già fin dalla mia prima esperienza italiana, quando studiavo all'Università di Pisa, ho potuto constatare come gli scienziati italiani siano, con ogni probabilità, i lavoratori più volenterosi che mi sia capitato di incontrare.



I personaggi

Bizzi, Emilio. Neuroscienziato italiano in forza al MIT di Boston. Le sue ricerche si focalizzano sulle modalità con le quali il sistema nervoso centrale traduce i messaggi del cervello che segnalano l'intenzione di un movimento nell'attivazione del muscolo.

Bogen, Joseph E. (1926-2005). Neurofisiologo americano, specializzato nella ricerca sullo *split brain* e sulle teorie della coscienza.

Estes, William K. Uno dei fondatori della teoria dell'apprendimento matematico, i suoi modelli hanno posto le basi della moderna intelligenza artificiale e degli sviluppi sulle reti neurali artificiali.

Jerne, Niels (1911-1994). Immunologo danese, direttore dell'Istituto di Immunologia di Basilea dal 1969 al 1983, ha lavorato per l'Organizzazione Mondiale della Sanità ed è stato preside della facoltà di microbiologia dell'Università di Pittsburgh; è stato anche direttore del Paul Ehrlich Institut a Francoforte sul Meno. Insieme a G. Koehler e a C. Milstein è stato insignito nel 1984 del Premio Nobel per la medicina per l'elaborazione di importanti teorie sullo sviluppo e sui meccanismi di controllo che regolano il sistema immunitario.

Libet, Benjamin (1916-2007). Ricercatore americano presso il dipartimento di fisiologia dell'Università della California, pioniere nel campo della coscienza umana. Negli anni Settanta, ha partecipato alle ricerche sull'attività neurale e sulle sensazioni soglie.

Locke, John (1632-1704). Medico, scienziato e filosofo inglese, fu consigliere del partito Whig e oppositore degli Stuart. È considerato il padre dell'empirismo. In politica definì lo Stato un libero contratto, sorto come sistema di garanzie per tutelare la proprietà contro le prevaricazioni. Fu convinto sostenitore della tolleranza e della libertà tanto di religione quanto di opinione. Tra le sue opere: *Saggio sull'intelletto umano*, 1688; *Due trattati sul governo*, 1690; *Lettere sulla tolleranza*, 1689-1705.

Novalis (1772-1801). Pseudonimo del poeta tedesco Friedrich Leopold von Hardenberg, uno dei maggiori esponenti del primo movimento romantico. La morte della fanciulla amata, Sophie von Kühn, gli ispirò gli *Inni alla notte* (1797-1799). Al desiderio della morte reagì elevandosi all'idealismo magico, esaltazione della magica unità tra mondo naturale e mondo soprannaturale. Tale concezione pervade i *Canti spirituali* (postumo, 1802) e i romanzi *I discepoli di Sais* (1798) ed *Enrico di Ofterdingen* (postumo 1802).

Pauling, Linus (1901-1994). Chimico statunitense, Premio Nobel per la chimica nel 1954 per le sue ricerche sui legami chimici, fu autore di studi fondamentali di biochimica. Nel 1962 fu insignito del Premio Nobel per la pace in riconoscimento dell'azione a favore del disarmo e contro gli esperimenti nucleari.

Persinger, Michael (1945-). Ricercatore americano in neuroscienze cognitive, dal 1971 in forza all'Università Laurentiana del Canada. Il suo lavoro si focalizza sui punti comuni che legano le varie branche della scienza, in particolare chimica, biologia e psicologia.

Rizzolatti, Giacomo (1937-). Neurofisiologo italiano, è professore ordinario presso l'Università di Parma ed è famoso per le sue ricerche sui "mirror neurons".

Sperry, Roger W. (1913-1994). Biologo statunitense, Premio Nobel per la medicina nel 1981 per i suoi studi sul sistema nervoso centrale.

Wilson, David Sloan (1949-). Biologo evoluzionista americano, ha proposto il concetto della selezione di gruppo nell'evoluzione.

