

# “Imaging” o “Imagining”?

## Dalla genetica una sfida per la neuroetica

La moderna neuroetica emerge da una collaborazione del XXI secolo tra bioetica e neuroscienze. Le tecnologie di neuroimmagine funzionale, caratterizzate da una sensibilità senza precedenti, hanno portato alla luce nuove questioni etiche, sociali e legali. Alcune questioni, affini a quelle relative alla genetica moderna, sollevano argomenti critici in merito alla previsione di malattie, alla privacy e all'identità. Tuttavia, attraverso nuove e ancora emergenti conoscenze nella nostra neurobiologia e attraverso caratteristiche prima non quantificabili dei comportamenti personali come l'attitudine sociale, il valore e l'agenzia morale, la difficoltà di interpretare attentamente e adeguatamente la relazione tra le scoperte del cervello e il nostro concetto di noi stessi è senza precedenti. Quindi, benché l'etica della genetica costituisca un legittimo punto di partenza – e una colonna portante – per affrontare questioni etiche sulla neuroimmagine, essa non è, comunque, sufficiente. Traendo spunto dai recenti risultati della neuroimmagine e dalle loro possibili applicazioni nel mondo reale, noi sosteniamo che l'interpretazione dei dati di neuroimaging sia una chiave epistemologica e anche una sfida etica. Questa sfida ha due facce. In primo luogo, a livello scientifico, l'assoluta complessità della ricerca nelle neuroscienze pone delle sfide per l'integrazione della conoscenza e per l'interpretazione significativa dei dati ottenuti. In secondo luogo, a livello sociale e culturale, troviamo che le interpretazioni degli studi di imaging sono legati a strutture antropologiche e culturali. In particolare, l'introduzione nella neuroimaging di concetti di “sé” e di personalità illustra l'interazione di più livelli interpersonali e costituisce la principale ragione per cui una riflessione etica sulla genetica aiuterà solo in parte a risolvere tematiche inerenti la neuroetica. L'interpretazione etica di tali risultati necessiterà, quindi, non solo di input bioetici tradizionali ma anche di una prospettiva più ampia per la costruzione di una conoscenza scientifica.

**Judy Illes**<sup>1</sup>  
**Eric Racine**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Stanford University

### INTRODUZIONE

Quale emozione ha causato uno stetoscopio! Presto raggiungeremo il punto in cui ogni barbiere potrà utilizzarlo; mentre ti fa la barba, egli ti chiederà: “le piacerebbe se usassi lo stetoscopio su di lei, signore?”. Poi, qualcun altro inventerà uno strumento per ascoltare gli impulsi del cervello. Ciò creerà un tremendo scompiglio, finché, nell'arco di 50 anni, ogni barbiere lo potrà adoperare. Poi, a colui che si è fatto tagliare i capelli e su cui il barbiere ha già usato lo stetoscopio (per quell'epoca la cosa sarà già abitudine diffusa) il barbiere chiederà: “Signore, vorrebbe che ascoltassi gli impulsi del suo cervello?”

- Kierkegaard, 1846

La neuroetica emerge da una collaborazione del ventunesimo secolo fra bioetica e neuroscienze. Mentre la discussione neuroetica e il dibattito sugli stati psicologici e sui processi fisiologici risalgono agli antichi filosofi, perfezionate capacità, messe a disposizione dalle neuro tecnologie moderne, per la comprensione e il monitoraggio del pensiero e del comportamento umano hanno sollevato temi etici, sociali e legali. Questi derivano e si allargano verso ap-

Titolo originale:  
“Imaging or imagining? A Neuroethics challenge  
informed by genetics” -  
Am J Bioeth. 2005; 5 (2): 5-18

Traduzione a cura dello staff  
dell'Addiction & Neuroscience Group.

procci anatomico-clinici, alla localizzazione cerebrale e alla specializzazione funzionale che cominciò nel XVI e nel XVII secolo, dopo un vuoto di oltre 2000 anni dai tempi di Aristotele e Ippocrate (300 e 400 AC, Marshall e Fink 2003). Alcune tematiche, affini a quelle che caratterizzano la genetica moderna, sollevano questioni critiche in merito alla previsione delle malattie, alla privacy e all'identità. Tuttavia, grazie a nuovi insight all'interno della neurobiologia e delle caratteristiche in precedenza non quantificabili relative a comportamenti profondamente personali come l'attitudine sociale, il valore e l'agenzia morale, la difficoltà di interpretare accuratamente e in modo adeguato la relazione tra le scoperte del cervello e il concetto di "noi stessi" è senza precedenti. Le modalità per trattare argomenti pratici con tecniche di neuroimaging dipenderanno dal modo in cui approcceremo l'interpretazione fondamentale – la ragione principale per cui l'analisi bioetica tradizionale, così come presentata nell'etica della genetica, non sarà sufficiente come unica guida.

Si consideri, ad esempio, il seguente esempio relativo ai titoli apparsi sugli articoli di letteratura scientifica negli scorsi tre anni: "Il buono, il cattivo e il cingolo anteriore" (Miller 2002), "Morale e cervello umano: un modello funzionante" (Moll et al. 2003), "Elaborare strategie nel cervello" (Camerer 2003), "La corteccia frontale mediale e il rapido processo di guadagno e perdita monetaria" (Gehring e Willoughby 2002) o "Le basi neurali del decision-making economico nel gioco dell'ultimatum" (Sanfey et al. 2003), come quelli che appaiono sulla stampa popolare, quali "Come la mente legge le altre menti" (Zimmer 2003), "Intercettare la mente" (Wickelgren 2003), "Perché siamo così cortesi: siamo programmati per la cooperazione" (Angier 2002) e "C'è un parassita in ogni corteccia prefrontale mediale" (Thompson 2003). Da ciò osserviamo che i profili quantitativi della funzione cerebrale – "mappe del pensiero" – una volta ristrette al dominio della ricerca medica e della neuropsichiatria clinica, possono ora avere una rilevanza naturale nel nostro approccio alla vita quotidiana. Questo trend introduce verosimilmente la possibilità – o almeno il desiderio – di usare le mappe del cervello per valutare la sincerità delle dichiarazioni e della memoria in ambito giudiziario, valutare le abilità professionali e interpersonali di candidati a un posto di lavoro, valutare il potenziale di apprendimento degli studenti, selezionare manager che devono gestire il nostro portfolio finanziario e anche per scegliere i partner per la vita, basandosi su un profilo cerebrale compatibile per personalità, interessi e desideri. Inoltre, questi trend mettono in primo piano quella che sembrerebbe essere un dura sfida epistemologica nel cuore nella neuroetica – l'appropriata interpretazione dei dati di neuroimaging. La sfida mostrerà di avere due lati. In primo luogo, a livello scientifico, l'assoluta complessità della ricerca neuroscientifica pone delle sfide per l'integrazione della conoscenza e per

la significativa interpretazione dei dati. In secondo luogo, a livello sociale e culturale, troviamo che le interpretazioni sociali di studi di imaging sono legati a precisi modelli culturali e antropologici. In particolare, l'introduzione dei concetti di "sé" e di personalità nella neuroimaging illustra l'interazione dei livelli di interpretazione. Affrontare la sfida coinvolgerà l'immaginazione umana creativa e la seria consapevolezza dei presupposti scientifici e culturali.

Il presente articolo, quindi, esplora l'evoluzione delle potenzialità del "brain imaging" funzionale, che ha condotto a solide scoperte in merito al comportamento umano normale e patologico. Noi prendiamo spunto dalla recente ricerca di neuroimaging e dalle sue potenziali applicazioni. Soffermandoci su come la genetica è stata analizzata da un punto di vista etico, vogliamo mettere a confronto le tematiche emerse dalla genetica con quelle emerse nel neuroimaging funzionale, usando la tecnica della risonanza magnetica funzionale (fMRI) come nostro modello. Infine, discuteremo dell'interpretazione dei dati di neuroimaging come di una chiave epistemologica e di una sfida etica, inevitabile per la neuroetica e strettamente legata alla storia delle neuroscienze.

## NEUROIMAGING FUNZIONALE

Da generazioni di lavori condotti da scienziati e ingegneri molto curiosi e abili da un punto di vista neurotecnologico, nell'era moderna sono stati introdotti potenti strumenti di neuroimaging funzionale. Gli strumenti attualmente più importanti, l'elettroencefalografia (EEG), la magnetoencefalografia (MEG), la tomografia ad emissione di positroni (PET), la tomografia computerizzata ad emissione di singolo fotone (SPECT) e le immagini di risonanza magnetica funzionale (fMRI), hanno fornito un continuo flusso di informazioni sul comportamento umano.