Amigdala. In anatomia, nucleo della base cranica, posto nella profondità del lobo temporale; appartenente al sistema limbico, è connessa alle sensazioni olfattive.

Antigene. Qualsiasi sostanza estranea che introdotta in un organismo provoca la formazione di anticorpi, cioè di sostanze che reagiscono con l'antigene (reazione specifica).

Cellula staminale. Cellula non ancora differenziata, totipotente, capostipite di cellule e tessuti degli organismi.

Circolo di Willis. Detto anche *poligono* o *eptagono* o *esagono*, è il distretto arterioso impari e mediano, costituito dalla confluenza delle arterie carotidi interne e cerebrali posteriori, situato sulla superficie inferiore dell'encefalo attraverso il quale passa tutto il sangue che irroro l'encefalo. Deve il nome a Thomas Willis, anatomista e fisiologo inglese del XVII secolo.

Corpo calloso. In anatomia, grossa lamina quadrilatera di sostanza bianca che unisce tra loro gli emisferi cerebrali.

DNA. Sigla dell'acido desossiribonucleico, composto chimico macromolecolare presente nel nucleo di tutte le cellule, come portatore dell'informazione genetica che permette di sintetizzare le proteine che costruiscono le cellule e gli organismi. Il DNA è un polimero formato da due lunghe catene lineari di nucleotidi. Ciascun nucleotide è costituito da un carboidrato, da una molecola di acido fosforico, e da una base azotata attaccata al carboidrato. Nel DNA, il carboidrato è il desossiribosio; le quattro basi sono rispettivamente l'adenina (A) e la guanina (G), anche dette puriniche, e la timina (T) e la citosina (C), anche dette pirimidiniche. Di solito il DNA è formato da due catene polinucleotidiche associate fra loro in una lunghissima spirale, formanti la cosiddetta doppia elica. Le due eliche sono unite fra loro con legami chimici deboli che connettono una base di un'elica con una base dell'altra elica, usando una regola molto rigida: se la base in una catena è A, nell'altra è T; se una è G, l'altra è C.

Pertanto la molecola di DNA è come una scala a pioli di due tipi, AT e CG, e la si chiama una doppia elica perché la scala è girata a spirale. L'informazione genetica è contenuta nell'ordine delle quattro basi: un breve segmento di DNA potrebbe essereTCCAGAGGTTTTCG..... Sovente viene usata, per la sintesi delle proteine solo una delle due eliche; l'altra elica ha una struttura complementare, fissata dalla regola che i pioli della scala sono solo AT, TA, CG, GC, e perciò sarebbe, nell'esempio ora detto,AGGTCCAAAAGC....

Ganglio. Punto di connessione tra diversi tipi di cellule nervose, che svolge una funzione di snodo delle informazioni neuronali dal sistema sensitivo a quello motorio e viceversa.

Neurone. Cellula che rappresenta l'unità fondamentale del sistema nervoso. È costituito da un corpo cellulare (pirenoforo), che può variare per forma (piramidale, rotondeggiante ecc.) e per dimensioni (5-120 μ m). I neuroni sono connessi da sinapsi attraverso le quali possono comunicare molto velocemente.

Sinapsi. In neurofisiologia, connessione fra due cellule nervose o fra una fibra nervosa e la placca motrice di un muscolo. La sinapsi ha funzione di trasmissione dell'impulso nervoso, che avviene in una sola direzione.



Indice

Una precoce curiosità per la “mente”	5
Dalla medicina alle neuroscienze cognitive: breve storia di un viandante.....	11
Il Sage Center.....	15
Lo <i>split brain</i> e l'interprete.....	20
La coscienza	36
Quando comincia la vita?.....	41
Le neuroscienze cognitive.....	54
L'avvenire della ricerca sul cervello	60
Prospettive di ricerca: i centri di eccellenza delle neuroscienze	67
I personaggi.....	70
Glossario.....	72