Uno degli approcci più datati risale al 1929, quando il neuropsichiatra Hans Gerber annunciò l'invenzione dell'elettroencefalogramma e dimostrò che la forza del segnale e la posizione dell'attività elettrica generata a livello di corteccia cerebrale potevano essere misurate attraverso il posizionamento di elettrodi sullo scalpo (Karbowski 1990). Grazie alla sua straordinaria risoluzione temporale, questo fu il primo strumento a rivelare una conoscenza fondamentale sul funzionamento del cervello umano in tempo reale. Nel corso del tempo, altre modalità di imaging hanno raggiunto questo scopo sfruttando i segnali del cervello quali l'attività elettromagnetica extracranica (MEG), l'attività metabolica e il flusso ematico (PET e SPECT), e l'ossigenazione regionale del sangue (fMRI) che esegue complesse misurazioni dell'attività funzionale (per una prospettiva antropologica specifica sulla PET si veda Dumit 2004). In linea di mas-

sima, per creare le mappe cerebrali colorate cui ora siamo abituati, vengono utilizzati metodi di confronto o sottrazione tra due condizioni controllate, viene usata una complessa analisi statistica, e ci si avvale anche di intense ricostruzioni di dati fatte a computer. In genere, ci si basa sulla diagnosi e sul trattamento di un'ampia rosa di malattie psichiatriche e neurologiche a noi note, inclusi i traumi cranici, le demenze, i disturbi dell'umore, l'ictus, il cancro, i colpi apoplettici e l'impatto dell'abuso di droghe, solo per nominarne qualcuno.

Ogni diversa tecnica presenta relativi vantaggi e svantaggi; questi sono brevemente riassunti nella Tavola 1, a supporto della discussione. Da un punto di vista tecnico, l'fMRI emerge come strumento di indagine che avrà l'impatto più duraturo sulla nostra società, al di fuori dell'ambito accademico e della medicina. Sono la disponibilità oggi così estesa degli scanner MR e la non invasività dell'approccio di imaging consentiti dall'MR che hanno reso diversa l'fMRI dagli altri strumenti di neuroimaging e che l'hanno resa un modello per le discussioni di neuroetica. In condizioni sperimentali controllate, le mappe di attivazione prodotte dall'fMRI rivelano effetti indiretti dell'attività neurale sul flusso ematico locale. Come i paradigmi di PET e SPECT, un tipico disegno sperimentale fMRI utilizza uno strumento specifico per misurare differenze relative dell'attività cerebrale fra un compito sperimentale e uno di controllo (baseline), come illustrato in Figura 1. È il surplus di sangue ossigenato, apportato alle regioni attivate del cervello, a produrre gli effetti misurati dall'MR.

#### Applicazioni della neuroimmagine funzionale nella clinica medica, nella scienza cognitiva e in ambito giudiziario

Oltre all'uso dell'fMRI nella mappatura delle aree corticali principali prima dell'esecuzione di interventi chirurgici per epilessia, tumori o malformazioni arteriovenose, altri sforzi per rendere rilevante questa tecnologia in ambito sanitario sono state focalizzate sul disturbo dell'Alzheimer (AD), sulle malattie mentali negli adulti e sulle patologie pediatriche, quale il disturbo da deficit di attenzione e iperattività (ADHD; Illes and Kischen 2003). Applicazioni dell'MRI ai feti hanno mostrato grandi potenzialità nel migliorare le diagnosi per anomalie del sistema nervoso centrale strutturale e saranno a presto disponibili studi funzionali del flusso ematico nel cervello. Relativamente alla senilità, poi, sono stati condotti i primi tentativi per utilizzare l'MRI con lo scopo di determinare i livelli di consapevolezza nei pazienti in stati di coscienza minima o in stato vegetativo, (e. g. Schiff et al. 2005) (Giacino 2003).

Negli ultimi dieci anni di sviluppo dell'fMRI e di espansione, quindi, dei confini della neuroscienza cognitiva, l'innovazione è stata applicata per acquisire conoscenze in merito alla motivazione umana, al ragiona-

mento, alle attitudini sociali. Guardando alla letteratura generale, abbiamo constatato un'espansione continuativa degli studi di fMRI, soli o in combinazione con altre modalità di imaging, con evidenti implicazioni sociali e politiche, inclusi gli studi sulla menzogna o sull'inganno, la cooperazione umana e la competizione, le differenze che si possono riscontrare nel cervello di persone violente, le influenze genetiche, e la variabilità nei pattern di sviluppo del cervello (Illes et al. 2003). In uno studio estremamente interessante, ma non ancora pubblicato, Beauregard et al. (preso in esame da Curran 2003) utilizzarono una combinazione di EEG, fMRI e PET per verificare il substrato neurale dell'esperienza religiosa (Curran 2003). Gli autori si concentrano sul fenomeno noto come *unione mistica*, cioè un senso gioioso di unione con Dio di cui si è a conoscenza grazie a resoconti riportati da un gruppo di suore carmelitane di clausura di Montreal, in Canada. La discussione sul potenziale significato e sugli usi pratici di questi profili neurali personali così profondi è ora pronta per una considerazione bioetica.

Al di fuori dell'arena della scienza medica e cognitiva, l'ambito legale offre uno spazio naturale per tentare di tradurre la neuroimaging in un uso pratico e concreto. Come scrisse Hank Greely (2002, 5):

La neuroscienza può fornire risposte ad alcune delle "più vecchie questioni filosofiche, facendo luce, ad esempio, sui limiti dell'esistenza, e sul significato del libero arbitrio". Può fornire anche nuovi modi di distinguere la verità dalle menzogne o i ricordi veri da quelli falsi. Questa abilità a predire il comportamento con l'aiuto della neuroscienza può avere importanti conseguenze per il sistema giudiziario e per la società in generale.

Greely fornisce una revisione estesa degli aspetti legali nel capitolo "previsione, processo, privacy e proprietà: alcune implicazioni legali e sociali dei progressi delle neuroscienze" (Greely 2004). Di seguito vengono illustrati dei casi volti a spiegare dove i modelli etici per l'imaging del cervello si incontrano con, o divergono dalla genetica.

Tornando al 1985, la Corte Suprema che giudicava il caso *Ake vs. Oklahoma* impose agli Stati il requisito costituzionale di fornire assistenza psichiatrica alla difesa nei casi penali ove la questione della salute mentale fosse stata sollevata. Gli imputati cominciarono a sostenere che "assistenza psichiatrica" avrebbe dovuto includere anche una completa valutazione neurologica, includendo strumenti di indagine come PET o MRI. Gli studi PET hanno mostrato che gli assassini condannati, ad esempio, possono avere un ridotto funzionamento della corteccia prefrontale, deputata al controllo degli impulsi (Raine et al. 1994). In alcuni casi, le immagini di PET sono state usate per sostenere che l'imputato era biologicamente

predisposto a commettere il crimine e, quindi, che avrebbe dovuto essere risparmiato dalla condanna o dalla sentenza di morte. In almeno un caso (*People vs Jones*), una condanna per omicidio fu revocata perché lo Stato mancò di fornire la possibilità per uno scan del cervello<sup>1</sup>.

In un'applicazione relativamente recente dell'EEG, il "brain fingerprinting" derivato dall'EEG è stato promosso come strumento per determinare se un individuo ha una qualche conoscenza di un crimine (Farwell e Smith 2001). L'aver o non avere conoscenza dei fatti rilevanti di un crimine viene quantificato dal brain fingerprinting attraverso la misurazione delle onde cerebrali che si formano in corrispondenza di risposte a parole rilevanti o a figure mostrate in rapida sequenza sullo schermo del computer. Quando il cervello riconosce informazioni significative – come possono essere i dettagli della scena del crimine – questo risponde con una "memoria e codifica il relativo responso elettroencefalografico". A differenza del poligrafo che misura la paura che l'individuo ha di essere scoperto a mentire, rilevando marker fisiologici rilevanti, il brain fingerprinting verosimilmente misura le onde cerebrali emesse quando viene riconosciuta una informazione depositata nel cervello<sup>2</sup>.

Le nuove applicazioni dell'fMRI che collegano la scienza cognitiva alla giurisprudenza potrebbero anche modificare l'approccio verso l'accertamento della verità e la scoperta della bugia. Langleben et al. (2001), ad esempio, utilizzarono l'fMRI per studiare gli schemi neurali associati all'inganno. Nel loro esperimento principale, i volontari furono invitati a confermare o a negare, sinceramente o falsamente, tenendo in mano una carta da gioco. Quando i soggetti davano risposte vere, l'fMRI mostrava un aumento dell'attività nella corteccia

visiva e motoria. Quando mentivano deliberatamente, ulteriori attivazioni venivano misurate nelle aree cerebrali, inclusa la corteccia anteriore cingolata alla quale sono state attribuite le funzioni di monitoraggio degli errori e dell'attenzione. Langleben et al. conclusero che "essenzialmente, ci vuole più energia mentale per mentire che per dire la verità" (Evans 2002). Questi risultati sono in linea con quelli di Moll et al. (2003) e Heilman (1997) che implicano la corteccia temporo-polare, l'insula, il precuneo e le loro connessioni in un circuito neurale esteso che attribuisce emozioni e sentimenti, specialmente quelli determinati da un certo contesto sociale, a percezioni e ideazioni (si veda anche Aldophs et al. 1995; Damasio 1994; LeDoux 2003). In futuro, quindi, potremmo essere in grado non solo di riconoscere se un individuo ci sta ingannando o nemo, ma anche di capire se l'inganno è o non è premeditato<sup>3</sup>.

## PERCORSI DALLA GENETICA ALLA SCIENZA DELLA NEUROIMAGING

Ellen Wright Clayton (2003) fornisce una revisione comprensiva dell'impatto che i progressi nella genetica e nella biologia molecolare hanno avuto sulla società, e considera la genomica come un fenomeno complesso che presenta sfide specifiche sia per i medici che per i pazienti. Le neuroscienze non sono eticamente meno complesse, e i neuroscienziati, come i genetisti e i fisici nucleari, stanno raggiungendo sempre di più la consapevolezza che le potenziali implicazioni della loro ricerca possono essere utilizzate nell'ambito della magistratura, della medicina e del pubblico interesse (Mariani 2003)<sup>4</sup>. Traendo spunto da alcune delle principali variabili etiche, legali e sociali (ELSI), questa sezione esamina l'estensione a cui l'etica della genomica può servire come modello per un'analisi etica della neuroimmagine.

### Discriminazione, stigma

Considerato il fatto che l'informazione sanitaria non è interamente privata, Clayton (2003) et al. (ad es. Rothenberg e Terry 2002) hanno suggerito che la paura più comune sull'informazione genetica è l'uso che se ne può fare per negare l'accesso all'assicurazione medica, all'impiego, all'educazione e anche ai prestiti finanziari per

<sup>1</sup> In un caso di omicidio a New York nel 1992, *People v. Weinstein*, Weinstein fu accusato di aver strangolato sua moglie e di aver gettato il suo corpo dal dodicesimo piano. La scansione funzionale della PET di Weinstein le immagini dell'MRI strutturale rivelarono una ciste aracnoide, e la prova fu portata in giudizio con lo scopo di chiedere l'insanità mentale. La sentenza venne stabilita nonostante tale patologia non avesse noti legami con un comportamento criminale. La scansione della PET mise in evidenza la giustapposizione di una lesione nera (la cista) sulle aree rosse e verdi dell'attività cerebrale "normale". Tale lesione venne considerata così grave da provare alla Corte che il cervello di Weinstein non funzionava entro i normali parametri. In questo caso, il procedimento legale ammise l'omicidio colposo.

<sup>2</sup> Il brain fingerprinting ha giocato un ruolo importante nel caso di Terry Harrington, ad esempio, la cui condanna per omicidio venne revocata e tornò in giudizio dopo 22 anni di prigione (state of Iowa v. Terry Harrington). Il caso risale al 1977, quando Harrington, all'età di 17 anni, fu condannato per l'omicidio di un poliziotto in pensione. Nel 2000, quando Harrington venne sottoposto al fingerprinting, il suo cervello, in corrispondenza di dettagli critici dell'omicidio, non emise i pattern elettroencefalografici attesi. Il risultato fu interpretato come prova del fatto che egli non era presente sul luogo del delitto, conclusione, questa, corroborata dal fatto che il suo cervello emise i pattern attesi in corrispondenza dei dettagli che caratterizzavano il suo alibi. Di fronte alla prova del brain fingerprinting, il testimone dell'accusa ritrattò la propria testimonianza e ammise di aver mentito in occasione del primo processo, accusando Harrington per evitare di essere perseguito lui stesso.

<sup>3</sup> In un altro esperimento di fMRI relativo all'inganno e, più marginalmente, alla menzogna, Schacter et al. (1998) dimostrarono la possibilità di riconoscere la memoria falsa da quella vera. In uno studio ancora più recente, Anderson et al. (2004) mostrarono aree di attivazione neurale nella corteccia pre-frontale dorso laterale associata con l'attiva soppressione della memoria.

<sup>4</sup> Anche in queste prime fasi, qualche ira su chi stia conducendo quale tipo di ricerca e con quali motivazioni è già emersa, soprattutto in relazione alla ricerca che sembra anelare solo a riscontri finanziari e non a fornire benefici all'area medica e accademica.

persone con caratteristiche o diagnosi genetiche particolari. Mentre, come abbiamo visto, queste questioni non possono essere immediate per le neuroscienze, simili osservazioni possono essere fatte per il neuroprofiling con imaging funzionale, anche perché le tecniche di neuroimaging continuano a svilupparsi. Mentre i neuroscienziati chiariscono gli artefatti mascherandoli da effetti neurali e mentre questi sviluppano metodi analitici che forniscono metodi più intuitivi, rispetto a quanto sia possibile oggi, per interpretare i dati, esiste già l'idea che la neuroimaging può fornire novità e ampie informazioni in merito alla salute dell'uomo, al comportamento e al benessere cognitivo. Come verrà utilizzata questa tecnologia a vantaggio delle persone e della società? Potrebbe essere usata in modo nocivo per cattivi propositi? I paradigmi di Canli per visualizzare la personalità verranno adottati per classificare i giocatori più forti o i deboli decision makers in ambito lavorativo (Canli e Amin 2002) o, in quest'era post-Colombina, verrà utilizzata agli ingressi delle scuole superiori per classificare gli studenti con predisposizione violenta o disobbediente? Forse uno screening per il buon umore sarebbe più accettabile (Canli et al. 2002; Mobbs et al. 2003).

Sarà un dovere morale dei bioetici e dei neuroscienziati pensare in modo dinamico all'impatto che tali effetti potranno avere sulle persone, sia dal punto di vista dei benefici, come la conoscenza del sé (Weir et al. 1994), e della scelta personale, sia dei rischi, soprattutto per i bambini e per gli adolescenti nelle fasi critiche del loro sviluppo personale ed educativo (Savelscu 2001). Con quali mezzi si potrà resistere all'uso coercitivo di tale tecnologia nel momento in cui vengono messe in gioco questioni come l'impiego nel contesto lavorativo o le opportunità educative? Se i paradigmi di Golby et al. (2001), Phelps et al. (2003), o Richeson et al. (2003) per studiare la razza e le attitudini sociali potessero essere adottati per determinare l'eleggibilità a diventare un ufficiale di Polizia, il preside di una scuola, o anche un leader nazionale, ciò costituirebbe un'allocazione legittima dei fondi pubblici? Molti dei comportamenti pericolosi che stanno dietro alla discriminazione e allo stigma possono essere creati da un'interpretazione che va oltre gli effettivi risultati (si veda anche l'editoriale, "Scanning the Social Brain", *Nature Neuroscience*, Novembre 2003, 1239).

### Privacy del pensiero umano

La neuroimmagine funzionale pone sfide fondamentali alla questione della privacy. Le informazioni sul pensiero devono avere lo stesso status di riservatezza che hanno le informazioni genetiche? Probabilmente non di meno, anzi di più. Senza dubbio, la crescente informazione che la neurobiologia ci offre su come pensiamo, e potenzialmente sul perché pensiamo ciò che pensiamo, può facilmente causare dilemmi etici significativi per il personale

sanitario e per i ricercatori, specialmente perché i pattern di pensiero misurati possono variare tanto con le proprietà emodinamiche della vascolarizzazione (D'Esposito et al. 2003) quanto con il genere e con le variazioni quotidiane dell'umore e dell'attenzione (Gur et al. 1975). Inoltre, questi pattern sono altamente soggetti alla variabilità culturale e ai valori delle persone che li interpretano (Beaulieu 2002; Dumit 2004). Watson (come citato in Mauron 2003, 245) ha affermato che il genoma umano è, almeno in parte, "ciò che ci costruisce". Il "cervelloma" (Kennedy 2003), quindi, si concentra principalmente su chi noi "siamo" – tema alquanto complesso.

Il modo in cui questi studi stanno avvicinandosi verso misurazioni biologiche della personalità viene illustrato, ad esempio, in un ormai assodato studio di Greene et al. (2001; si veda anche Greene 2003). In questo esperimento di ragionamento morale, i soggetti vennero sottoposti a scan mentre prendevano delle decisioni su scenari in cui essi potevano, ad esempio, scegliere di salvare la vita di cinque persone su un tram fuori controllo cambiando traiettoria e mandandolo su un diverso binario su cui stava una sola persona (che non sarebbe sopravvissuta), oppure scegliere di spingere giù dal tram, su un binario, una delle persone, bloccando i movimenti del tram e salvando, quindi, il gruppo rimanente. Altri studi hanno richiesto ai partecipanti di prendere una posizione su affermazioni di contenuto morale (ad esempio "Il giudice condannò un uomo innocente" o "Gli anziani sono inutili") e su altre di contenuto neutrale ("Il pittore usa la mano come un pennello"; Moll et al. 2002). Tutti questi studi riguardano i processi del pensiero umano che spinge il contenitore delle neuroscienze cognitive in un dominio di significativa consapevolezza sociale in cui la riservatezza è un ingrediente vitale.

### Genetica versus Neurodeterminismo

Nonostante la sua natura probabilistica, l'informazione genetica tende ad essere vista come una forma definitiva di dato clinico. Gli individui percepiscono un senso di inevitabilità in relazione ai propri geni, sostiene Clayton (2003), così come di un determinismo genetico. Tale determinismo, o essenzialismo genomico (Mauron 2003), è divenuto popolare nella nostra cultura specialmente per il modo in cui i risultati degli studi di genetica comportamentale vengono comunicati al pubblico. Abbiamo letto report sui geni della violenza, dell'omosessualità, dell'alcolismo e anche del linguaggio. L'opinione generale è rafforzata dal fatto che abbiamo la tendenza a credere che noi siamo i nostri cervelli. Tuttavia, studi di vecchia data sulla plasticità cerebrale in età evolutiva e i nuovi studi di attivazione sulla riorganizzazione post-traumatica, hanno ampiamente dimostrato che ogni visione riduzionista dei fenotipi complessi è incompleta senza la considerazione dell'intervento di fattori esterni e culturali (Ward e Frackowiak 2004). Alcuni hanno so-

stenuto che la scienza biologica, che tratta di sistemi aperti, è impropriamente adeguata alle leggi universali e deterministiche, come lo sono la fisica e la chimica (Mayr 1998). Argomenti che rendono deterministiche le neuroscienze potrebbero essere indeboliti concettualmente ed empiricamente (Racine 2005). Tuttavia, data la tendenza a semplificare eccessivamente la complessità della genetica e dei dati del cervello, discussioni di uso pratico e significativo sono un chiaro imperativo.

### Previsione di malattie, salute pubblica

Esistono innumerevoli esempi clinici di individui sintomatici che, con un difetto genetico ereditario per un certo disturbo, devono controllare attentamente le loro attività quotidiane per garantire la propria salute e quella degli altri. Ma cosa si può fare per gli individui asintomatici che, grazie ad una neuroimaging funzionale, vengono a conoscenza del fatto che sono predisposti ad una qualche malattia del sistema nervoso centrale che può influire sulle abilità cognitive e sulla loro autonomia per tutta la vita? Quali sono le implicazioni per le parti terze, come nel caso di disordini neurogenetici, per i quali i pattern funzionali possono affiorare come sensibili predittori di malattie? [...]

Il lavoro condotto in relazione ad una diagnosi basata sulla neuroimmagine rappresenta una grande prospettiva per fornire nuove prove quantitative per diagnosi qualitative altrimenti basate su risultati clinici. Tuttavia, ciò solleva anche convincenti domande sulle attenzioni necessarie da adottare mentre i pazienti anelano a diagnosi sempre più precoci per le quali cure o trattamenti, magari, ancora non esistono. Tali dati forniranno nuove informazioni o imporranno, invece, dei pesi sulle famiglie, sui fisici e sul personale sanitario? Chi avrà accesso a questa tecnologia? Fisici e pazienti come incorporeranno questi nuovi tipi di dato nel loro ragionamento sul trattamento e la pianificazione della propria vita? L'accesso alle tecnologie avanzate riservato solo a dei privilegiati, sia per ragioni di diagnosi, di intervento medico sia per un vantaggio neurocognitivo competitivo, turberà uno status quo già di per sé delicato e difficilmente accettabile.

### Confidenzialità e responsabilità

Siamo in un'era "neuroinformatica" in cui si incoraggia la condivisione di dati genetici, cerebrali o di altra natura. Nel caso di ampie ricerche finanziate a livello federale, la condivisione di dati sul cervello è addirittura obbligatoria (Koslow e Hyman 2000). Ora che è sufficiente avere informazioni parziali sul cervello di una persona per identificare i partecipanti ad una ricerca, e ora che i nuovi studi di genomica di imaging associano informazioni genetiche alla mappatura del cervello ("genotyped cognition"; Hammann e Canlin 2004), le incertezze

maggiori esistono in relazione alla sicurezza e alla confidenzialità dei dati contenuti nel cyberspazio. Altre questioni riguardano la protezione dei soggetti umani, inclusa la riservatezza e la responsabilità relativa alle scoperte che derivano dai nuovi studi. Che succederebbe se una patologia venisse scoperta in maniera inaspettata grazie all'incrocio di più dati? Su chi graverebbe il peso della scoperta e dell'assistenza – i laboratori primari o quelli secondari? Al di là dei laboratori, come verrà definito nel settore for-profit l'uso commerciale di dati di imaging cerebrale liberamente condivisi? Senza dubbio, esistono innumerevoli altri esempi oltre a quelli già menzionati.

Come abbiamo visto, anche la nostra concezione di responsabilità legale può essere modificata dalla neuroimaging. Nel Regno Unito, sono già state espresse perplessità sull'uso della neuroimaging, come la PET, nell'aula di tribunale. Nel 2002, ad esempio, ad un dibattito intitolato "Le neuroscienze e la legge" ospitato dalla Royal Institution of Great Britain, psichiatri forensi e avvocati penali sostennero che la scienza della neuroimaging fosse troppo imprecisa per fare "una congiunzione inequivocabile tra struttura cerebrale e comportamento". "Anche se... gli psicopatici hanno cervelli fisicamente diversi da altre persone sane, ciò significa davvero qualcosa? Un cervello anormale porta necessariamente ad un comportamento anormale? È necessario abolire il libero arbitrio sulla base di una particolare scansione del cervello?". Anche se la neuroimaging non può stabilire la colpevolezza morale (Kulynych 1997) di dove, quando o come è avvenuto un crimine, né può indicarne la responsabilità personale (Committee to Review the Scientific Evidence on the Polygraph 2003), è incessante il costante afflusso di approcci scientifici innovativi che hanno lo scopo di dedurre correlazioni biologiche per i comportamenti tenuti in passato (Illes, 2005). Mentre cerchiamo di comprendere la responsabilità degli altri attraverso la loro biologia, è doveroso che contempiamo, ancora, la nostra propria responsabilità nell'interpretare tali informazioni e nel proteggerne l'accesso e l'uso appropriato.

### Bivi

Nella Tabella 2 vengono riassunte le aree in cui le variabili ELSI nella genetica convergono e divergono dalla neuroimaging. Queste sono i bivi in prossimità dei quali possiamo iniziare a spostarci dall'esperienza con la genetica verso il pensiero relativo all'etica della costruzione delle mappe del cervello. Come mostrato dalla discussione sopra riportata e dalla Tabella 2, le somiglianze sono impressionanti e attraversano gli ambiti sia della ricerca che dell'etica clinica. Includono profondi benefici pratici, inclusa una nuova conoscenza sulla condizione umana, e una conoscenza che informa l'autodeterminazione e il life planning. Includono aspetti negativi, come

la possibilità della discriminazione personale e legale, delle ingiustizie nell'accesso a servizi, dei rischi di confidenzialità, di inesattezze inerenti il test predittivo di qualsiasi natura e di ansietà associata (Michie et al. 2002), e dell'uso commerciale (Merz et al. 2002). Questioni pressanti, uniche alla genetica ma non alle neuroscienze, non sono manifeste, ma esistono questioni importanti per le neuroscienze e non per la genetica poiché l'ampia gamma di fattori tecnici e soggettivi, inclusi errori di ricerca paradigmatici, fisiologici e investigativi, giocano nell'interpretazione dei risultati e nel potenziale globale per biologizzare l'esperienza umana che raggiunge livelli mai raggiunti precedentemente.

### INTERPRETAZIONE COME SFIDA NEUROETICA CENTRALE

L'idea che il genoma sia "l'equivalente secolare dell'anima" è stata legittimamente criticata (Mauron 2001). Per la neuroetica sarà nuovo il bisogno di affrontare la responsabilità – con l'inevitabile e onnipresente ipotesi funzionante (o la "straordinaria ipotesi") – che la mente è il cervello. Un'attenta e responsabile interpretazione dei dati diventerà, quindi, un argomento cruciale se lottiamo per distinguere ciò che visualizziamo da ciò che immaginiamo. In quest'ambito la genetica, in quanto modello, è limitata e la bioetica avrà il ruolo fondamentale di mettere in luce un pensiero critico. Fondamentalmente, la sfida è doppia, così come un'appropriata interpretazione etica è una consapevolezza importante sia a livello scientifico che a livello sociale.

Mentre la fMRI, oggi, è in grado di superare altre tecniche di neuroimmagine per la comprensione dei comportamenti umani che possono avere una particolare rilevanza, siamo testimoni di un flusso dinamico di nuove applicazioni e di nuove possibilità tecniche. Come i test genetici, i modelli per ridurre il danno che può risultare dai falsi positivi e da valutazioni inappropriate di causa-effetto riferite a risultati correlati, sono critici. A parte i test di genetica, le mappe cerebrali possono essere intese dai più come la prova di una patologia. Ancora, come abbiamo visto, l'immagine del cervello rappresenta un'ineguagliabile complessità – dall'attrezzatura medica specialistica utilizzata per ottenere gli scan, alla matrice dei parametri usati per elicitarle attivazioni e i livelli statistici impostati per dedurre pattern significativi, all'esperienza richiesta per l'interpretazione oggettiva delle mappe stesse. Inoltre, l'assenza di standard pratici di riferimento in laboratorio (infatti, ad oggi, innovazione e creatività definiscono ancora lo stato dell'arte della neuroimmagine) e nei setting medico-legali, crea un altro strato di complessità per trarre conclusioni sui comportamenti, sulla responsabilità e sul benessere cognitivo (Kulynych 1997; Nelkin e Tancredi 1989) che dovrà essere presa in considerazione con approcci etici appropriati. Con im-

magini dinamiche alla mano, possiamo dimenticarci dei limiti epistemologici su come le immagini sono state prodotte, inclusa la variabilità nei disegni di ricerca, nel trattamento statistico dei dati e nella soluzione. Vale la pena ricordare che, in passato, vari modelli cerebrali sono stati proposti da personalità illustri solo per essere considerati, successivamente, come mera immaginazione del vero funzionamento del cervello. Descartes usò la pneumatica come paradigma per spiegare come gli "spiriti animali" sono stati prodotti dal flusso di sangue che si muove dal cuore al cervello (Changeux 1983). Successivamente, l'eminente anatomista Franz Joseph Gall propose alle corti giuridiche la frenologia per stabilire i fatti di un caso e adottare l'adeguata sentenza per gli imputati condannati (Lantieri – Laura 1996). Nel ventesimo secolo, le procedure di psicotomia di Moniz si sono certamente lasciate alle spalle una "eredità infelice" (Gostin 1980).

Oggi, alcuni scienziati e filosofi sottolineano l'opportunità di adottare la metafora del computer, dei network neurali o di altri modelli per comprendere le funzioni cerebrali. Per quanto diversi e, in alcuni casi, non pertinenti, questi esempi mettono in luce le precauzioni necessarie nell'interpretazione dei risultati sul cervello e delle applicazioni che se ne vogliono fare. In un'edizione del giornale "Brain and Cognition", che rappresentò un'iniziativa pionieristica nelle questioni etiche nella neuroimaging (Illes 2002), gli autori che vi contribuiscono già allora espressero l'esigenza di cautele nell'interpretazione unanime. Queste cautele sono state rinnovate da altri (ad es. Gore et al. 2003), e da sole giustificano la crescente attenzione ad affrontare la neurotecnologia, la sua capacità e i suoi limiti, e i nuovi approcci etici per pensarla (si veda anche Blank 1999).

Quando si fanno dei collegamenti tra le scoperte di neuroimaging e i concetti del sé, in particolare, diviene ancora più chiaro che l'etica della genetica può solo parzialmente aiutare a fissare questioni etiche. La genetica e la genomica hanno fornito un terreno fertile per molte riflessioni etiche sulla natura umana, ma le relazioni tra il cervello e il sé sono molto più dirette della relazione tra geni e identità personale (Mauron 2003). Il locus per l'integrazione del comportamento risiede nel cervello, anche se alcune sue caratteristiche sono influenzate dai nostri geni. Se la neurotecnologia misura quel comportamento attraverso l'immagine, o lo manipola attraverso trapianti di tessuti neurali o dispositivi, altererà fondamentalmente la dinamica tra identità personale, responsabilità e libero arbitrio in modi che la genetica non ha mai fatto. Le neurotecnologie, in generale, stanno davvero sfidando il nostro senso di "umanità" e stanno fornendo nuovi strumenti alla società per giudicare quella stessa "umanità" (Wolpe 2002).

L'interpretazione degli studi di neuroimaging non è legata solo alla cornice scientifica, ma anche a quella culturale e antropologica. Si considerino concetti come le

“emozioni morali” che sono basate sull’idea che alcune emozioni sono morali e altre no. Queste illustrano l’aspetto culturale della sfida all’interpretazione, che si basa sul fatto che il sé è definito in diversi modi. Ad esempio, centrale al Buddismo è la dottrina del non-Spirito, mentre nell’Induismo il sé è un concetto religioso e metafisico (Morris 1994). Anche nell’ambito della tradizione occidentale, che può apparire monolitica, varie credenze hanno fatto da “fonti del sé” (Taylor 1989). Come scrissero Winslade e Rockwell (2002), “Gli umani tendono sempre a fare affermazioni premature e presuntuose sulle conoscenze nuove... Uno può pensare che il linguaggio simbolico del cervello rivelerà i misteri della mente umana. Ma può solo aiutarci a comprendere gradualmente le caratteristiche organiche, chimiche e psicologiche del cervello, piuttosto che fornire le chiavi per aprire i segreti del comportamento umano e le sue motivazioni”. Quali che siano i risultati dell’imaging, questi dipenderanno dallo scrutinio sia scientifico che culturale della ricerca nella neuroimaging.

In uno studio in cui alcuni neuroscienziati si sono affiancati a dei monaci buddisti per comprendere la mente e testare le visioni ottenute attraverso la meditazione (Global News Wire 2003), concetti culturalmente rilevanti come “persona” ed “emozioni” sono stati esplorati con la neuroimmagine. Alcuni sostengono che la consapevolezza e la spiritualità possono essere stati cambiati da tali scoperte sul cervello. Quindi, non solo la cultura penetra la neuroimmagine; ma la neuroimmagine sta sempre più penetrando la cultura scientifica. Ecco perché la neuroetica ha bisogno di considerare non solo l’etica delle neuroscienze ma anche la neuroscienza dell’etica (Roskiesn 2002) e, possiamo aggiungere, la riflessione sulle sue implicazioni scientifiche e culturali.

A prescindere dalla tecnologia della neuroimaging funzionale du jour, ci rimane una lunga riflessione e altre questioni che qualsiasi altro approccio etico per il brain imaging dovrà affrontare. Il tempo, una dedizione certosina e la collaborazioni tra le discipline contribuiranno a risolverle. Alcune di queste domande, che inevitabilmente solleveranno dibattiti, sono:

- Riprendendo la classica dicotomia nella conduzione di una ricerca, c’è una qualche ricerca con neuroimmagine che possiamo condurre (o che saremo in grado di condurre) ma che non dovremmo condurre? Se dovessimo accettare che la biologia dei processi sociali studiati all’interno degli ambienti controllati dei laboratori si estende chiaramente alla validità del mondo reale, anche i contenuti della nostra mente dovrebbero essere studiati in questo modo (Foster et al. 2003)? Chi dovrebbe decidere e in relazione a quali parametri scientifici e culturali?
- Quali sono i trade-off tra una ricerca cauta e previdente e la possibilità, invece, di avere una regolazione eccessiva nella reazione ad eventi avversi o temerari? Molte lezioni si possono imparare dalla genetica, ma

“temerario” assumerà sicuramente nuovi significati nella discussione sulla neurobiologia del ragionamento morale e del comportamento sociale.

- Come si può rendere l’approccio riduzionista della neuroimaging compatibile e complementare al comportamento umano, attraverso approcci sostenuti dalla filosofia, dalla sociologia e dall’antropologia? Le applicazioni basate su questi approcci come interagiranno con prospettive culturali più ampie sul “sé”?
- Il grande investimento nella neuroimaging sarà giustificato dalle nuove scoperte? Ci sono forme di finanziamento che dovrebbero essere evitate perché possono condurre a metodi che permettono il controllo del pensiero o il personale guadagno finanziario?
- Quali altre nuove sfide etiche porteranno in futuro le neurotecnologie? Cosa offrirà la portabilità della tecnica dell’immagine ottica a infrarossi? La stimolazione magnetica transcranica sarà trasferita dall’ambito sanitario, per il trattamento della depressione, al libero mercato per incentivare l’acquisto di caffeina o di altri stimolanti che non necessitano di prescrizione medica? Con i progressi delle inchieste giornalistiche (Kim 2003), quali approcci etici saranno necessari per gestire nuove informazioni e terapie portate avanti dall’acoppiamento di imaging molecolare, diretta sia al sistema nervoso centrale sia altrove, e di esperimenti di terapia del gene?

Le risposte a queste domande non saranno del tipo “sì o no”. Come in passato, esse dipenderanno fondamentalmente dagli individui coinvolti e dal contesto in cui questi sono coinvolti. Un pensiero nuovo, specialmente sulla relazione tra il sé e il cervello, dovrà essere elaborato per questi nuovi tipi di dati del cervello poiché la complessità della loro interpretazione non è mai stata così profonda. Commentando “Brave New World” (1932) di Aldous Huxley, scritto circa 100 anni dopo la previsione sugli impulsi cerebrali che ebbe Soren Kierkegaard, Pontecorvo scrisse:

Le questioni etiche sollevate dalle imprese dell’ingegneria umana non sono qualitativamente diverse da quelle che dovremmo affrontare nel futuro. La differenza sarà quantitativa: in dimensione ed estensione. Nonostante ciò, i progressi individuali possono sì proseguire ma, trattandosi di piccoli passi, nessun progresso porterà affrontare le questioni etiche in modo risoluto: ma la somma totale dei progressi sarà comunque un risultato straordinario...” (come citato in Stevens; pagg. 81-82)

Pontecorvo aveva parzialmente ragione: non c’è dubbio che la somma totale sarà un risultato straordinario. Egli non avrebbe mai potuto predire, comunque, il grado in cui la qualità avrebbe affiancato la qualità.



## AFFRONTARE LA SFIDA

Questo articolo ha esplorato l'evoluzione delle capacità di imaging cerebrale che hanno condotto a nuove e solide scoperte e a rivendicazioni sul comportamento umano sia in salute che nella malattia. Recenti scoperte della neuroimaging e delle sue applicazioni fanno supporre che un gran numero di nuove questioni etiche verrà sollevato. Le variabili ELSI ci hanno dato un prezioso punto di partenza, ma, la neuroetica dovrà affrontare questioni relative all'interpretazione approfondita dei dati in modo ad un livello sia scientifico che culturale. La neuroimaging illustra questa doppia sfida in modo forte poiché le tecnologie di imaging e le sue metodologie sono fondate su assunti scientifici.

Contemporaneamente, l'imaging è un'area dove l'indagine del comportamento sociale e del sé è in aumento e questa sta diventando una vera e propria impresa. Al centro dell'imaging, quindi, c'è davvero lo sforzo di dare un senso ad un'immagine che ha bisogno di interpretazione. A fianco del concetto di "neuroetica dell'imaging" sono stati prodotti altri concetti come "neuro marketing", "neuro economia", "neuro abilitazione" (Lynch 2004), "neuro teologia" e anche "neuro correzione" (Farah et al. 2004). Tutti questi neologismi sollevano degli interessi sull'interpretazione e sull'applicazione della neuroimaging scientificamente garantita e culturalmente sensibile.

Poiché esistono varie visioni della mente e del cervello, la neuroetica dovrà incoraggiare la discussione tra i neuroscienziati, i cui metodi variano e la cui interpretazione di risultati differisce. Questa discussione si allargherà includendo un dialogo significativo con gli studiosi delle discipline classiche in merito a concetti come moralità, giudizio morale ed emozioni morali – concetti che hanno bisogno di una valutazione critica prima di ricercarne le correlazioni neurali. Anche il dialogo aperto con il pubblico è necessario dato che diverse prospettive culturali e religiose sottopongono le scoperte a diverse interpretazioni e a limiti etici. Anche una diffusione re-

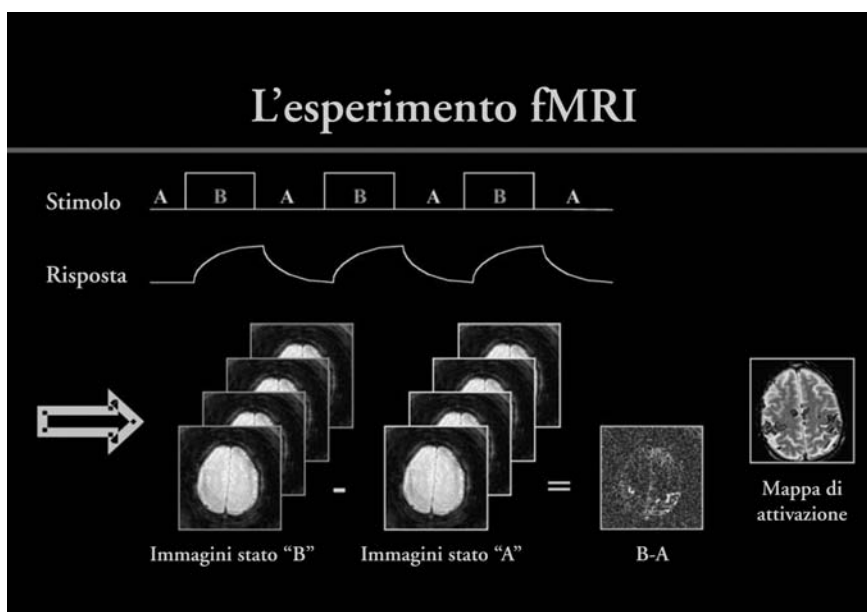


Figura 1

Le attivazioni nel compito sperimentale (stato "B") sono sottratte dalle attivazioni nel compito di controllo (stato "A") per realizzare le mappe di attivazione regionale con fMRI. (Gary H. Glover, Lucas MRS/MRI Center, Stanford University)

sponsabile delle informazioni attraverso i media e l'educazione pubblica sono essenziali per colmare il divario tra scienziati e cittadini, specialmente perché la complessità e l'astrattezza dei risultati aumentano creando dubbi e confusione.

L'interpretazione necessita della creativa immaginazione umana e della consapevolezza dei presupposti scientifici e culturali. Di conseguenza, la nuova generazione di neuroscienziati deve dedicarsi ad esaminare apertamente i limiti epistemologici del linguaggio figurativo (Racine e Illes 2004), la valutazione interdisciplinare, e le prospettive pubbliche relative a questi argomenti. La bioetica continuerà ad apportare alla discussione conoscenze di tipo etico e ad identificare e chiarire le perplessità morali; la bioetica, però, dovrà anche lavorare come facilitatore all'interno di un più ampio dialogo dove prospettive diverse possono incontrarsi e contribuire ad approfondire la comprensione di queste questioni. Pertanto, mentre in passato la tecnologia e l'etica possono essersi scavalcate l'un l'altra, in questa nuova era, gli studiosi di bioetica e i neuroscienziati dovranno lavorare insieme per comprendere la forza di un'immagine visiva e l'impatto che questa può avere sulle persone e sulla società.

	Misurazione	Tecnologia	Vantaggi	Svantaggi	Note
EEG	Attività elettrica misurata sullo scalpo.	Elettroencefalogramma; da 8 a > 200 elettrodi	Non invasivo, ben tollerato, basso costo, ottima risoluzione temporale (m sec)	Risoluzione spaziale limitata, rispetto alle altre tecniche	Decine di migliaia di scoperte mediante EEG/ERP riportate in letteratura
MEG	Campi magnetici misurati sullo scalpo	Superconducting quantum interference device (SQUID), ~80 - 150 sensori .	Non invasiva, ben tollerata, buona risoluzione temporale.	Costoso, mercato e disponibilità estremamente limitati	
PET	Assorbimento regionale di agenti di contrasto radioattivi che fornisce misure dell'attività metabolica e del flusso ematico.	Scanner a forma di anello: numerose centinaia di segnalatori di radiazione circondano il capo.	Altamente evoluto per misurare funzioni cognitive	Richiede l'iniezione o l'inalazione di un agente di contrasto; tempo d'azione fino a 30 minuti tra la stimolazione e l'acquisizione dei dati, disponibilità limitata, data la breve emivita degli isotopi e la necessità di ciclotroni per produrli; costo.	
SPECT	Come la PET, un'altra tecnica di medicina nucleare che dipende dall'assorbimento regionale di contrasto radioattivo per produrre misure di attività metabolica e di flusso ematico.	Sistemi con segnalatori molteplici o fotocamera gamma rotante. I dati possono essere costruiti da ogni angolo, incluso il piano assiale, coronale e sagittale, o allo stesso angolo dell'imaging ottenuto con CT o MRI, per facilitare il paragone tra immagini	Usi documentati che mappano le malattie psichiatriche e neurologiche, incluso traumi, demenza, disturbi dell'umore, ictus, attacchi apoplettici, impatto della droga sulle funzioni cerebrali, comportamento aggressivo.	Richiede l'iniezione di un agente di contrasto attraverso la linea intravenosa; costo	Attualmente disponibile in due Stati (CA e CO) per l'acquisto senza riferimento medico; l'enfasi è posta sull'ADHD e sull'Alzheimer (approssimativamente, spese non rimborsabili: \$ 3.000 a ricerca)
fMRI	Eccedenza di sangue ossigenato richiamato al cervello attivato regionalmente	MRI scanner da 1 Tesla a 7 Tesla e più; l'1,5 T è il più comune grazie alla sua ampia disponibilità in ambito clinico	Non invasiva, ripetibilità dello studio, nessun rischio noto. Nuove applicazioni di MR nelle mappe a tensore di diffusione (DTI) – orientamento microstrutturale di fibre di materia bianca – hanno mostrato di avere una buona correlazione con IQ, abilità di lettura, personalità, ecc. (Klingberg et al. 2000)	Costo dell'attrezzatura e di esperienza acquisita per gestire e mantenere i sistemi	Rapida proliferazione di studi di ricerca che usano l'fMRI da sola o in combinazione con altre modalità, crescendo da 15 nel 1991 (13 pubblicazioni) a 2.224 articoli nel 2003 (335 pubblicazioni), che rappresentano un aumento medio del 56% annuo.

**Tabella 1**

Caratteristiche e benefici delle principali tecnologie di neuroimmagine.

Nota: Sistemi in modalità combinata come EEG e fMRI stanno diventando sempre più comuni.

Variabili ELSI	Genetica	Neuroimaging funzionale
Nella pratica: Rischio di discriminazione, stigma, coercizione	Sì	A oggi non presente, ma una consapevolezza crescente sta maturando in conseguenza dell'evoluzione della tecnologia e alla diffusione del suo utilizzo
Rischio per la privacy	Sì	Sì
Giustizia distributiva	Sì	Sì, una volta che le tecnologia verrà adottata ampiamente nella clinica medica
Usi diagnostici	Sì	Emergente
Previsione	Sì	Emergente
Uso commerciale	Sì	Emergente; alcune disponibilità limitate esistono già sul mercato diretto al consumatore finale
Nella ricerca: Variabili paradigmatiche: risultati soggetti a variabilità a seconda dei test utilizzati	Potenzialmente, ma non considerato rischio significativo	Altamente significativo, data la variabilità nell'attrezzatura, l'hypothesis-testing, il disegno dello stimolo e gli approcci all'analisi dei dati.
Variabili fisiologiche: risultati soggetti a variazioni fisiologiche e giornaliere	No	Altamente significativo date le fluttuazioni, ad esempio, del flusso ematico, dell'umore, della variabilità fisiologica legata al genere (M/F).
Variabili investigative: risultati soggetti a variabilità dell'interpretazione	No, ma gli standard per i test non sono diffusi	Altamente significativo, specialmente quando l'interpretazione dei dati interagisce con i valori sociali dell'individuo e con la sua cultura.
Questioni generali: Biologizzazione del pensiero personale	Possibile nelle malattie mentali e in quelle degenerative	Altamente significativo man mano che il pensiero complesso diventa "quantificato" e "visualizzato" sulle mappe cerebrali

**Tavola 2**

Comparazione delle questioni etiche, legali, e sociali nella genetica e nella neuroimmagine funzionale

## BIBLIOGRAFIA

1. Ake v Oklahoma. 1985. 470 U.S. 68
2. Adolphs R, Tranel D, Damasio H, Damasio A. Fear and the Human Amygdala. *The Journal of Neuroscience* 1995;5:5879–5892. [PubMed: 7666173]
3. Anderson MC, Ochsner KN, Kuhls B, Cooper J, Robertson E, Gabrieli SW, Glover GH, Gabrieli JDE. Neural systems underlying the suppression of unwanted memories. *Science* 2004;303(5655):232–235. [PubMed: 14716015]
4. Angier N. Why we're so nice: We're wired to cooperate. *New York Times* 2002;1
5. Beaulieu A. Images are not the (only) truth: Brain mapping, visual knowledge and iconoclasm. *Science, Technology and Human Values* 2002;27:53–87.
6. Blank, RH. *Brain policy: How the new neurosciences will change our lives and our politics*. Georgetown University Press; Washington, DC: 1999.
7. Camerer CF. Strategizing in the brain. *Science* 2003;300(5626):1673–1675. [PubMed: 12805527]
8. Canli T, Amin Z. Neuroimaging of emotion and personality: Scientific evidence and ethical considerations. *Brain and Cognition* 2002;50(3):431–444.
9. Canli T, Siver H, Whitfield SL, Gotlib IH, Gabrieli JDE. Amygdala response to happy faces as a function of extraversion. *Science* 2002;296(5576):2191. [PubMed: 12077407]
10. Changeux, J-P. *Neuronal Man*. Garey, Laurence, editor. Princeton University Press; Princeton, NJ: 1997.1997.
11. Clayton EW. Ethical, legal and social implications of genomic medicine. *New England Journal of Medicine* 2003;349(6):562–569. [PubMed: 12904522]
12. *The polygraph and lie detection*. National Academy Press; Washington, DC: 2003. Committee to Review the Scientific Evidence on the Polygraph.
13. Crick, F. *The astonishing hypothesis: The scientific search for the soul*. Simon & Schuster; London: 1995.
14. Curran, P. *The Montreal Gazette*. Montreal: Oct 19. Soul search: Emotions, spirituality and transcendence: Scientist gains notoriety for work with nuns; p. A14
15. Damasio, AR. *Descartes' error*. Penguin Putnam Pubs; Netcong, NJ: 1994.
16. D'Esposito M, Deouell LY, Gazzaley A. Alterations in the BOLD fMRI signal with ageing and disease: A challenge for neuroimaging. *Nature Reviews Neuroscience* 2003;4:863–872.
17. Dumit, J. *Picturing personhood: Brain scan and biomedical identity*. Princeton University Press; Princeton, NJ: 2004.
18. Scanning the social brain. *Nature Neuroscience* 2003;6(12):1239. Editorial
19. Evans, JW. Functional Magnetic Resonance Images and Lie Detection. Jan 31. 2005 <http://www.law.uh.edu/healthlawperspectives/Health-Policy/021231Functional.html> access date:
20. Farah M, Illes J, Cook-Deegan R, Gardner H, Kandel E, King P, Parens E, Sahakian B, Wolpe PR. Neurocognitive enhancement: What can we do? what ought we not do? *Nature Reviews Neuroscience* 2004;5:421–425.
21. Farwell LA, Smith SS. Using brain MERMER testing to detect concealed knowledge despite efforts to conceal. *Journal of Forensic Sciences* 2001;46(1):1–9.
22. Foster KR, Wolpe PR, Caplan AL. Bioethics and the brain. *IEEE Spectrum* 2003;34–39.
23. Gardner H. There's a sucker in every prefrontal cortex (Opinion Editorial). *New York Times* November 30;2003:26.
24. Gehring WJ, Willoughby AR. The medial frontal cortex and the rapid processing of monetary gains and losses. *Science* 2002;295(5563):2279–2282. [PubMed: 11910116]
25. Gehring WJ, Karpinski A, Hilton JL. Thinking about interracial interactions. *Nature Neuroscience* 2003;6 (12):1241–1239.
26. *Global News Wire—Asia Africa Intelligence Wire*. 2003The resonance of the mind (November 20)
27. Golby AJ, Gabrieli JDE, Chiao JY, Eberhardt JL. Differential responses in the fusiform region to same-race and other-race faces. *Nature Neuroscience* 2001;4:845–850
28. Gore JC, Prost RW, Hendee WR. Functional MRI is fundamentally limited by an inadequate understanding of the origin of fMRI signals in tissue. *Point/Counterpoint. Medical Physics* 2003;30 (11):2859–2861. [PubMed: 14655930]
29. Gostin LO. Ethical considerations of psychosurgery: The unhappy legacy of the pre-frontal lobotomy. *Journal of Medical Ethics* 1980;6(1):149–156. [PubMed: 7420386]
30. Greely HT. Neuroethics? *Health Law News* July;2002:5. Health Law & Policy Institute, University of Houston Law Center 2002
31. Greely, HT. Prediction, Litigation, Privacy, and Property: Some possible Legal and Social implications of Advances in Neuroscience. In: Garland, Brett, editor. *Neuroscience and the Law: Brain, Mind, and the Scales of Justice*. The Dana Press; New York, NY: 2004.
32. Greene JD. From neural 'is' to moral 'ought': What are the moral implications of neuroscientific moral psychology? *Nature Review Neuroscience* 2003;4:847–850.
33. Greene JD, Sommerville RB, Nystrom LE, et al. An fMRI investigation of emotional engagement in moral judgment. *Science* 2001;293(5537):2105–2108. [PubMed: 11557895] Gur RC, Mozley LH, Mozley PD, et al. Sex differences in regional cerebral glucose metabolism during a resting state. *Science* 1995;267(5197):528–531. [PubMed: 7824953]
34. Hammann S, Canli T. Individual differences in emotion processing. *Curr Opin in Neurobiology* 2004;14(2):233–238.
35. Hariri AR, Weinberger DR. Functional neuroimaging of genetic variation in serotonergic neurotransmission. *Genes, Brain, Behavior* 2003;2(6):341–349.
36. Heilman, KH. The Neurobiology of Emotional Experience. In: Salloway, S.; Malloy, P.; Cummings, JL., editors. *The Neuropsychiatry of Limbic and Subcortical Disorders*. American Psychiatric Association; Washington, DC: 1997. p. 133.-142.
37. Illes, J., editor. *Brain and Cognition*. 50. Academic Press; New York, NY: 2002. Ethical challenges in advanced neuroimaging.
38. Illes, J. *Cerebrum*, Special Issue on Neuroethics. The Dana Press; New York: 2005. A fish story: Brain maps, lie detection and personhood.
39. Illes J, Kirschen MP, Gabrieli JDE. From neuroimaging to neuroethics. *Nature Neuroscience* 2003;6(3): 250.
40. Karbowski K. Sixty years of clinical electroencephalography. *European Neurology* 1990;30(3):170–175. [PubMed: 2192889]
41. Kennedy, D. Neuroethics: An uncertain future; *Proceedings of the Society for Neuroscience Annual Meeting*; New Orleans, Louisiana. 2003.

42. Kierkegaard, S. *Papers and journals: A selection*. Hannay, A., editor. Penguin Books; New York: 1846.1996
43. Kim EE. Targeted molecular imaging. *Korean Journal of Radiology* 2003;4(4):201–210. [PubMed: 14726636]
44. Klingberg T, Hedehus M, Temple E, Salz T, Gabrieli JD, Moseley ME, Poldrack RA. Microstructure of temporo-parietal white matter as a basis for reading ability: Evidence from diffusion tensor magnetic resonance imaging. *Neuron* 2000;25(2):257–259. [PubMed: 10719881]
45. Koslow SH, Hyman SE. Human brain project: A program for the new millennium. *Journal of Biology and Medicine* 2000;17:7–15.
46. Kulynych J. Psychiatric neuroimaging evidence: A high tech crystal ball? *Stanford Law Review* 1997;49:1249–1270.
47. Langleben DD, Schroeder L, Maldjian JA, Gur RC, McDonald S, Ragland JD, O'Brien CP, Childress AR. Brain activity during simulated deception: An event-related functional magnetic resonance study. *NeuroImage* 2002;15(3):727–732. [PubMed: 11848716]
48. Lanteri-Laura, G. Examen historique et critique de l'éthique en neuropsychiatrie, dans le domaine de la recherche sur le cerveau et les thérapies. (Historical and critical examination of neuropsychiatry in brain research and therapy.). In: Huber, Gérard, editor. *Cerveau et psychisme humains: quelle éthique?* (The Human Brain and Psyche: Ethical Considerations. John Libbey; Paris: 1996.
49. LeDoux J. The emotional brain, fear, and the amygdala. *Cellular and Molecular Neurobiology* 2003;23 (4–5):727–738. [PubMed: 14514027]
50. Lynch Z. Neurotechnology and society. *Annals of the New York Academy of Sciences* 2004;1013:229–233. [PubMed: 15194618]
51. Mariani SM. Neuroethics: How to leave the cave without going astray. *Medscape General Medicine* 2003;5(4):33. [PubMed: 14745380]
52. Marshall JC, Fink GR. Cerebral localization then and now. *NeuroImage* 2003;20:S2–S7. [PubMed:14597291]
53. Mauron A. Is the genome the secular equivalent of the soul? *Science* 2001;291(5505):831–832. [PubMed:11225630]
54. Mauron A. Renovating the house of being: Genomes, souls and selves. *Annals of the New York Academy of Sciences* 2003;1001:240–252. [PubMed: 14625364]
55. Mayr, E. *Toward a new philosophy of biology*. Harvard University Press; Cambridge, MA: 1988.
56. Merz JF, Magnus D, Cho MK, et al. Protecting subjects' interests in genetics research. *American Journal of Human Genetics* 70(4):965–971. [PubMed: 11870592]
57. Michie S, Weinman J, Miller J, et al. Predictive genetic testing: High risk expectations in the face of low risk information. *Journal of Behavioral Medicine* 2002;25(1):33–50.
58. Miller G. The good, the bad, and the anterior cingulate. *Science* 2002;295(5580):2193–2194. [PubMed:11910081]
59. Mobbs D, Greicius MD, Abdel-Aziz E, Menon V, Reiss AL. Humor modulates the mesolimbic reward centers. *Neuron* 2003;40(5):1041–1048. [PubMed: 14659102]
60. Moll J, de Oliveira-Souza R, Bramati I, Grafman J. Functional networks in emotional and nonmoral social judgments. *NeuroImage* 2002;26:696–703. [PubMed: 12169253]
61. Moll J, de Oliveira-Souza R, Eslinger PJ. Morals and the human brain: A working model. *Neuroreport* 2003;14(3):299–305. [PubMed: 12634472]
62. Morris, B. *Anthropology of the self The individual in cultural perspective*. Pluto Press, CO; 1994.
63. Neuroscience and the Law. *Proceedings from "Neuroscience and the Law," Royal Institution*. London: 2002.
64. Nelkin, D.; Tancredi, L. *Dangerous diagnostics: The social power of biological information*. Basic Books; New York: 1989.
65. *People v Jones*. 1994. (620 N.Y.S.2d 656)N.Y. App. Div
66. *People v Weinstein*. (591 NYS 2d 715); (Sup. Ct. 1992)
67. Phelps EA, Cannistraci CJ, Cunningham WA. Intact performance on an indirect measure of race bias following amygdala damage. *Neuropsychologia* 2003;41(2):203–208. [PubMed: 12459218]
68. Racine, E.; Illes, J. Is neuroethics the heir of the ethics of genomics?. *Canadian Bioethics Society; Calgary, Alberta*: 2004.
69. Racine E. Pourquoi et comment tenir compte des neurosciences en éthique? Esquisse d'une approche neurophilosophique émergentiste et interdisciplinaire. Translation: (Why and how take into account neuroscience in ethics? Toward an emergentist and interdisciplinary neurophilosophical approach). *Laval Théologique & Philosophique*. in press
70. Raine A, Buchsbaum MS, Stanley J, Lottenberg S, Abel L, Stoddard J. Selective reductions in pre-frontal glucose metabolism in murderers. *Biological Psychiatry* 1994;36:365–373. [PubMed: 7803597]
71. Richeson JA, Baird AA, Gordon HL, et al. An fMRI investigation of the impact of interracial contact on executive function. *Nature Neuroscience* 2003;6(12):1323–1327.
72. Roskies A. Neuroethics for a new millennium. *Neuron* 2002;35(1):21–23. [PubMed: 12123605]
73. Rothenberg KH, Terry SF. Human genetics. Before it's too late—Addressing fear of genetic information. *Science* 2002;297(5579):196–197. [PubMed: 12114610]
74. Sanfey AG, Rilling JK, Aronson JA, et al. The neural basis of economic decision-making in the ultimatum game. *Science* 2003;300(5626):1755–1758. [PubMed: 12805551]
75. Savulescu J. Predictive genetic testing in children. *Medical Journal of Australia* 2001;175(7):379–381. [PubMed: 11700818]
76. Schacter DL, Buckner RL, Koutstaal W. Memory, consciousness and neuroimaging. *Philosophical transactions of the Royal Society of London B* 1998;353:1861–1978.
77. Schiff ND, Rodriguez-Moreno D, Kamal A, Kim KHS, Giacina JT, Plum F, Hirsch J. fMRI reveals large-scale network activation in minimally conscious patients. *Neurology* Feb.;2005 64:514–523. [PubMed: 15699384]
78. State of Iowa v Terry Harrington. (284 N.W.2d 244; 1979 Iowa Sup.)
79. Stevens, MLT. *Bioethics in America: Origins and Cultural Politics*. The Johns Hopkins University Press; Baltimore, MD, USA: 2000. Quoting Pontecorvo G., "Prospects for Genetic Analysis of Man," in Sonneborn T. M. *The Control of Human Heridity and Evolution* (Macmillan, New York, 1965, pp. 81–82)
80. Taylor, C. *Sources of the self: The making of modern identity*. Harvard University Press; Cambridge, MA: 1989.
81. Thompson C. There's a sucker born in every medial prefrontal cortex. *New York Times Magazine* October 26;2003:54.
82. Ward NS, Frackowiak RS. Towards a new mapping of brain cortex function. *Cerebrovascular Disease* 2004;17(Suppl 3):35–38.
83. Weir, RF.; Lawrence, SC.; Fales, E. *Genes and human self-knowledge: Historical and philosophical reflections on modern genetics*. University of Iowa Press; Iowa City, IA: 1994.
84. Wickelgren I. Tapping the mind. *Science* 2003;299(5606):496–499. [PubMed: 12543949]
85. Winslade WJ, Rockwell JW. Bioethics. *Health Law News* 2002;1Health Law & Policy Institute, University of Houston Law Center

85. Wolpe R. The neuroscience revolution. *The Hastings Center Report*. July-August;2002
86. Zimmer C. How the mind reads other minds. *Science* 2003;300(5622):1079–1080. [PubMed: 12750496]